

# Modelos de perfil de velocidad para evaluación de consistencia del trazado en carreteras de la provincia de Villa Clara, Cuba

## Speed profile models for evaluation of design consistency in road of the province of Villa Clara, Cuba

René A. García Depestre<sup>1\*</sup>, Domingo E. Delgado Martínez\*, Eduardo E. Díaz García\*\*

\* Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara. CUBA

\*\* Instituto Superior Politécnico José A. Echevarría (ISPJAE). CUBA

Fecha de Recepción: 25/04/2011

Fecha de Aceptación: 20/01/2012

PAG 71 - 82

### Resumen

Entre los aspectos relativos a la carretera que influyen en la accidentalidad, tiene un gran peso el diseño geométrico, internacionalmente el método más empleado para la evaluación del diseño es a partir de la consistencia del trazado con modelos de perfil de velocidades de operación. Cuba no cuenta con modelos propios que consideren las características de las carreteras y los conductores, por lo que es necesario desarrollar modelos de predicción de velocidades para la evaluación de la consistencia del trazado. El desarrollo de modelos de predicción del perfil de velocidades de operación para diferentes condiciones de alineación en carreteras rurales de dos carriles en el contexto de Cuba, se efectúa a partir de características geométricas y velocidades puntuales, con análisis estadístico de las principales variables que relacionan la velocidad con el diseño. Una vez desarrollados los modelos, se aplican a un tramo de carretera declarado como tramo de concentración de accidentes (TCA) de la provincia de Villa Clara localizada en la región central de Cuba, los resultados obtenidos confirman la validez de los modelos desarrollados para determinar los perfiles de velocidad de operación y de esta forma, evaluar la consistencia del trazado, con el objetivo de detectar los lugares de mayores dificultades con relación al trazado.

**Palabras Clave:** Diseño geométrico, evaluación, consistencia del trazado, modelos de perfil de velocidad

### Abstract

*Among the aspects that influence road accidents, geometric design is the most relevant. The most used method for evaluating the design all over the world is based on the design consistency with speed profile models of operation. Cuba does not have proprietary models that consider the characteristics of the roads and drivers, so it is necessary to develop predictive models for the evaluation of design consistency. The development of operating speed profile prediction models for different alignment conditions on rural roads with two lanes in the context of Cuba is made from the geometric characteristics and point speeds with statistical analysis of the main variables related with the operating speed. Once models are developed they are applied to a section of road designated as an accident concentration section (TCA) of the province of Villa Clara located in central Cuba, these results confirm the validity of the models developed to determine the operating speeds, thus evaluating the design consistency, with the aim of detecting the locations of greater difficulties with respect to the geometric design.*

**Keywords:** Geometric design, evaluation, design consistency, speed profile models

## 1. Introducción

En Cuba la accidentalidad vehicular tiene una mayor concentración en las zonas urbanas, con el desplazamiento hacia las zonas rurales de la severidad (Martínez, 2000). Como causa fundamental de estos accidentes, se reconoce el predominio del factor humano (Albentosa, 2006), aunque las características geométricas del trazado influyen en la accidentalidad vehicular.

Las causas de la accidentalidad relativas a la carretera en Cuba son superiores a las reportadas en otros países, por razones vinculadas al trazado, condiciones actuales del estado de los elementos que la componen y las características superficiales del pavimento (García, 2010).

Actualmente existe una fuerte tendencia internacional a evaluar la seguridad vial a partir de la consistencia del trazado. La misma, se define como, la relación entre las características geométricas del trazado de la carretera y las que espera encontrar el conductor de un vehículo que circula por ella (Leisch y Leisch, 1977).

## 1. Introduction

*In Cuba the accident rate is mainly concentrated in urban areas. The predominance of human factor is recognized as the primary reason for accidents (Albentosa, 2006), although the roads geometric characteristics also influence the accident rate.*

*In Cuba the causes of accident rate related to highways are higher than the ones reported in other countries, due to roads conditions, present status of elements comprising them and the pavement surface characteristics (García, 2010).*

*Presently there is a strong worldwide tendency to evaluate road safety based on road consistency. This is defined as the relationship between the road geometrical characteristics and the ones expected by the driver travelling on a roadway (Leisch and Leisch, 1977).*

<sup>1</sup> Autor de correspondencia / Corresponding author:  
E-mail: [renegd@uclv.edu.cu](mailto:renegd@uclv.edu.cu)



Diversos autores han propuesto modelos que permiten determinar el perfil de velocidades de operación en carreteras de dos carriles, algunos se muestran en la Tabla 1.

Several researchers have proposed models allowing the determination of operating speed profiles on two-lane highways. Some of them are listed on Table 1.

**Tabla 1.** Expresiones para estimar la velocidad de operación  
**Table 1.** Expressions to estimate operating speed

| Autor (es)/ Researcher (s)   | Expresión/ Expression  | Año/ Year  | País/ Country  |
|--|--|--|----------------|
| Lamm y Choveiri  | $V_{85}=95,78-0,076CCR$<br>$V_{85}=96,152-0,302GC$   | 1987   | EE. UU./USA    |
| Lamm et al.  | $V_{85}=94,398-3188,656/R$   | 1990   | EE. UU./ USA   |
| Kanellaidis et al.   | $V_{85}=129,88-623,1/(\sqrt{R})$   | 1990   | Grecia/ Greece |
| Morrall y Talarico   | $V_{85}=\exp(4,561-0,0058GC)$  | 1994   | Canadá/ Canada |
| Islam y Seneviratne  | $V_{85\text{ PC}}=95,41-0,45GC-0,001GC^2$<br>$V_{85\text{ PI}}=103,03-0,73GC-0,003GC^2$<br>$V_{85\text{ PM}}=96,11-0,32GC$ | 1994   | EE. UU./ USA   |
| Krammes et al.   | $V_{85}=102,44-2471,81/R+0,012Lc-0,10\Delta$   | 1995   | EE. UU./ USA   |
| Voigt  | $V_{85}=99,61-2951,37/R+0,014Lc-0,13\Delta-71,82e$   | 1996   | EE. UU./ USA   |
| McFadden y Elefteriadou  | $V_{85\text{reduc}}=-14,90+0,144*V_{85@PC200}+0,0153*Lr+954,55/R$<br>$V_{85\text{reduc}}=-0,812+0,0017*Lr+998,19/R$        | 2000   | EE. UU./ USA   |
| Gibreel et al.   | $V_{85}=102,2-0,10\Delta$  | 2001   | Canadá/ Canada |
| Misaghi y Hassan   | $V_{85}=91,85+9,81\times 10^{-3}R$<br>$V_{85}=94,30+8,67\times 10^{-6}R^2$   | 2005   | EE. UU./ USA   |
| Castro   | $V_{85}=120,16-5596,72/R$  | 2005   | España/ Spain  |
| Fitzpatrick et al.   | Varias expresiones, según la pendiente/ <i>Several expressions in according to the slope</i>                               | 2000   | EE. UU./ USA   |
| $V_{85}$ - velocidad de operación en un punto (km/h)/ <i>operating speed at a given point (km/hr)</i><br>CCR - tasa de cambio de curvatura/ <i>curvature exchange rate</i><br>GC - grado de curvatura/ <i>curvature degree</i><br>R - radio (m)/radius (m)<br>Lc - longitud de la curva (m)/ <i>curve length (m)</i> |  | $\Delta$ - ángulo total girado (°)/ <i>total angle turn (°)</i><br>e - tasa de peralte (m/m)/ <i>cant rate (m/m)</i><br>Lr - longitud de la curva circular (m)/ <i>circular curve length (m)</i><br>$V_{85@PC200}$ - velocidad de operación a 200 m del punto de comienzo de la curva (km/h)/ <i>operating speed at 200 from the curve beginning point</i> |                |

