

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CONSTRUCCIONES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



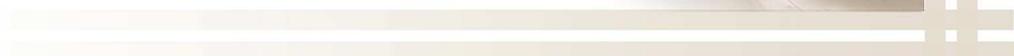
Título: Evaluación de la consistencia del trazado en carreteras de Interés Nacional rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara

Autor: Ing. Samuel Amador Romero

Tutor: Ms.C. Ing. René Antonino García Depestre

Santa Clara

2011



Resumen



RESUMEN

Los elementos que intervienen en la seguridad vial son; el hombre, el vehículo y el entorno (vía-medio). En este trabajo se trabajará con los elementos relativos a la vía, y como elemento fundamental tenemos el trazado, el que responde a un determinado diseño geométrico que está sujeto a normas, regulaciones, indicaciones y otros documentos, y una vez ejecutado, tiene una incidencia directa con la velocidad con que circulan los vehículos por las carreteras. Con la presente investigación se establecen los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles de circulación en la provincia de Villa Clara.

Se realizó una revisión bibliográfica donde se analizaron los diferentes métodos utilizados internacionalmente, y se pudo comprobar que el de mayor aplicación es el denominado "Modelos de predicción del perfil de velocidad de operación" por su fácil aplicación, el cual se ha obtenido en otros países, y con ello se planteo la necesidad de completar la información disponible y elaborar la metodología para la obtención de los modelos con las características de las carreteras de la Provincia.

Inicialmente se analizaron los datos existentes, completándose la información en la vía, incluyendo la obtención de la velocidad de operación de los vehículos que transitaban por ella a flujo libre, para luego determinar los modelos de predicción del perfil de velocidades para diferentes condiciones de alineación en planta y perfil en las carreteras rurales de dos carriles en el contexto de de la provincia de Villa Clara.

El modelo determinado, constituye una herramienta para la evaluar de la consistencia del trazado y su incidencia en la seguridad vial en las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara, es un modelo desarrollado en una primera versión por la ingeniara Abreu Losada Liusbet y continuado por el Ing. Carreras Valdés Alfonso Javier, el que concluye con el presente trabajo.

Con la aplicación de este modelo se detectarán aquellos lugares en los cuales pueda ocurrir la accidentalidad, así como las características geométricas de la vía que contribuyen a esta problemática, para tener en cuenta las mejoras a realizar o posibles diseños .

PALABRAS CLAVES: Evaluación, seguridad vial, consistencia del trazado, perfil de velocidad.



Indice



ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN		1
CAPÍTULO I Estado actual del conocimiento sobre la consistencia del		6
1.1-	Accidentes de tránsito	6
1.2-	Velocidad	12
1.3-	Consistencia del Trazado	12
1.3.1	Métodos de evaluación de la consistencia del trazado	13
1.3.2	Modelos de perfil de velocidad de operación en diferentes países	15
1.4-	Programas desarrollados para la simulación de velocidad de operación de vehículos en vías de dos carriles	23
CAPÍTULO II Metodología de la investigación		26
2.1-	Análisis de las carreteras del territorio	26
2.2-	Recopilación y procesamiento de información de las carreteras	27
2.3-	Completamiento de la información.	37
2.4-	Cálculo de la velocidad de operación	40
2.5-	Determinación de los modelos de predicción de velocidad de operación	41
CAPÍTULO III Comprobación de los modelos, evaluación de la consistencia de la vía y la incidencia en la accidentalidad		48
3,1-	Comprobación de los modelos de predicción de velocidad	48
3,2-	Recolección y completamiento de la información a procesar	50
3,3-	Evaluación de la consistencia del trazado	52
ÍNDICE DE TABLAS		
Tabla1,1: Modelos de Consistencia de Lamm (1987)		16
Tabla 1.2: Criterios de Consistencia de Modelo de Polus y Mattar-Habib (2000)		17
Tabla 1.3: Criterio de Steyer		18
Tabla 1.4: Modelos de velocidad de operación desarrollados por Fitzpatrick		20
Tabla 1.5 : Modelos de la primera Investigación		21
Tabla 2.1: Criterios generales para la selección de los sitios		29
Tabla 2.2 Intervalos de radios para los sitios establecidos a partir del peralte mínimo para velocidad de diseño de 60 Km/h		30
Tabla 2.3: Cantidad de sitios para intervalos de radios mayores de 500 metros		33
Tabla 2.4: Cantidad de sitios para intervalos de radio entre (500-211) metros		34
Tabla 2.5: Cantidad de sitio para intervalos de radio entre (210 – 75) metros		34
Tabla 2.6: Combinaciones de alineación en tangentes con acuerdo cóncavo y		35
Tabla 2.7: Matriz de sitios deseados		36
Tabla 2.8: Clasificación por el método de Clúster		41
Tabla 2.9 Agrupación por Clúster para curvas horizontales		42
Tabla 2.10: valores de las mediciones obtenidas (inverso del radio y la velocidad de operación)		44
Tabla 2.11 Constantes de la ecuación del modelo para la Condición 2, curvas horizontales en pendiente (-4% a 0%)		45

Tabla 2.12: Resultados estadísticos de los modelos de predicción de velocidad para cada condición	46
Tabla 2.13: Modelos obtenidos para las carreteras rurales de dos carriles de circulación	46
Tabla 3.1 Comparación entre velocidades de operación (Condición 2, curvas horizontales en pendiente -4% a 0%)	48-49
Tabla 3.2: Orden de peligrosidad	51
Tabla 3.3 Intervalos y calificación de la consistencia del trazado	52
Tabla 3.4 Escala de puntuación a utilizar	53
Tabla 3.5 Carretera (Santa Clara - Hatillo) Dirección de Tránsito >>>	55-56
Tabla 3.6 Carretera (Santa Clara - Hatillo) Dirección de tránsito <<<	57-58
Tabla 3.7 Carretera Circuito Norte (Tramo Remedios - Caibarién) Dirección de Tránsito >>>	59-60
Tabla 3.8 Carretera Circuito Norte (Tramo Remedios - Caibarién) Dirección de tránsito <<<	61-62
Tabla 3.9 Resumen de la evaluación de la consistencia del trazado >>>	63
Tabla 3.10 Resumen de la evaluación de la consistencia del trazado <<<	63
ÍNDICE DE GRÁFICOS	
Figura 1.1 Proporciones de los elementos del sistema de seguridad vial	9
Figura 2.1 combinaciones de pendientes	35
Figura 2.2 método para determinar las pendientes	37
Figura 2.3 método para determinar los radios de las curvas	38
Figura 2.4 pistola láser	38
Figura 2.5 ubicación de sensores piezoeléctricos	39
Figura 2.6 ubicación de la pistola láser	40
Figura 2.7 punto mínimo de visibilidad de la curva vertical	40
Figura 3.1 comparación de los modelos	50
Figura 3.2 Gráfico de velocidades Santa Clara – Hatillo, Dirección de Tránsito >>>	57
Figura 3.3 Gráfico de velocidades Santa Clara – Hatillo, Dirección de tránsito <<<	59
Figura 3.4 Gráfico de velocidades Remedios – Caibarién, Dirección de Tránsito	61
Figura 3.5 Gráfico de velocidades Remedios – Caibarién, Dirección de tránsito <<<	63
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67-68
ANEXOS	69-105



Introducción



INTRODUCCIÓN

La seguridad vial se ha convertido en un objetivo prioritario de los países desarrollados, preocupados por las altas tasas de mortalidad en vías urbanas y carreteras. Al circular, los conductores adaptan su conducción a las condiciones que encuentran en el trazado. En la percepción que tiene los conductores de las características geométricas de la carretera influye, por una parte, la experiencia inmediata de lo que han encontrado en los tramos que acaban de recorrer y, por otra, la experiencia acumulada en viajes anteriores respecto a lo que es habitual encontrar en itinerarios de características parecidas por la que circulan.

La mayoría de los accidentes de tránsito no pueden ser atribuidos a una sola causa, y son el resultado final de una compleja secuencia de acciones e interacciones entre los componentes del llamado Sistema de Seguridad Vial: factor humano, la vía con su entorno y el vehículo, (Treat, 1979; Sabey, 1979) esta interacción de forma general contribuye a la ocurrencia de los accidentes.

Aunque la mayoría de los accidentes son achacados a las deficiencias del hombre, en menor grado a los del los vehículos y raras veces a las de la vía, no existe la menor duda de la influencia de la vía en los mismos. En Cuba, aunque se reconoce el predominio del factor humano como causa principal de ocurrencia de los accidentes (Albentosa, 2006), los registros de los datos han estado habitualmente enfocados hacia la determinación de la responsabilidad más que hacia el análisis de las causas.

En Cuba según Martínez, 2000, independiente del período de análisis la accidentalidad, tiene una mayor concentración en las zonas urbanas, con el desplazamiento de la severidad de los accidentes hacia las zonas rurales.

Es importante destacar que el 82% de las carreteras de interés nacional en la provincia de Villa Clara tiene más de 50 años de explotación y fueron diseñadas y construidas para los vehículos de esa época, con características distintas a los que se fabrican hoy, la composición vehicular es heterogénea, el desarrollo de la ciencia aplicado a los vehículos automotores permite que se construyan con mayor potencia, velocidad, maniobrabilidad y comodidad que los vehículos actuales, lo que redundaría en diferencias significativas en las velocidades entre los diferentes tipos de vehículos que hoy circulan por la infraestructura vial del territorio

Las carreteras rurales de dos carriles en el territorio representan el 93,1% del total, sin embargo, el estado de la infraestructura vial no es el adecuado, pues el financiamiento



ha dependido fundamentalmente de las posibilidades reales más que de las necesidades.

Partiendo de este hecho, se considera que el trazado de estas carreteras ha incidido negativamente en la accidentalidad, de ahí la necesidad de conocer el comportamiento de la consistencia del trazado en las carreteras rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara.

Se entiende por **consistencia del trazado**, la relación entre las características geométricas de una carretera y las que espera encontrar el conductor de un vehículo que circula por ella (Sánchez, 2008).

La consistencia está íntimamente ligada con la homogeneidad de las características geométricas; si éstas permanecen dentro de un determinado rango a lo largo de un tramo, el conductor maniobrará de una forma constante, sin sobresaltos, lo que incrementa las condiciones de seguridad. Cuando un conductor recorre un tramo de vía, espera que sus características geométricas (radios de curvatura, pendientes, ancho de carril y otras) sean más o menos uniformes. Un cambio brusco de las mismas puede producir conductas indeseables como la disminución súbita de la velocidad o un cambio de trayectoria, lo que genera situaciones inseguras, las que concluyen en los accidentes del tránsito con muertes, lesionados y daños materiales.

Objeto de estudio

El presente trabajo tiene como objeto de estudio las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles de circulación en la provincia de Villa Clara.

Problema

“En Cuba existen pocas experiencias en la evaluación de la consistencia del trazado, existiendo la necesidad de obtener los modelos que se han estado desarrollando en la UCLV en los dos últimos años.

Objetivo General

Desarrollar y aplicar modelos de predicción del perfil de velocidades para carreteras de interés nacional rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara, para la evaluación de la consistencia del trazado.

Objetivos específicos

1. Analizar el estado actual del conocimiento de la temática de investigación que permita conocer los métodos de evaluación de la consistencia del trazado como un aporte a la Seguridad Vial.



2. Estudiar las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara para el análisis de consistencia de las mismas.

3. Determinar las condiciones de alineación en planta y perfil a partir de los parámetros geométricos de las carreteras para implementar los modelos para la evaluación de la consistencia del trazado

4. Evaluar la consistencia del trazado en diferentes tramos.

Hipótesis

Si se dispone de una herramienta para evaluar la consistencia en carreteras de interés nacional rurales de dos carriles, se puede definir los tramos con posibilidad de ocurrencia de accidentes en vías existentes.

Tareas de investigación:

1. Análisis del estado actual del conocimiento sobre los métodos utilizados para la evaluación de la consistencia del trazado en la seguridad vial.

2. Selección de las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara, para el estudio de la consistencia del trazado.

3. Determinación de la condiciones de alineación en planta y perfil a partir de los parámetros geométricos de las carreteras para la obtención de la velocidad de operación.

4. Obtención de los datos necesarios en el terreno para lograr el perfeccionamiento de los modelos (radio de curvatura, pendiente de la vía y velocidad de operación) y comprobarlo mediante un análisis estadístico.

5. Perfeccionamiento del modelo desarrollado mediante el estudio realizado a las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara.

6. Aplicación el modelo perfeccionado para la evaluación de la consistencia del trazado en las carreteras seleccionadas de la provincia de Villa Clara con problemas en la accidentalidad.

7. Análisis y valoración de los resultados obtenidos.

Novedad Científica:

Con la investigación realizada se podrá contar con un modelo desarrollado para la evaluación de la consistencia de la seguridad vial, aplicado a las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara. Además se podrá



identificar los tramos con problemas en la consistencia del trazado, y una evaluación general de las carreteras a partir de los datos del diseño geométrico.

Aportes científicos relevantes

- ❖ Desarrollo de un nuevo modelo perfeccionado para el estudio del comportamiento de la consistencia en la seguridad vial.
- ❖ Disponer de una herramienta para el estudio del fenómeno de la accidentalidad, mediante la evaluación de la consistencia vinculado al diseño geométrico.

Valor Científico

Con la investigación realizada se puede disponer de modelos obtenidos por métodos científicos para evaluar la consistencia del trazado en carreteras de interés nacional rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara y su incidencia en la seguridad vial.

Valor Práctico

El trabajo realizado tiene un gran valor práctico, porque permite determinar y valorar la consistencia del trazado mediante el modelo desarrollado y apreciar los lugares de mayor peligro de accidentes a través del análisis de los parámetros geométricos de la vía.

Estructura del trabajo

La estructura de la tesis mantiene una relación directa con la metodología de investigación establecida y específicamente, con el desarrollo particular de cada una de las fases de la investigación. La misma se encuentra formada por una introducción general, tres capítulos, las conclusiones, recomendaciones y bibliografía, así como los anexos necesarios.

El orden y estructura lógica del trabajo se establece a continuación:

- ❖ **Resumen**
- ❖ **Introducción**
- ❖ **Capítulo 1**

En este capítulo se realiza un análisis del estado actual del conocimiento, lo que posibilita justificar el desarrollo de la investigación. En el mismo se hace referencia a la relación entre los accidentes, la velocidad y los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación y los factores que interviene en él, haciendo un análisis crítico



de la bibliografía al respecto y se destacan los fundamentos teóricos principales, lo que permite confirmar la hipótesis del trabajo y establecer la línea a seguir.

❖ **Capítulo 2**

En este capítulo se realiza la formulación de la metodología para el desarrollo del Modelo cubano, el procedimiento en la aplicación de la metodología para la creación del Modelo para la evaluación de la consistencia en carreteras de interés nacional rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara

❖ **Capítulo 3**

Se realiza la comparación del modelo creado con otros existentes, se realiza una evaluación de la consistencia en las carreteras del territorio y se establece la incidencia en la accidentalidad.

❖ **Conclusiones**

❖ **Recomendaciones**

❖ **Referencias Bibliográficas**

❖ **Anexos**

A decorative graphic at the bottom of the page. It features a horizontal road stretching into the distance under a bright, hazy sky. The road is flanked by a double yellow line on the left and a white line on the right. The text 'Capítulo 9' is written in a brown, cursive font across the road. To the right of the road, there are two vertical lines and a crosshair-like symbol at the bottom right corner.

Capítulo 9



CAPÍTULO I

Estado actual del conocimiento sobre la consistencia del Trazado

1.1 Accidente

Accidente del tránsito es un hecho que ocurre en la vía, donde interviene por lo menos un vehículo en movimiento y que como resultado produce la muerte, lesiones de personas o daños materiales, establecido así por la “Ley No. 109, Ley del Código de Seguridad Vial” (Gaceta Oficial No. 40 del 2010), que es la encargada de regular la actividad vial y de tránsito en Cuba.

Otra definición de accidente de tránsito, se puede considerar como una ruptura del balance que debe existir entre los tres componentes del sistema (Labrousse, 2003). Pero la interacción entre estos componentes es compleja y responde a las siguientes expectativas:

- ❖ Interacción entre el vehículo y la vía utilizada para la ingeniería vial
- ❖ Interacción entre el hombre (conductor, peatón y pasajero) y el vehículo
- ❖ Interacción entre el hombre y la vía

En relación con el hombre, se ha tenido que adaptar a los cambios tecnológicos de los vehículos, esta adaptación a los cambios paulatinamente introducidos, ha incidido incuestionablemente en la variación de su reacción ante estímulos similares, aspecto importante a tener en cuenta en los accidentes del tránsito provocados por este componente. (Autores, 2002)

La carretera es el elemento que su diseño y estado técnico condiciona de una manera especial el modo de conducir. Una vía con ancho de calzada y paseos amplios, diseño geométrico adecuado, con superficie rugosa y lisa inspira en el conductor una actitud correcta y de respeto a sus obligaciones, incidiendo en gran medida en la prevención de accidentes. (Arboláez, 2008)

En los últimos 80 años el desarrollo de la ciencia y la técnica ha introducido cambios tecnológicos en los automóviles imposibles de imaginárselos a principios del siglo pasado, tales como sus dimensiones (ancho y largo), velocidad, sistema de frenado, iluminación, bolsas de aire, aplicación de la computación y comodidad, que permiten viajar a mayor velocidad y con la sensación de mayor seguridad. Es el vehículo el que mayor desarrollo ha experimentado de los tres componentes. (Autores, 2002)



Índices de Accidentes de tránsito: es la relación que existe entre el número de accidentes que ocurre en cierto lugar en determinado período y los factores cuantitativos que pueden provocarlos, tales como la población, el número de vehículos o el tránsito en vehículos kilómetros, según la “Ley No. 109, Ley del Código de Seguridad Vial” (Gaceta Oficial No. 40 del 2010).

Los índices de accidentalidad se utilizan para comparar la gravedad de los accidentes en lugares diferentes, durante el mismo período de tiempo o en el mismo lugar en distintos momentos. Los índices de seguridad se pueden emplear como elementos para caracterizar la accidentalidad.

En la valoración de la accidentalidad de áreas geográficas, zonas, países y territorios se han establecidos índices relacionados con los siguientes aspectos:

1. Índices basados en aspectos de ingeniería de tránsito
 - ❖ Índices por kilómetro de vías
 - ❖ Índices por vehículos - kilómetros
 - ❖ Índices de accidentes para intersecciones
 - ❖ Índices de atropellos en intersección
2. Índices basados en la población
 - ❖ Índices por habitantes
3. Índices basados en otros aspectos
 - ❖ Índice crítico de accidentalidad.
 - ❖ Índice de daños materiales equivalentes
 - ❖ Índice de accidentalidad
 - ❖ Índice de peligrosidad de accidentes.
 - ❖ Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas.

Los accidentes de tránsito se consideran una de las primeras causas de fallecimientos a nivel mundial y se pronostica que en los próximos 20 años ocuparán el tercer lugar dentro de la lista de las principales consecuencias de muertes en todo el mundo.

Al relacionar los saldos de fallecidos y lesionados con la población, cantidad de vehículos, kilometraje recorrido u otro elemento, se dispondrá de indicadores que permiten hacer comparaciones acerca del comportamiento de la accidentalidad.



Según informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de junio del 2006, la mortalidad se puede agrupar por regiones geográficas, perteneciendo los índices más desfavorables a África, Asia y América en ese orden, situación que se mantiene en la actualidad y se confirma que África tiene la peor tasa de muertes del mundo por accidentes del tránsito, con 28 fallecimientos por cada 100 000 personas, mientras que la menor tasa de mortalidad está en los países europeos, que son países desarrollados, una muestra de estos indicadores es Gran Bretaña donde unas 5,9 personas de cada 100 000 mueren cada año.

Según el informe del 2008 de la Comisión Nacional de Vialidad y Tránsito, en Cuba, los accidentes del tránsito ocupan el quinto lugar entre las causas de muerte y el primer motivo de la pérdida de vidas de forma violenta, con un promedio anual, en el período del 2000 al 2008 de 10212 personas, con un saldo de 922 fallecidos y 7 899 lesionados, para un índice de 8,23 fallecidos/100000 habitantes. Estas cifras son comparables con indicadores de Europa (5,9 -12,8 fallecidos/100 000 habitantes). Este índice resulta ser engañoso, pues el bajo índice de accidentes por población que se registra en Cuba está dado por la baja densidad vehicular.

Si se realiza el análisis de los índices de población en función de los vehículos que circulan por las carreteras, los países del continente europeo son los que menor número de habitantes por vehículos tienen, y por consiguiente, mayor número de vehículos por carretera, los mismos cuentan con las menores cifras de fallecidos por vehículos, además de tener un alto grado de conocimiento del tema de seguridad vial, siendo esto un factor importante en el número de fallecidos por vehículos, además si ocurre el siniestro al vehículo, ocurrirán menos pérdidas de vidas producto al número de personas por vehículo. En Cuba ocurre todo lo contrario, ocupando el segundo lugar en mayor cantidad de fallecidos por vehículos (después de Nicaragua), y la menor cantidad de vehículo por km de carreteras.

