

# Seguridad vial en carreteras rurales de dos carriles. Provincia de Villa Clara, Cuba

García Depestre R. A.<sup>1</sup>, Delgado Martínez D. E.<sup>1</sup>, Díaz García E. E.<sup>2</sup>

*Fecha de recepción: 18 de julio de 2011 – Fecha de aprobación: 14 de marzo de 2012*

## RESUMEN

El desarrollo de un modelo que permite evaluar la seguridad vial en carreteras rurales de dos carriles, en la provincia de Villa Clara, se inicia con el análisis de las causas de la accidentalidad en todos los tramos, a partir del estudio de los modelos de reportes de accidentes de tránsito en tres momentos, particularizando en la incidencia de los elementos relativos a las características de la carretera y el tránsito. Las variables de mayor significación en la accidentalidad fueron: la señalización, los paseos, el índice de regularidad internacional, la textura y la fricción. La incidencia en la accidentalidad para los tramos de carretera se procesa con el asistente matemático SPSS 16.0.1, para diferentes tipos de regresiones, seleccionando el modelo de mayor calidad. El modelo desarrollado permite evaluar la seguridad vial del estado de los elementos relativos a la carretera y las características superficiales del pavimento, además el efecto de medidas, regulaciones o acciones de conservación.

**Palabras clave:** accidentalidad, causas de la accidentalidad, seguridad vial, modelo, evaluación.

# Highway safety of rural two lane roads. Province of Villa Clara, Cuba

## ABSTRACT

The development of a model to assess road safety in rural two-lane roads in the province of Villa Clara, begins with the analysis of the causes of accidents in all segments, from the study of traffic accident model reports in three stages, specially focusing on the impact of the factors relating to the characteristics of the road and traffic. The most significant variables in the accident were: signage, tours, international regularity index, texture and friction. The impact on the accident rate for road sections was processed with SPSS 16.0.1 mathematical assistant for different types of regressions, selecting the higher quality model. The developed model allows evaluating the traffic safety condition of the items on the road and its pavement surface characteristics, plus the effect of measures, regulations or conservation actions.

**Keywords:** accidents, causes of accidents, road safety, model evaluation.

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Construcciones, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Correo electrónico: renegd@uclv.edu.cu, domingo@uclv.edu.cu

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Vías de Comunicación, Instituto Superior Politécnico José A. Echevarría (ISPJAE), Cuba. Correo electrónico: egua@civil.cujae.edu.cu

Nota: El período de discusión está abierto hasta el 1° de noviembre de 2012. Este artículo de investigación es parte **Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán**. Vol. 16, No. 1, 2012, ISSN 1665-529X.

## **1.- INTRODUCCIÓN**

En el sistema de la seguridad vial intervienen tres elementos fundamentales que se relacionan entre sí, de la forma que ellos actúan y como se accione sobre ellos, así será la seguridad de la carretera. Ellos son el vehículo, el hombre y el entorno.

En el ámbito internacional existen múltiples trabajos que han abordado la responsabilidad en la accidentalidad de los diferentes elementos del sistema de seguridad vial y su interrelación (Treat *et al.* 1979, Sabey & Staughton 1979, PIARC 2003, Depto. Seguridad Vial 2006, UPTC 2006, y Mikulík *et al.* 2007). En este ámbito uno de los trabajos más ambicioso al respecto es, el que intenta representar para distintos países dicho problema Dourthé y Salamanca (2003).

A partir de la década de los 80's, ha sido interés de los investigadores establecer modelos de comportamiento de la seguridad vial en carreteras rurales. Estos toman en cuenta las condiciones propias del lugar, tipos de vehículos, características y hábitos de los conductores, tipo de pavimento, normas del trazado, recursos económicos, señalización y otros elementos que influyen en la accidentalidad.

Dos variantes fundamentales se aprecian para la evaluación de la seguridad vial de una carretera, a partir del análisis de las características de la carretera y del tránsito; la primera variante forma parte de la nueva generación de modelos que considera la consistencia del trazado; la segunda variante contempla el comportamiento de la accidentalidad en relación a los elementos del sistema de seguridad vial.

No existen reportes de modelos de comportamiento de la seguridad vial en el territorio, por ninguna de las variantes descritas, por lo que el objetivo de la presente investigación es desarrollar modelos de comportamiento de la seguridad vial para la provincia de Villa Clara, a partir del análisis de la accidentalidad.

## **2.- MATERIALES Y METODOS**

### **2.1- Causas de la accidentalidad**

Un aspecto de vital importancia en el contexto de la investigación es establecer las causas de la accidentalidad, lo que permite determinar el peso de los elementos componentes del sistema de seguridad vial, para accionar sobre ellas y eliminar o disminuir sus efectos en la accidentalidad.

Con objetivos similares, Ogden (1996), Crespo (2000) y Alba (2008) emplearon distintas técnicas investigativas. Rumar (1999), realiza el análisis de las

causas de la accidentalidad en tres momentos fundamentales. Los problemas evidentes, con una observación superficial (primer análisis); los problemas que requieren un análisis más profundo (segundo análisis); y los problemas que están casi oculto (tercer análisis).

En la presente investigación para analizar las causas de la accidentalidad se ha decidido descomponer en tres partes fundamentales el análisis de las causas de la accidentalidad, de forma análoga a Rumar (1999).

**Primer análisis.** En la propuesta de análisis de los problemas evidentes, Rumar (1999) contempla 13 indicadores, que para el caso de la investigación, se concentran en tres grupos vinculados al hombre, el vehículo y el entorno, los que pueden estar interrelacionados.