La experiencia sobre análisis de consistencia del trazado en Cuba, desarrollada en la Universidad Central de Las Villas (UCLV), con el empleo de las expresiones de Fitzpatrick et al. (2000) contenidas en el programa computacional IHSDM 2004 (Interactive Highway Safety Design Model), constata la inconsistencia del trazado en un alto porcentaje de la longitud de los tramos, por diferencia entre la velocidad de diseño y de operación. Debido a que los modelos empleados en el análisis fueron obtenidos para otras condiciones y no reflejan la realidad de la velocidad de operación en carreteras de Villa Clara (Raoul 2009).

A partir de la problemática comentada y considerar que el porcentaje de las vías de interés nacional rurales de dos carriles representa el 71,6% del total en la provincia de Villa Clara, además de los elevados índices de accidentalidad y severidad, se determina desarrollar modelos de predicción del perfil de velocidades para este tipo de carreteras rurales con el objetivo de evaluar la consistencia del trazado.

*The experience of roads consistency assessment in Cuba, developed by the Universidad Central de Las Villas (UCLV) by means of expressions by Fitzpatrick et al., (2000) included in the IHSDM 2004 (Interactive Highway Safety Design Model) proves the roads inconsistency for a high percentage of segments lengths; due to differences between speed design and operation design. Above, because models employed in this assessment were obtained for another conditions and they do not reflect the real operating speed in Villa Clara's highways (Raoul 2009).*

*Based on this situation and considering that the percentages of national interest two-lane rural roads represent a 71.6% of total Villa Clara province, in addition to the high accident and severity rates, it was decided to develop speed predictive models for these kind of rural highways in order to evaluate the roads consistency.*

## 2. Desarrollo

El procedimiento general seguido en la investigación consta de dos etapas. La primera consiste en el análisis bibliográfico y determinación de los modelos de perfil de velocidad. En la segunda etapa se evalúa la consistencia del trazado, en tramos de vías de interés nacional rurales de dos carriles. Estas etapas incluyen los siguientes aspectos:

### Determinación de los modelos de perfil de velocidad

- Análisis de las carreteras del territorio
- Definición de parámetros fijos que se deben investigar
- Determinación de los sitios seleccionados
- Completamiento de la información en el terreno
- Trabajo de campo en los sitios seleccionados
- Desarrollo de los modelos de predicción del perfil de velocidad

### Evaluación de la consistencia del trazado

- Comprobación de los modelos de desarrollados
- Evaluación de la consistencia del trazado
- Análisis de los resultados de la evaluación de la consistencia

### Determinación de los modelos de perfil de velocidad

- **Análisis de las carreteras del territorio.** Un alto porcentaje de la cantidad de vehículos en el país se desplaza por carreteras pavimentadas y dentro estas las declaradas como de interés nacional, las longitudes de este tipo de vías en la provincia de Villa Clara es de 1 264,49 km, de ellas son carreteras rurales de interés nacional 1 008,10 km, y asciende a 905,10 km las rurales de dos carriles, incluidas en ellas 63,68 km de carreteras de montaña.

Los modelos de perfil de velocidades de operación se determinan en función de las múltiples combinaciones de alineamiento en planta y perfil, dependiente de la categoría, tipo de terreno y criterios de diseño que establece la norma NC 53 02 1986.

Las combinaciones de alineación existentes en las carreteras que en lo adelante se denominan 'condición', se determinan a partir del análisis de los expedientes e inventarios de las carreteras en los archivos de las entidades rectoras de la vialidad, Centro Provincial de Vialidad (CPV) y Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito (CPIT). Lo que fue corroborado en recorridos por la totalidad de las carreteras objeto de estudio.

Las condiciones de alineamientos que existen en las carreteras de la provincia, se determinan a partir de la NC 53 02 1986, en los recorridos antes mencionados y de las experiencias de otros investigadores (Fitzpatrick et al., 2000). Estas condiciones se pueden agrupar en: curva horizontal en pendiente (-9% a -4%), curva horizontal en pendiente (-4% a 0%), curva horizontal en rampa. (0% a 4%), curva horizontal en rampa (4% a 9%), curva horizontal con acuerdo convexo, curva horizontal con acuerdo cóncavo; recta con acuerdo convexo y recta con acuerdo cóncavo y recta en pendiente o en rampa.

## 2. Development

*The general procedure followed in this research is divided into two stages. The first consists of a bibliographic analysis and the determination of speed profile models. The second stage evaluates the roads consistency for national interest two-lane rural roads. These stages include the following aspects:*

### Determination of speed profile models

- *Assessment of highways within the territory*
- *Definition of fixed parameters to be researched*
- *Determination of selected sites*
- *Complementation of information obtained in the field*
- *Field work carried out in selected locations*
- *Development of speed predictive models*

### Roads consistency evaluation

- *Developed models cross-check*
- *Roads consistency assessment*
- *Analysis of results obtained by the consistency assessment*

### Determination of speed profile models

- **Analysis of highways within the territory.** *A high percentage of vehicles travel on asphalt highways, among them those declared as national interest highways, having a length of 1,264.49 km in the Villa Clara province. Out of them 1,008.10 km are national interest rural highways and 905.10 km correspond to two-lane rural highways, which include 63.68 km of mountainous highways.*

*The operating speed profile models are determined as function of multiple combinations of ground plant and cross section alignments, depending on the category, type of ground and design criteria established by regulation NC 53 02 1986.*

*The alignment combination existing on highways, hereafter designated as "conditions" are determined from the analysis of highways records and inventories filed by the roads governing entities, such as Road Provincial Center (CPV) and the Traffic Engineering Provincial Center (CPIT). Above was fully proven by travelling across highways under study.*