Existen múltiples trabajos que han abordado la responsabilidad en la accidentalidad de los diferentes elementos del sistema de seguridad vial y su interrelación a nivel territorial de país o región, entre ellos se destacan Treat, y otros (1979); Sabey, y Staughton, (1979); PIARC (2003); Departamento de seguridad vial, Chile (2006); Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, (2006) y Mikulík, (2007). El trabajo de Dourthé, y Salamanca, (2003) representa para distintos países las proporciones de cada elemento y sus interrelaciones mostradas en la figura 1.1.

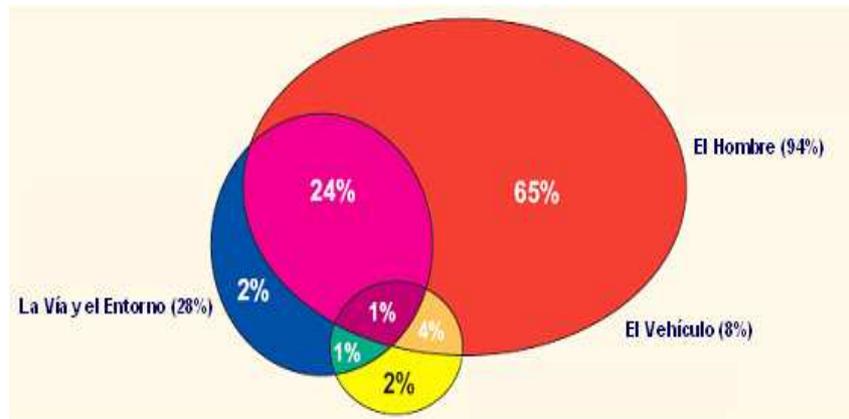


Figura 1.1 Proporciones de los elementos del sistema de seguridad vial

En Cuba, Albertosa, y otros (2006), reconoce el predominio del factor humano como causa principal de ocurrencia de los accidentes y registros de los datos enfocados habitualmente hacia la determinación de la responsabilidad más que hacia el análisis de las causas. Rodríguez, (2008) estableció las proporciones para la provincia de Villa Clara a partir de las causas evidentes, siendo necesario profundizar en otras causas y ampliar el periodo de tiempo analizado, es por esta razón que en el análisis de las causas se hace necesario enmarcarlas en etapas.

De acuerdo a los criterios de Martínez (2000), especialista del Ministerio del Transporte, se puede dividir la accidentalidad de Cuba en tres períodos bien definidos, tanto por el comportamiento como por las acciones desarrolladas: 1963-1970, 1970-1990 y 1990-2000.

El período 1963 – 1970, el incremento de la accidentalidad y sus consecuencias, influyó, el comienzo del cambio del sistema de señalización norteamericano existente, al Sistema Internacional, la poca pericia de la masa de conductores jóvenes, la red vial incompleta que apenas asimilaba el incremento de vehículos ligeros y pesados procedentes de los países socialistas.

Período 1970 – 1990, en este período sigue concentrándose la mayor cantidad de accidentes en las zonas urbanas, pero la peligrosidad es semejante entre ambas, al parecer por dos causas: mejor trabajo de control en las zonas rurales dirigido a los factores que inciden en la gravedad del accidente y al incremento de las actividades económicas y sociales en zonas urbanas, lo que dio lugar a un incremento de la complejidad del tránsito y por lo tanto, a un incremento de los accidentes.

En la década de 1980 se desarrolla un conjunto de medidas que traen como consecuencia, una disminución de los índices generales de accidentalidad. Entre estas



medidas, las relacionadas a la investigación y el tratamiento de emplazamientos con concentración de accidentes.

Aunque en este período aumentó la frecuencia de accidentes, los índices generales se mantienen en niveles medios comparados con otros países del mundo, debido al incremento del parque vehicular y la extensión de la red vial (los vehículos – kilómetros se incrementaron en 4,34 durante el período).

A partir del año 1991 se experimenta una caída brusca de los indicadores de accidentes, debido a la reducción del volumen del tránsito (en más de un 70% con respecto a la década anterior), motivado por las dificultades económicas que a partir de ese momento enfrenta el país. Esta tendencia se mantuvo hasta el año 1998 en que comienza a reanimarse paulatinamente la economía.

En este período fue necesario introducir medidas que tuvieron un impacto importante en la seguridad vial, como el apagado de semáforos o llevarlos a régimen de intermitencia, la implantación del sentido de doble vía en algunas calles, la imposibilidad de sustituir las señales deterioradas, el incremento de la transportación masiva en vehículos construidos para otros propósitos. Se produce un incremento en la proporción de accidentes con lesiones en zonas urbanas (75% en el año 2000), debido a la incorporación masiva de las bicicletas en la corriente vehicular, que unido al aumento de la indisciplina vial y la deficiente conservación de las vías, agravan la situación existente. Para mejorar la seguridad vial se habilitaron vías y carriles exclusivos para la circulación de ciclos como medida de protección para estos usuarios.

En este período hay un estancamiento de la gestión de la seguridad vial a nivel nacional, aunque al final del mismo con la introducción de medidas de control del tránsito comienza una recuperación. Decrece la proporción de ciclos en la corriente vehicular y se desplaza la severidad hacia zona rural donde en el año 1999 los fallecidos representan el 60% del total.

A partir del año 2000 hasta la actualidad, se inicia un nuevo período, no incluido en el trabajo de Martínez (2000), que en una fase superior replica el segundo período; con la presencia de vehículos alternativos, recuperación de la economía que influye en el incremento de los volúmenes y la accidentalidad y las acciones desarrolladas.

En este período han ocurrido en Cuba un promedio anual de 16 229 accidentes de tránsito con saldo de 1 904 fallecidos y 7 843 lesionados, según datos obtenidos de informes de la comisión nacional de vialidad y tránsito. Con el desplazamiento de la



severidad hacia las zonas rurales, en vías de interés nacional y en especial a las carreteras de dos carriles las que representan el 92% de las existentes en el país.

Toda esta situación provoca un incremento en la frecuencia de accidentes, con un máximo en el año 2001, que si bien no alcanza la cifra de los 80, empieza a mostrar una tendencia al incremento. Esta situación evidencia la necesidad de ejecutar acciones dirigidas a reducir este comportamiento, actuando sobre los diferentes factores de riesgo, en el año 2002 se comienzan a tomar una serie de medidas aplicadas al factor humano, tanto en el ámbito legislativo como educativo que mostraron cierta eficacia; muestra de ello es la aprobación de la Ley No 109, Ley del Código de Seguridad Vial (Gaceta Oficial No. 40 del 2010).y el propósito de concluir el Plan de Seguridad Vial Nacional.

Sin embargo, en la actualidad, aún no existe en Cuba ninguna norma ni regulación en la que se especifiquen las acciones para el análisis de la seguridad vial en carreteras rurales o que establezca como realizar el diagnóstico para identificar los factores de riesgo, relacionados con la carretera.

En los últimos años, las investigaciones en cuanto a la influencia de la carretera y su entorno en la accidentalidad han sido muy limitadas. Una vez interrumpidas las tareas contempladas en el Programa Científico Técnico de la Academia de Ciencias de Cuba, no se ha desarrollado una investigación sistemática de la seguridad vial.

Según García, 2010 el establecimiento de las causas de la accidentalidad de tránsito en la provincia de Villa Clara se realiza a partir del orden de peligrosidad. La clasificación de las causas se agrupan en tres grupos: tránsito, estado de los elementos de la carretera y el diseño geométrico.

En relación al tránsito tenemos entre otras: la diferencia de velocidad entre vehículos, la composición de la corriente vehicular y los niveles de servicio.

En el estado de los elementos está entre otros: los deterioros de la superficie del pavimento, el deterioro de los paseos, la disminución del coeficiente de fricción por la presencia de humedad, la señalización (horizontal y vertical), etc.

Por último en el diseño geométrico las causas están dadas por la sección transversal, la distancia a obstáculos laterales, la distancia de visibilidad y las variaciones en la velocidad.

Este último grupo de causas de accidentalidad vehicular, es al que va dirigido el análisis de la ocurrencia de accidentes atendiendo a la diferencia de velocidades de los distintos tipos de vehículos al circular por los elementos que compone la carretera.



1.2 Velocidad.

La velocidad no es más que la variación de la posición de un cuerpo por unidad de tiempo. Esta es un vector, es decir, tiene módulo (magnitud), dirección y sentido. La magnitud de la velocidad, conocida también como rapidez o celeridad, se suele expresar como distancia recorrida por unidad de tiempo

Velocidad de diseño: La seleccionada para proyectar y relacionar entre sí las características físicas de una vía que influyen en el movimiento de los vehículos. Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular en un tramo de vía, cuando las características físicas de esta son los únicos factores que gobiernan la seguridad. Cal y Mayor, y Cárdenas, (1994).

Velocidad de operación: La máxima velocidad de marcha que puede mantener con seguridad un conductor en una vía determinada, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y la vía, no debe exceder en ningún momento la velocidad de diseño. Cal y Mayor, y Cárdenas, (1994).

Otras definiciones de velocidad: Velocidad excesiva, velocidad libre, velocidad limitada y velocidad de marcha, no se utilizarán en el desarrollo de este trabajo.

Los límites de velocidad de circulación para las carreteras cubanas se establecen en el Código de Seguridad Vial (Gaceta Oficial No. 40 del 2010).y están en función de la clasificación de la vía y el tipo de vehículo que circula por esta.

El incremento o disminución de la velocidad de un vehículo, al circular por una carretera, está condicionado en gran medida a las características geométricas del trazado; si éstas permanecen dentro de un rango a lo largo del trazado incrementaría las condiciones de seguridad para los conductores que circulan por ella.

1.3 Consistencia del trazado.

El diseño geométrico es una de las partes más importante dentro de un proyecto de construcción de una carretera, pues allí se determina la ubicación y la forma geométrica definida para los elementos que la componen; de manera que ésta sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

La observación empírica ha evidenciado que existen diferencia entre la velocidad de diseño y la de operación real de los vehículos.

Estas evidencias empíricas han generado la realización de diferentes investigaciones para elaborar herramientas que permitan evaluar la consistencia del trazado en términos de esas diferencias de velocidades.



Leisch y Leisch (1977) desarrollaron un procedimiento para evaluar la consistencia del trazado en carreteras de los Estados Unidos. Su procedimiento se basa en la determinación de la velocidad de operación considerando la velocidad de vehículos de carga y de pasajeros, y tiene en cuenta diferentes tasas de aceleración y deceleración debidas a la presencia de curvas horizontales. Para calificar la consistencia propusieron comparar el perfil de velocidades con la velocidad de proyecto, y aplicar la “regla de las 10 millas”:

- ❖ Para una velocidad de proyecto dada, la velocidad media de los vehículos de pasajeros no debe variar más de 10 millas/hora (aproximadamente 16 km/h).
- ❖ La reducción en la velocidad de proyecto entre dos tramos consecutivos no debe superar las 10 millas/hora.
- ❖ La velocidad media de los vehículos pesados no debe ser inferior en más de 10 millas/hora a la de los vehículos de pasajeros, en los carriles normales.

En base a las consideraciones desarrolladas por Leisch y Leisch (1977) diversos países utilizan esta forma de evaluación de la consistencia por su fácil aplicación la cual se mantiene vigente en la actualidad.

1.3.1 Métodos de evaluación de la consistencia del trazado.

En el mundo se han planteado varios procedimientos para evaluar la consistencia del diseño geométrico de carreteras: la carga de trabajo del conductor, la relación con la accidentalidad, siendo la determinación del perfil de velocidades la que más aceptación ha tenido. La comparación del perfil de velocidades de operación de los vehículos que recorren la vía con la velocidad de diseño, y la comparación de la velocidad entre elementos consecutivos, permiten detectar puntos con problemas de consistencia, obtenidos mediante modelos más o menos elaborados para distintas condiciones de vías, adecuadas a las características geográficas de la región en la que se encuentra.

Desde la década de 1930, la consistencia del diseño geométrico de carreteras rurales de dos carriles, ha sido tratada por diversos países, centrándose la idea de la predicción de las velocidades de operación mediante la información de las características geométricas a lo largo de la alineación y su comparación con la velocidad de diseño. Existe una gama amplia de países que se han dedicado al desarrollo de este estudio destacándose dentro de ellos (Suiza, Alemania, Australia y Estados Unidos), los cuales han desarrollados sus propios modelos de predicción de velocidad de acuerdo a las características de sus carreteras.



Las normas de diseño Suizas (VSS, 1981) utilizan el perfil de velocidades para evaluar la consistencia del trazado. Recomendán que la diferencia de velocidad entre dos elementos consecutivos no supere los 20 km/h, y en carreteras con velocidad de proyecto inferior a 70 km/h esa diferencia no debe superar los 10 km/h.

La normativa alemana (1984) considera que la velocidad de operación no debe superar a la de proyecto en más de 20 km/h, y la diferencia de velocidad entre elementos consecutivos debe ser inferior a 10 km/h. El perfil de velocidades de operación se calcula en función de la tasa de cambio de curvatura (CCR). La tasa de cambio de curvatura (CCR) se define como la suma de los cambios angulares del trazado horizontal dividido por la longitud del tramo.

Lamm y Choueiri (1987) y Lamm y otros (1990) establecieron un procedimiento de evaluación de la consistencia que consiste en comparar la variación del grado de curvatura (GC) y de la V_{85} entre elementos consecutivos. El grado de curvatura (GC) es el ángulo central subtendido por un arco de una longitud determinada (usualmente 30,5 m ó 100 m). La consistencia se califica de acuerdo con los siguientes rangos:

- ❖ Si $\Delta GC \leq 5^\circ$ y $\Delta V_{85} \leq 10$ km/h la consistencia del trazado es buena
- ❖ Si $\Delta GC > 10^\circ$ y $\Delta V_{85} > 20$ km/h la consistencia del trazado es mala

Basándose en la tasa media de accidentes, Lamm y otros (1995) sugirieron otro criterio para evaluar la consistencia del trazado entre elementos consecutivos:

- ❖ Buen diseño: Diferencia de V_{85} entre elementos consecutivos ≤ 10 km/h
- ❖ Regular diseño: 10 km/h < Diferencia de $V_{85} \leq 20$ km/h
- ❖ Mal diseño: 20 km/h < Diferencia de V_{85}

Australia. El estudio de la consistencia se basa en investigaciones realizadas por McLean. , 2003 El estudió a 120 curvas horizontales en carreteras rurales de dos carriles en Australia, se llegó a la conclusión de que cuando la velocidad de diseño es inferior a 90 km/h, el percentil 85 tiende a ser más alto que la velocidad diseño. Este hallazgo contrasta con el supuesto básico de que la velocidad de operación no deberá exceder la velocidad de diseño. Malean, 2003 descubrió que cuando las velocidades de diseño son más de 100 km/h, el percentil 85 es generalmente inferior a la velocidad de diseño.

En respuesta a las conclusiones de McLean (2003), Australia cambió sus procedimientos en el diseño de una alineación horizontal disminuyendo la velocidad de diseño de las carreteras, es decir, una velocidad inferior o igual a 100 km/h en



correspondencia con las velocidades de operación a lo largo de una alineación. En este caso, se estima que velocidades de operación se utiliza como la velocidad de diseño, basado en el radio de la curva y la velocidad deseada en la carretera. Esta velocidad deseada se define como "la velocidad a la que los conductores optar por viajar en condiciones libres de circulación cuando no están limitadas por la alineación.

Estados Unidos. La evaluación de la consistencia en carreteras rurales dos carriles rurales se basa en la obtención del perfil de velocidad mediante la diferencia de la velocidad de diseño con la de operación de los vehículos, si esta diferencia de velocidad es menor de 10 km/h, se considera consistente, si esta entre 10 km/h a 20 km/h es un trazado regular y una diferencia de velocidad por encima de 20 km/h es inconsistente por lo que debe ser evitado. El perfil de velocidad es definido por la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO) como "la velocidad máxima que puede mantenerse durante un tramo determinado de la carretera cuando las condiciones son favorables. Si el camino es consistente, entonces los conductores serían capaces de operar con seguridad a su velocidad deseada a lo largo de toda la alineación, de no ser así confiabilidad disminuyen con las inconsistencia del trazado.

Modelos de perfil de velocidad de operación.

Un modelo no es más que un esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento. En los últimos 50 años se han desarrollado varios modelos para predecir la velocidad de operación, utilizando las características geométricas y de tráfico.

1.3.1 Modelos de Lamm

Muy citados son los modelos de Lamm (1987), desarrollados con velocidades medidas en doscientas sesenta y una curvas en Nueva Cork, el postuló que existía una correlación positiva entre la tasa de cambio de curvatura y la ocurrencia de accidentes. Sobre esa hipótesis, determinó que los conductores seleccionaban una velocidad de operación en función de la percepción de curvatura, la cual no necesariamente correspondía a la de diseño, en dependencia de las diferencias de velocidades que podían existir realizó una clasificación de la consistencia en buena, mala o regular como se muestra a continuación en la (tabla 1.1).



Tabla1.1: Modelos de Consistencia de Lamm (1987)

Criterio	Elemento Geométrico	Intervalo de Tasa de Cambio de Curvatura (CCR)	Criterio de Consistencia	Calificación del Diseño
I	Curvas Simples	$CCR_i \leq 180 \text{ g}$	$IC_i \leq 10 \text{ (km/h)}$	Bueno (Good)
		$180 \leq CCR_i \leq 360 \text{ g}$	$10 \leq IC_i \leq 20 \text{ (km/h)}$	Regular (Fair)
		$CCR_i > 360 \text{ g}$	$IC_i > 20 \text{ (km/h)}$	Malo (Poor)
II	Curvas Sucesivas	$ CCR_i - CCR_{i+1} \leq 180 \text{ g}$	$IC_{II} \leq 10 \text{ (km/h)}$	Bueno (Good)
		$180 \leq CCR_i - CCR_{i+1} \leq 360 \text{ g}$	$10 \leq IC_{II} \leq 20 \text{ (km/h)}$	Regular (Fair)
		$ CCR_i - CCR_{i+1} > 360 \text{ g}$	$IC_{II} > 20 \text{ (km/h)}$	Malo (Poor)
III	Curvas Simples	$CCR_i \leq 180 \text{ g}$	$IC_{III} > + 0,01$	Bueno (Good)
		$180 \leq CCR_i \leq 360 \text{ g}$	$-0,04 < IC_{III} < + 0,01$	Regular (Fair)
		$CCR_i > 360 \text{ g}$	$IC_{III} < - 0,04$	Malo (Poor)

La calificación “Bueno”, corresponde a un diseño consistente, que no requiere cambios sustantivos en el diseño. La calificación “Regular”, corresponde a un diseño que puede tolerar un cierto grado de inconsistencia si se encuentra cercano a la calificación “Bueno”, pero puede requerir rediseño si esta cerca de la calificación “Malo” y eventualmente señales de velocidad máxima. Finalmente, la calificación “Malo” requiere un rediseño.

1.3.2. Modelo Islam y Seneviratne

Islam y Seneviratne (1994) desarrollaron varios modelos de predicción de velocidades sobre una muestra de ocho curvas, distinguiendo entre la velocidad al principio de la curva (PC), a mitad (PM) y al final de ella (PR) (Expresiones 1.1; 1.2 y 1.3). La variable independiente es el grado de curvatura. Obtuvieron coeficientes R² entre 0,90 y 0,98, por tanto mayores que los de los modelos anteriormente citados, aunque con un tamaño muestral muy inferior.

$$V_{op_{PC}} = 95,41 - 1,48 GC - 0,012 GC^2 \quad (1.1)$$

$$V_{op_{PM}} = 96,11 - 1,07 GC \quad (1.2)$$

$$V_{op_{PR}} = 103,03 - 2,41 GC - 0,029 GC^2 \quad (1.3)$$

1.3.3. Modelo McFadden y Elefteriadou:

McFadden y Elefteriadou (1997) establecieron un modelo de velocidad basado en el grado de curvatura (GC (Expresión 1.4), para ello emplearon datos de velocidades tomados en setenta y ocho curvas de Estados Unidos. Posteriormente, McFadden y Elefteriadou (2000) retomaron la hipótesis planteada para desarrollarla, estudiaron veintiuna curvas en carreteras de Pensilvania y Texas, donde tomaron datos de velocidad en cuatro puntos de la recta de aproximación, cinco en la curva y cuatro en la recta de salida, con el fin de analizar la variación de velocidad y la máxima



reducción de la misma. El estudio confirmó la hipótesis, y se encontró que realmente los conductores deben disminuir la velocidad casi el doble de lo que indicaban los estudios anteriores.

$$V_{op} = 103,66 - 1,95 GC \quad (1.4)$$

Tanto los modelos de McFadden – Elefteriadou (2000), Islam y Seneviratne (1994) y Lamm (1987), creados hasta el momento responde únicamente a las condiciones de alineación en planta, pues ambos modelos son aplicables solamente a curvas horizontales presentando una relación directa con el grado de curvatura y no consideran la alineación en perfil, prescindiendo de esta forma de las curvas verticales y del tipo de terreno en que se realizan sus estudios.

1.3.4 Modelos de Polus – Mattar –Habib:

Polus-Mattar-Habib (2000), propusieron un enfoque de análisis de consistencia más amplio, en el cual asumen que en la medida en que exista una mayor varianza punto a punto de la velocidad de operación respecto del valor medio ponderado, y la diferencia total en un trazado entre ambas velocidades sea superior, entonces la inconsistencia aumentara. Los mismos se muestra en la (tabla 1.2) donde se presentan los valores propuestos por los autores.