En este nivel de análisis, en el caso de Cuba, se realiza a partir de los datos contenidos en los modelos de reportes de accidentes de tránsito.

**Segundo análisis.** Los problemas objeto de análisis en la segunda aproximación requieren de un análisis más detallado. En este segundo análisis, Rumar (1999) contempla seis indicadores:

Este segundo análisis se realiza a partir de visitas e inspecciones a los lugares donde han ocurrido accidentes de tránsito con el propósito de valorar la situación y relacionarlas con los elementos del sistema de seguridad vial. También se pueden aplicar entrevistas a choferes y especialistas, con el objetivo de incorporar en los análisis estos criterios que pueden esclarecer las causas de la accidentalidad.

La visita a los lugares donde han ocurrido accidentes de tránsito complementa el primer nivel de análisis y permite confrontar la información contenida en los modelos de reporte de accidentes, así como el completamiento de datos y contribuir a la formación de criterios asociados con las causas del accidente.

La entrevista abierta se adapta a las características del estudio para considerar los criterios de los choferes y los especialistas y está diseñada para determinar el peso relativo en la accidentalidad de los elementos del sistema de seguridad vial y de los relacionados con la carretera.

**Tercer análisis.** En la tercera aproximación se detectan y evalúan los problemas ocultos. Estos problemas están relacionados con la organización y el papel de políticas de seguridad vial. También pueden vincularse a la gestión de los procesos de seguridad vial y asimismo estar asociados a la sensibilización, a

los valores y al conocimiento de las medidas de seguridad por parte de decisores, políticos y actores de la seguridad vial.

Los problemas más importantes del tercer análisis del problema de seguridad vial se contemplan en tres aspectos, según Rumar (1999).

La determinación de las causas de la accidentalidad vehicular favorece la seguridad vial, pues si se conocen las causas que motivan los siniestros se puede actuar para disminuirlos o atenuar su efecto.

## **2.2- Modelos de evaluación de la seguridad vial**

A nivel internacional, en el desarrollo de los modelos de comportamiento de la accidentalidad, se aprecia la consideración de los aspectos relacionados con las características de la carretera y el tránsito. Estos modelos han sido desarrollados atendiendo a las condiciones del lugar donde fueron creados y no pueden ser aplicados con buenos resultados en otros emplazamientos.

Es posible desarrollar un modelo para la evaluación de la seguridad vial a partir de la determinación de las causas de la accidentalidad que responda a las condiciones del territorio que se estudia, que agrupe los elementos relacionados con las características de la carretera y el tránsito.

## **3.- RESULTADOS**

### **3.1- Causas de la accidentalidad**

La determinación de las causas de la accidentalidad para la provincia de Villa Clara se realiza en el período comprendido entre enero 2005 y diciembre 2009, en atención a los tres momentos comentados anteriormente a partir del análisis de los modelos de reporte de los accidentes de tránsito.

**Primer análisis.** Se logra realizar este primer análisis con el estudio de los modelos de reporte de accidentes y se determinaron las causas de la accidentalidad evidentes divididas en tres grupos, los que coinciden con los elementos del sistema de seguridad vial, el hombre, el vehículo y el entorno. Los resultados dan como primera causa de la accidentalidad al hombre en el 59% de los casos, seguido de la carretera en un 31% y finalmente el vehículo en el 20%, incluido en las cifras la interrelación entre los elementos.

**Segundo análisis.** Este segundo análisis complementa el examen del modelo de reporte de accidentes con visitas al terreno, para verificar y determinar las condiciones del emplazamiento, es necesario aclarar que se visitaron los lugares reportados en el 2009;

además, se realizaron entrevistas a choferes y especialistas. La selección de la muestra fue no probabilística, ya que su composición depende de las causas relacionadas con la carretera y las características del estudio. En el caso de las entrevistas se consideraron sólo choferes implicados en accidentes en el año 2009.

De los choferes entrevistados involucrados en accidentes, el 60% son profesionales (con 23 años de experiencia como media del total y el resto con 12 años de experiencia).

A partir de las entrevistas se pudo determinar las interacciones entre los elementos que intervienen en el sistema de seguridad vial. Los conductores plantean que la primera causa de la accidentalidad es la carretera en un 60% de los casos, seguido del hombre y el vehículo con el 55%. Para los especialistas la primera causa es el hombre en 56% de los casos, seguido de la carretera, con el 54%, y el vehículo, con 52%.

La valoración realizada por los conductores contradice los resultados de los análisis del reporte de accidente y la entrevista a los especialistas al considerar a la carretera como la causa de mayor peso en la accidentalidad. Se observa que se sobrevalora el papel de la carretera y se disminuye el del hombre, lo que se considera como un indicador razonable de la importancia que se da a este elemento en el contexto cubano por parte de los choferes. Sin embargo el criterio de los especialistas coincide con los resultados del primer análisis en orden y no en cifras.