*Alignment conditions existing on highways of the province are determined by means of regulation NC 53 02 1986, from abovementioned segments and from experiences developed by other researchers (Fitzpatrick et al., 2000). These conditions are grouped into horizontal curve with slope (-9% to -4%), horizontal curve with slope (-4% to 0%), horizontal curve with ramp (0% to 4%), horizontal curve with ramp (4% to 9%), horizontal curve with crest horizontal curves; sag horizontal curves, crest horizontal straight-line, sag horizontal straight-line and, straight-line segment on a slope or ramp.*

- **Definición de parámetros fijos que se deben investigar.** Los parámetros fijos de las carreteras son los aspectos que no varían con el tiempo sin acciones de conservación. Los más significativos, con respecto a las características geométricas, son la pendiente y el radio de curvatura horizontal, que se determinan en los sitios seleccionados. Se considera 'sitio' a la agrupación de una o varias curvas de características geométricas similares de la misma condición, ya sea curva horizontal, vertical o la combinación (Fitzpatrick et al., 2000).

Los criterios generales utilizados para seleccionar los sitios son: zona rural, clasificación funcional arterial menor, velocidad de diseño, límite de velocidad entre 50 y 90 km/h, terreno llano y ondulado, volúmenes de tráfico entre 100 y 4000 vehículos/día, ancho de calzada entre 2,75 y 3,75 metros, longitud de curvas horizontales sin restricción y longitud de curvas verticales entre 40 y 320 metros. Estos parámetros fueron seleccionados por que representan las características más comunes de las carreteras rurales del territorio.

- **Determinación de los sitios seleccionados.** La selección de los sitios se realiza a partir de los elementos que contrarrestan el efecto de la fuerza centrífuga en las curvas horizontales (peralte, fricción transversal y radio horizontal) las que depende de la velocidad en curvas horizontales (Fórmula 1).

$$R_c = \frac{V^2}{127.14 * (e + \mu)} \quad (1)$$

Donde:

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| e     | tasa de peralte (m/m)           |
| $\mu$ | coeficiente de fricción lateral |
| V     | velocidad del vehículo (km/h)   |
| $R_c$ | radio de curvatura (m)          |

Where:

|       |                              |
|-------|------------------------------|
| e     | cant rate (m/m)              |
| $\mu$ | coefficient of side friction |
| V     | vehicle speed                |
| $R_c$ | curvature radius (m/m)       |

Se determinan intervalos de radios a partir de la categoría de la carretera y el tipo de terreno, posteriormente se define la cantidad de sitios a partir de la consideración, que valores de velocidad que no superen los valores asumidos para la dispersión de  $\pm 2,5$  km/h.

En la Tabla 2 se muestran los sitios obtenidos a partir del análisis de la Fórmula 1, en función del radio de las curvas horizontales para cada condición de alineación existente.

Radiuses intervals are determined based on the highway category and ground type. Afterwards the amount of sites is defined by considering that speed values dot not exceed dispersion values, which were assumed in  $\pm 2.5$  km/hr.

Table 2 shows the sites obtained from analysis in Formula 1, as function of horizontal curves radius for each existing alignment condition.

**Tabla 2.** Cantidad de sitios  
**Table 2.** Number of sites

| Radio/ Radius | Intervalo de radios (unidad de medida en metros)/ Radiuses Intervals (measurement unit in meters) |                                     |           |            |
|---------------|---|-------------------------------------|-----------|------------|
|               | < 75  | 75 – 210                            | 211 - 500 | > 501      |
| Sitios/ Sites | < de 75   | 75 – 131                            | 211 - 277 | 501 - 535  |
|               |   | 131 – 159                           | 277 - 318 | 535 - 591  |
|               |   | 159 – 185                           | 318 - 366 | 591 - 647  |
|               |   | 185 – 210                           | 366 - 413 | 647 - 710  |
|               |   |                                     | 413 - 458 | 710 - 782  |
|               |   |                                     | 458 - 500 | 782 – 869  |
|               |   |                                     | 869 - 995 | 995 - 1067 |
|               |   |                                     | >1067     |            |
|               |   | Total de sitios/ Total sites amount | 1         | 4          |

En el caso de las curvas verticales se parte de la diferencia algebraica de pendientes, lo que está condicionado si se localiza la curva en cima o depresión, para el caso convexo o cóncavo, lo que define dos sitios uno para cada condición.

Una vez establecido los intervalos de radios para cada sitio, es necesario determinar la cantidad existente por condición y cuales son necesarios para el desarrollo de los modelos. El cálculo del número de muestras se realiza utilizando la Fórmula 2, que es recomendable utilizar cuando se conoce el tamaño de la población.

$$n = \frac{Z^2 pqN}{NE^2 + Z^2 pq} \quad (2)$$

Donde:

n tamaño de la muestra  
Z nivel de confianza  
p variabilidad positiva  
q variabilidad negativa  
N tamaño de la población  
E precisión o error

Where:

n sample size  
Z confidence level  
p positive variability  
q negative variability  
N population size  
E accuracy or error

La cantidad de sitios en las carreteras rurales de dos carriles se obtiene a partir del análisis en detalle de este tipo de carreteras en la provincia de Villa Clara, donde están representadas todas las combinaciones de alineación. Posteriormente se definen los sitios donde se validan los modelos. Para la determinación del número de sitios necesarios para el desarrollo de los modelos de predicción de la velocidad de operación, se aplica la expresión 2 pues se dispone del número total de sitios existentes en las carreteras rurales analizadas por condición e intervalo de los radios. Los resultados muestran en la Tabla 3.

The amount of sites in two-lane rural highways is obtained from a detailed analysis on these kinds of highways in Villa Clara province, where all alignment combinations are present. Afterwards, sites are defined where models are validated. In order to determinate the number of sites required for the development of operating speed predictive models Expression 2 is applied, because the total number of existing sites in the studied rural highways is available per condition and interval radiuses. Results are shown in Table 3.