Ellos plantean que si bien el criterio final a utilizar esta referido al índice de consistencia (c) es necesario definir los estados de las otras variables. Para una curva circular simple, un diseño bueno bajo el enfoque de Lamm (1987) equivale a un diseño aceptable bajo el criterio de Polus ($C1 < 10\text{Km/h}$ equivale aproximadamente a $C < 1,42$) y un diseño malo bajo el criterio de Lamm equivale a un diseño pobre bajo el enfoque de Polus ($C1 > 20\text{Km/h}$ equivale aproximadamente a $C < 0,4$).

Tabla 1.2: Criterios de Consistencia de Modelo de Polus y Mattar-Habib (2000)

Medida de Consistencia	Valores umbrales		
	Bueno	Aceptable	Pobre
Índice de Consistencia	$C > 2$	$1 < C \leq 2$	$C \leq 1$
Área Relativa	$Ra \leq 1$ (m/s)	$1 < Ra \leq 2$ (m/s)	$Ra > 2$ (m/s)
Desviación Estándar	$\sigma \leq 5$ (Km/h)	$5 < \sigma \leq 10$ (Km/h)	$\sigma > 10$ (Km/h)

No obstante, este método permite en forma razonable realizar una calificación global del trazado, que no es posible al aplicar directamente el criterio de Lamm (1987), el cual se utiliza para identificar y corregir elementos específicos y el de Polus y Mattar-habib (2000) para ver el impacto de dicho mejoramientos en el trazado.



Dichos umbrales están calibrados para rutas con valores de consistencia previamente conocido, por lo cual representan solo casos particulares, además no incluye conceptos de estabilidad dinámica la que esta correlacionada con la velocidad en curvas restringida y la influencia de la fricción en las mismas.

1.3.5 Criterio de Steyer:

El criterio de Steyer (2000) obedece al principio, bajo el supuesto que tanto la velocidad de aceleración como la deceleración poseen igual nivel de ponderación. Con esto, plantearon los criterios descritos en la tabla 1.3.

Tabla 1.3: Criterio de Steyer

$K_{EV} = \frac{V_{85,CURVA}}{V_{85,APP}}$	Valor de Deceleración de un vehículo cuando entra a una curva.		
	$a < 0,8 \text{ m/s}^2$	$0,8 \text{ m/s}^2 < a \leq 1,4 \text{ m/s}^2$	$a > 1,4 \text{ m/s}^2$
$K_{EV} \geq 0,9$	Buen	Comportamiento critico del conductor	
$0,9 > K_{EV} \geq 0,75$	Comportamiento		
$K_{EV} < 0,75$	Comportamiento critico del conductor		Peligroso

$V_{85, CURVA}$: V_{85} en el punto medio de la curva; $V_{85,APP}$: V_{85} en el punto medio del segmento de aproximación;

La forma más acertada de evaluar la consistencia en curvas circulares simples a partir de los criterios de aceleración y deceleración de los vehículos es a partir la aceleración (a) según Steyer, (2000), la cual se obtiene mediante la diferencias de velocidades que experimentan los vehículos al aumentar o disminuir su velocidad de circulación. Un aspecto importante en el análisis lo constituye la velocidad, ya que de ella depende en gran manera la seguridad y estabilidad de los vehículos en las curvas. Un vehículo se considera inestable cuando experimenta tendencias muy acentuadas a salirse de la trayectoria impuesta por el conductor, generalmente como resultado de las fuerzas transversales que actúan sobre el como en el caso de la fuerza centrífuga (expresión 1.5). La variable fundamental en esta expresión es la velocidad cuadrática, ya que es directamente proporcional a la fuerza centrífuga y al radio de curvatura, pudiendo influir en la pérdida de control del vehículo.

$$F = \frac{W \cdot V^2}{g \cdot R} \quad (1,5)$$

Donde:

F : Fuerza centrífuga



W : Peso

V : Velocidad g : Aceleración de la gravedad

R : Radio de la curva

Esta constituye la fundamental razón por la que muchos investigadores como Lamm (1987), Fitzpatrick (2000), y Polus-Mattar-Habib (2000), no realizan énfasis en el estudio de la aceleración, centrando sus investigaciones en la relación que existe entre la velocidad de operación y el radio de curvatura, donde al aumentar este mayor será la velocidad al existir una relación directa.

1.3.6 Modelos de Fitzpatrick (2000).

Fitzpatrick para el desarrollo de sus modelos no solo considera el trazado en planta sino también la alineación en perfil, al realizar estudios en ciento setenta y seis lugares ubicados en carreteras de seis regiones de los Estados Unidos con diferentes combinaciones de alineación en planta y perfil (Tabla 1.4).

Hasta el año 2000 no se presentó ningún modelo de predicción de velocidad que considerara el trazado en planta y en perfil, hasta la fecha se tenía conocimientos de estudios realizados en curvas horizontales pero muy escasos los que consideran la consistencia en trazados verticales, por lo que Fitzpatrick se apoyó en estudios previos realizados por Lefevre y Fambro en el año 1953 y 1987 respectivamente para la obtención de sus modelos.

Tabla 1.4: Modelos de velocidad de operación desarrollados por Fitzpatrick.

	Condiciones de alineamiento	Ecuación
1	Curva Horizontal sobre pendiente (-9% < i < -4%)	$V_{85} = 102,10 - \frac{3077,13}{R}$
2	Curva Horizontal sobre pendiente (-4% < i < 0%)	$V_{85} = 105,98 - \frac{3709,90}{R}$
3	Curva Horizontal sobre pendiente (0% < i < 4%)	$V_{85} = 104,82 - \frac{3574,51}{R}$
4	Curva Horizontal sobre pendiente (4% < i < 9%)	$V_{85} = 96,61 - \frac{2752,19}{R}$
5	Curva Horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)	$V_{85} = 105,32 - \frac{3438,19}{R}$
6	Curva Horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad	(nota 1)
7	Curva Horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43$ m / %)	$V_{85} = 103,24 - \frac{3576,51}{R}$; (nota 2)
8	Curva vertical cóncava sobre recta horizontal	V_{85} se asume como la velocidad deseada
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m / %) sobre recta horizontal	V_{85} se asume como la velocidad deseada
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m / %) sobre recta horizontal	$V_{85} = 105,08 - \frac{149,69}{K}$



V_{85} : percentil 85 de velocidad de automóviles (km/h)
R: radio de curva (m)
K: tasa de curvatura vertical (%)
i: pendiente (%)
Nota 1: usa la menor velocidad estimada con las ecuaciones 1 ó 2 (para pendientes descendentes) y 3 ó 4 (para pendientes ascendentes).
Nota 2: además, comparar con la velocidad estimada con las ecuaciones 1 ó 2 (para pendientes descendentes) y 3 ó 4 (para pendientes ascendentes) y usar la menor. Esto asegurará que la velocidad estimada a lo largo de curvas combinadas no será mejor que si solo la curva horizontal esta presente.
(Es decir, la inclusión de una curva convexa con visibilidad limitada resulte en una mayor velocidad).
(Fitzpatrick et al., 2000)

Todas las ecuaciones propuestas por Fitzpatrick (2000) utilizan como única variable independiente el radio de curvatura como se muestra en la (Tabla 1.4). Este modelo de velocidades ha sido implementado por una amplia variedad de programas computacionales como son el caso de TWOPAS, SIMCAR, TRARR, EICAM todos para la simulación de velocidades de circulación de vehículos en vías de dos carriles.

En Cuba se reportan análisis de consistencia del trazado, Raoul, L. (2009) a partir de los modelos desarrollados por Fitzpatrick, y otros (2000), auxiliándose del programa computacional IHSDM, los resultado no fueron idóneos, pues los modelos empleados en el análisis fueron obtenidos para otras condiciones y no reflejan la realidad del trazado de las carreteras nacionales, por lo que se recomendó desarrollar modelos propios.

La NC 53 02 1986 de carreteras no trata la consistencia del trazado como un elemento a tener en cuenta en la Seguridad Vial, en ella no se establece una diferencia de velocidad entre la velocidad de diseño y la de operación, ni entre tramos consecutivos, al no establecer un rango límite entre ellos. Tampoco establece una coordinación planta perfil con la seguridad vial, por lo que no es posible evaluar la consistencia de un trazado aplicando la normativa. Su consideración a la seguridad vial lo establece mediante los requisitos mínimos a tener en cuenta en el proyecto para el diseño geométrico de las carreteras rurales.

Modelo desarrollado

En el curso 2008-2009 mediante la tesis de pregrado de la estudiante Abreu Losada Liusbety se inició el desarrollo del modelo de predicción para la evaluación de la consistencia en las carreteras rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara, en la (tabla 1.5) se muestran los resultados de la primera investigación que se realiza sobre el tema y se obtienen los modelos para las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara.



Tabla 1.5 : Modelos de la primera Investigación

Modelos	Ecuación	Curvas	R ²
Curva horizontal en pendiente	$V_{op}= 69,14-751,89/R$	10	0,78
Curva horizontal en rampa	$V_{op}= 67,18-760,82/R$	10	0,77
Curva horizontal con acuerdo convexo	$V_{op}= 73,23-1210,19/R$	5	0,88
Curva horizontal con acuerdo cóncavo	$V_{op}= 74 - 995,82/R$	5	0,81
Recta con acuerdo convexo	$V_{op}= 76,87-133,33\cdot k$	5	0,83
Recta con acuerdo cóncavo	$V_{op}= 71,25-241,77\cdot k.$	5	0,84

Deficiencias del modelo:

Este modelo no tiene en consideración algunos aspectos fundamentales en la obtención de las condiciones de las carreteras de la provincia y la determinación de los modelos de perfil de velocidad, los cuales se enumeran y se explican a continuación.

1. No se tiene en cuenta todas las combinaciones de alineación horizontal acorde al tipo de terreno, al generalizarlas para curvas horizontales en pendiente y en rampa respectivamente y establecer una ecuación para cada caso específico.

Lo establecido no permite evaluar la consistencia del diseño, valorando el tipo de terreno en que se encuentra la curva horizontal, factor que influye en la determinación de la velocidad de operación de los vehículos, ya que no tiene presente si el mismo es un terreno llano u ondulado, según los criterios establecidos en la NC 53 02 1986.

2. Establecer para los radios de curvatura un rango en el cual se garantice una uniformidad de los estudios realizados.

Otro aspecto lo constituye el radio de curvatura, único elemento geométrico que se encuentra como variable independiente en los modelos desarrollados para el cálculo de la velocidad de operación. No se tuvo en cuenta la calificación de acuerdo a un rango preestablecido del radios de curvatura para la obtención de la velocidad de operación, este agrupamiento influye de forma directa, ya que si utilizamos radios de curvatura muy amplios la velocidad de operación aumenta, de lo contrario si los radios de curvatura son pequeños, la misma disminuiría y de esta forma se garantiza una uniformidad de los estudios realizados a las curvas de la provincia.

Esto puede provocar que se obtengan valores de velocidades ilógicos, muy alejado de la media aritmética y algunos que no se corresponda con las velocidades de operación de los vehículos de dichos lugares.



3. No se considero la longitud mínima deseable en curvas verticales para la determinación del parámetro (K_v).

El parámetro (K_v) establece una relación entre la diferencia algebraica entre las pendientes al tener en cuenta el signo de las mismas y la longitud mínimas deseables para curvas verticales según se indica en el anexo V del Trazado de Vías de Raúl Benítez Olmedo. De esta manera se obtiene una variable en la que se evalúe de forma integral la alineación en perfil con el trazado realizado. El modelo cubano existente no considera la relación entre el perfil de la vía y el trazado de la misma, ya que el este no tiene en cuenta las longitudes mínimas deseable para curvas verticales, realizando exclusivamente la diferencia algebraica de las pendientes, evaluando únicamente la alineación en perfil.

4. La inadecuada obtención de la velocidad de operación o percentil 85.

La obtención de la velocidad de operación (percentil 85) no se realizó adecuadamente, debido a que una vez obtenido las mediciones de velocidad de los vehículos a flujo libre, se calculó la velocidad media y esta se estableció como la velocidad de operación para las condiciones de la provincia. La forma en que se establece el cálculo de la velocidad de operación después de obtenidas y organizadas de forma descendente las velocidades medidas a vehículos que transitan a flujo libre es:

- ❖ La obtención de la frecuencia, con la que se conoce la cantidad de vehículos que pasan a una misma velocidad.

- ❖ La frecuencia acumulada, para la determinación de la variedad de velocidad y la cantidad de vehiculo que transitaron.

- ❖ La obtención de los por cientos de frecuencia acumulada con la que circularon los vehículos a una velocidad determinada.

- ❖ La velocidad correspondiente al 85 por ciento es la considerada como velocidad de operación o percentil 85.

1.4 Programas desarrollados para la simulación de velocidad de operación de vehículos para vías de dos carriles.

En la actualidad podemos encontrar a nivel mundial una amplia variedad de programas computacionales, usados para evaluar el comportamiento operacional del tránsito en vías de dos carriles. Estos incluyen los modelos, SIMCAR utilizados para la simulación de los efectos de la circulación de vehículos en vías de dos carriles, TWOPAS son modelo de simulación por ordenador microscópico de vías dos carriles,



TRARR desarrollado específicamente para la simulación de carreteras dos carriles, EICAM también desarrollados para vías de dos carriles de circulación. Estos modelos varían ampliamente en el detalle y precisión con que se presentan los efectos operacionales de las características de diseño geométrico, como opuestas a los volúmenes de tránsito y a los dispositivos de control.

De los modelos desarrollados a nivel mundial se realiza una breve explicación de dos de los que a nuestro juicio presentan menos limitaciones.

El modelo computacional de TWOPAS es un modelo de simulación por ordenador microscópico de vías dos carriles. El programa fue desarrollado originalmente para la Administración Federal de Carreteras y El Instituto de Investigación, el nombre original del programa fue TWOWAF reconocido entre los años 1971 y 1974. Luego en 1983, en Texas, el Instituto del Transporte comenzó a realizar mejoras a este modelo, donde resultaron varias actualizaciones para TWOWAF el cual tenía la capacidad de simulación de operaciones de tráfico de autopistas de dos carriles, así como los efectos de la curvas horizontales, grados, las curvas verticales y la distancia de visión. El programa fue utilizado en diversos estudios de investigación, nuevas mejoras y validaciones realizadas, como es el programa de mejoras del proyecto para el desarrollo de las autopistas de dos carriles en los Estados Unidos.

Es un modelo que utiliza las técnicas de simulación macroscópica, el cual aplica la teoría de colas para simular el cambio de longitud a lo largo de una carretera. El modelo consta de una serie de módulos destinados a calcular los diversos aspectos del tráfico a lo largo de una carretera de dos carriles. Utiliza dos módulos importantes donde uno de ellos es Velocidad de flujo libre, calculándola en función de los parámetros de velocidades límite, radio de curva, pendiente de la carretera, aceleración y desaceleración de los vehículos.

El otro modulo es el Módulo de Pelotón, modelado a lo largo de la longitud de la carretera. El pelotón de longitud depende de una serie de parámetros tales como el flujo de tráfico, las diferencias de velocidad en carretera, factores de ancho y otros.

Como con todos los modelos, TWOPAS tiene sus limitaciones. Algunos de ellos están relacionados con la capacidad del modelo, mientras que otros están relacionados con los datos de entrada. A continuación se enumeran algunas limitaciones que presenta este modelo.



❖ La flexibilidad de TWOPAS y su interfaz actual en relación con las características del tráfico es limitada. En concreto, no se permiten variaciones en IMD, que se puede cambiar desde la interfaz de usuario.

❖ El conocimiento del entorno, tales como las intersecciones, puentes, el medio ambiente, las zonas sensibles, los trabajos de excavación, las obstrucciones en carretera, no se considera.

❖ Si la distancia de visibilidad restringida debido a obstrucciones en carretera es necesario, debe ser introducida manualmente.

El modelo de TRARR es otro programa que fue desarrollado específicamente para la simulación de carreteras dos carriles. El programa fue desarrollado por el Consejo Australiano de Investigación en Carreteras en 1985 y 1991.

Como con todos los modelos, TRARR tiene sus limitaciones. Algunos de ellos están relacionados con los factores tanto del campo como del humano. A continuación se enumeran algunas limitaciones que presenta este modelo.

❖ Algunos factores incluyen en lo resultados como los factores humanos, potencia del vehículo, porcentajes de peso, que fácilmente puede ser calibrado por medio de las observaciones de campo.

❖ Requieren de una calibración amplia de todos los factores que no pueden ser fácilmente observados en el campo.

❖ A pesar de tales de calibración, todavía no es posible obtener una correlación satisfactoria entre el modelo y el campo de observaciones.

❖ Es inestable en tramos muy largo de carreteras.

❖ Es recomendable no usarlo de modo general, ya que este responde a las vías de dos carriles.

1.5 Conclusiones parciales

❖ Existen diferentes maneras a nivel internacional para evaluar la seguridad vial en carreteras rurales de dos carriles, las que en la totalidad de los casos parten de los riesgos demostrados, geometría de la carretera y el transito; no es confiable la aplicación de ellos en Cuba al ser desarrollados para otras condiciones.

❖ Hay un marcado incremento a nivel mundial en el empleo de modelos matemáticos para evaluar la consistencia del trazado en las carreteras.



❖ Es posible evaluar la consistencia del trazado de carreteras rurales de dos carriles a partir de los modelos de predicción de la velocidad de operación, pero los existentes no se pueden aplicar en Cuba, al ser desarrollados para diferentes condiciones de las carreteras y hábitos de los conductores de otros países.

❖ En Cuba existe poca experiencia en la aplicación de un método para evaluar la consistencia del trazado de las carreteras, por lo que se hace necesario realizar el perfeccionamiento del modelo que se ha estado desarrollando en la UCLV en los últimos dos años y que tenga en cuenta características más reales de las vías en la provincia de Villa Clara.

❖ Es importante tener en cuenta la diferencia entre la velocidad de proyecto y la velocidad de operación dentro de un mismo tramo y entre tramos consecutivos, pues de existir pueden ser causas de accidentes del tránsito.

❖ Luego de la búsqueda bibliográfica realizada, se constata que es posible darle cumplimiento a la hipótesis de esta investigación y establecer e implementar los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara.



Capítulo 99



CAPÍTULO II Metodología de la investigación.

Los resultados alcanzados en el desarrollo de los modelos para la provincia de Villa Clara hasta la fecha no son concluyentes, y teniendo en cuenta la experiencia acumulada en la temática en otros países y particularmente los Estados Unidos es que se hace necesario culminar el trabajo iniciado, para ello se propone la siguiente metodología:

1. Análisis de las carreteras del territorio
2. Recopilación y procesamiento de información de las carreteras
3. Completamiento de la información de las carreteras en el terreno
- ❖ Pendiente longitudinal de los sitios seleccionados
- ❖ Radio de curvatura horizontal
- ❖ Medición de velocidad mediante el empleo de pistola láser
4. Cálculo de la velocidad de operación
5. Determinación de los modelos de predicción de velocidad de operación

2.1 Análisis de las carreteras del territorio

En el desarrollo y perfeccionamiento del modelo según las características de las carreteras de la provincia, se propone realizar una clasificación de los radios agrupándolos en los siguientes rangos basándose en los criterios que establece la NC 53 02 1986. "Elaboración de proyectos de la construcción. Carreteras rurales. Categorización técnica y características geométricas del trazado directo".

- ❖ Radios mayores de 500 metros
- ❖ Radios entre 500 metros y 211 metros
- ❖ Radios entre 210 metros y 75 metros.

La recogida de datos se basó fundamentalmente en las características geométricas de las vías (pendiente y radio de curvatura horizontal) y datos de velocidad medidos en condiciones de flujo libre independencia y homogeneidad, con el objetivo de desarrollar ecuaciones de predicción de velocidad, donde se tenga en cuenta el percentil 85 de la velocidad, que es la velocidad de operación, las combinaciones de alineación horizontal y vertical están basadas exclusivamente en la geometría de las curvas existentes en las carreteras.

Hay tres formas posibles en las que se combinan las alineaciones horizontales y verticales, que afecten las velocidades de operación, según se expone en el artículo de agosto del 2000 “Predicción de Velocidad en Carreteras Rurales de dos Carriles” realizada por La Administración Federal de Carreteras (FHWA), las cuales son:

1. Ley de la alineación horizontal y vertical de forma independiente el uno del otro y su efecto es lineal
2. El efecto de la alineación horizontal o vertical depende del valor del otro y existe una interacción entre ellos
3. La condición de alineación más grave influye en la velocidad de funcionamiento y el uno tiene un efecto marginal sobre el otro, por lo que no puede ser ignorada.

La primera alternativa se produciría cuando la alineación horizontal o vertical controla la selección de las velocidades. Por esta condición, habrá una ecuación de regresión para cuando la alineación horizontal influye en la velocidad de operación y otra para cuando la alineación vertical influye en la velocidad de operación.

La segunda alternativa podría ocurrir mediante la interacción entre la alineación horizontal y vertical y su efecto está condicionado a la alineación vertical, por la presencia de un término de interacción en una ecuación de regresión que tiene variables relacionadas con la alineación horizontal, para los distintos tipos de curvas verticales.