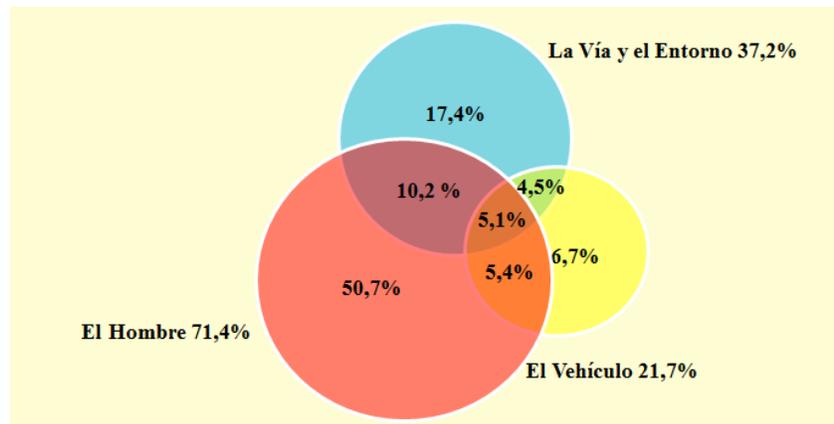
**Tercer análisis.** En el desarrollo de los análisis se han detectados problemas ocultos vinculados a la gestión que han incidido en la accidentalidad, entre ellos se puede citar autorizo de circulación a vehículos por vías no permitidas, elevar la velocidad máxima de circulación sin variar las condiciones del trazado y demoras en eliminar posibles causas de accidentes entre otras causas.

Se concluye que la accidentalidad no sólo se debe a acciones negativas que realiza el hombre, cuya influencia es considerable, sino que además influyen la carretera y el vehículo, lo que se evidencia en los datos de la Tabla 1.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 1, donde el 71,4% es responsabilidad del hombre, 37,2% la vía y 21,7% el vehículo, incluido en ellos la interrelación entre los elementos del sistema de seguridad vial, estos valores reflejan la problemática del territorio con relación a las causas de la accidentalidad.

**Tabla 1.** Causas de accidentes en la provincia de Villa Clara

Año	Causas						
	Hombre	Vía	Vehículo	Hombre - Vía	Hombre - Vehículo	Vía - Vehículo	Hombre - Vía - Vehículo
2005	131	73	28	34	17	17	18
2006	120	54	22	21	14	17	20
2007	229	30	22	26	8	18	15
2008	169	39	12	68	30	10	11
2009	145	78	24	11	16	9	17
Total (%)	797 (50,7)	274 (17,4)	105 (6,7)	160 (10,2)	85 (5,4)	71 (4,5)	81 (5,1)



**Figura 1.** Incidencia de los componentes del sistema de seguridad vial

Los resultados difieren de las cifras referenciadas y no del orden que ocupan los elementos del sistema de seguridad vial. Es superior considerablemente en Villa Clara la participación de la vía y los vehículos en las causas de la accidentalidad, así como sus interrelaciones, por lo que las acciones deben de estar dirigidas además del hombre hacia la carretera y los vehículos para aumentar la seguridad vial en el territorio.

**Causas de la accidentalidad relacionadas con la carretera.** Una vez analizadas las causas de la accidentalidad y establecida la influencia de la vía y el entorno, es necesario analizar los elementos relativos a la carretera que intervienen en los accidentes, con el empleo del análisis en los tres momentos según Rumar (1999). La determinación de las causas de la accidentalidad vehicular relacionadas con la carretera se agrupa en las características de la vía, el tránsito, estado de los elementos y características superficiales del pavimento.

1.- **Diseño geométrico.** Permite evaluar causas relacionadas con la sección transversal, la distancia con respecto a obstáculos laterales, la distancia de visibilidad, pendiente longitudinal y velocidad de operación.

2.- **Tránsito.** Considera la diferencia de velocidad entre diferentes tipos de vehículos, composición de la corriente vehicular y niveles de servicio.

3.- **Estado de los elementos y características superficiales del pavimento.** Evalúa deterioros de la superficie del pavimento, paseos, señalización (horizontal y vertical), irregularidades de la superficie del pavimento, textura superficial y disminución del coeficiente de fricción.

**Diseño geométrico.** Se determina, a partir del análisis de los reportes de accidentes, que las causas de la accidentalidad vinculadas al diseño geométrico corresponden al 20,4%; las principales causas son la falta de visibilidad, diferencia de velocidad entre la velocidad de operación y de diseño de la carretera, además de la diferencia de velocidades de operación entre elementos sucesivos y, como último, obstáculos en la carretera (Tabla 2).

Luego de los análisis se evidencia la incidencia en la accidentalidad del diseño geométrico, razón por la que debe ser considerado en los análisis de seguridad vial en adelante.

**Tránsito.** El tránsito caracterizado por flujos vehiculares mixtos y un parque vehicular heterogéneo, acentúa las diferencias de velocidad

entre vehículos, lo cual contribuye a la accidentalidad, Tabla 3.

**Tabla 2.** Cantidad de accidentes ocasionados por el diseño geométrico

Año	Diseño geométrico		
	Visibilidad	Diferencia de velocidad por trazado	Obstáculos
2005	9	7	2
2006	1	5	0
2007	4	8	0
2008	3	6	0
2009	3	17	2
Total	20	43	4

**Tabla 3.** Cantidad de accidentes ocasionados por el tránsito

Años	Tránsito	
	Diferencia de velocidad entre tipos de vehículos	Composición vehicular
2005	7	2
2006	5	2
2007	2	0
2008	4	2
2009	6	0
Total	24	6

Las características del tránsito influyen de manera notable en el nivel de servicio que brindan las carreteras, lo que es de considerar para las condiciones del territorio.