**Tabla 3.** Matriz de sitios deseados

**Table 3.** Matrix of desired sites

| Condiciones/<br>Conditions | Rango de radios (unidad de medida en metros)/ Radiuses Range (measurement unit in meters) |          |          |       |          | Tangente/ Tangent | Total |
|----------------------------|---|----------|----------|-------|----------|-------------------|-------|
|                            | > 500   | 500-211  | 210-75   | <.75) |          |                   |       |
| 1                          | 2\2\2   | 4\4\4    | 1\1\1    | 0\0\0 | -        | 7\7\7             |       |
| 2                          | 6\6\6   | 8\7\8    | 4\4\4    | 0\0\0 | -        | 18\17\18          |       |
| 3                          | 6\6\6   | 8\7\8    | 4\4\4    | 0\0\0 | -        | 18\17\18          |       |
| 4                          | 5\5\5   | 4\4\4    | 1\1\1    | 0\0\0 | -        | 10\10\10          |       |
| 5                          | 6\6\6   | 4\4\4    | 2\2\2    | 0\0\0 | -        | 12\12\12          |       |
| 6                          | 2\2\2   | 7\6\7    | 0\0\0    | 0\0\0 | -        | 9\8\9             |       |
| 7                          | -   | -        | -        | -     | 8\7\8    | 8\7\8             |       |
| 8                          | -   | -        | -        | -     | 9\8\9    | 9\8\9             |       |
| Total                      | 27\27\27  | 35\32\35 | 12\12\12 | 0\0\0 | 17\15\17 | 91\86\91          |       |

Donde: Número existente de sitios \ número real de sitios para el desarrollo de modelos \ número de sitios para la validación de los modelos.  
Where: number of existing sites / actual number of sites for the development of models / number of sites for validating the models

La determinación del número de muestras de velocidad puntual que se analiza en cada sitio sujeto a estudio para calcular la velocidad de operación, se obtiene de aplicar la expresión (Radelat, 2003) que se utiliza cuando no se conoce el tamaño de la población, el resultado obtenido a partir del parámetro de distribución normal, la desviación estándar asumida y el error en las mediciones es de 23 muestras.

The determination of specific speed samples number analyzed for every single site under study, in order to calculate operating speed, is obtained by Expression 3 (Radelat, 2003), which is used when the population size is unknown. The result obtained from the normal distribution parameter, assumed standard variation and the error delivered by measurements is 23 samples.

- **Completamiento de la información en el terreno.** El completamiento de los datos necesarios para el desarrollo de los modelos de predicción de velocidad de operación se efectúa mediante mediciones directas en el terreno de la pendiente longitudinal y los radios de curvas horizontales, en caso de no disponer de la información en los archivos del CPV y el CPIT o si existen dudas sobre la confiabilidad de los mismos.
- **Trabajo de campo en los sitios seleccionados.** La toma de muestras de velocidad se realiza a automóviles ligeros que transiten a flujo libre, durante el día, en pavimento seco y en buen estado, con el empleo de pistola láser. Los estudios de velocidad deben ser realizados en el lugar de la curva donde se propicia un aumento de la velocidad de operación (Fitzpatrick et al., 2000). Según los estudios realizados estos lugares están localizados en el centro para curvas horizontales y curvas verticales.
- **Desarrollo de los modelos de predicción del perfil de velocidad.** Concluida las mediciones o comprobaciones de los parámetros fijos y las mediciones de velocidad, se prueba la normalidad, homogeneidad y la independencia de los grupos de datos, para realizar una prueba paramétrica y análisis de varianza.
- **Completion of information obtained in the field.** Data completion required for the elaboration of operating speed predictive models is carried out by means of direct measurements taken from the longitudinal slope field and the horizontal curves radiuses, in case of lacking of information on CPV and CPIT files or when there are doubts about the information reliability.
- **Field work carried out in selected sites.** Speed samples are taken from free-flow travelling light weight vehicles, at day, on dry and well conditions asphalts by using a laser gun. Speed studies shall be developed at the curve site where the operating speed is increased (Fitzpatrick et al., 2000). According to developed studies, these sites are located in the centerline of horizontal curves and vertical curves.
- **Development of speed predictive models.** Once measurements and checking of fixed parameters and speed are completed, the normality, homogeneity and independency of data groups are tested in order to conduct a parametric test and variance analysis.

Se procede a determinar la velocidad de operación, para ello se dispone de dos variables por sitios (radio y velocidad), que se emplean en el desarrollo de los modelos.

Los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para carreteras rurales de dos carriles se obtienen con la aplicación de técnicas de regresión. El procesamiento estadístico de las variables analizadas se realiza con el programa SPSS 16.0.1.

En el desarrollo de los modelos se trabajan regresiones logarítmica, exponencial y lineal, con varias variables. Los modelos de mejor ajuste son los lineales que relacionan la velocidad y el radio para las curvas horizontales (condiciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6). Se introduce como única variable independiente el inverso del radio en el caso específico de las curvas horizontales, y para el caso de las curvas verticales se toma la diferencia algebraica de pendientes.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de las pruebas estadísticas, obtenidos para las variables utilizadas (inverso del radio, diferencia algebraica de pendiente y la velocidad de operación), no existe auto correlación, multicolinealidad y niveles de significación menores de 0,05, con ajuste de curvas superiores a 0,693 por lo que se puede afirmar que los modelos tienen calidad.

Now the operating speed is calculated by considering two variables per sites (radius and speed), which are employed for models development.

Operating speed prediction profiles for two-lane rural highways are obtained by the application of regression techniques. The statistical processing of the variables employed is developed by the SPSS 16.0.1 software.

Models development considers logarithmic, exponential and linear regressions including several variables. The most fitted models are the linear ones that relate speed and radius for horizontal curves (1, 2, 3, 4, 5, and 6). As unique independent variable, the inverse radius was introduced in the specific case of horizontal curves and, for the case of horizontal curves the slopes algebraic difference was considered.

Table 4 shows the results from statistical tests, obtained by employed variables (inverse radius, slope algebraic difference and operating speed). There are no self-correlation, multiple co-linearity and significance levels lower than 0.05, with adjustments of curves higher than 0.693; therefore, it can be concluded that these are high quality models.

**Tabla 4.** Resumen de pruebas estadísticas**Table 4.** Statistical tests summary

| No | Condición/ Condition  | R <sup>2</sup> | d     | i <sub>c</sub> | Significación constante/<br>Constant Significance |       |
|----|---|----------------|-------|----------------|---|-------|
|    |   |                |       |                | 1/R   | kv    |
| 1  | Curva horizontal en pendiente/ Horizontal curve with slope (-9% -4%)  | 0,833          | 1,786 | 5,691          | 0,004   | -     |
| 2  | Curva horizontal en pendiente/ Horizontal curve with slope (-4% - 0%) | 0,766          | 1,995 | 3,194          | 0,000   | -     |
| 3  | Curva horizontal en rampa/ Horizontal curve with ramp (0% - 4%)       | 0,851          | 2,108 | 3,194          | 0,000   | -     |
| 4  | Curva horizontal en rampa/ Horizontal curve with ramp (4% - 9%)       | 0,706          | 2,160 | 4,484          | 0,002   | -     |
| 5  | Curva horizontal con acuerdo convexo/ Crest horizontal curves         | 0,733          | 2,015 | 3,257          | 0,000   | -     |
| 6  | Curva horizontal con acuerdo cóncavo/ Sag horizontal curves           | 0,772          | 2,027 | 5,171          | 0,002   | -     |
| 7  | Recta con acuerdo convexo/ Crest horizontal straight-line             | 0,799          | 2,106 | 5,742          | -   | 0,003 |
| 8  | Recta con acuerdo cóncavo/ Sag horizontal straight-line               | 0,693          | 1,859 | 6,178          | -   | 0,005 |

A partir de verificar los resultados estadísticos y la calidad de los modelos se establece la ecuación para cada condición así como el número de sitio en que se realizaron los estudios para el desarrollo de los mismos mostrándose dicho resultado en la Tabla 5.