La alternativa final se puede aplicar a las curvas horizontales combinada con una curva vertical. El efecto de la alineación vertical en las velocidades de operación se suma a los efectos de la alineación horizontal y su ecuación de regresión tendría términos de interacción entre las variables de alineación horizontal y vertical.

2.2 Recopilación y procesamiento de información de las carreteras

A partir de los anteriores criterios para perfeccionar los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación se establecen las combinaciones de alineamientos que existen en las carreteras de la provincia, valorando sus características geométricas. Las que se agrupan en:

- 1- Curva Horizontal en pendiente. (-9% a -4%)
- 2- Curva Horizontal en pendiente (-4% a 0%)
- 3- Curva Horizontal en rampa. (0% a 4%)
- 4- Curva Horizontal en rampa. (4% a 9%)

- 5- Curva Horizontal con acuerdo convexo
- 6- Curva Horizontal con acuerdo cóncavo
- 7- Recta con acuerdo convexo
- 8- Recta con acuerdo cóncavo.

Estas combinaciones de alineamiento son las prevalecientes en la provincia las cuales responde a las diferentes formas en que se pueden relacionar las alineaciones en planta y perfil. Cuando se comparan las condiciones obtenidas por Fitzpatrick 2000 para los Estados Unidos con las condiciones para el territorio, estas son similares, con la excepción de las curvas horizontales combinadas con curvas verticales y curvas verticales con acuerdo (cóncavo o convexo) sin limitación de visibilidad, las cuales no existen en la provincia ya que la velocidad está restringida por la distancia de visibilidad.

La definición de los rangos de las pendiente esta condicionado al tipo de terreno en que se encuentra la curva ya sea vertical o horizontal, esto criterios son establecidos según se plantea en la NC 53 02 1986, donde especifica que para una pendiente de (4% a 9%) el terreno es de tipo ondulado y para una pendiente de (0% a 4%) el mismo es llano.

El estudio incluyó información brindada por Centro Provincial de Vialidad sobre las curvas horizontales y verticales. En las curvas horizontales, los datos obtenidos incluyeron el grado de curvatura (G_c), ángulo de inflexión (Δ), radio (R), peralte (e), punto de comienzo de la curva (PC), y punto final de la curva (PT). En curvas verticales, los datos geométricos incluyen la pendiente de entrada (G_1) y la pendiente de salida (G_2), junto con una nota para identificar si la curva vertical se encuentra en cima o depresión, la longitud de la curva vertical (LV), comienzo de la curva (PC), y el final de la curva (PT).

En el proceso para obtener el ajuste de los modelos de predicción de velocidad de las carreteras rurales de dos carriles para la provincia de Villa Clara se estudiaron 91 sitios clasificados en diferentes condiciones, en los cuales se agrupan la mayorías de las curvas existente en la provincia para carreteras rurales de interés nacional de dos carriles, las cuales están condicionados por el tipo de terreno, las pendientes de las vías y los tipos de curvas. El estudio de velocidad se realizó en varias carreteras rurales de interés nacional de dos carriles.

Se considera sitio a la agrupación de una o varias curvas de la misma condición ya sea horizontales, verticales o la combinación de las mismas, las cuales presentan características geométricas similares en cuanto a: grado de curvatura, radio curvatura, pendiente de la vía, ángulo de inflexión, lo que simplifica el estudio realizado, expresado en el artículo de agosto del

2000 “Predicción de Velocidad en Carreteras Rurales de dos Carriles” por La Administración Federal de Carreteras (FHWA) 2000.

Los criterios utilizados en la selección de los sitios son a partir de las combinaciones de planta y perfil, los puntos de inflexión no pueden estar cerca de las ciudades o áreas desarrolladas que puede afectar significativamente los patrones de velocidad en las curvas. Los criterios generales utilizados para seleccionar los lugares se resumen (tabla 2.1) los cuales fueron seleccionados para representar las condiciones más comunes que se encuentran en la provincia.

Tabla 2.1: Criterios generales para la selección de los sitios

CRITERIOS GENERALES	CARACTERÍSTICA
Tipo de zona	Rural
Clasificación funcional	menor arterial
Velocidad de diseño	60 km/h
Límite de velocidad	59 km/h a 106 km/h
Tipo de terreno	llano y ondulado
Radios	75 m, mas de 210 m
Volúmenes de tráfico	750 a 4000 vehículo/día
Anchos	3,00 m a 3,25 m
Longitud curva horizontal	No hay restricciones
Longitud curva vertical	40 a 320 m

En la determinación del número existente de sitios se tuvieron en cuenta los rangos de los radios predeterminados por la NC 53 02 1986, las condiciones de alineamiento de planta y perfil, y la cantidad de sitios existente por cada condición. Dentro de cada uno de los intervalos de radios, se establecieron agrupamientos de las curvas existente de acuerdo al radios de curvatura y la velocidad de operación por cada condición por específico.

La selección de los sitios se realiza a partir de la expresión 2.1 la cual es obtenida al considerar al peralte y la fricción transversal como los elementos que contrarrestan el efecto de la fuerza centrífuga y relaciona de forma cuadrática la velocidad y el radio mínimo de curvatura.

$$R_c = \frac{V^2}{127,14 * (e + \mu)} \quad (2.1)$$

Donde:

e = tasa de peralte (m / m)

μ = factor de fricción lateral (0.16 para velocidad de diseño de 60Km/h)

V = velocidad del vehículo (km / h)

R = radio de curvatura (m)

En el anexo II del libro Trazado de Vías de Raúl Benítez Olmedo (Valores de peralte y longitudes mínimas para las distintas curvaturas de radios, para las diferentes velocidades de diseño), se obtuvo los valores mínimos de peralte correspondiente a la velocidad de diseño de 60 Km/h perteneciente a las vías estudiadas en el territorio. A partir del peralte mínimo, el coeficiente de fricción lateral y la velocidad de diseño de las carreteras la cual se considera mínima, se aplica la expresión 2.2 en la determinación de los radios mínimos deseables con diferencias de velocidades de ± 5 Km/h, quedando de esta forma establecidos los intervalos de radios para los sitios, predeterminados a partir de la NC 53 02 1986, la que establece un radio mínimo de 75 m para vías de categoría III y velocidad de diseño de 60 Km/h. Los resultados se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Intervalos de radios para los sitios establecidos a partir del peralte mínimo para velocidad de diseño de 60 Km/h

Radios (75- 210)m				Radios (211- 500)m				Radios (+) 500m			
V	e(%)	μ	R	V	e(%)	μ	R	V	e(%)	μ	R
60	0,097	0,16	110	80	0,085	0,14	224	110	0,048	0,13	535
65	0,093	0,16	131	85	0,075	0,14	277	115	0,046	0,13	591
70	0,092	0,15	159	90	0,07	0,14	318	120	0,043	0,13	647
75	0,089	0,14	185	95	0,063	0,13	366	125	0,04	0,13	710
				100	0,055	0,13	413	130	0,035	0,13	782
				105	0,05	0,13	458	135	0,025	0,13	869
								140	0,025	0,13	995
								145	0,02	0,13	1067
								150	0,02	0,13	1180

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la expresión 2.1 valores radios mínimos deseables, con los cuales se establecen los sitios para cada rango de radios preestablecidos a partir de la norma cubana, que recomienda un radio mínimo de 75 m para carretera de

categoría III. A continuación se muestran los sitios obtenidos a partir del análisis de los resultados de la tabla 2.2.

1. Intervalos de radios entre (75 – 210) m, se definen cuatro sitios
 - ❖ Radios entre (75 – 131) m
 - ❖ Radios entre (131 - 159) m
 - ❖ Radios entre (159 – 185) m
 - ❖ Radios entre (185 - 210) m
2. Intervalos de radios entre (211 – 500) m, se definen seis sitios
 - ❖ Radios de (211 – 277) m
 - ❖ Radios de (277 – 318) m
 - ❖ Radios de (318 – 366) m
 - ❖ Radios de (366 – 413) m
 - ❖ Radios de (413 – 458) m
 - ❖ Radios de (458 – 500) m
3. Intervalos de radios de mayores de 500 m. se definen nueve sitios.
 - ❖ Radios de (501 – 535) m
 - ❖ Radios de (536 – 591) m
 - ❖ Radios de (592 – 647) m
 - ❖ Radios de (648 – 710) m
 - ❖ Radios de (711 – 782) m
 - ❖ Radios de (783 – 869) m
 - ❖ Radios de (870 – 995) m
 - ❖ Radios de (996 – 1067) m
 - ❖ Radios de (+ 1067) m.

Una vez establecidos los sitios existentes en cada condición para el desarrollo de los modelos, es necesario determinar el número de sitios para la validación de los modelos, mediante el cálculo del número de muestras necesarias (Expresión 2.2). En este proceso estadístico se

cuenta con el total de curvas existentes en la provincia de las vías de interés nacional por cada condición y el rango de los radios de curvatura respectivamente, pudiéndose establecer estos como población para cada caso en específico. A continuación se muestra todo el procedimiento seguido para la obtención de los mismos.

La **confianza** o el **porcentaje de confianza** es el porcentaje de seguridad que existe para generalizar los resultados obtenidos. Esto quiere decir que un porcentaje del 100% equivale a decir que no existe ninguna duda para generalizar tales resultados, pero también implica estudiar a la totalidad de los casos de la población.

En función de evitar un costo muy alto para este tipo de estudio o debido a que en ocasiones llega a ser prácticamente imposible estudiar todos los casos, entonces se busca un porcentaje de confianza menor. Comúnmente en las investigaciones de ciencias técnicas se trabaja con un 95%.

El **error** o **porcentaje de error** equivale a elegir una probabilidad de aceptar una hipótesis que sea falsa como si fuera verdadera, o la inversa: rechazar a hipótesis verdadera por considerarla falsa. Al igual que en el caso de la confianza, si se quiere eliminar el riesgo del error y considerarlo como 0%, entonces la muestra es del mismo tamaño que la población, por lo que conviene correr un cierto riesgo de equivocarse. Comúnmente se aceptan entre el 4% y el 6% como error, tomándose para este caso un error de 5%.

Cuando se requiera estimar el tamaño de una muestra a partir de conocer la población de la misma los valores de p y q presentan un valor de 0.5 para cuando estos son desconocidos.

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{N * E^2 + Z^2 * p * q} \quad (2.2)$$

Donde:

n - es el tamaño de la muestra;

Z - es el nivel de confianza;

p - es la variabilidad positiva;

q - es la variabilidad negativa;

N - es el tamaño de la población;

E - es la precisión o error.

La tabla 2.3 refleja la cantidad de sitio para intervalos de radios mayores de 500 metros, el número de curvas por sitio correspondiente a cada condición en específico y también el total de curvas por condición. Además las condiciones que no presentan ninguna curva con relación con un sitio determinado, es porque dicho sitio no existe en la provincia y de esta forma podemos determinar la cantidad real de sitios por condición, conociendo de esta forma la población existente y a partir de esta, obtener el tamaño de la muestra para la validación de los modelos del perfil de velocidad.

Tabla 2.3: cantidad de sitios para intervalos de radios mayores de 500 metros

Agrupamiento de las curvas con Intervalos de radios mayores de 500m									
Rango Cond.	501- 600	601- 700	701- 800	801- 900	901- 1000	(+) 1000	Total curva	Sitios (N)	n
1	1	1	0	0	0	0	2	2	2
2	16	3	6	4	3	20	52	6	6
3	14	7	4	2	2	21	50	6	6
4	2	3	0	1	1	2	9	5	5
5	6	1	2	2	3	5	19	6	6
6	9	0	0	0	0	6	15	2	2

En el (anexo 2.1) se encuentra la cantidad de sitios por condiciones para las curvas con radios mayores de 500 metros, su lugar de ubicación y la carretera donde se encuentra.

La tabla 2.4 refleja la cantidad de sitio para intervalos de radio entre (500-211) metros, el número de curvas por sitio correspondiente a cada condición en específico y también el total de curvas por condición. Además las condiciones que no presentan ninguna curva con relación con un sitio determinado, es porque dicho sitio no existe en la provincia y de esta forma podemos determinar la cantidad real de sitios por condición, conociendo de esta forma la población existente y a partir de esta, obtener el tamaño de la muestra para la validación de los modelos del perfil de velocidad.

Tabla 2.4: cantidad de sitios para intervalos de radio entre (500-211) metros

Agrupamiento de las curvas con Intervalos de radios entre(500 – 211)m												
Rango Cond.	211- 233	234- 266	267- 300	301- 333	334- 366	367- 400	401- 433	434- 466	467- 500	Total curva	Sitio (N)	n
1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4	4	4
2	3	4	8	4	7	5	6	6	5	48	8	7
3	3	2	7	2	4	9	3	3	2	35	8	7
4	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4	4	4
5	0	3	3	3	0	3	0	0	0	12	4	4
6	3	2	3	0	2	3	0	2	2	17	7	6

En el (anexo 2.2) se encuentra la cantidad de sitios por condiciones para las curvas con rangos de radios entre (500 – 211) metros, su lugar de ubicación y la carretera donde se encuentra.

La tabla 2.5 refleja la cantidad de sitio para intervalos de radio entre (210 – 75) metros, el número de curvas por sitio correspondiente a cada condición en específico y también el total de curvas por condición. Además las condiciones que no presentan ninguna curva con relación con un sitio determinado, es porque dicho sitio no existe en la provincia y de esta forma podemos determinar la cantidad real de sitios por condición, conociendo de esta forma la población existente y a partir de esta, obtener el tamaño de la muestra para la validación de los modelos del perfil de velocidad.

Tabla 2.5: cantidad de sitio para intervalos de radio entre (210 – 75) metros

Agrupamiento de las curvas con Intervalos de radios entre (210 – 75)m							
Rango Cond.	81-110	111-140	141-170	171-200	Totales	Sitios (N)	n
1	0	0	0	1	1	1	1
2	2	1	5	3	11	4	4
3	3	1	2	3	9	4	4
4	0	0	0	1	0	1	1
5	0	1	0	1	2	2	2
6	0	0	0	0	0	0	0

En el (anexo 2.3) se encuentra la cantidad de sitios por condiciones para las curvas con rangos de radios entre (210 – 75) metros, su lugar de ubicación y la carretera donde se encuentra.

En la (tabla 2.6) se muestran las combinaciones de alineación en tangentes con acuerdo cóncavo y convexo, en la figura (2.1) donde se muestra las diferentes formas en que pueden combinarse las pendientes de las carreteras de la provincia. La definición de los rangos se estableció a partir de la longitud mínima deseables para curvas verticales según se indica en el anexo V del Trazado de Vías de Raúl Benítez Olmedo, las cuales se obtienen a partir de la diferencias algebraica entre las pendientes, teniendo en cuenta su signo, es decir, si es rampa (+) y si es pendiente (-), de forma quedan constituidos los sitios existente en el territorio, agrupándose las curvas en cuanto a: longitud de la curva vertical, si la misma se encuentra en cima o depresión y la diferencia algebraica entra las pendientes (K_v). En la provincia no son muy abundantes las curvas con estas características, por la que se ha determinado tomar el total de curvas como la población en vez del número de sitios existente, con el objetivo de obtener modelos de predicción de velocidad, confiables.

Tabla 2.6: combinaciones de alineación en tangentes con acuerdo cóncavo y convexo

Agrupamiento de las curvas verticales de acuerdo a su longitud							
Rango Condiciones	Lv (40)	Lv (80)	Lv (120)	Lv (180)	Total curva	Sitio (N)	n
7-Recta con acuerdo convexo	3	3	1	1	8	8	7
8-Recta con acuerdo cóncavo	4	3	2	0	9	9	8

En el (anexo 2.4) se encuentra la cantidad de sitios por condiciones para las curvas verticales, su lugar de ubicación y la carretera donde se encuentra.

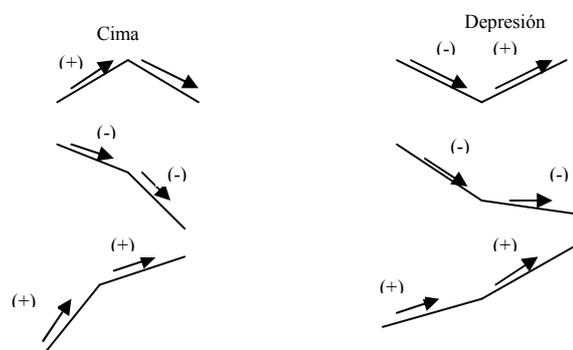


Figura 2.1 combinaciones de pendientes

Con el fin de organizar el procedimiento de selección de los sitio, se establecieron intervalos de radios en las que se agrupan las curvas de la provincia en función de las combinaciones de alineación en planta y perfil. La tabla 2.7 muestra la matriz de sitios deseados con las diferentes combinaciones de elementos horizontales y verticales que se estudiaron, mostrándose el número existente de sitios para el desarrollo de los modelos, el número real de sitios necesarios para el desarrollo y la cantidad de sitios para la validación del mismo.

Tabla 2.7: matriz de sitios deseados

Intervalos de Radios Condiciones	(+) 500	500-211	210-75	(-75)	Tang.	total
1-Curva Horizontal en pend. (-9% a -4%)	2\2\2	4\4\4	1\1\1	0\0\0	0\0\0	7\7\7
2-Curva Horizontal en pend. (-4% a 0%)	6\6\6	8\7\8	4\4\4	0\0\0	0\0\0	18\17\18
3-Curva Horizontal en rampa. (0% a 4%)	6\6\6	8\7\8	4\4\4	0\0\0	0\0\0	18\17\18
4-Curva Horizontal en rampa. (4% a 9%)	5\5\5	4\4\4	1\1\1	0\0\0	0\0\0	10\10\10
5-Curva Horizontal con acuerdo convexo	6\6\6	4\4\4	2\2\2	0\0\0	0\0\0	12\12\12
6-Curva Horizontal con acuerdo cóncava	2\2\2	7\6\7	0\0\0	0\0\0	0\0\0	9\8\9
7-Recta con acuerdo convexo	0\0\0	0\0\0	0\0\0	0\0\0	8\7\8	8\7\8
8-Recta con acuerdo cóncavo	0\0\0	0\0\0	0\0\0	0\0\0	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:4/4/4 - Número existente de sitios / número real de sitios para el desarrollo de modelos / número de sitios para la validación de los modelos.

2.3 Completamiento de la información.

En este epígrafe se hace mención al completamiento de los datos necesarios para el desarrollo de los modelos mediante mediciones directas en el terreno de las pendiente, radios y velocidad de circulación tanto un curvas horizontales como verticales de los sitios seleccionados, realizadas en conjunto con el Departamentos Provincial de Ingeniería del Transito.

Pendiente longitudinal de los sitios seleccionados.

La pendiente de los sitios estudiados se determina mediante un método muy sencillo (Figura 2.2) empleando una cuerda de 10 m, un nivel y dos reglas graduadas.

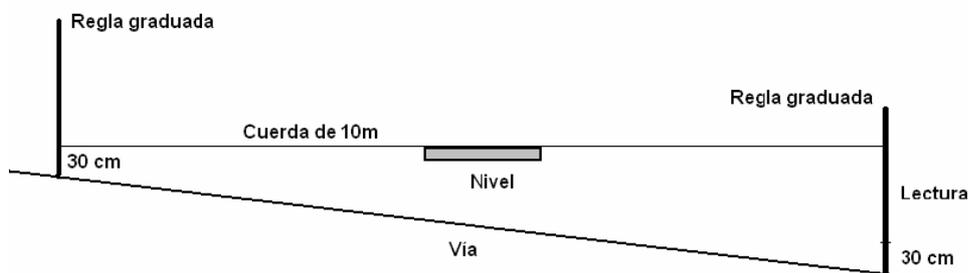


Figura 2.2 método para determinar las pendientes

En las combinaciones de alineamientos con rectas se debe obtener la diferencia algebraica entre pendientes en tanto por uno, para el calculo de (k_v) (Expresión 2.3).

$$k_v = \frac{G2 - G1}{L_v} \quad (2.3)$$

Donde:

- ❖ G1 pendiente de entrada en %
- ❖ G2 pendiente de salida en %
- ❖ L_v longitud de la curva vertical en metros.

Determinación del radio de las curvas horizontal.

El radio de la curva se determinó mediante el empleo un método muy simple (Figura 2.3), partiendo de medir las flechas (f) de la curva con una cuerda de 20 m, se determina la flecha promedio (f_{prom}) (Expresión 2.4) y de ahí se obtiene el radio (R) de la curva (Expresión 2.5).

$$f_{prom} = \frac{\sum f}{n} \quad (2.4)$$

$$R = \frac{C^2 + f_{prom}^2}{8 \cdot f_{prom}} \quad (2.5)$$

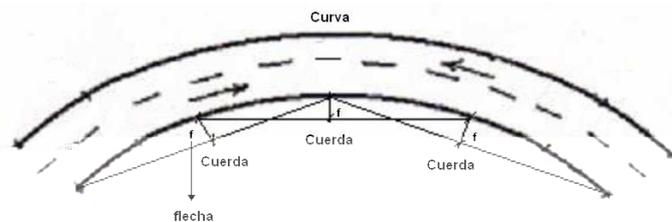


Figura 2.3 método para determinar los radios de las curvas

Obtener el radio de la curva es de gran importancia, ya que este constituye la variable independiente dentro de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación de las curvas horizontales y sus posibles combinaciones con la alineación vertical.