**Estado de los elementos y características superficiales del pavimento.** Al igual que en los casos

anteriores, se determina a partir de los reportes de accidentes y el análisis en los tres momentos, que las causas de la accidentalidad vinculadas a la carretera corresponden al 70,5%, los de mayor porcentaje de incidencia de los analizados. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Cantidad de accidentes ocasionados por estado de los elementos y características superficiales del pavimento

Año	Estado de los elementos		Características superficiales		
			Superficie de rodadura		Regularidad
	Paseos	Señales	Fricción	Textura	IRI
2005	13	2	15	9	9
2006	8	0	5	1	3
2007	17	3	11	6	5
2008	2	9	2	0	17
2009	34	3	3	7	3
Total	74	17	36	23	37

El elemento de la carretera de mayor incidencia en la accidentalidad es el paseo, siguiendo las características superficiales del pavimento relacionadas con la comodidad (IRI, índice de regularidad internacional) y posteriormente los vinculados con la seguridad (fricción y textura),

concluye con las señales tanto horizontales como verticales.

El análisis realizado sobre la determinación de las causas de la accidentalidad relacionadas con el diseño geométrico, el tránsito, estado de los elementos y características superficiales del pavimento, a partir del

análisis de los modelos de reportes de accidentes de tránsito, ha permitido un análisis más completo de la problemática con menor margen de error y subjetividad, para determinar el peso relativo de las variables de mayor incidencia en la accidentalidad vehicular relacionadas con la carretera, que puede ser utilizado en la obtención de un modelo de comportamiento de la seguridad vial.

**3.2- Modelos de evaluación de la seguridad vial**

A partir de las causas de la accidentalidad relacionadas con las características de la carretera (diseño geométrico, estado de los elementos y características superficiales del pavimento) y el tránsito, se declaran las variables que intervienen en

el proceso: consistencia del trazado, tránsito, paseo, señalización, textura, fricción e IRI.

El procesamiento de las variables analizadas se realiza con el asistente matemático SPSS 16.0.1, a partir de las causas de la accidentalidad. La variable dependiente es la proporción de accidentes de tránsito por causa de la carretera y el tránsito, para cada tramo analizado y como variable independiente o predictora; frecuencia total de accidentes, concepciones sobre la consistencia del trazado, el tránsito, los paseos, la señalización, la textura, la fricción y el IRI. Luego de obtener el modelo es necesario probar los supuestos de la regresión, la autocorrelación y la multicolinealidad, del mismo con el fin de adoptar el modelo de mejor comportamiento. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Estadígrafos de modelos de evaluación de la seguridad vial

Variantes	R <sup>2</sup>	Durbin-Watson	i <sub>c</sub>	Significación
Regresión lineal	0,354	2,059	3,668	0,001
Regresión exponencial	0,352	1,627	2,609	0,013
Regresión multiplicativa exponencial	0,880	1,715	36,377	0,000

De los modelos propuestos el de mayor ajuste es el modelo multiplicativo exponencial, el cual cumple con los supuestos establecidos, donde se usa la

frecuencia de accidentes totales como una estimativa del tránsito por las carreteras.

$$Pr_{op} = 0.908 * FTA^{-0.841} * (1.037)^{CT} * (1.178)^F * (1.319)^{Tex} * (1.267)^{IRI} * (1.099)^S * (1.234)^P * (1.050)^T$$

Donde:

- Prop* (Frecuencia accidentes por causa de la carretera)/(Frecuencia Total Accidentes)
- FTA* Frecuencia Total de Accidentes
- CT* Concepciones de la consistencia del trazado
- T* Tránsito
- P* Paseos
- S* Señales
- Tex* Textura superficial
- F* Fricción
- IRI* Índice de Regularidad Internacional

Los términos de este modelo tienen una interpretación interesante y no hay por qué pensar que en esta investigación se consideran absolutamente todos los factores que tienen que ver con las características de la carretera que pueden propiciar accidentes.

Teniendo presente que *Prop* puede considerarse como una estimación de la seguridad vial, podría hablarse de un indicador de la seguridad vial, como:

$$MSV=1/Prop$$

**Limitaciones del modelo.** Las limitaciones principales que presenta el modelo desarrollado para la evaluación de la seguridad vial son:

- Válido solamente para carreteras rurales de dos carriles
- Sólo incluye los aspectos de mayor peso en la accidentalidad

El resultado de aplicar la expresión es un valor indicativo de la seguridad vial, a partir de los parámetros que contiene; en la medida que el resultado se acerca a cero será mayor la seguridad vial con relación a los elementos relativos a la carretera, mientras que en la medida en que se aleje de cero será peor. Para la seguridad vial se realiza con la escala obtenida a partir de los percentiles, luego de

evaluar la expresión para diferentes condiciones y aplicar percentiles con relación

a los casos presentados.

**Calificación**

- MSV < 0,00011
- 0,00011 < MSV < 0,00319
- 0,00319 < MSV < 0,14741
- 0,14741 < MSV < 5,21473
- MSV > 5,21473

**Evaluación**

- Muy Buena
- Buena
- Regular
- Mala
- Muy Mala

El desarrollo del modelo para evaluar la seguridad vial, a partir de las causas de la accidentalidad en la provincia de Villa Clara, constituye el punto de partida para determinar el efecto de las medidas y acciones para atenuar la accidentalidad.

Santa Clara – Sitiecito, localizado al noroeste de la ciudad de Santa Clara, es el acceso a la capital provincial desde los municipios Cifuentes, Sagua la Grande, Quemado de Güines y Corralillo, y sostiene fuertes movimientos pendulares entre los asentamientos poblacionales con diferentes tipos de vehículos. De lo anterior se infiere la importancia social y económica del tramo propuesto a valorar (ver Figura 2).