From the verification of statistical results and models quality, the equation for each condition is established as well as the number of sites where tests were applied for models development. The results are shown in Table 5.

**Tabla 5.** Modelos de predicción de velocidades de operación**Table 5.** Operating speed predictive models

| Condiciones/ Condition  | Expresión/ Expression      | R <sup>2</sup> | Sitios/ Sites |
|---|----------------------------|----------------|---------------|
| Curva horizontal en pendiente / Horizontal curve with slope (-9% a -4%) | $V_{85}=76,587-1305,731/R$ | 0,833          | 7             |
| Curva horizontal en pendiente/ Horizontal curve with slope (-4% a 0%)   | $V_{85}=77,43-1206,266/R$  | 0,766          | 18            |
| Curva horizontal en rampa/ Horizontal curve with ramp (0% a 4%)         | $V_{85}=77,212-1435,599/R$ | 0,851          | 18            |
| Curva horizontal en rampa/ Horizontal curve with ramp (4% a 9%)         | $V_{85}=79,977-2410,793/R$ | 0,706          | 10            |
| Curva horizontal con acuerdo convexo/ Crest horizontal curves           | $V_{85}=79,883-1744,898/R$ | 0,733          | 12            |
| Curva horizontal con acuerdo cóncavo/ Sag horizontal curves             | $V_{85}=83,599-2247,827/R$ | 0,772          | 9             |
| Recta con acuerdo convexo/ Crest horizontal straight-line               | $V_{85}=83,332-0,157/kv$   | 0,799          | 8             |
| Recta con acuerdo cóncavo/ Sag horizontal straight-line                 | $V_{85}=84,018-0,177/kv$   | 0,693          | 9             |

### Evaluación de la consistencia del trazado

- **Comprobación de los modelos de desarrollados.** La comprobación de los modelos se realiza, cuando se toman en el terreno mediciones de velocidades y posteriormente se aplica la expresión correspondiente en gabinete, las diferencias deben estar dentro de  $\pm 2,5$  km/h para comprobar la eficiencia del modelo, la cantidad de comprobaciones se definió en la Tabla 3. Los resultados son satisfactorios en todas las condiciones.
- **Evaluación de la consistencia.** La evaluación de la consistencia del trazado se realiza atendiendo a lo establecido en Tabla 6 a partir de la diferencia de velocidad de operación obtenida al aplicar el perfil de velocidad con la velocidad de diseño y la diferencia de velocidad de operación entre elementos consecutivos, resultados que evalúan la consistencia del trazado, de acuerdo con los criterios propuestos (Lamm y Choueiri, 1987),

### Roads consistency assessment

- **Developed models cross-check.** Models cross-checking is performed by measuring speeds on the field site and later applying the corresponding expression at the laboratory. Difference must be approximately of  $\pm 2.5$  km/h to prove the model efficiency. The cross-checking number is defined in Table 3. Results are satisfactory for all conditions.
- **Roads consistency assessment.** Roads consistency assessment is developed in accordance with Table 6, based on the difference of operating speed obtained when applying the speed profile together with design speed and, the difference of operating speed among consecutive elements. The results assess the roads consistency in accordance with criteria proposed by Lamm and Choueiri, 1987,



los que mantienen su vigencia y han sido empleados por diversos investigadores (FHWA, 2004; Castro y Sánchez, 2008 y Sánchez, 2008).

*which are still in force and have been employed by several researchers (FHWA; Castro and Sanchez, 2008; and Sanchez, 2008).*

**Tabla 6.** Intervalos y calificación de la consistencia del trazado

**Table 6.** Intervals and qualification of roads consistency

| Intervalo/ <i>Interval</i>  | Clasificación de la consistencia/ <i>Consistency qualification</i> |
|---|--|
| Comparando con la velocidad de diseño ( $V_d$ )/ <i>Comparing to design speed (<math>V_d</math>)</i>  |  |
| $V_{85} - V_d \leq 10 \text{ km/h}$   | Buena/ <i>Good</i>   |
| $10 \text{ km/h} < V_{85} - V_d \leq 20 \text{ km/h}$   | Regular  |
| $20 \text{ km/h} < V_{85} - V_d$  | Mala/ <i>Poor</i>  |
| Comparando velocidad entre elementos consecutivos/ <i>Comparing speed between consecutive elements</i>  |  |
| $\Delta V_{85} \leq 10 \text{ km/h}$  | Buena/ <i>Good</i>   |
| $10 \text{ km/h} > \Delta V_{85} \leq 20 \text{ km/h}$  | Regular  |
| $\Delta V_{85} > 20 \text{ km/h}$   | Mala/ <i>Poor</i>  |
| Donde/ <i>Where:</i><br>$V_{85}$ : velocidad de operación en un punto dado de la vía (km/h)/ <i>operating speed at a given road point (km/h)</i><br>$V_d$ : velocidad de diseño (km/h)/ <i>design speed (km/h)</i><br>$\Delta V_{85}$ : diferencia de velocidad de operación entre dos elementos consecutivos (km/h)/ <i>operating speed difference between two consecutive elements (km/h)</i> |  |

Los resultados obtenidos definen los lugares donde existen dificultades con la consistencia del trazado, que pueden ser por una causa o por las dos. Ello permite dirigir acciones hacia estos puntos más críticos para eliminar posibles causas de accidentes.

- **Análisis de los resultados de la evaluación de la consistencia.** Se procede a realizar la evaluación de la consistencia del trazado de un tramo de carretera rural de dos carriles, denominado Santa Clara – Hatillo. La cual en los análisis de accidentalidad es catalogado como el de mayor peligrosidad en el territorio.

El tramo objeto de análisis es una vía de interés nacional de dos carriles, que pertenece a la carretera 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. De lo anterior se infiere la importancia social y económica del tramo propuesto a valorar (Figura 1).

Se dispone del trazado en planta y perfil del tramo de carretera, además de la velocidad de diseño (60km/h), determinando las condiciones de alineación de la misma, para aplicar los modelos de predicción de velocidad de operación.