Velocidad de operación a través de la pistola láser.

La toma de muestras de velocidad en el terreno es uno de los pasos más importantes en el proceso, ya que de ello depende que el modelo refleje la realidad, por lo que se debe ser en extremo cuidadoso en este aspecto. Para realizar las mediciones de velocidad de operación se empleó una pistola láser (Figura 2.4) la cual es capaz de captar la velocidad de los vehículos desde varias posiciones. Al estudiar el manual y conversar con el personal capacitado para su utilización puntualizamos que el fabricante da un error en las mediciones (e_p) de la misma de $\pm 2,5$ km/h.



Figura 2.4 pistola láser

En el procedimiento para obtener la velocidad de operación en las curvas se deben tener en cuenta algunos aspectos que ayudan a seleccionar con calidad las muestras:

- ❖ Automóviles ligeros y que transiten a flujo libre

- ❖ Las mediciones se deben realizar durante el día
- ❖ El pavimento debe estar seco y en buen estado
- ❖ Utilizar para obtener las velocidades una pistola láser.

La Administración Federal de Carreteras y el Departamento de transporte de los Estados Unidos realizaron un estudio relacionado con el lugar de la curva donde se propicia un aumento de la velocidad de operación de los vehículos, para lo cual colocaron sensores piezoeléctricos, como se muestra en la (figura 2.5), los cuales se colocaron antes de entrar a la curva y en el centro de la curva. Los resultados obtenidos sustentaron que existe una tendencia de los conductores al encontrarse cercano a una curva horizontal de disminuir su velocidad y cuando se encuentra dentro de la misma existe un incremento de la velocidad obteniéndose la máxima velocidad en el centro de la curva.

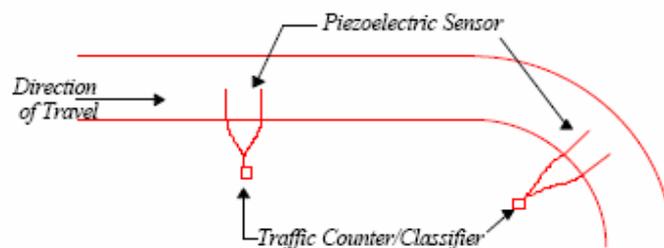


Figura 2.5 ubicación de sensores piezoeléctricos

- ❖ Dirección de viaje.
- ❖ Sensor piezoeléctrico.
- ❖ Tráfico Contador / Clasificador.

Anteriores investigaciones realizadas en el territorio, Abreu 2009; analizó varias curvas, en la cual estudió para cada una, nueve puntos dentro de las mismas, obteniendo como resultado que no existen diferencias significativas entre los puntos, llegando a proponer que se puede realizar la medición en cualquier punto de la curva, pero preferiblemente en el centro de la misma, pues existe un incremento de la velocidad en la medida en que se acercan los conductores al punto medio, ocurriendo de similar manera que en los Estados Unidos.

Las mediciones para el desarrollo de los modelos se efectúan en el centro de la curva, es decir, se toma la velocidad de operación de los vehículos con la pistola láser aproximadamente en el centro de la curva (Figura 2.6) hasta tener una muestra de 23 o más valores, en dependencia

de la desviación estándar calculada y comprobada en el sitio de medición, establecido por estudios desarrollado por la Facultad de Construcciones de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, mediante la tesis de grado de la ingeniera Abreu Losada Liusbety durante el curso 2008-2009.

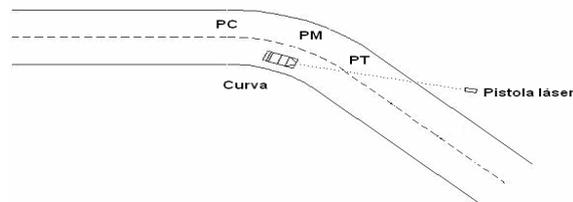


Figura 2.6 ubicación de la pistola láser

Atendiendo al criterio planteado por la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO) que plantea; medir la velocidad en el punto mínimo de visibilidad de la curva vertical, el que corresponde a la altura de 1,07 m por debajo del punto más alto de la curva vertical, altura en la cual el ojo del conductor alcanzar ver más allá de la cresta de la curva como se muestra en la (figura 2.7).

El punto mínimo de distancia de visibilidad se determinó con el equipamiento disponible en el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito.

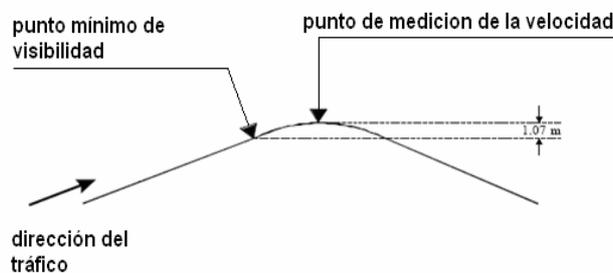


Figura 2.7 punto mínimo de visibilidad de la curva vertical

2.4 Cálculo de la velocidad de operación.

Luego de obtener las velocidades de circulación de los vehículos a flujo libre en el terreno y determinada la desviación estándar de la muestra, la cual debe tener un valor menor (6 km/h), valor asumido para dicha muestra, se procede a comprobar las mediciones obtenidas. En caso de que ocurra lo contrario, o sea, que no cumpla se continúan tomando muestras, calculándose nuevamente la desviación estándar y realizando la comparación hasta alcanzar el valor asumido.

Una vez obtenida y comprobada la muestra y conociendo la condición en la que se encuentra la curva horizontal o vertical estudiada se realiza el cálculo de la velocidad de operación de dicha curva. Primeramente se realiza un ordenamiento de forma ascendente de las velocidades medidas en terreno, con el objetivo de tener los datos ordenados para la determinación de la frecuencia. Después de obtenida la frecuencia se determina la frecuencia acumulada, y con este obtener el por ciento de las velocidades acumulada respecto al total de la muestra, Conocidos estos se toma el 85 por ciento y se busca la velocidad correspondiente a dicho valor, obteniéndose de esta forma la velocidad de operación.

2.5 Determinación de los modelos de predicción de velocidad de operación.

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 asistente matemático SPSS 16.0.1 (Paquete Estadístico de Ciencias Sociales, en español). En la obtención de los modelos se utilizó una regresión lineal introduciéndose 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 tomo como único valor el de (Kv) , diferencia algebraica entre las pendientes.

En investigaciones anteriores realizadas por la Facultad de Construcciones de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, se estableció un modelo de predicción de velocidad para las curvas horizontales en pendiente y rampa, en la cual no se consideró lo establecido en la NC 53 02 1986 respecto al tipo de terreno en que se puede encontrar la misma.

Como se ha planteado esta es una de las deficiencias del modelo, es por ello que se hace necesario realizar un análisis de clasificación por el método de Clúster (Tabla 2.8) que nos permita agrupar los datos obtenidos en el terreno según el tipo de combinación de alineamiento existente.

Tabla 2.8: Clasificación por el método de Clúster

Final Clúster Centers				
	Clúster			
	1	2	3	4
inv.Radio	.00	.00	.00	.00
pendiente	1,00	-4,00	-1,00	4,00

Number of Cases in each Cluster	
1	18,000
2	7,000
3	18,000
4	9,000
Valid	52,000
Missing	,000

Según los resultados obtenidos del análisis de clasificación realizado por el método de Clúster, se puede apreciar que existen cuatro agrupaciones en los datos tomados en el terreno, dos de las cuales pertenecen a valores superiores e inferiores a -4% de pendiente, para las curvas horizontales en pendiente. Las restantes agrupaciones pertenecen a valores superiores e inferiores a 4% de pendiente, para las curvas horizontales en rampas. Según los criterios establecidos en la NC 53 02 1986 en consideración al tipo de terreno en que se encuentra la curva horizontal la cual establece:

- ❖ Terreno llano para pendientes comprendidas entre (0% y $\pm 4\%$)
- ❖ Terreno ondulado para pendientes comprendidas entre ($\pm 4\%$ y $\pm 9\%$)

A partir del análisis realizado a lo establecido por la norma cubana se obtiene la cantidad de muestra obtenidas por agrupaciones y el total de analizadas las que se muestra en la tabla 2.9

Tabla 2.9 Agrupación por Clúster para curvas horizontales.

<u>Tipo de curva horizontal</u>	<u>Rango de Pendiente</u>	<u>Cantidad</u>
Curvas horizontales en pendiente	pendiente (-9% a -4%)	7
Curvas horizontales en pendiente	pendiente (-4% a 0%)	18
Curvas horizontales en rampa	pendiente (0% a 4%)	18
Curvas horizontales en rampa	pendiente (4% a 9%)	9

} 52

De estos resultados se llega a la conclusión que es necesario realizar cuatro modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para las curvas horizontales en pendientes y rampas según las condiciones propias de la provincia:

1. Curvas horizontales en pendientes (-9% a -4%)
2. Curvas horizontales en pendientes (-4% a 0%)
3. Curvas horizontales en rampa (0% a 4%)
4. Curvas horizontales en rampa (4% a 9%)

A partir de la información obtenida se plotean en una gráfica los valores de velocidad contra el inverso del radio en el caso de curvas horizontales y de velocidad contra K_v en curvas verticales, obteniéndose la recta de mejor ajuste y con esta los valores de la ecuación para cada situación existente. Es necesario determinar el porcentaje de variabilidad (R^2) con el cual

se conoce el ajuste de la recta de la ecuación del modelo, el cual debe ser un valor cercano o mayor a 0,7, mientras más se acerque a la unidad mejor será el ajuste del modelo.

Una vez obtenidas la recta de la ecuación del modelo y los valores de la misma se emplea la asistencia del programa matemático SPSS 16.0.1 para comprobar de forma estadística el ajuste y los valores de la ecuación y obtener los modelos de perfil de velocidad para las condiciones de las carreteras de la región. Se puede plantear que los modelos obtenidos son válidos para cuando:

- ❖ no exista autocorrelación; coeficiente de Durbin-Watson (d) próximo a 2.
- ❖ no exista multicolinealidad; Condición Index (i_c) es menor 20.
- ❖ nivel de significación de las constantes menor que 0,05.

Si los resultados obtenidos del asistente matemático son positivos, se constituyen las ecuaciones del mismo para cada condición:

$$V_{op} = a - \frac{b}{R}, \text{ para el caso de curvas horizontales}$$

$$V_{op} = a - \frac{b}{k}, \text{ para el caso de curvas verticales.}$$

A continuación se muestra un ejemplo del procedimiento empleado en la obtención de los modelos de predicción de velocidad de operación para la condición 2 " Curvas horizontales en pendiente (-4% a 0%) " la cual es una de las que con más frecuencia existe en la provincia y las restantes se agrupan en los anexos 2.5 (Mediciones obtenidas en el terreno por condiciones); 2.6 (Recta de mejor ajuste por condiciones); 2.7 (Resultados de análisis matemático del programa SPSS 16.0.1 por condiciones)

En la tabla 2.10 se muestran los valores de las mediciones obtenidas (inverso del radio y la velocidad de operación), utilizadas en la obtención del modelo para las curvas horizontales en pendientes de (-4% a 0%), así como su lugar de ubicación y carretera a la que pertenece.

Tabla 2.10: valores de las mediciones obtenidas (inverso del radio y la velocidad de operación),

Est. Inicial	Est. Final	1/Radio	V (opr)	Carretera
44+8,34	57+5,04	0,00714	69,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
32064+0,00	32088+0,00	0,00152	74,6	Santa Clara - Placetas
114+7,64	120+6,53	0,00588	69,8	Santa Clara - Entronque de Vueltas
545+4,13	551+2,99	0,00345	72,6	Santa Clara - Sagua
31642+0,00	31647+4,45	0,00308	72,6	Santa Clara - Placetas
31904+0,00	31940+0,00	0,00122	77,2	Santa Clara - Placetas
2840+0,00	2862+5,00	0,00286	72,9	Santa Clara - Entronque de Vueltas
1740+0,00	7555+0,00	0,00256	73,1	Santa Clara - Entronque de Vueltas
1835+0,00	1849+0,00	0,00233	73,4	Santa Clara - Entronque de Vueltas
31200+0,00	31223+0,00	0,00106	79,3	Santa Clara - Placetas
596+4,62	609+5,57	0,00926	67,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
32224+0,00	32268+0,00	0,00136	76,1	Santa Clara - Placetas
268+2,91	302+5,38	0,00080	80,2	Santa Clara - Manicaragua
728+7,22	754+7,16	0,00221	73,6	Santa Clara - Manicaragua
570+0,59	597+9,88	0,00472	72,1	Santa Clara - Manicaragua
314+7,72	333+0,14	0,00206	73,6	Santa Clara - Manicaragua
372+9,36	393+5,10	0,00180	73,8	Santa Clara - Manicaragua
896+9,39	915+5,28	0,00500	71,3	Santa Clara - Manicaragua

En la determinación del modelo de predicción del perfil de velocidades se introducen los datos de las variables obtenidas (inverso del radio y la velocidad de operación) en el asistente matemático SPSS 16.0 y mediante un análisis de regresión lineal se obtiene las constantes de la ecuación del modelo (tabla 2.11).

Tabla 2.11 Constantes de la ecuación del modelo para la Condición 2, curvas horizontales en pendiente (-4% a 0%)

Model Summary ^b						
Model	R	R Square	Adjusted R	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
1	0,875 ^a	0,766	0,751	1,591222	1,995	
a. Predictors: (Constant), InvR						
b. Dependent Variable: Vop						
Coefficients ^a						
Model		Unstandardized		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	77,430	0,658		117,72	,000
	InvR	-1206,266	166,788	-0,875	-7,232	,000
a. Dependent Variable: Vop						
Collinearity Diagnostics ^a						
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	InvR	
1	1	1,821	1,000	,09	0,09	
	2	0,179	3,194	,91	0,91	
a. Dependent Variable: Vop						

Luego se compara la autocorrelación y la multicolinealidad con los parámetros establecidos para comprobar la calidad del modelo:

$d = 1,995$ es próximo a 2 \therefore no hay autocorrelación.

$i_c = 3,194$ es menor 20, \therefore no hay multicolinealidad.

El nivel de significación de las constantes es menor que 0,05 por lo que se demuestra que el modelo es válido y la ecuación para el mismo es:

$$V_{op} = 77,43 - 1206,266/R$$

Con el ejemplo expuesto se muestra el procedimiento a seguir en la conformación de los modelos de predicción de velocidad de acuerdo a las características de la provincia.

En la tabla 2.12 se reflejan los resultados estadísticos de los modelos de predicción de velocidad para cada condición atendiendo al ajuste del modelo (R^2), autocorrelación, multicolinealidad y nivel de significación de las constantes llegando a definir la clasificación del modelo.

Tabla 2.12: resultados estadísticos de los modelos de predicción de velocidad para cada condición

Condiciones	R^2	d	i_c	Sig.		Clasific.
				1/R	Kv	
Curva horizontal en pendiente (-9% -4%)	0,833	1,786	5,691	.004	-	bueno
Curva horizontal en pendiente (-4%- 0%)	0,766	1,995	3,194	.000	-	bueno
Curva horizontal en rampa (0% - 4%)	0,851	2,108	3,194	.000	-	bueno
Curva horizontal en rampa (4% - 9%)	0,706	2,160	4,484	.002	-	bueno
Curva horizontal con acuerdo convexo	0,733	2,015	3,257	.000	-	bueno
Curva horizontal con acuerdo cóncavo	0,772	2,027	5,171	.002	-	bueno
Recta con acuerdo convexo	0,799	2,106	5,742	-	.003	bueno
Recta con acuerdo cóncavo	0,693	1,859	6,178	-	.005	bueno

A partir de verificar los resultados estadísticos obtenidos y establecer 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.

En la tabla 2.13 se muestran los modelos obtenidos para las carreteras rurales de dos carriles de circulación, las cuales fueron estudiadas en la provincia de Villa Clara, atendiendo a las combinaciones de alineamientos existentes.

Tabla 2.13: modelos obtenidos para las carreteras rurales de dos carriles de circulación

Condiciones	Ecuación	R^2	Sitios
Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)	$V_{op}=76,587-1305,731/R$	0,833	7
Curva horizontal en pendiente (-4% a 0%)	$V_{op}= 77,43-1206,266/R$	0,766	18
Curva horizontal en rampa (0% a 4%)	$V_{op}= 77,212-1435,599/R$	0,851	18
Curva horizontal en rampa (4% a 9%)	$V_{op}= 79,977-2410,793/R$	0,706	10
Curva horizontal con acuerdo convexo	$V_{op}= 79,883-1744,898/R$	0,733	12
Curva horizontal con acuerdo cóncavo	$V_{op}= 83,599-2247,827/R$	0,772	9
Recta con acuerdo convexo	$V_{op}= 83,332-0,157/kv$	0,799	8
Recta con acuerdo cóncavo	$V_{op}= 84,018-0,177/kv$	0,693	9

2.6 Conclusiones parciales:

❖ Se estableció el procedimiento a seguir para la obtención de los modelos de predicción de la velocidad de operación para las carreteras rurales de interés nacional de dos carriles de circulación.

❖ Se determinaron las condiciones de alineación en el trazado en planta y perfil existentes en el territorio, para las carreteras rurales de interés nacional de dos carriles de circulación

❖ Se procesó la información contenida en los expedientes de las carreteras y en los casos necesarios se completó con la determinación en el terreno de los parámetros necesarios.

❖ Con el procedimiento presentado se logra perfeccionar los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación, en vías rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara.

❖ Los resultados obtenidos en el procesamiento estadístico para la obtención de los modelos cumplen las pruebas establecidas por lo que se pueden catalogar como buenos.



Capítulo 999

CAPÍTULO III Comprobación del modelo, evaluación de la consistencia de la vía y la incidencia en la accidentalidad.

3.1 Comprobación de los modelos de predicción de velocidad de operación.

Es importante comprobar el modelo desarrollado, para ello es necesario seguir el siguiente procedimiento.

Con la información aportada por el CPV y el CPIT se procedió a seleccionar las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara a utilizar en la comprobación de los modelos, en el terreno se procedió a completar la información necesaria en cada curva y definir a que condición pertenece, posteriormente se tomaron mediciones de la velocidad de operación con la pistola láser. Con estos datos se procedió al cálculo de la velocidad de operación utilizando el modelo adecuado.

Las velocidades de operación obtenidas por ambos métodos deben ser aproximadamente iguales con un error permisible de $\pm 2,5$ km/h, si se cumple con este criterio se puede confirmar la eficiencia del modelo.

En la tabla 3.1 se muestran los resultados obtenidos en la comparación de las velocidades medidas en el terreno con la pistola láser y las calculadas por el modelo que se ha tomado como ejemplo, para la condición 2, curva horizontal en pendiente -4% a 0%

Tabla 3.1 Comparación entre velocidades de operación (Condición 2, curvas horizontales en pendiente -4% a 0%)

No	Est. Inicial	Est. Final	Radio	Vop (terr).	Carretera	Vop mod.	V t- Vm
1	44+8,34	57+5,04	140	69,6	Santa Clara - Entronque	68,81	-0,79
2	32064+0,00	32088+0,00	660	74,6	Santa Clara - Placetas	75,60	1,00
3	114+7,64	120+6,53	170	69,8	Santa Clara - Entronque	70,33	0,53
4	545+4,13	551+2,99	290	72,6	Santa Clara - Sagua	73,27	0,67
5	31642+0,00	31647+4,45	325	72,6	Santa Clara - Placetas	73,72	1,12
6	31904+0,00	31940+0,00	820	77,2	Santa Clara - Placetas	75,96	-1,24
7	2840+0,00	2862+5,00	350	72,9	Santa Clara - Entronque	73,98	1,08
8	1740+0,00	7555+0,00	390	73,1	Santa Clara - Entronque	74,34	1,24

9	1835+0,00	1849+0,00	430	73,4	Santa Clara - Entronque	74,62	1,22
10	31200+0,00	31223+0,00	940	78,3	Santa Clara - Placetas	76,15	-2,15
11	596+4,62	609+5,57	108	67,6	Santa Clara - Entronque	66,26	-1,34
12	32224+0,00	32268+0,00	735	76,1	Santa Clara - Placetas	75,79	-0,31
13	268+2,91	302+5,38	1250	80,2	Santa Clara - Manicaragua	76,46	-3,74
14	728+7,22	754+7,16	452	73,6	Santa Clara - Manicaragua	74,76	1,16
15	570+0,59	597+9,88	212	72,1	Santa Clara - Manicaragua	71,74	-0,36
16	314+7,72	333+0,14	486	73,6	Santa Clara - Manicaragua	74,95	1,35
17	372+9,36	393+5,10	556	73,8	Santa Clara - Manicaragua	75,26	1,46
18	896+9,39	915+5,28	200	71,3	Santa Clara - Manicaragua	71,40	0,10

Se puede apreciar que en las diferencias de velocidades calculadas existe un caso con diferencias superiores a $\pm 2,5$ km/h, y representa el 5% de la muestra, lo que demuestra que hay un 95% de confiabilidad y por tanto el modelo presenta buenos resultados.

En función de validar el modelo se necesita otra manera de realizar la comprobación del modelo perfeccionado obtenido, el cual consiste en la comparación con otros existentes, el modelo obtenido se compara con el establecido por Fitzpatrick (2000) para los Estados Unidos para esta condición, en esta comparación se tiene en cuenta varios tipos de radios y las combinaciones de alineamientos tanto en planta como en perfil.