**3.3- Aplicación del modelo a casos de estudio**

El tramo objeto de análisis es una vía de interés nacional de dos carriles, que pertenece a la carretera



**Figura 2.** Tramo Santa Clara – Hatillo

**Determinación del período de análisis.** El período de análisis para la evaluación de la seguridad vial es de enero a diciembre de 2009.

**Recopilación de la información.** Se dispone del expediente de la carretera el cual contiene las características superficiales del pavimento, aforos vehiculares, acciones de conservación realizadas en el período para la evaluación de la seguridad vial del tramo.

**Características generales del tramo objeto de estudio.** Es una carretera en terreno llano, ancho de carril y paseos mínimos, con un buen trazado en planta y perfil y altos volúmenes vehiculares caracterizados por la elevada presencia de motos, ciclos, vehículos de la construcción, agrícolas, de tracción animal y otros.

**Información sobre la geometría del trazado.** El tramo cuenta con seis curvas horizontales, con radio de curvatura entre 254,00 m y 694,00 m, con un desarrollo que representa el 7,9% de la longitud total del tramo. Su trazado en perfil muestra pendientes entre -1,30% y +3,80%.

**Información sobre las características del tránsito.** Se efectúa la actualización de los datos de tránsito durante el mes de abril con aforos de corta duración (de 6:00 am a 6:00 pm, 12 horas) y utilizando los coeficientes de expansión se determina el PAVDT que considera a todos los vehículos que transitan 3 114 vehículos/día. La composición vehicular del tramo se muestra en la Tabla 6. El factor hora pico es de 0,91.

**Tabla 6.** Composición vehicular, tramo Santa Clara - Hatillo

Tipo de vehículo		Porcentaje (%)	
Autos	Ligeros	45	45
Ómnibus	Pesados y Ómnibus	7	38
Camiones		26	
Camiones articulados		5	
Motos	Motos, ciclos, vehículos agrícolas, de la construcción, tracción animal y otros	5	17
Tracción animal		1	
Ciclos		7	
Tractores		4	

**Consistencia del trazado.** A partir de los modelos de predicción de velocidad de operación para Cuba, se evalúa la consistencia del trazado para cada condición

de alineación con la ayuda de una hoja Excel Tabla 7, Figura 3, Tabla 8 y Figura 4.

**Tabla 7.** Evaluación de la consistencia del trazado tramo Santa Clara – Hatillo. Sentido >>>

Carretera (Santa Clara - Hatillo) Dirección de Tránsito >>>											
Tramo	Alineación en Planta		Alineación en Perfil				Condición	VOP (A- B/R) (km/h)	VOP-Vd (km/h)	ΔVOP (km/h)	Longitud (m)
	Tipo	Radio (m)	Pend (%)	Estación		Lv					
				Inicial	Final						
1	recta	0	1,7	0+0.00	45+0.00		9	77,21	17,21	0,00	450
2			-0,9	45+0.00	89+0.00	80	8	87,04	27,04	9,83	440
3			1,8	89+0.00	111+5.00	80	7	79,90	19,90	7,14	225
4			2,9	111+5.00	150+0.00	120	8	84,90	24,90	5,00	385
5	curva	694	2,9	150+0.00	167+6.31	0	3	75,14	15,14	9,76	176,31
6	recta	0	2,9	167+6.31	191+0.00		9	77,21	17,21	2,07	233,69
7			2,1	191+0.00	228+5.00	40	7	82,40	22,40	5,19	375
8			-1,2	228+5.00	272+5.00	80	8	84,64	24,64	2,25	440
9			1	272+5.00	312+0.00	40	7	76,06	16,06	8,58	395
10			-0,85	312+0.00	329+0.00	40	8	82,73	22,73	6,66	170
11			-0,4	329+0.00	341+0.00	40	8	93,91	33,91	11,18	120
12			0,8	341+0.00	368+0.00	40	7	80,59	20,59	13,32	270
13			-0,46	368+0.00	371+7.18	40	8	87,36	27,36	6,77	37,18
14	curva	489	-0,46	371+7.18	382+0.00	0	5	76,36	16,36	11,00	102,82
15		489	-0,8	382+0.00	384+5.26	0	5	76,36	16,36	0,00	25,26
16	recta	0	-0,8	384+5.26	422+0.00		9	77,43	17,43	1,07	374,74
17			1,2	422+0.00	430+0.00	40	7	76,97	16,97	0,46	80
18	curva	606,54	1,2	430+0.00	440+5.86	0	3	74,85	14,85	2,12	105,86
19	recta	0	1,2	440+5.86	498+0.00		9	77,21	17,21	2,36	574,14
20			-1,1	498+0.00	518+0.00	40	8	79,05	19,05	1,84	200
21			-1,2	518+0.00	545+0.00	40	7	81,49	21,49	2,44	270
22			-2	545+0.00	570+0.00	40	8	91,03	31,03	9,54	250
23			3,8	570+0.00	608+7.74	120	7	77,33	17,33	13,71	387,74
24	curva	406,54	3,8	608+7.74	613+0.00	0	6	76,55	16,55	0,78	42,26
25		406,54	-1,1	613+0.00	622+2.49	0	6	76,55	16,55	0,00	92,49
26	recta	0	-1,1	622+2.49	627+0.00		9	77,43	17,43	0,88	47,51
27			1,2	627+0.00	632+7.16	40	7	78,23	18,23	0,80	57,16
28	curva	545,66	1,2	632+7.16	646+0.00	0	2	75,22	15,22	3,02	132,84
29	recta	0	1,2	646+0.00	673+5.00		9	77,21	17,21	1,99	275
30			-1,3	673+5.00	720+0.00	80	8	87,52	27,52	10,31	465
31	curva	254,58	-1,3	720+0.00	732+0.00	0	2	72,69	12,69	14,83	120
32	recta	0	-1,3	732+0.00	736+0.00		9	77,43	17,43	4,74	40
33			0,8	736+0.00	769+5.00	40	7	76,52	16,52	0,91	335
34			-0,4	769+5.00	789+0.00	40	8	87,84	27,84	11,32	195
35			1,3	789+0.00	803+5.00	40	7	78,33	18,33	9,51	145
36			-1,8	803+5.00	832+5.00	80	8	84,96	24,96	6,64	290
37			urb. Hatillo	0	0	832+5.00	1010+0.00	0	9	77,21	17,21