En las Tablas 7 y 8 se muestra el diseño de la hoja en Excel confeccionada para el cálculo de la evaluación de la consistencia del trazado, donde se recogen las diferentes características de la alineación en planta y perfil del tramo estudiado. Además, se obtiene el gráfico de velocidad de operación, velocidad de diseño y diferencia de velocidades de operación entre elementos consecutivos (Figuras 2 y 3), lo que propicia apreciar los puntos más críticos para ambos sentidos de circulación.

*The obtained results define the sites having difficulties regarding roads consistency, provoked by one or maybe by two causes. Therefore, actions are focused to such critical points so as to eliminate the potential accident causes.*

- **Analysis of results obtained by the consistency assessment.** Roads consistency assessment is developed on a two-lane rural highway segment, called Santa Clara-Hatillo. This segment was rated as the most dangerous in the country.

*The segment under analysis is a national interest two-lane road, belonging to Santa Clara – Sitiecito highway, located at the southeast of Santa Clara City, which is the entrance to the provincial capital from Cifuentes, Sagua la Grande, Quemado de Guines and Coralillo city councils and it holds strong pendulum-like-movements among population settlements. From above, the social and economic relevance is deduced for the segment to be assessed (Figure 1).*

*The ground plant and cross section of highway segment are now available, as well as speed design (60 km/hr), determining its alignment conditions, which are used in order to apply operating speed predictive models.*

*Tables 7 and 8 show the design of an Excel sheet created for the calculation of roads consistency assessment, where different characteristics of ground plant and cross section alignments are depicted for the studied segment. Besides, an operating speed graph is obtained as well as operating speed differences between consecutive elements (Figures 2 and 3), which enable us to notice the most critical points for both circulation directions.*



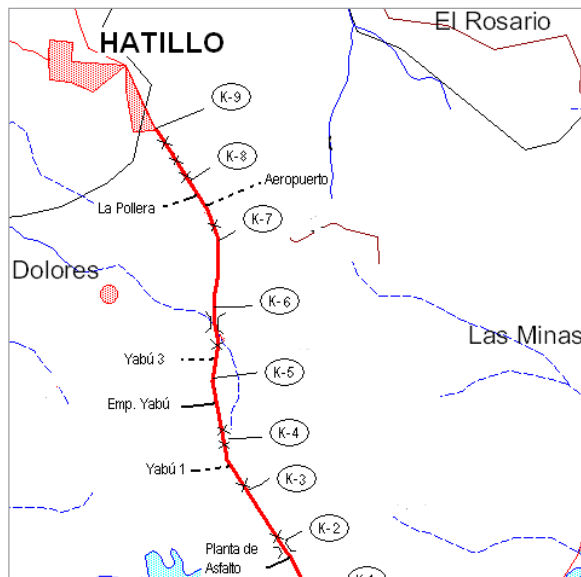
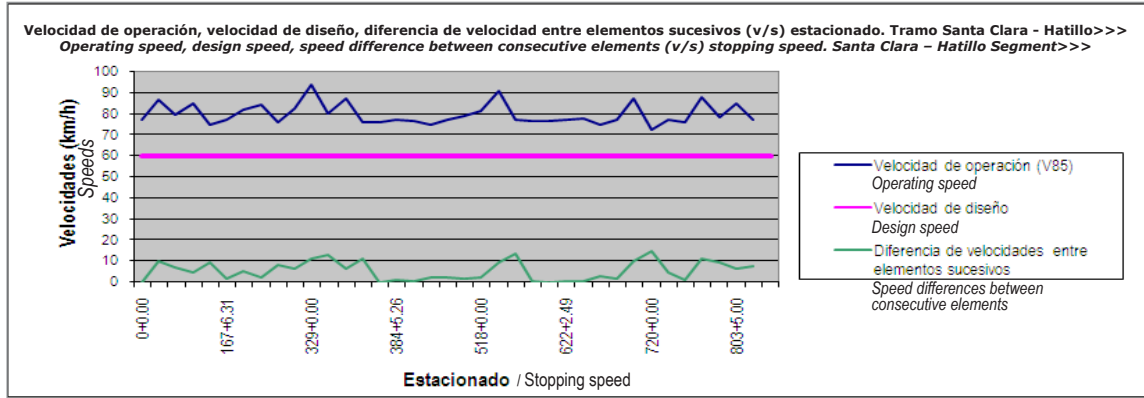


Figura 1. Esquema del tramo de carretera Santa Clara - Hatillo  
 Figure 1. Drawing of the Santa Clara – Hatillo highway segment

Tabla 7. Evaluación de la consistencia del trazado. Tramo Santa Clara – Hatillo >>>  
 Table 7. Roads consistency assessment. Santa Clara – Hatillo Segment>>>

| Santa Clara – Hatillo Segment – traffic direction>>>     |   |                  |  |                  |          |     |                     |                     |               |             |                     |
|--|---|------------------|--|------------------|----------|-----|---------------------|---------------------|---------------|-------------|---------------------|
| Tramo (Santa Clara - Hatillo) Dirección del tránsito >>> |   |                  |  |                  |          |     |                     |                     |               |             |                     |
| Tramo Segment  | Alineación en planta Ground plant alignment |                  | Alineación en perfil/Cross section alignment |                  |          |     | Condición Condition | V85 (A- B/R) (km/h) | V85-Vd (km/h) | ΔV85 (km/h) | Longitud Length (m) |
|  | Tipo Type                                   | Radio Radius (m) | Pendiente Slope (%)                          | Estación/Station |          | Lv  |                     |                     |               |             |                     |
|  |   |                  |  | Inicial/Initial  | 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   |   | 0                | 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   |   | 0                | 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                 |

Leyenda: En color verde se muestran las consistencias del trazado evaluadas como buena, en amarillo las evaluadas como regular y en rojo las evaluadas como malas.  
 Note: good road consistencies are shown in green color, regular road consistencies are shown in yellow color and poor road consistencies are shown in red color.