En la figura 3.1 se realiza una comparación del modelo perfeccionado obtenido, con el Modelo de Fitzpatrick (2000) para este tipo de combinación de alineamiento, donde se obtuvo la velocidad de operación de ambos modelos para determinados radios de curvatura según expresiones (3.1 y 3.2), modelos para curva horizontal en pendiente (-4% a 0%) pudiendo verificarse que ambos modelos describen un comportamiento similar, y según el gráfico el comportamiento de la pendiente es paralela al obtenido por Fitzpatrick (2000) para los Estados Unidos, siendo el Modelo perfeccionado obtenido para las carreteras de interés nacional de dos carriles de menor velocidad debido a que las carreteras de la provincia son de categoría inferior a las que poseen los Estados Unidos.

$$V_{op} = 77,43 - 1206,266/R \quad (3.1)$$

$$V_{op} = 105,98 - 3709,9/R \quad (3.2)$$

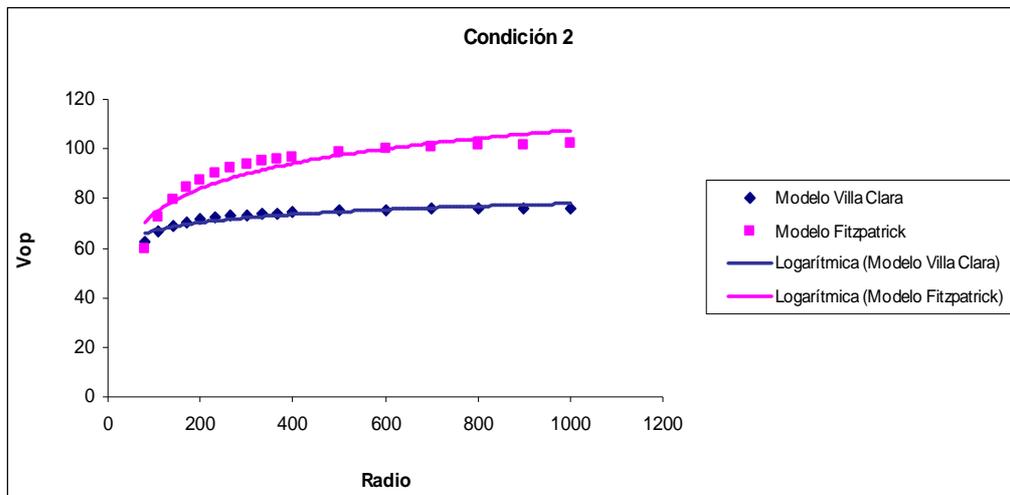


Figura 3.1 comparación de los modelos

Los resultados alcanzados a partir de estas comparaciones, confirman que el modelo obtenido, es válido para esta condición.

El resultado en la comprobación para el resto de los modelos se refleja en los anexos 3.1 Comprobación de los modelos para curvas horizontales, 3.2 Comparación de los modelos desarrollados con los Modelos de Fitzpatrick (2000) para curvas horizontales, 3.3 Comprobación de los modelos para curvas verticales, y 3.4 Comparación de los modelos desarrollados con los Modelos de Fitzpatrick(2000) para curvas verticales y para ello se utiliza el mismo procedimiento que el realizado para la condición dos. Los resultados son similares a los obtenidos en el ejemplo analizado validando de esta forma los restantes modelos.

Después de obtener la validación de los modelos, se seleccionaron los tramos de carreteras de interés nacional rurales de dos carriles a evaluar la consistencia del trazado. Dentro de los tramos seleccionados se escogen algunos declarados como TCA y con esta información determinar la incidencia de la consistencia en la accidentalidad.

3.2 Recolección y completamiento de la información a procesar

Identificación de los tramos de carreteras de dos carriles del territorio a evaluar

En el trabajo realizado por García (2010), donde considera la accidentalidad en el periodo 2005-2009, y en los resultados define el orden de peligrosidad de las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara determinando una puntuación promedio a partir de índices de accidentalidad y daños materiales equivalentes. En la tabla 3.2 se reflejan

los primeros 10 tramos en orden de peligrosidad (Op), que además clasifican como tramo de concentración de accidentes (TCA) o punto negro (PN), y otros dos tramos que aunque no clasifican como TCA o PN tienen un lugar importante en el Op.

Tabla 3.2: Orden de peligrosidad

No	NOMBRE DEL TRAMO	ORDEN DE	VALOR	PN	CNV
44	Santa Clara - Hatillo	1	13,00	X	X
8	Límite Matanzas - Mordazo (CC)	2	17,25	X	X
47	Santa Clara - Universidad	3	20,50	X	X
76	Circunvalación Sur Santa Clara	4	20,75	X	
16	Placetas - Límite Sancti Spiritus (CC)	5	21,00		X
20	Quemado de Güines - Sagua (CN)	6	23,75	X	X
87	Circunvalación Norte Santa Clara	7	24,75	X	
25	Entronque CAI B. Santa Clara - Vueltas (CN)	8	25,00	X	X
13	Esperanza - Santa Clara (CC)	9	25,50	X	
19	Rancho Veloz - Quemado de Güines (CN)	10	26,75		X
28	Remedios - Caibarien	16	30,8		
45	Hatillo - Cifuentes	18	31,5		

Los datos aportados por la investigación realizada por García (2010), se utilizan para comparar el Op con los resultados de la evaluación de la consistencia.

En este análisis se tomarán dos ejemplos, el primero corresponde al tramo de Carretera de Santa Clara – Hatillo, este aparece en primer lugar en el Op, y coincide en ser un PN y TCA, el segundo corresponde al Circuito Norte y es el tramo de Remedios – Caibarién, este tiene el lugar 18 en el Op, y no se considera TCA ni PN.

En el desarrollo de esta investigación refleja solamente en el estudio de la carretera haciendo referencia únicamente al trazado geométrico de la misma, y el ejemplo se desarrollara en ella para un mejor estudio, análisis y comprensión del procedimiento empleado y determinar la presencia de un trazado bueno, regular o malo acorde a las expectativas que espera encontrar el conductor, mediante la evaluación de la consistencia del trazado, la cual se realizó para ambos sentidos de circulación.

La evaluación de la consistencia del diseño, se realiza mediante la comparación de la velocidad de operación obtenida a través de la aplicación de los modelos de predicción de velocidad una

vez perfeccionado, con la velocidad de diseño de las carreteras seleccionadas y la comparación de la velocidad de operación obtenida del modelo entre elementos consecutivos, lo que permite determinar si una carretera tiene problemas de trazado. Los tramos que se evaluaron y en orden de peligrosidad se reflejan a continuación:

Santa Clara – Hatillo

Santa Clara – Universidad

Esperanza – Santa Clara

Remedios – Caibarién

Hatillo – Cifuentes

3.3 Evaluación de la consistencia del trazado.

La evaluación de la consistencia del trazado está fundamentada en 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 obtenida del modelo entre elementos consecutivos, lo que permite determinar si una carretera tiene problemas del trazado, de acuerdo con los criterios propuestos por, Lamm y Choueiri, (1987) los que mantienen su vigencia y han sido empleados por FHWA (2004); Castro y Sánchez (2008); Sánchez (2008). En la tabla 3.3 se muestran los rangos y la calificación de la consistencia.

Tabla 3.3 Intervalos y calificación de la consistencia del trazado

Rango	Calificación de la consistencia
Comparando con la velocidad de diseño V_d	
$V_{op} - V_d \leq 10$ km/h	Buena
10 km/h < $V_{op} - V_d \leq 20$ km/h	Regular
20 km/h < $V_{op} - V_d$	Mala
Comparando velocidad entre elementos consecutivos	
$\Delta V_{op} \leq 10$ km/h	Buena
10 km/h > $\Delta V_{op} \leq 20$ km/h	Regular
$\Delta V_{op} > 20$ km/h	Mala
Donde: V_{op} = velocidad de operación en un punto dado de la vía (km/h)	

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

Una nueva propuesta de evaluación de la consistencia del trazado a partir de los criterios anteriores, es la determinación de una evaluación general de la consistencia del trazado en el tramo analizado.

En la evaluación de la consistencia del trazado de los tramos seleccionados con problemas de accidente se empleará una hoja de Excel programada, desarrollada por la Facultad de Construcciones de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, mediante la tesis de grado de la ingeniera Laurina Raoul durante del curso 2008-2009, y perfeccionada en el presente trabajo, al introducir los datos del diseño geométrico de la carretera a ser evaluada, es capaz de realizar todos los cálculos necesarios para la evaluación de la consistencia del trazado incluyendo los gráficos del perfil de velocidad y la clasificación general del estado de la carretera según los criterios de comparación.

La nueva propuesta de evaluación que se refleja en la tabla 3.4, consiste en asignar una puntuación en escala de cero a diez en correspondencia con la evaluación general del tramo o condición, es decir, al valor promedio entre las dos diferencias de velocidades, la diferencia entre la velocidad de operación con la de diseño y la diferencia entre elementos consecutivos. Con estos resultados permite determinar un orden de prioridad que ayude en la toma de decisiones en el momento que se disponga de financiamiento para las intervenciones, ya sea en el tramo o en los puntos con problemas de consistencia.

Tabla 3.4 Escala de puntuación a utilizar

Escala Puntos	Color	Calificación	Diferencia media de velocidad
8,5-10		Excelente	0 – 3,0
7,1-8,4		Muy Bueno	3,1 – 7,0
5,7-7,0		Bueno	7,1 -10,0
4,3-5,6		Regular	10,1 -13,0
2,8-4,2		Malo	13,1 – 16,0
1,4-2,7		Muy Malo	16,1 – 18,0
1,3-0		Pésimo	18,1 – 20,0
Sin calificación		No consistente	Mayor de 20

La evaluación general de la consistencia de la carretera o tramo a estudiar comprende cuatro evaluaciones, mediante la comparación con la velocidad de diseño (expresión 3.1), mediante la

comparación de velocidad entre elementos consecutivos (expresión 3.2), velocidad de operación de la carretera o tramo (expresión 3.3), y como resultado final la evaluación general de la consistencia de la carretera o tramo (expresión 3.4)

$$E_{V_{op}-V_d} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)})L(i)}{L_t} \right) \quad (3.1)$$

$$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)})L(i)}{L_t} \right) L \quad (3.2)$$

$$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85})L(i)}{L_t} \right) \quad (3.3)$$

$$E_G = \left(\frac{E_{V_{op}-V_d} + E_{\Delta V}}{2} \right) \quad (3.4)$$

Donde:

$E_{V_{op}-V_d}$ evaluación por comparación de la velocidad de operación con la velocidad de diseño

$E_{\Delta V}$ evaluación por comparación de la velocidad de operación entre elementos sucesivos

V_{85} velocidad de operación de la carretera o tramo

E_G evaluación general de la consistencia de la carretera o tramo

V_{op} velocidad de operación en cada subtramo

$\Delta V_{85(i)}$ diferencia velocidad de operación entre elementos consecutivos por subtramo

$V_{d(i)}$ velocidad de diseño en cada tramo

$L_{(i)}$ longitud de cada subtramo

L_t longitud total del tramo

Con esta metodología no solo se puede evaluar vías existentes sino también nuevos trazados que puedan acometerse y determinar si el mismo presenta un trazado consistente.

Procedimiento para la evaluación de la carretera.

Se utilizará para mostrar el procedimiento en los dos ejemplos anteriormente referidos, en la tabla 3.5, y 3.6 se muestran la evaluación de la consistencia del tramo de carretera en ambos sentidos de circulación para el primer caso, y en las figuras 3.2 y 3.3 se reflejan la comparación de las distintas velocidades, y en las tablas 3.8 y 3.9 el otro tramo, así como los resultados de las velocidades en las figuras 3.4 y 3.5.

El resto de los resultados de la evaluación de los restantes tramos de carreteras se recogen en los anexos del (3.5 al 3.16).

Tabla 3.5 Carretera (Santa Clara - Hatillo) Dirección de Tránsito >>>

Condición	VOP (A- B/R)	VOP-Vd	ΔVOP	L de tramo	V(operacon)* Long.	Estado de la carretera (Vp - VOP)	Estado de la carretera (ΔVOP)	Estación	V(d)
9	60,00	0,00	0,00	450	27000,00	0,00	0,00	0+0.00	60
8	78,63	18,63	18,63	440	34599,33	8199,33	8199,33	45+0.00	60
7	78,69	18,69	0,05	225	17704,58	4204,58	11,74	89+0.00	60
8	79,57	19,57	0,88	385	30632,79	7532,79	338,29	111+5.00	60
3	75,14	15,14	4,42	176,3	13248,54	2669,94	779,69	150+0.00	60
9	60,00	0,00	15,14	233,7	14021,40	0,00	3538,86	167+6.31	60
7	75,48	15,48	15,48	375	28305,75	5805,75	5805,75	191+0.00	60
8	79,66	19,66	4,17	440	35048,64	8648,64	1836,56	228+5.00	60
7	80,48	20,48	0,82	395	31788,59	8088,59	324,47	272+5.00	60
8	80,23	20,23	0,24	170	13639,64	3439,64	41,53	312+0.00	60
8	67,99	7,99	12,24	120	8158,81	958,81	1469,17	329+0.00	60
7	78,10	18,10	10,11	270	21086,64	4886,64	2729,32	341+0.00	60
8	78,46	18,46	0,36	37,18	2917,22	686,42	13,51	368+0.00	60
5	76,31	16,31	2,15	102,8	7846,68	1677,48	220,78	371+7.18	60
5	76,31	16,31	0,00	25,26	1927,71	412,11	0,00	382+0.00	60
9	60,00	0,00	16,31	374,7	22484,40	0,00	6113,77	384+5.26	60
7	80,19	20,19	20,19	80	6415,36	1615,36	1615,36	422+0.00	60
3	74,85	14,85	5,35	105,9	7923,11	1571,51	566,02	430+0.00	60
9	60,00	0,00	14,85	574,1	34448,40	0,00	8523,19	440+5.86	60
8	81,00	21,00	21,00	200	16200,55	4200,55	4200,55	498+0.00	60
7	77,05	17,05	3,95	270	20804,04	4604,04	1066,70	518+0.00	60

8	75,23	15,23	1,82	250	18807,75	3807,75	455,25	545+0.00	60
7	80,06	20,06	4,83	387,7	31042,92	7778,52	1872,85	570+0.00	60
6	78,07	18,07	1,99	42,26	3299,23	763,63	84,15	608+7.74	60
6	78,07	18,07	0,00	92,49	7220,68	1671,28	0,00	613+0.00	60
9	60,00	0,00	18,07	47,51	2850,60	0,00	858,50	622+2.49	60
7	79,68	19,68	19,68	57,16	4554,56	1124,96	1124,96	627+0.00	60
2	75,22	15,22	4,46	132,8	9992,14	2021,74	592,66	632+7.16	60
9	60,00	0,00	15,22	275	16500,00	0,00	4185,32	646+0.00	60
8	78,37	18,37	18,37	465	36442,67	8542,67	8542,67	673+5.00	60
2	72,69	12,69	5,68	120	8723,01	1523,01	681,55	720+0.00	60
9	60,00	0,00	12,69	40	2400,00	0,00	507,67	732+0.00	60
7	80,34	20,34	20,34	335	26914,41	6814,41	6814,41	736+0.00	60
8	78,18	18,18	2,16	195	15245,30	3545,30	421,30	769+5.00	60
7	79,64	19,64	1,46	145	11547,49	2847,49	211,25	789+0.00	60
8	79,54	19,54	0,10	290	23067,34	5667,34	27,65	803+5.00	60
9	60,00	0,00	19,54	1775	106500,0	0,00	34688,01	832+5.00	60
TOTAL				10100	721310,3	115310,3	108462,8	1010+0.00	60
$E_{V_{op}Vd} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)})L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{115310.3}{10100} \right)$		11,42	El tramo Clasifica de consistencia regular Puntuación 5,16		
$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)})L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{108462.8}{10100} \right)$		10,74			
$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85})L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{721310}{10100} \right)$		71,42			
$E_G = \left(\frac{E_{V_{op} - Vd} + E_{\Delta V}}{2} \right)$				$= \left(\frac{11.42 + 10.74}{2} \right)$		11,08			

La escala de puntos propuesta no solo sirve para evaluar el tramo, sino también cada condición, mientras la puntuación se aproxime más al valor de diez mejor será la consistencia de la carretera, tramo, o condición evaluada, en este sentido de circulación la puntuación

correspondiente al tramo es de 3,90 puntos, no obstante, la intervención en el trazado se puede realizar utilizando la puntuación obtenida en cada condición o en tramos consecutivos, pues como se conoce los recursos son limitados y puede ser esta una herramienta para programar en el tiempo las acciones a realizar.

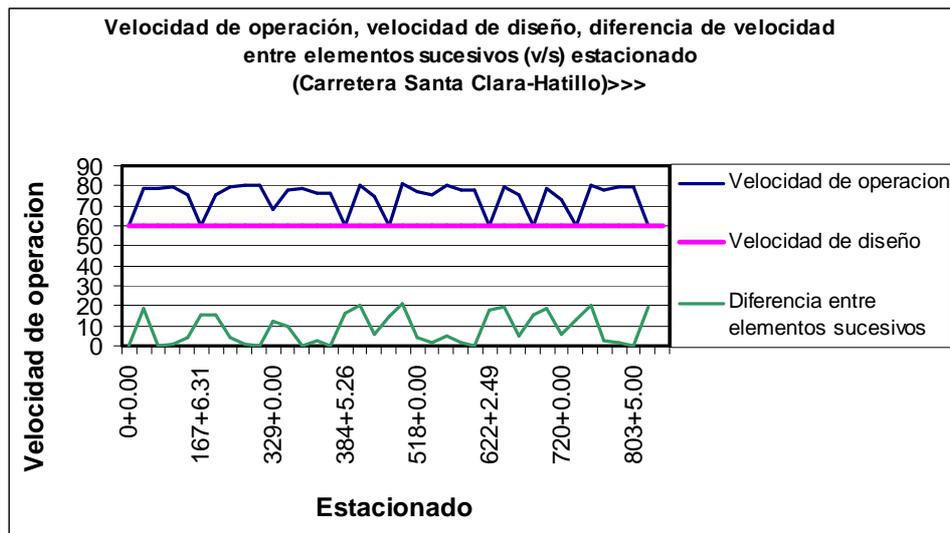


Figura 3.2 Gráfico de velocidades Santa Clara – Hatillo, Dirección de Tránsito >>>

Tabla 3.6 Carretera (Santa Clara - Hatillo) Dirección de tránsito <<<

Condición	VOP (A - B/R)	VOP-Vd	Δ VOP	L de tramo	V(operacon)* Long.	Estado de la carretera (Vp - VOP)	Estado de la carretera (Δ VOP)	Estación	V(d)
9	60,00	0,00	0,00	1775	106500,0	0,00	0,00	0+0.00	60
9	60,00	0,00	0,00	290	17400,00	0,00	0,00	177+5.00	60
8	79,54	19,54	19,54	145	11533,67	2833,67	2833,67	206+5.00	60
7	79,64	19,64	0,10	195	15529,39	3829,39	18,59	221+0.00	60
8	78,18	18,18	1,46	335	26190,64	6090,64	488,06	240+5.00	60
7	80,34	20,34	2,16	40	3213,66	813,66	86,42	274+0.00	60
3	71,57	11,57	8,77	120	8588,75	1388,75	1052,23	278+0.00	60
9	60,00	0,00	11,57	465	27900,00	0,00	5381,40	290+0.00	60
8	78,37	18,37	18,37	275	21552,11	5052,11	5052,11	336+5.00	60
3	74,58	14,58	3,79	132,8	9907,35	1936,95	503,50	364+0.00	60
9	60,00	0,00	14,58	57,16	3429,60	0,00	833,45	377+2.84	60

7	79,68	19,68	19,68	47,51	3785,64	935,04	935,04	383+0.00	60
6	78,07	18,07	1,61	92,49	7220,68	1671,28	149,00	387+7.51	60
6	78,07	18,07	0,00	42,26	3299,23	763,63	0,00	397+0.00	60
9	60,00	0,00	18,07	387,7	23264,40	0,00	7006,40	401+2.26	60
7	80,06	20,06	20,06	250	20015,29	5015,29	5015,29	440+0.00	60
8	75,23	15,23	4,83	270	20312,37	4112,37	1304,15	465+0.00	60
7	77,05	17,05	1,82	200	15410,40	3410,40	364,20	492+0.00	60
8	81,00	21,00	3,95	574,1	46506,91	12058,51	2268,28	512+0.00	60
2	75,44	15,44	5,56	105,9	7986,21	1634,61	588,74	569+4.14	60
9	60,00	0,00	15,44	80	4800,00	0,00	1235,30	580+0.00	60
7	80,19	20,19	20,19	374,7	30051,15	7566,75	7566,75	588+0.00	60
5	76,31	16,31	3,88	25,26	1927,71	412,11	97,94	625+4.74	60
5	76,31	16,31	0,00	102,8	7846,68	1677,48	0,00	628+0.00	60
9	60,00	0,00	16,31	37,18	2230,80	0,00	606,58	638+2.82	60
8	78,46	18,46	18,46	270	21184,73	4984,73	4984,73	642+0.00	60
7	78,10	18,10	0,36	120	9371,84	2171,84	43,59	669+0.00	60
8	67,99	7,99	10,11	170	11558,32	1358,32	1718,46	681+0.00	60
8	80,23	20,23	12,24	395	31692,10	7992,10	4836,02	698+0.00	60
7	80,48	20,48	0,24	440	35410,08	9010,08	107,48	737+5.00	60
8	79,66	19,66	0,82	375	29871,00	7371,00	308,05	781+5.00	60
7	75,48	15,48	4,17	233,7	17639,39	3617,99	975,42	819+0.00	60
2	75,69	15,69	0,21	176,3	13345,23	2766,63	37,00	842+3.69	60
9	60,00	0,00	15,69	385	23100,00	0,00	6041,37	860+0.00	60
8	79,57	19,57	19,57	225	17902,28	4402,28	4402,28	898+5.00	60
7	78,69	18,69	0,88	440	34622,29	8222,29	386,61	921+0.00	60
8	78,63	18,63	0,05	450	35385,68	8385,68	23,48	965+0.00	60
TOTAL				10100	727485,6	121485,57	67251,59	1010+0.00	60
$E_{Vop-Vd} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{121485.57}{10100} \right)$		12,03			
$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)}) L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{67251.59}{10100} \right)$		6,66			
$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85}) L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{727485.6}{10100} \right)$		72,03			
$E_G = \left(\frac{E_{Vop - Vd} + E_{\Delta V}}{2} \right)$				$= \left(\frac{12,03 + 6,66}{2} \right)$		9,34	El tramo Clasifica de consistencia buena	Puntuación 5.99	

En este sentido de circulación, se aprecia que existen varios puntos del tramo con problemas de consistencia, pero la clasificación de la consistencia general del tramo tiene un valor de 5,68 puntos y por tanto está más cercano a 10, es por esta razón que clasifica como buena.