**Nota:** En color verde (ΔVOP) se muestran las consistencias del trazado evaluadas como buenas, en amarillo las evaluadas como regular y en rojo (VOP-Vd) las evaluadas como malas.

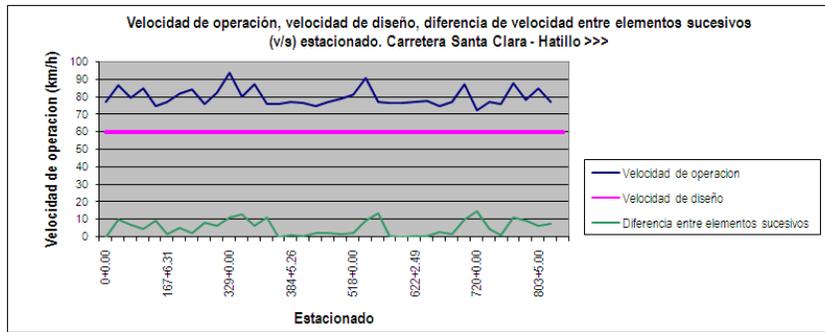


Figura 3. Consistencia del trazado. Tramo Santa Clara – Hatillo >>>

Tabla 8. Evaluación de la consistencia del trazado. Tramo Santa Clara – Hatillo. Sentido <<<

Carretera (Santa Clara - Hatillo) Dirección de tránsito <<<											
Tramo	Planta		Pendiente (%)	Perfil			Condición	VOP (A- B/R) (km/h)	VOP-Vd (km/h)	ΔVOP (km/h)	Longitud (m)
	Tipo	Radio (m)		Estación		Kv					
				Inicial	Final						
37	urb Hatillo	0	0	0+0.00	177+5.00	0	9	77,21	17,21	0,00	1775
36	recta	0	1,8	177+5.00	206+5.00		9	77,21	17,21	0,00	290
35			-1,3	206+5.00	221+0.00	0,039	8	84,96	24,96	7,75	145
34			0,4	221+0.00	240+5.00	0,043	7	78,33	18,33	6,64	195
33			-0,8	240+5.00	274+0.00	0,030	8	87,84	27,84	9,51	335
32			1,3	274+0.00	278+0.00	0,053	7	76,52	16,52	11,32	40
31	curva	254,58	1,3	278+0.00	290+0.00	0	3	71,57	11,57	4,94	120
30	recta	0	1,3	290+0.00	336+5.00		9	77,21	17,21	5,64	465
29			-1,2	336+5.00	364+0.00	0,031	8	87,52	27,52	10,31	275
28	curva	545,66	-1,2	364+0.00	377+2.84	0	3	74,58	14,58	12,94	132,84
27	recta	0	-1,2	377+2.84	383+0.00		9	77,43	17,43	2,85	57,16
26			1,1	383+0.00	387+7.51	0,043	7	78,23	18,23	0,80	47,51
25	curva	406,54	1,1	387+7.51	397+0.00	0	6	76,55	16,55	1,68	92,49
24		406,54	-3,8	397+0.00	401+2.26	0	6	76,55	16,55	0,00	42,26
23	recta	0	-3,8	401+2.26	440+0.00		9	77,43	17,43	0,88	387,74
22			2	440+0.00	465+0.00	0,048	7	77,33	17,33	0,10	250
21			1,2	465+0.00	492+0.00	0,020	8	91,03	31,03	13,71	270
20			1,1	492+0.00	512+0.00	0,025	7	81,49	21,49	9,54	200
19	curva	606,54	-1,2	512+0.00	569+4.14	0,058	8	79,05	19,05	2,44	574,14
18			-1,2	569+4.14	580+0.00	0	2	75,44	15,44	3,61	105,86
17	recta	0	-1,2	580+0.00	588+0.00		9	77,43	17,43	1,99	80
16			0,8	588+0.00	625+4.74	0,050	7	76,97	16,97	0,46	374,74
15	curva	489	0,8	625+4.74	628+0.00	0	5	76,36	16,36	0,61	25,26
14		489	0,46	628+0.00	638+2.82	0	5	76,36	16,36	0,00	102,82
13	recta	0	0,46	638+2.82	642+0.00		9	77,21	17,21	0,85	37,18
12			-0,8	642+0.00	669+0.00	0,032	8	87,36	27,36	10,15	270
11			0,4	669+0.00	681+0.00	0,030	7	80,59	20,59	6,77	120
10			0,85	681+0.00	698+0.00	0,011	8	93,91	33,91	13,32	170
9			-1	698+0.00	737+5.00	0,046	8	82,73	22,73	11,18	395
8			1,2	737+5.00	781+5.00	0,055	7	76,06	16,06	6,66	440
7			-2,1	781+5.00	819+0.00	0,040	8	84,64	24,64	8,58	375
6			-2,9	819+0.00	842+3.69	0,020	7	82,40	22,40	2,25	233,69
5	curva	694	-2,9	842+3.69	860+0.00	0	2	75,69	15,69	6,70	176,31
4	recta	0	-2,9	860+0.00	898+5.00		9	77,43	17,43	1,74	385
3			-1,8	898+5.00	921+0.00	0,039	8	84,90	24,90	7,47	225
2			0,9	921+0.00	965+0.00	0,034	7	79,90	19,90	5,00	440
1			-1,7	965+0.00	1010+0.00	0,033	8	87,04	27,04	7,14	450

Nota: En color verde (ΔVOP) se muestran las consistencias del trazado evaluadas como buenas, en amarillo las evaluadas como regular y en rojo (VOP-Vd) las evaluadas como malas.