**Figura 2.** Consistencia del trazado. Tramo Santa Clara – Hatillo >>>  
**Figure 2.** Roads consistency. Santa Clara – Hatillo Segment>>>

**Tabla 8.** Evaluación de la consistencia del trazado. Tramo Santa Clara – Hatillo <<<  
**Table 8.** Roads consistency assessment. Santa Clara – Hatillo Segment<<<

| Santa Clara – Hatillo Segment – traffic direction>>>     |   |                  |  |                    |           |          |                     |                     |               |             |                     |
|--|---|------------------|--|--------------------|-----------|----------|---------------------|---------------------|---------------|-------------|---------------------|
| Tramo (Santa Clara - Hatillo) Dirección del tránsito <<< |   |                  |  |                    |           |          |                     |                     |               |             |                     |
| Tramo Segment  | Alineación en planta / Ground plant alignment |                  | Alineación en perfil / Cross section alignment |                    |           |          | Condición Condition | V85 (A- B/R) (km/h) | V85-Vd (km/h) | ΔV85 (km/h) | Longitud Length (m) |
|  | Tipo Type                                     | Radio Radius (m) | Pendiente Slope (%)                            | Estación / Station |           | Lv       |                     |                     |               |             |                     |
|  |   |                  |  | Inicial / Initial  | 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  | 80       | 8                   | 84,96               | 24,96         | 7,75        | 145                 |
| 34   |   |                  | 0,4  | 221+0.00           | 240+5.00  | 40       | 7                   | 78,33               | 18,33         | 6,64        | 195                 |
| 33   |   |                  | -0,8   | 240+5.00           | 274+0.00  | 40       | 8                   | 87,84               | 27,84         | 9,51        | 335                 |
| 32   |   |                  | 1,3  | 274+0.00           | 278+0.00  | 40       | 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               |
| 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  | 80       | 8                   | 87,52               | 27,52         | 10,31       | 275                 |
| 28   | curva   | 545,86           | -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  | 40       | 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   |   |                  | -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  | 120      | 7                   | 77,33               | 17,33         | 0,10        | 250                 |
| 21   |   |                  | 1,2  | 465+0.00           | 492+0.00  | 40       | 8                   | 91,03               | 31,03         | 13,71       | 270                 |
| 20   |   |                  | 1,1  | 492+0.00           | 512+0.00  | 40       | 7                   | 81,49               | 21,49         | 9,54        | 200                 |
| 19   | curva   | 606,54           | -1,2   | 512+0.00           | 569+4.14  | 40       | 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  | 40       | 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   |   |                  | 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  | 40       | 8                   | 87,36               | 27,36         | 10,15       | 270                 |
| 11   |   |                  | 0,4  | 669+0.00           | 681+0.00  | 40       | 7                   | 80,59               | 20,59         | 6,77        | 120                 |
| 10   |   |                  | 0,85   | 681+0.00           | 698+0.00  | 40       | 8                   | 93,91               | 33,91         | 13,32       | 170                 |
| 9  |   |                  | -1   | 698+0.00           | 737+5.00  | 40       | 8                   | 82,73               | 22,73         | 11,18       | 395                 |
| 8  |   |                  | 1,2  | 737+5.00           | 781+5.00  | 40       | 7                   | 76,06               | 16,06         | 6,66        | 440                 |
| 7  | curva   | 694              | -2,1   | 781+5.00           | 819+0.00  | 80       | 8                   | 84,64               | 24,64         | 8,58        | 375                 |
| 6  |   |                  | -2,9   | 819+0.00           | 842+3.69  | 40       | 7                   | 82,40               | 22,40         | 2,25        | 233,69              |
| 5  | recta   | 0                | -2,9   | 842+3.69           | 860+0.00  | 0        | 2                   | 75,69               | 15,69         | 6,70        | 176,31              |
| 4  |   |                  | -2,9   | 860+0.00           | 898+5.00  |          | 9                   | 77,43               | 17,43         | 1,74        | 385                 |
| 3  | recta   | 0                | -1,8   | 898+5.00           | 921+0.00  | 120      | 8                   | 84,90               | 24,90         | 7,47        | 225                 |
| 2  |   |                  | 0,9  | 921+0.00           | 965+0.00  | 80       | 7                   | 79,90               | 19,90         | 5,00        | 440                 |
| 1  |   |                  | -1,7   | 965+0.00           | 1010+0.00 | 80       | 8                   | 87,04               | 27,04         | 7,14        | 450                 |

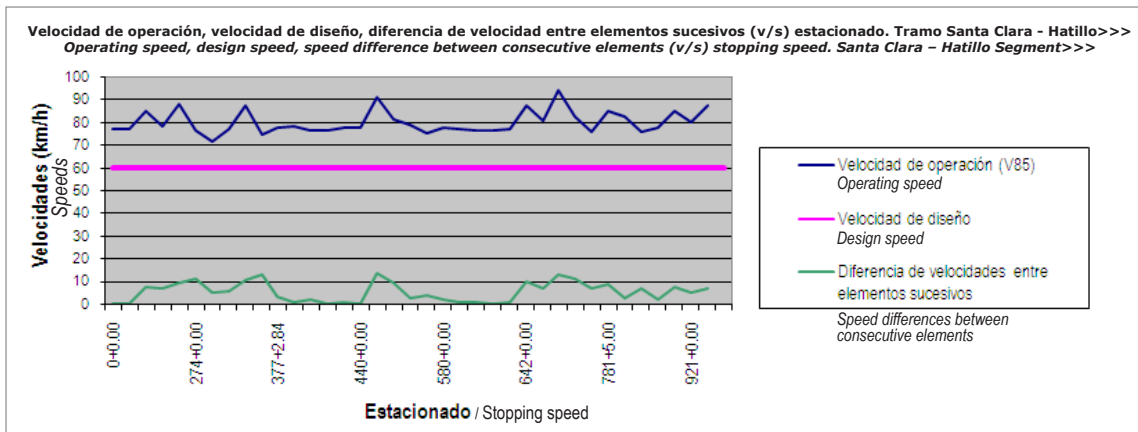


Figura 3. Consistencia del trazado. Tramo Santa Clara – Hatillo <<<

Figure 3. Roads consistency. Santa Clara – Hatillo Segment <<<

Los resultados de evaluación de la consistencia del diseño se han plasmados en la Tabla 9 para el tramo Santa Clara – Hatillo en ambos sentidos de circulación, de manera resumida.

The summarized results of design consistency assessment are shown on Table 9, for Santa Clara – Hatillo segment, considering both traffic directions.

Tabla 9. Resumen de la evaluación mala de la consistencia del trazado Santa Clara - Hatillo