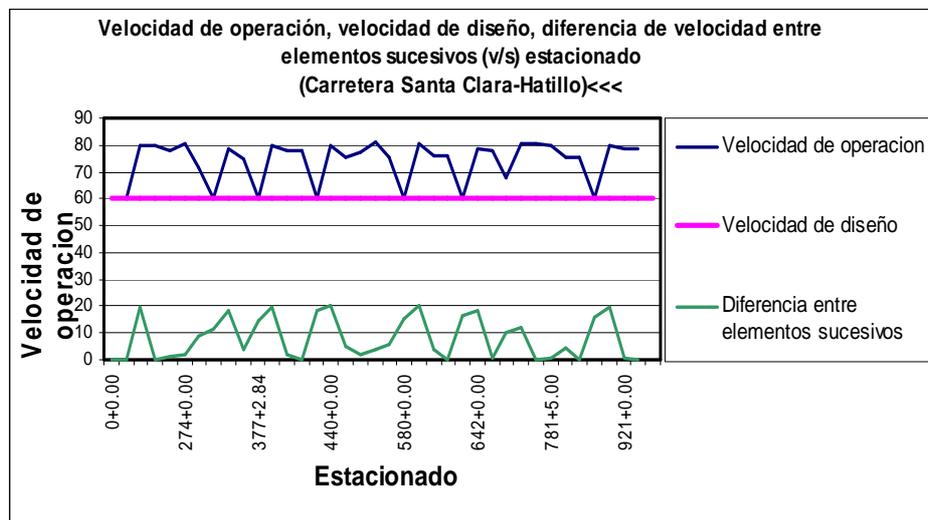


Figura 3.3 Gráfico de velocidades Santa Clara – Hatillo, Dirección de tránsito <<<

Tabla 3.7 Carretera Circuito Norte (Tramo Remedios - Caibarién) Dirección de Tránsito >>>

Condición	VOP = (A-B/R)	VOP-Vd	Δ VOP	L de tramo	V(operacion) * Long.	Estado de la carretera (Vp - VOP)	Estado de la carretera (Δ VOP)	Estación	V(d)
2	75,32	15,32	0,00	101	7607,81	1547,81	0,00	0+0.00	60
9	60,00	0,00	15,32	250	15000,00	0,00	3831,21	10+1.00	60
8	80,54	20,54	20,54	719	57908,98	14768,98	14768,98	35+1.00	60
7	77,05	17,05	3,49	450	34673,40	7673,40	1570,05	107+0.00	60
8	78,72	18,72	1,67	308	24244,95	5764,95	512,93	152+0.00	60
8	81,13	21,13	2,41	401	32533,53	8473,53	967,87	182+8.00	60
2	74,48	14,48	6,65	100	7448,29	1448,29	664,81	222+9.00	60
9	60,00	0,00	14,48	40	2400,00	0,00	579,31	232+9.00	60
7	78,10	18,10	18,10	450	35144,40	8144,40	8144,40	236+9.00	60
8	76,71	16,71	1,39	200	15341,20	3341,20	278,53	281+9.00	60
7	77,05	17,05	0,35	325	25041,90	5541,90	112,45	301+9.00	60
8	76,71	16,71	0,35	350	26847,10	5847,10	121,10	334+4.00	60

7	78,50	18,50	1,80	170	13345,21	3145,21	305,19	369+4.00	60
8	79,66	19,66	1,15	1130	90011,28	22211,28	1304,89	386+4.00	60
2	73,98	13,98	5,68	250	18494,15	3494,15	1419,85	499+4.00	60
9	60,00	0,00	13,98	95	5700,00	0,00	1327,78	524+4.00	60
7	80,88	20,88	20,88	55	4448,34	1148,34	1148,34	533+9.00	60
2	69,99	9,99	10,89	150	10498,96	1498,96	1632,87	539+4.00	60
9	60,00	0,00	9,99	150	9000,00	0,00	1498,96	554+4.00	60
8	79,96	19,96	19,96	25	1999,12	499,12	499,12	569+4.00	60
2	75,07	15,07	4,89	125	9384,02	1884,02	611,57	571+9.00	60
9	60,00	0,00	15,07	175	10500,00	0,00	2637,63	584+4.00	60
7	80,80	20,80	20,80	375	30299,90	7799,90	7799,90	601+9.00	60
8	81,23	21,23	0,43	100	8122,62	2122,62	42,64	639+4.00	60
2	74,76	14,76	6,46	225	16821,68	3321,68	1454,20	649+4.00	60
9	60,00	0,00	14,76	281	16860,00	0,00	4148,41	671+9.00	60
				7000	529676,8	109676,84	57383,00	700+0.00	60
$E_{V_{op} - V_d} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{Lt} \right)$					$= \left(\frac{109676,84}{7000} \right)$	15,67			
$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)}) L(i)}{Lt} \right)$					$= \left(\frac{57383,0}{7000} \right)$	8,20			
$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85}) L(i)}{Lt} \right)$					$= \left(\frac{529676,8}{7000} \right)$	75,67			
$E_G = \left(\frac{E_{V_{op} - V_d} + E_{\Delta V}}{2} \right)$					$= \left(\frac{15,67 + 8,20}{2} \right)$	11,93	El tramo Clasifica de consistencia regular	Puntuación 4,78	

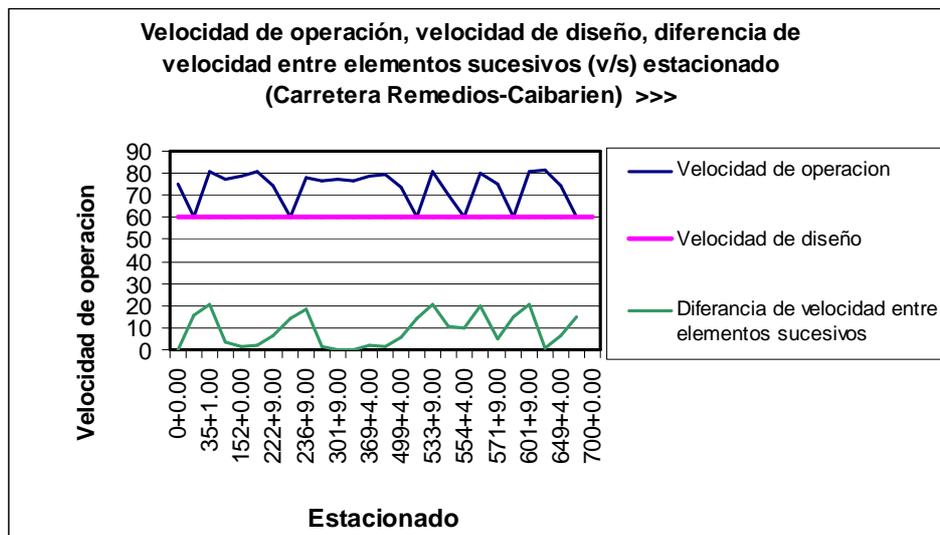


Figura 3.4 Gráfico de velocidades Remedios – Caibarién, Dirección de Tránsito >>>

Tabla 3.8 Carretera Circuito Norte (Tramo Remedios - Caibarién) Dirección de tránsito <<<

Condición	VOP (A- B/R)	VOP-Vd	Δ VOP	L de tramo	V(operacion) *Long.	Estado de la carretera (Vp - VOP)	Estado de la carretera (Δ VOP)	Estación	V(d)
9	60,00	0,00	0,00	281,0	16860,00	0,000	0,00	0+0.00	60
3	74,04	14,04	14,04	225,0	16658,55	3158,55	3158,55	28+1.00	60
9	60,00	0,00	14,04	100,0	6000,00	0,00	1403,80	50+6.00	60
8	81,23	21,23	21,23	375,0	30459,81	7959,81	7959,81	60+6.00	60
7	80,80	20,80	0,43	175,0	14139,95	3639,95	74,62	98+1.00	60
3	74,41	14,41	6,39	125,0	9300,74	1800,74	799,23	115+6.00	60
9	60,00	0,00	14,41	25,0	1500,00	0,00	360,15	128+1.00	60
8	79,96	19,96	19,96	150,0	11994,71	2994,71	2994,71	130+6.00	60
3	68,36	8,36	11,60	150,0	10254,18	1254,18	1740,53	145+6.00	60
9	60,00	0,00	8,36	55,0	3300,00	0,00	459,87	160+6.00	60
7	80,88	20,88	20,88	95,0	7683,49	1983,49	1983,49	166+1.00	60
3	73,10	13,10	7,78	250,0	18275,52	3275,52	1944,20	175+6.00	60
9	60,00	0,00	13,10	1130,0	67800,00	0,00	14805,34	200+6.00	60

8	79,66	19,66	19,66	170,0	13541,52	3341,52	3341,52	313+6.00	60
7	78,50	18,50	1,15	350,0	27475,43	6475,43	404,17	330+6.00	60
8	76,71	16,71	1,80	325,0	24929,45	5429,45	583,45	365+6.00	60
7	77,05	17,05	0,35	200,0	15410,40	3410,40	69,20	398+1.00	60
8	76,71	16,71	0,35	450,0	34517,70	7517,70	155,70	418+1.00	60
7	78,10	18,10	1,39	40,0	3123,95	723,95	55,71	463+1.00	60
3	73,70	13,70	4,39	100,0	7370,46	1370,46	439,41	467+1.00	60
9	60,00	0,00	13,70	401,0	24060,00	0,00	5495,52	477+1.00	60
8	81,13	21,13	21,13	758,0	61497,30	16017,30	16017,30	517+2.00	60
8	78,72	18,72	2,41	719,0	56597,78	13457,78	1735,40	593+0.00	60
7	77,05	17,05	1,67	110,0	8475,72	1875,72	183,19	664+9.00	60
8	5,90	18,18	1,13	140,0	491226,66	2545,34	158,06	675+9.00	60
3	74,71	14,71	3,47	101,0	7545,37	1485,37	2628,58	689+9.00	60
				7000,0	509717,36	89717,36	72765,40	700+0.00	60
$E_{V_{op}-V_d} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{L_t} \right) = \left(\frac{85587,36}{7000} \right) = 12,23$									
$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)}) L(i)}{L_t} \right) = \left(\frac{72765,4}{7000} \right) = 10,40$									
$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85}) L(i)}{L_t} \right) = \left(\frac{505587,36}{7000} \right) = 72,23$									
$E_G = \left(\frac{E_{V_{op}-V_d} + E_{\Delta V}}{2} \right) = \left(\frac{12,23 + 10,40}{2} \right) = 11,17$							El tramo Clasifica de consistencia regular	Puntuación 5,12	

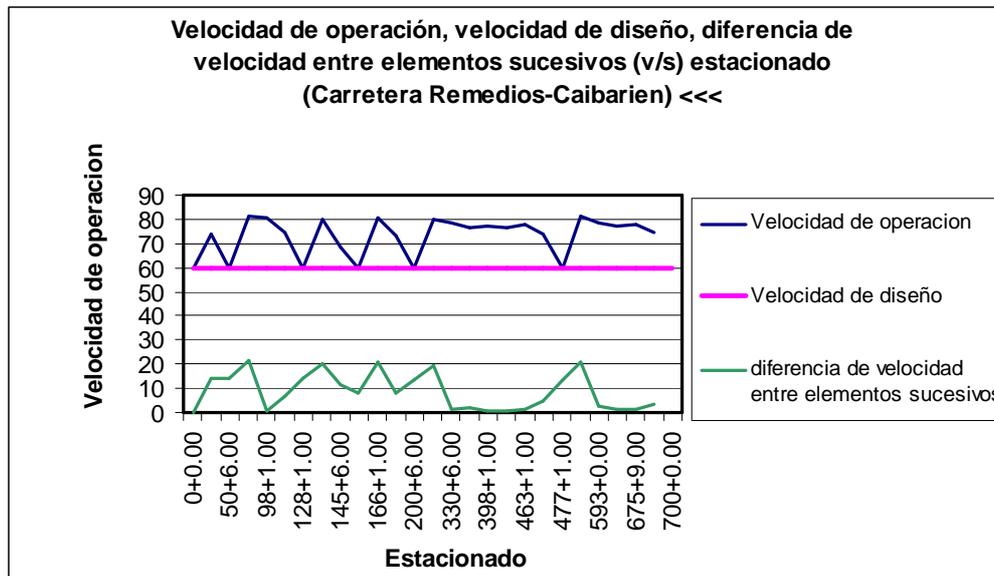


Figura 3.5 Gráfico de velocidades Remedios – Caibarién, Dirección de tránsito <<<

En la tabla 3.9 se muestran los resultados de la evaluación general para los tramos evaluados en el sentido de ida, así como la puntuación que se obtiene para cada caso.

Tabla 3.9 Resumen de la evaluación de la consistencia del trazado >>>

Tramos de carreteras	Long vía (m)	$E_{Vop - Vd}$	$E_{\Delta V}$	E_G	Puntos	Clasif
Santa Clara - Hatillo	10100	11,42	10,74	11,08	5,16	Regular
Santa Clara - UCLV	6720	12,74	8,30	10,52	5,41	Regular
Santa Clara - Esperanza	13902	12,25	9,33	10,79	5,29	Regular
Remedios – Caibarién	7000	15,67	8,20	11,93	4,78	Regular
Hatillo - Cifuentes	17040	14,56	8,67	11,62	4,92	Regular

En la tabla 3.10 se muestran los resultados de la evaluación general para los tramos con problemas de accidentalidad en la provincia en el sentido de regreso. A partir de esta clasificación se puede determinar cual vía presenta mayor problema en su trazado y establecer un orden de prioridad para las mismas.

Tabla 3.10 Resumen de la evaluación de la consistencia del trazado <<<

Tramos de carreteras	Long vía (m)	$E_{Vop - Vd}$	$E_{\Delta V}$	E_G	Puntos	Clasif.
Santa Clara - Hatillo	10100	12,03	6,66	9,34	5,99	Buena
Santa Clara - UCLV	6720	12,36	8,70	10,53	5,41	Regular
Santa Clara - Esperanza	13902	13,51	10,22	11,86	4,81	Regular
Remedios – Caibarién	7000	12,82	9,52	11,17	5,12	Regular
Hatillo - Cifuentes	17040	14,47	9,10	11,79	4,84	Regular

Con los resultados que se obtienen en las tablas resúmenes de los tramos analizados, el administrador de estas carreteras tiene los elementos necesarios para determinar donde va a invertir el dinero en función de la seguridad vial.

Conclusiones parciales:

- ❖ Se desarrollan modelos de predicción de perfil de velocidad perfeccionado, los cuales responden de una mejor forma a las condiciones de alineamiento en planta y perfil existente en las carreteras rurales de interés nacional de dos carriles.
- ❖ El modelo perfeccionado supera al anterior, ya que considera las combinaciones de alineación horizontal acorde al tipo de terreno, establece para los radios de curvatura un intervalo que garantiza una uniformidad de los estudios realizados, se obtiene adecuadamente el parámetro (Kv), al considerar la longitud mínima deseable en curvas verticales y se calcula correctamente la velocidad de operación o percentil 85 a partir de las mediciones obtenida en el terreno.
- ❖ El comportamiento de los nuevos modelos desarrollados es similar a los modelos de Fitzpatrick, obteniéndose velocidades más bajas, debido a la diversidad de vehículos y a las características de las carreteras del territorio.
- ❖ Se realiza la evaluación de la consistencia del trazado obteniéndose la evaluación general y la puntuación correspondiente según el caso para cada uno de los tramos seleccionados, ubicados todos entre los primeros lugares en el Op de la provincia de Villa Clara, lo que contribuye a la toma de decisión para las acciones de conservación relacionadas con el trazado.



Conclusiones





CONCLUSIONES

❖ Con esta investigación se desarrollan los modelos de predicción del perfil de velocidades para carreteras de interés nacional rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara, para la evaluación de la consistencia del trazado.

❖ Luego de la búsqueda bibliográfica realizada, se conocen los métodos de evaluación de la consistencia del trazado que existen y se utilizan en varios países del mundo.

❖ Con este trabajo se ha logrado el estudio de las carreteras de interés nacional rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara para el análisis de consistencia de las mismas.

❖ Con el trabajo realizado se determinan las condiciones de alineación en planta y perfil a partir de los parámetros geométricos de las carreteras e implementar los modelos para la evaluación de la consistencia del trazado.

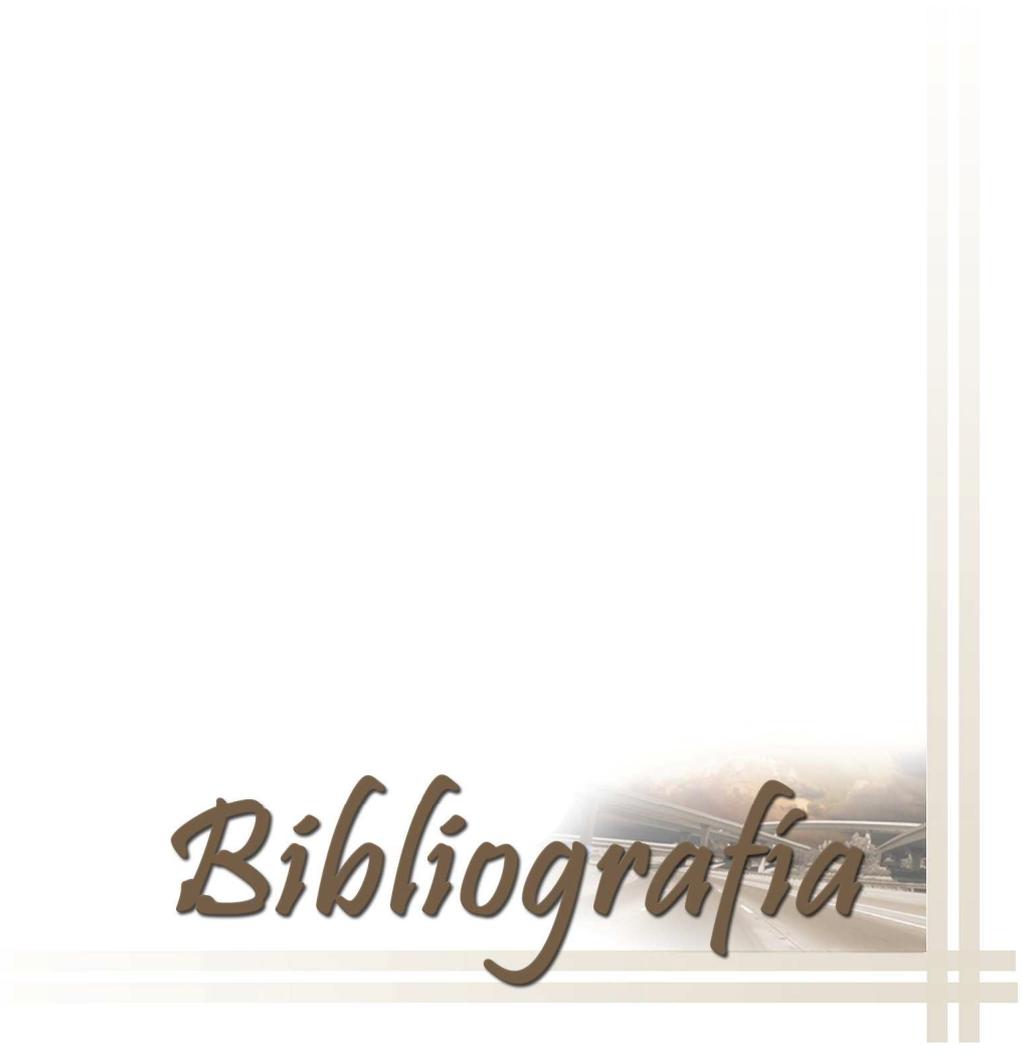
Recomendaciones





RECOMENDACIONES

1. Generalizar los modelos en otras provincias
2. Comprobar los modelos en nuevos proyectos
3. Continuar la investigación con el objetivo de establecer los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para vías rurales de dos carriles en todo el país y para los demás tipos de vías (vías urbanas, autopista, intersecciones semaforizadas, etc.).