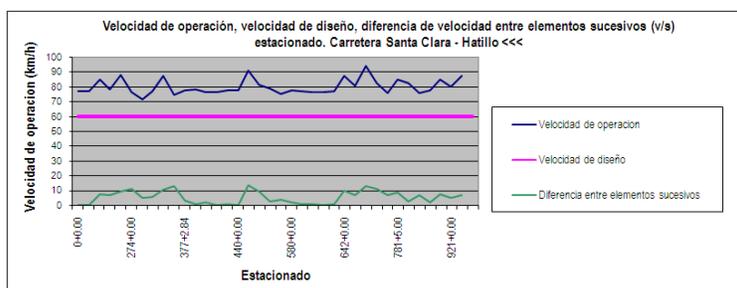


Figura 4. Consistencia del trazado. Tramo Santa Clara – Hatillo <<<<

Es significativo destacar que existen en ambos sentidos 27 puntos de inconsistencia en el trazado, donde las características que espera encontrar el conductor no coinciden con las que ofrece la carretera. De ellas, siete puntos son inconsistentes al exceder la diferencia de velocidad establecida simultáneamente para la diferencia entre velocidad de operación ( $V_{OP}$ ) y diseño ( $V_d$ ), y entre velocidades de operación para elementos consecutivos. Los otros 20

puntos son inconsistentes por no cumplir uno de los requisitos, a los que se deben prestar atención. La evaluación de la consistencia del trazado general para el tramo es el promedio de los resultados para la diferencia entre la velocidad de operación y diseño y la diferencia de velocidades de operación entre elementos consecutivos, el valor para ambos sentidos es 5,57 puntos (Tabla 9).

Tabla 9. Evaluación Santa Clara – Hatillo

Concepto	Resultado (km/h)	Evaluación	Calificación
<b>Dirección de tránsito &gt;&gt;&gt;</b>			
$V_{OP}-V_d$	11,42	Regular	5,16
$\Delta V_{OP}$	10,74	Regular	
<b>Dirección de tránsito &lt;&lt;&lt;</b>			
$V_{OP}-V_d$	12,03	Regular	5,99
$\Delta V_{OP}$	6,66	Buena	
<b>Ambos sentidos</b>			
$V_{OP}-V_d$	11,73	Regular	5,57
$\Delta V_{OP}$	8,70	Buena	

**Evaluación del tránsito.** Se emplea el programa computacional HCS 2000 para determinar el nivel de servicio al cual opera el tramo, para evaluar la calidad del servicio que presta la carretera el cual es “C”. No es posible relacionar el nivel de servicio con la accidentalidad general del tramo conociendo la frecuencia de accidentes (10); para evaluar el tránsito se valora el nivel de servicio y la presencia de motos, ciclos, vehículos agrícolas, de la construcción, tracción animal y otros; lo que analizado porcentualmente su calificación es de 2,10.

**Evaluación de los paseos.** Luego de aplicar el procedimiento basado en inspección visual establecido por el Centro Nacional de Vialidad, los paseos obtienen una calificación de 8,91.

**Evaluación de las señales.** No existen señales horizontales y las verticales se califican con 2,39, para una calificación general de 1,19, luego de aplicar el

procedimiento establecido por el Centro Nacional de Vialidad conocido como índice de estado.

**Evaluación del IRI.** La evaluación de este parámetro de explotación se realiza en 25 secciones con el Merlín, su resultado es de 4,04 mm/m, una dispersión de 0,5316 mm/m, para un valor característico del tramo de 4,91 mm/m y una calificación de 3,9.

**Evaluación de la textura.** Se realizan ensayos con el marco de textura portátil en toda lo longitud del tramo un total de 100 y se obtiene un valor medio de 0,04 cm, una dispersión de 0,0031 cm para un valor característico del tramo de 0,03 cm lo que equivale a una calificación de 1,8.

**Evaluación de la fricción.** La determinación de la fricción con el péndulo de fricción se realiza en los mismos lugares que la textura por lo que coincide la cantidad de ensayos, el valor medio obtenido es de 0,25 y la dispersión de 0,0251, para un valor

característico del tramo de 0,20 lo que es calificado de 1,3 y evaluado como malo.

**Evaluación integral de seguridad vial.** Una vez obtenidos los resultados de las evaluaciones individuales de las variables de mayor incidencia en la accidentalidad vehicular para la provincia de Villa Clara, se aplica la expresión desarrollada y su resultado es 0,11649, para una evaluación de regular.

**Medidas o regulaciones sobre el tránsito.** Luego de un análisis exhaustivo, se comprueba que no existe la posibilidad de proponer medidas o regulaciones del tránsito que disminuyan el volumen o la composición vehicular del tramo.