Table 9. Summary of poor road consistency assessment on Santa Clara – Hatillo segment

| Tramo Segment         | Evaluación de la consistencia del trazado mala<br>Poor road consistency assessment       |                               |   |                               | Consistencia mala por ambos criterios<br>Poor consistency due to both criteria    |                               |
|-----------------------|--|-------------------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
|                       | V <sub>85</sub> - V <sub>d</sub>   |                               | ΔV <sub>85</sub> elementos consecutivos<br>consecutive elements |                               | Cantidad de lugares<br>Sites amount   | Longitud<br>Length<br>(m / %) |
|                       | Cantidad de lugares<br>Sites amount  | Longitud<br>Length<br>(m / %) | Cantidad de lugares<br>Sites amount                             | Longitud<br>Length<br>(m / %) |   |                               |
| Santa Clara - Hatillo | Sentido/Direction >>>  |                               |   |                               |   |                               |
|                       | 13   | 3 707 / 36,7                  | -   | -                             | -   | -                             |
|                       | Sentido/ Direction <<<   |                               |   |                               |   |                               |
|                       | 13   | 1 161 / 11,1                  | -   | -                             | -   | -                             |
|                       | Evaluación de la consistencia del trazado regular<br>Regular road consistency assessment |                               |   |                               | Consistencia regular por ambos criterios<br>Poor consistency due to both criteria |                               |
|                       | V <sub>85</sub> - V <sub>d</sub>   |                               | ΔV <sub>85</sub> elementos consecutivos<br>consecutive elements |                               |   |                               |
|                       | Cantidad de lugares<br>Sites amount  | Longitud<br>Length<br>(m / %) | Cantidad de lugares<br>Sites amount                             | Longitud<br>Length<br>(m / %) | Cantidad de lugares<br>Sites amount   | Longitud<br>Length<br>(m / %) |
|                       | Sentido/ Direction >>>   |                               |   |                               |   |                               |
|                       | 24   | 6 393 / 63,3                  | 7   | 576 / 5,7                     | -   | -                             |
|                       | Sentido/ Direction <<<-  |                               |   |                               |   |                               |
| 24                    | 8 939 / 88,5   | 7                             | 593 / 5,9   | -                             | -   |                               |

En el sentido Santa Clara – Hatillo, coinciden evaluaciones de la consistencia del trazado como malas y regular para ambos conceptos en cuatro alineaciones para totalizar 349,86 m, lo que representa un 3,5% de la longitud total del tramo, mientras que en el otro sentido la cifra asciende a cinco alineaciones con 442,55 m para un 4,4% de la longitud total del tramo. Coincide la evaluación de mala y regular por ambos criterios en ambos sentidos en una sola condición con 80,59 m, lo que representa el 0,8% de la longitud total del tramo.

In Santa Clara – Hatillo traffic direction, roads consistency assessments deliver poor and regular results for both concepts, in four alignments totalizing 349.86 meters, which represent a 3.5% of total segment length. Contrarily, in the opposite direction, the results of five alignments totalizing 442.55 meters represent a 4.4% of total segment length. Poor and regular consistency assessment remains for both criteria, same traffic direction, for one single condition, with 80.59 meters; which represent a 0.8% of total segment length.



Los resultados obtenidos evidencian que existe una mayor cantidad de lugares evaluados de mal por diferencia de velocidad de operación y de proyecto, lo que está motivado por límites máximos de velocidad establecidos que responden a las posibilidades técnicas de los vehículos que transitan y no de las características geométricas de los tramos analizados.

### 3. Conclusiones

Se desarrollan modelos de predicción de velocidad de operación propios para diferentes condiciones de alineación existentes, en la provincia de Villa Clara, para carreteras rurales de dos carriles de interés nacional.

La aplicación de estos modelos permite localizar los puntos con dificultades en el trazado y determinar la evaluación de la consistencia del trazado de un tramo de carretera para ambos sentidos de circulación.

La confección de una hoja de cálculo en Excel, permite de una forma sencilla determinar la evaluación de la consistencia del trazado con la aplicación de los modelos de predicción de perfil de velocidades desarrollados para carreteras rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara.

Se demuestra que, en el tramo de carretera Santa Clara – Hatillo, un factor de riesgo para la seguridad vial lo constituye, la evaluación de la consistencia del trazado para ambos sentidos de circulación, siendo necesario proponer medidas que contribuyan a la disminución de la accidentalidad.

*Obtained results have proven that there is a higher amount of locations wrongly assessed due to operating speed and project speed differences. Above, because the allowed limit speed is determined according to vehicles potential speed without considering geometric characteristics of analyzed segments.*

### 3. Conclusions

*Specific operating speed predictive models are developed for alignment conditions existing in Santa Clara province, for two-lane rural highways of national interest.*

*The application of such models enables the localization of roads weakness points as well as the determination of roads consistency assessment for a highway segment with two circulation directions.*

*In a simple way, the elaboration of an Excel sheet allows determining roads consistency assessment by using operating speed predictive profile models developed for two-lane rural highways in Villa Clara province.*

*It is proven that in Santa Clara – Hatillo segment there is a road safety risk factor represented by roads consistency assessment for both traffic directions, thus proposing measurements that contribute to decrease accident rate becomes necessary.*

### 4. Referencias/ References

- Albentosa T. et al. (2006)**, Vía a la vida: una oportunidad para reflexionar, División Nacional de Tránsito, Ministerio del Interior, UNICEF, 175 pp., La Habana, Cuba, 2006.
- Castro M. y Sánchez J. (2008b)**, Procedimientos de evaluación de la consistencia del trazado de las carreteras: IHSDM, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Federal Highway Administration (FHWA) (2004)**, HSDM Design Consistency Module. Engineer's Manual, FHWA, Washington, D.C., EE. UU., 2004.
- Fitzpatrick K. et al. (2000b)**, *Alternative design consistency rating methods for two-lane rural highways*, Washington: Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-99-172.
- García Armenteros R. (2010)**, Caracterización de la accidentalidad en la provincia de Villa Clara y propuesta de modelo de comportamiento de la Seguridad Vial, Trabajo de diploma, Tutor Domingo Delgado Martínez, Facultad de Construcciones, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba.
- Lamm R. y Choveiri, E. (1987)**, "Recommendations for evaluating horizontal design consistency based on investigations in the state of New York", Transportation Research Record, 1122, Transportation Research Board, Washington, D.C., EE. UU., 1987.
- Leisch y Leisch (1977)**, "New concepts in design-speed application", Transportation Research Record, 631, (4-14) Transportation Research Board, Washington, D.C., EE. UU., 1977.
- Martínez A. (2000)**, Desarrollo de la accidentalidad en Cuba. Medidas de control, Situación actual, Centro Nacional de Vialidad, Ministerio del Transporte, Ciudad Habana, Cuba.
- NC 53-02. (1986)**, "Carreteras rurales. Categorización técnica y características geométricas del trazado directo". 95 pp.
- Radelat G. (2003)**, Principios de Ingeniería de Tránsito, Institute of Transportation Engineers, 300 pp., Washington D.C., EE. UU., 2003.
- Raoul L. (2009)**, "Evaluación de la seguridad vial a partir de la consistencia del trazado de la carretera", Trabajo de diploma, Tutor René A. García Depestre, Facultad de Construcciones, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba.
- SPSS 16.0.1 (1998)**, Statistical Package for the Social Sciences. <http://www.softonic.com/s/spss/> (consultado en internet diciembre 2008).
- Sánchez J. (2008)**, "La evaluación de la consistencia del diseño geométrico de carreteras: un aporte a la seguridad vial", Universidad de Cauca, Colombia.