**Acciones de conservación.** En el caso específico se propone mejorar del estado de los paseos y las señales, con recrecimiento de los paseos y completamiento de la señalización vertical y horizontal; sobre las características superficiales del pavimento se acciona sobre el IRI, la textura y la fricción, mediante la repavimentación de todo el tramo. Estas acciones de conservación realizadas en el tramo objeto de estudio permiten incrementar al máximo de puntuación en cada una de las evaluaciones, ver Tabla 10.

La evaluación de la seguridad para este caso cuando se emplea el modelo para la evaluación de la seguridad vial desarrollado es de 0,00031, para una evaluación de buena, se destaca el efecto negativo en la seguridad del estado de los elementos y las características superficiales del pavimento.

**Análisis de alternativas y toma de decisiones.** En el caso que se estudia se han propuesto dos alternativas: la primera es la evaluación real del tramo que presenta problemas con la seguridad y la segunda parte del supuesto de que por acciones de conservación se mejora el estado de los elementos de la carretera y las características superficiales del pavimento. Este valor obtenido de seguridad vial indica que las acciones realizadas son efectivas y elevan la seguridad vial del tramo al ser comparada con la evaluación antes de realizar las acciones.

Es necesario destacar que la valoración realizada sirvió de base para fundamentar, ante los administradores analíticamente, las acciones que se desarrollaron posteriormente en el tramo; los beneficios no se han hecho esperar y hasta la fecha el tramo ha reducido su accidentalidad.

**Tabla 10.** Resumen de las evaluaciones realizadas en el tramo Santa Clara – Hatillo

Elemento evaluado		Calificación	Evaluación
Trazado	Consistencia del trazado	5,57	Regular
Tránsito	Tránsito	2,10	Malo
Estado de los elementos	Paseos	10,00	Excelente
	Señales	10,00	Excelente
Características superficiales del pavimento	IRI	10,00	Excelente
	Textura	10,00	Excelente
	Fricción	10,00	Excelente

**CONCLUSIONES**

- Un aspecto novedoso es la realización de los análisis desarrollados en tres partes, a partir de los modelos de reportes de accidentes, visitas al terreno, encuestas y entrevistas, al integrar los estudios que contribuyen a determinar el peso de las variables en la accidentalidad, lo que contribuye a la seguridad vial.
- Además se logra determinar el peso de las variables que intervienen en la accidentalidad relacionadas con la carretera, luego de realizar los tres análisis comentados con anterioridad, lo que permite conocer las causas de la accidentalidad.
- Se establece la participación en la accidentalidad de los elementos componentes

del sistema de seguridad vial y la interrelación entre ellos, los que no difieren en orden de las consultadas aunque sí en las proporciones.

- Se desarrolla el modelo de comportamiento de la seguridad vial a partir de las causales de la accidentalidad, el cual responde a las características del territorio considerando elementos relativos al diseño geométrico, el tránsito, el estado de elementos y las características superficiales del pavimento de las carreteras.
- Los resultados de evaluación de la seguridad vial, aplicando el modelo de comportamiento de la seguridad vial en diferentes tramos de carreteras de la provincia de Villa Clara, están acorde a la realidad de la accidentalidad, obteniendo de esta forma una evaluación que

permite valorar el estado de la seguridad vial en el territorio, además de ordenar lo que

determina e influye en la gestión de conservación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Alba M. (2008) *Metodología para el tratamiento de los emplazamientos con alta concentración de accidentes en vías urbanas*. Tesis de doctorado. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE. Ciudad Habana, Cuba.

Crespo R. (2000) *Desarrollo de la accidentalidad en Cuba*. Medias de Control.

Departamento de Seguridad Vial (2006) *Análisis estadística accidentes Chile*. Dirección de vialidad. MOP. Chile.

Dourthé A. y Salamanca J. (2003) *Guía para realizar una Auditoría de Seguridad Vial*. Comisión Nacional de seguridad Tránsito (CONASET). Chile. 163 p.

Mikulík J., Holló P., Degener S., Mdawarima T. W. M., Kowalsky K., Elsenaar P. M. W. (2007). *Road accident investigation guidelines for road engineers*. Technical Committee 3.1, Road Safety. PIARC, August. 56 p.

Ogden K. (1996) *Safer roads: A guide to road safety engineering*. Institute of Transport Studies. Department of Civil Engineering. Monash University. Melbourne, Australia. 516 p.

PIARC (2003) *Road Safety Manual*, World Road Association.

Rumar K. (1999) *Components of traffic safety*. United Nations/Nations Units: workshop on traffic safety, Sept 28-Oct 4, 1987, Linköping, Sweden.

Sabey B. E. y Staughton G. (1979) *Interacting roles of road environment, vehicle and road user in accidents*. 5th International Conference of the International Association for Accident and Traffic Medicine. London, England.

Treat J. R., Tumbas N. S., McDonald S. T., Shinar D., Hume R. D., Mayer R. E., Stansifer R. L., Castellan N. J. (1979) *Tri-level study of the causes of traffic accidents*: Final report. Indiana University, Bloomington. Institute for Research in Public Safety [Report No. DOT-HS-034-3-535-79-TAC]. Washington, DC. USA.

UPTC (2006) *Accidentalidad, plan nacional de seguridad vial. Estrategias y acciones*. Antecedentes de la accidentalidad en Colombia. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

---

Este documento debe citarse como: García Depestre, R. A., Delgado Martínez, D. E., Díaz García, E. E. (2012). **Seguridad vial en carreteras rurales de dos carriles. Provincia de Villa Clara, Cuba**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 16-1, pp 21-32, ISSN 1665-529-X.