A decorative background featuring a vertical line on the right side and a horizontal line at the bottom. The word 'Bibliografia' is written in a brown, cursive font, positioned over a small image of a road with a bridge in the distance.

Bibliografia

**BIBLIOGRAFÍA:**

- ❖ Arboláez, I. (2008), Metodología para la evaluación de los aspectos geométricos en vías rurales de interés nacional, de la provincia de Villa Clara. Santa Clara, UCLV. Trabajo de diploma.
- ❖ Colectivo de autores. (2002), Algunas consideraciones de seguridad vial para el diseño geométrico de carreteras. México.
- ❖ Colectivo de autores. (2008), Predicción de la velocidad de operación para evaluar la consistencia del trazado. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- ❖ Colectivo de autores. (2008), Procedimientos de evaluación de la consistencia del trazado de las carreteras: IHSDM. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- ❖ Colectivo de autores. (2002), Algunas consideraciones de seguridad para el proyecto geométrico de carreteras. IMT. México.
- ❖ Colectivo de autores. (2009), Análisis de la seguridad vial en la región central de Cuba. Santa Clara. UCLV.
- ❖ Colectivo de autores. (2008), Modelo para simular los efectos de la circulación de los vehículos en las vías de dos carriles. Universidad de Cauca. Colombia.
- ❖ Ley N° 60. Código de Vialidad y Tránsito. Vigente desde 2002 hasta 2012.
- ❖ Labruosse, M. (2003), Road Safety Manual. PIARC. Technical Committee on Road Safety.
- ❖ Pardillo, J. (2008), Calibración de los modelos para el análisis de la seguridad de la carreteras y sus márgenes en el proyecto DISCAM. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- ❖ Pomar, L. (2007), Metodología general integral para la evaluación de la seguridad vial en la región central. Villa Clara. Cuba.
- ❖ Radelat, G. (2003), Principios de Ingeniería del tránsito.
- ❖ Rodríguez, B. (2008), Caracterización de la accidentalidad en la provincia de Villa Clara y la influencia de la velocidad en ella. Santa Clara, UCLV. Trabajo de diploma.
- ❖ Sánchez, J. (2008), La evaluación de la consistencia del diseño geométrico de carreteras: un aporte a la seguridad vial. Universidad de Cauca. Colombia.



- ❖ Treat, J. (1979), Tri-level study of the causes off traffic accidents: Final report- Executive summary. Bloomintong, Washington, DC. USA.
- ❖ 2008. Por una seguridad vial mejor. Periódico Granma.
- ❖ Páginas consultadas de Internet:
- ❖ Instituto Mexicano del Transporte (2008). <http://www.imt.mx>, fecha de acceso: 23 de octubre del 2008.
- ❖ ITE (2008). <http://www.ite.org>, fecha de acceso: 23 de octubre del 2008.
- ❖ Evaluation of design consistency methods for two lane rural highways (2008). <http://www.tfhr.gov>, fecha de acceso: 28 de octubre del 2008.
- ❖ Safety and operational effects of geometric design features for two lane rural highways workshop (2008). <http://www.nhi.fhwa.dot.gov>, fecha de acceso: 12 de noviembre del 2008.
- ❖ Efectos de geometría de los caminos sobre la operación y seguridad, en el cambio de milenio, y más allá (2008). <http://www.nas.edu>, fecha de acceso: 17 de diciembre del 2008.
- ❖ Accidentes de tránsito: una lacra de la sociedad moderna (2008). <http://www.seguridad-vial.net>, fecha de acceso: 17 de diciembre del 2008.
- ❖ La coherencia del diseño y un modelo interactivo para diseñar caminos más seguros (2002). <http://www.seguridad-vial.com>, fecha de acceso: 17 de diciembre del 2008.
- ❖ Estudio acerca de rebajar el límite de velocidad, reduce el número de accidentes (2007). <http://www.dgt.es>, fecha de acceso: 12 de enero del 2009.
- ❖ Rebajar velocidad no reduce accidentes (2000). <http://www.motor.es>, fecha de acceso: 12 de enero del 2009.
- ❖ Velocidad, causa de accidentes (2008). <http://www.custom125.com>, fecha de acceso: 18 de febrero del 2009.
- ❖ Seguridad vial y velocidad (2009). <http://www.cinurog.mx>, fecha de acceso: 25 de febrero del 2009.
- ❖ Accidentalidad mundial, tema de debate (2009). <http://www.eumed.net>, fecha de acceso: 25 de febrero del 2009

A decorative graphic featuring a road stretching into the distance under a bright, hazy sky. The word "Anexos" is written in a stylized, brown, cursive font across the middle of the image.

Anexos



Anexo 2.1 Ubicación de los sitios estudiados.

Curvas con radios (mayores de 500m) metros				
Variante	N	Est. Inicial	Est. Final	Carretera
1-Curva horizontal en pend. (-9% a -	2	503+7.03	516 +0.11	Santa Clara -Manicaragua
		31486+0.00	31505+0.00	Santa Clara -Placetas
2-Curva horizontal en pend. (-4% a 0%)	6	32064+0.00	32088+0.00	Carretera Central tramo de Santa Clara – Placetas
		32224+0.00	32268+0.00	
		31904+0.00	31940+0.00	
		31200+0.00	31223+0.00	
		268+2.91	302+5.38	Santa Clara -Manicaragua
		372+936	393+5.10	
3-Curva horizontal en ramp. (0% a 4%)	6	393+5.10	372+936	Santa Clara -Manicaragua
		32088+0.00	32064+0.00	Carretera Central tramo de Santa Clara – Placetas
		32268+0.00	32224+0.00	
		31940+0.00	31904+0.00	
		31223+0.00	31200+0.00	
		302+5.38	268+2.91	Santa Clara -Manicaragua
4-Curva horizontal en ramp. (4% a 9%)	5	645+8.50	669+7.62	Santa Clara -Manicaragua
		149+6.70	176+5.34	
		1484+6.73	1517+6.28	
		516+0.11	503+7.03	
		31505+0.00	31486+0.00	Santa Clara -Placetas
5- Curva Horizontal con acuerdo conv.	6	389+6.00	404+4.00	Santa Clara -Encrucijada
		905+4.00	922+2.26	
		1006+9.00	1022+0.00	
		1780+9.00	1809+1.15	
		1531+7.71	1550+0.00	
		1484+6.73	1517+6.28	Santa Clara -Manicaragua
6-Curva Horizontal con acuerdo cónc.	2	645+8.50	669+762	Santa Clara -Manicaragua
		472+7.03	491+9,89	

**Anexo 2.2 Ubicación de los sitios estudiados.**

Curvas con radios (500 – 211) metros				
Variante	N	Est. Inicial	Est. Final	Carretera
1-Curva horizontal en pend. (-9% a -4%)	4	1267+3.97	1288+8.91	Santa Clara -Manicaragua
		1418+0.17	1442+3.27	
		401+6.31	420+0.77	
		30762+0.00	30768+0.00	Santa Clara - Placetas
2-Curva horizontal en pend. (-4% a 0%)	8	570+0.59	597+9.88	Santa Clara -Manicaragua
		545+4.13	551+2.99	Santa Clara -Sagua
		31642+0.00	31647+4.45	Santa Clara – Placetas
		2840+0.00	2862+5.00	Santa Clara – Entronque Vueltas
		1740+0.00	7555+0.00	
		1835+0.00	1849+0.00	
		728+7.22	754+7.16	Santa Clara -Manicaragua
314+7.72	333+0.14			
3-Curva horizontal en ramp. (0% a 4%)	8	597+9.88	570+0.59	Santa Clara -Manicaragua
		551+2.99	545+4.13	Santa Clara -Sagua
		31647+4.45	31642+0.00	Santa Clara – Placetas
		2862+5.00	2840+0.00	Santa Clara – Entronque Vueltas
		7555+0.00	1740+0.00	
		1849+0.00	1835+0.00	
		754+7.16	728+7.22	Santa Clara -Manicaragua
		333+0.14	314+7.72	
4-Curva horizontal en ramp. (4% a 9%)	3	1442+3.27	1418+0.17	Santa Clara -Manicaragua
		1288+8.91	1267+3.97	
		1591+2.14	1572+8.83	
5- Curva Horizontal con acuerdo convexo	4	2882+1.96	2894+6.65	Santa Clara – Entronque Vueltas
		413+0.68	417+3.65	
		431+0.86	442+2.74	
		570+0.59	597+9.88	



6-Curva Horizontal con acuerdo cóncavo	7	31560+0.00	31572+0.00	Santa Clara – Placetas
		126+7.98	137+3.12	Santa Clara – Entronque Vueltas
		31290+0.00	31320+0.00	Santa Clara – Placetas
		1151+9.00	1243+2.29	Santa Clara -Manicaragua
		1295+7.38	1307+7.30	
		429+7.03	450+8.19	
		1223+4.23	1243+2.29	

Anexo 2.3 Ubicación de los sitios estudiados.

Curvas con radios (210 – 75) metros				
Variante	N	Est.	Est. Final	Carretera
1-Curva horizontal	1	942+2.30	959+7.47	Santa Clara -Manicaragua
2-Curva horizontal en pend. (-4% a 0%)	4	596+4.62	609+5.57	Santa Clara – Entronque Vueltas
		44+8.34	57+5.04	
		114+7.64	120+6.53	
		896+9.39	915+5.28	Santa Clara -Manicaragua
3-Curva horizontal en ramp. (0% a 4%)	4	609+5.57	596+4.62	Santa Clara – Entronque Vueltas
		57+5.04	44+8.34	
		120+6.53	114+7.64	
		915+5.28	896+9.39	Santa Clara -Manicaragua
4-Curva horizontal	1	942+2.30	959+7.47	Santa Clara - Manicaragua
5- Curva Horizontal con acuerdo	2	363+0.50	363+597	Santa Clara – Entronque Vueltas
		487+8.28	495+7.37	

Anexo 2.4 Ubicación de los sitios estudiados.

Curvas Verticales				
Variante	N	Est.	Est. Final	Carretera
7-Recta con acuerdo convexo	8	2782+6.00	2786+6.00	Santa Clara – Entronque Vueltas
		2383+0.00	2387+0.00	
		2440+0.00	2444+0.00	
		2095+6.00	2103+6.00	
		1930+0.00	1938+0.00	



8-Recta con acuerdo cóncavo	9	1273+0.00	1281+0.00	Santa Clara -Manicaragua
		1625+0.00	1637+0.00	
		836+0.00	854+0.00	Santa Clara – Santo Domingo
		869+0.00	873+0.00	Santa Clara – Entronque Vueltas
		1142+8.00	1146+8.00	
		2869+6.00	2873+6.00	
		2010+0.00	2014+0.00	
		1804+0.00	1812+0.00	
		855+0.00	867+0.00	Santa Clara -Manicaragua
836+0.00	864+0.00	Santa Clara - Encrucijada		
760+0.00	772+0.00	Santa Clara - Santo Domingo		
10+0.00	85+0.00	Santa Clara - Encrucijada		

Anexo 2.5 Mediciones obtenidas en el terreno por condiciones

Condición – 1 Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)					
Est. Inicial	Est. final	Radio	1/Radio	V(opr)	Carretera
30762+0.00	30768+0.00	250	0,00400	70,5	Santa Clara - Placetas
1267+3.97	1288+8.91	280	0,00357	71,6	Santa Clara - Manicaragua
1418+0.17	1442+3.27	315	0,00317	72,3	Santa Clara - Manicaragua
31486+0.00	31505+0.00	510	0,000196	73,6	Santa Clara - Placetas
503+7.03	516+0.11	690	0,00145	75,7	Santa Clara - Manicaragua
401+6.31	420+0.77	350	0,00286	72,6	Santa Clara - Manicaragua
942+2.30	959+7.47	195	0,00513	70,9	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 2 Curva horizontal en pendiente (-4% a 0%)					
Est. Inicial	Est. final	Radio	1/Radio	V(opr)	Carretera
44+8.34	57+5.04	140	0,00714	69,6	Santa Clara - Entronque de
32064+0.00	32088+0.00	660	0,00152	74,6	Santa Clara - Placetas
114+7.64	120+6.53	170	0,00588	69,8	Santa Clara - Entronque de
545+4.13	551+2.99	290	0,00345	72,6	Santa Clara - Sagua
31642+0.00	31647+4.45	325	0,00308	72,6	Santa Clara - Placetas
31904+0.00	31940+0.00	820	0,00122	77,2	Santa Clara - Placetas



2840+0.00	2862+5.00	350	0,00286	72,9	Santa Clara - Entronque de
1740+0.00	7555+0.00	390	0,00256	73,1	Santa Clara - Entronque de
1835+0.00	1849+0.00	430	0,00233	73,4	Santa Clara - Entronque de
31200+0.00	31223+0.00	940	0,00106	79,3	Santa Clara - Placetas
596+4.62	609+5.57	108	0,00926	67,6	Santa Clara - Entronque de
32224+0.00	32268+0.00	735	0,00136	76,1	Santa Clara - Placetas
268+2.91	302+5.38	1250	0,00080	80,2	Santa Clara - Manicaragua
728+7.22	754+7.16	452	0,00221	73,6	Santa Clara - Manicaragua
570+0.59	597+9.88	212	0,00472	72,1	Santa Clara - Manicaragua
314+7.72	333+0.14	486	0,00206	73,6	Santa Clara - Manicaragua
372+936	393+5.10	556	0,00180	73,8	Santa Clara - Manicaragua
896+9.39	915+5.28	200	0,00500	71,3	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 3 Curva horizontal en rampa (0% a 4%)					
Est. Inicial	Est. final	Radio	1/Radio	V(opr)	Carretera
44+8.34	57+5.04	140	0,00714	68,6	Santa Clara - Entronque de
32064+0.00	32088+0.00	660	0,00152	74,1	Santa Clara - Placetas
114+7.64	120+6.53	170	0,00588	68,8	Santa Clara - Entronque de
545+4.13	551+2.99	290	0,00345	70,3	Santa Clara - Sagua
31642+0.00	31647+4.45	325	0,00308	71,6	Santa Clara - Placetas
31904+0.00	31940+0.00	820	0,00122	77,6	Santa Clara - Placetas
2840+0.00	2862+5.00	350	0,00286	72,6	Santa Clara - Entronque de
1740+0.00	7555+0.00	390	0,00256	72,6	Santa Clara - Entronque de
1835+0.00	1849+0.00	430	0,00233	72,8	Santa Clara - Entronque de
31200+0.00	31223+0.00	940	0,00106	78,4	Santa Clara - Placetas
32224+0.00	32268+0.00	735	0,00136	75,1	Santa Clara - Placetas
596+4.62	609+5.57	108	0,00926	64,9	Santa Clara - Entronque de
268+2.91	302+5.38	1250	0,00080	78,6	Santa Clara - Manicaragua
728+7.22	754+7.16	452	0,00221	73,1	Santa Clara - Manicaragua
570+0.59	597+9.88	212	0,00472	70	Santa Clara - Manicaragua
314+7.72	333+0.14	486	0,00206	73,6	Santa Clara - Manicaragua
372+936	393+5.10	556	0,00180	74,1	Santa Clara - Manicaragua
896+9.39	915+5.28	200	0,00500	69,3	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 4 Curva horizontal en rampa (4% a 9%)					
Est. Inicial	Est. final	Radio	1/Radio	V(opr)	Carretera
30762+0.00	30768+0.00	250	0,00400	67.9	Santa Clara - Placetas



1267+3.97	1288+8.91	280	0,00357	68,6	Santa Clara - Manicaragua
1418+0.17	1442+3.27	315	0,00317	73.2	Santa Clara - Manicaragua
31486+0.00	31505+0.00	510	0,00196	77,6	Santa Clara - Placetás
503+7.03	516+0.11	690	0,00145	77,6	Santa Clara - Manicaragua
942+2.30	959+7.47	195	0,00513	70.8	
1484+6.73	1517+6.28	845	0,00118	78.4	Santa Clara - Manicaragua
149+6.70	176+5.34	685	0,00146	75.5	Santa Clara - Manicaragua
1572+8.83	1591+2.14	360	0,00278	72.1	Santa Clara - Manicaragua
645+8.50	669,762	570	0,00175	74.3	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 5 Curva Horizontal con acuerdo convexo					
Est. Inicial	Est. final	Radio	1/Radio	V(opr)	Carretera
363+0.50	363+5.97	135	0,00741	68.3	Santa Clara - Entronque de
487+8.28	495+7.37	180	0,00556	65.3	Santa Clara - Entronque de
389+6.00	404+4.00	760	0,00132	78.3	Santa Clara - Encrucijada
905+4.00	922+2.26	510	0,00196	79.3	Santa Clara - Encrucijada
2882+1.96	2894+6.65	250	0,00400	74.1	Santa Clara - Entronque de
413+0.68	417+3.65	380	0,00263	76.4	Santa Clara - Entronque de
431+0.86	442+2.74	335	0,00299	75.8	Santa Clara - Entronque de
570+0.59	597+9.88	290	0,00345	75.2	Santa Clara - Manicaragua
1006+2.00	1022+0.00	1115	0,00090	76.3	Santa Clara - Encrucijada
1780+9.00	1809+1.15	830	0,00120	75.6	Santa Clara - Encrucijada
1531+7.71	1550+0.00	915	0,00109	77.3	Santa Clara - Encrucijada
1484+6.73	1517+6.28	652	0,00153	77.3	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 6 Curva Horizontal con acuerdo cóncavo					
Est. Inicial	Est. final	Radio	1/Radio	V(opr)	Carretera
31560+0.00	31572+0.00	220	0,00455	74.6	Santa Clara - Placetás
126+7.98	137+3.12	335	0,00299	75.4	Santa Clara - Entronque de
31290+0.00	31320+0.00	285	0,00351	75.2	Santa Clara - Placetás
1151+9.00	1243+2.29	480	0,00208	77.2	Santa Clara - Manicaragua
1295+7.38	1307+7.30	395	0,00253	79.8	Santa Clara - Manicaragua
429+7.03	450+8.19	250	0,00400	74.9	Santa Clara - Manicaragua
1223+4.23	1243+2.29	441	0,00227	76.8	Santa Clara - Manicaragua
645+8.50	669,762	585	0,00171	80.2	Santa Clara - Manicaragua
472+7.03	4919,89	1156	0,00087	83.2	Santa Clara - Manicaragua

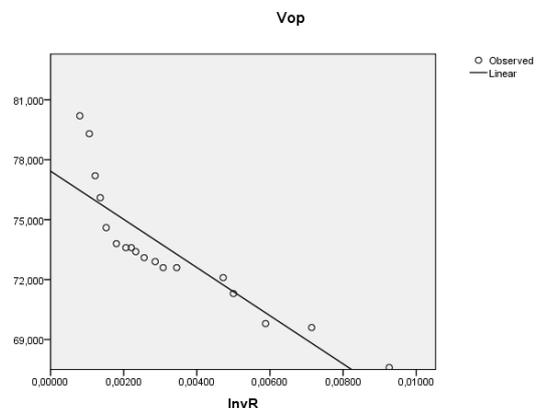
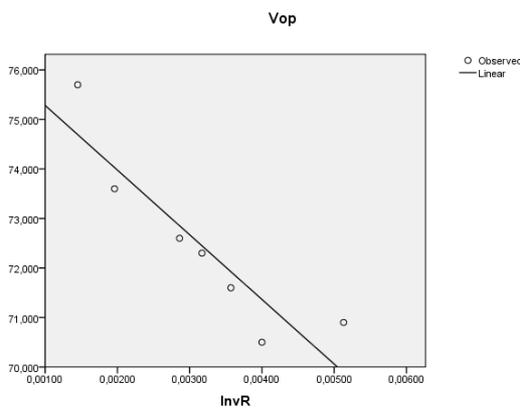


Condición - 7 Recta con acuerdo convexo					
Est. Inicial	Est. final	Kv	Lv	V(opr)	Carretera
2782+6.00	2786+6.00	0,075	40	82,1	Santa Clara - Entronque de
2383+0.00	2387+0.00	0,025	40	76,8	Santa Clara - Entronque de
2440+0.00	2444+0.00	0,025	40	78,5	Santa Clara - Entronque de
2095+6.00	2103+6.00	0,025	80	78,6	Santa Clara - Entronque de
1930+0.00	1938+0.00	0,0375	80	83,6	Santa Clara - Entronque de
1273+0.00	1281+0.00	0,053	80	76,8	Santa Clara - Manicaragua
1625+0.00	1637+0.00	0,0425	120	78,5	Santa Clara - Manicaragua
836+0.00	854+0.00	0,048	180	80,9	Santa Clara - Santo
Condición - 8 Recta con acuerdo cóncavo					
Est. Inicial	Est. final	Kv	Lv	V(opr)	Carretera
869+0.00	873+0.00	0,0625	40	82.1	Santa Clara - Entronque de
1142+8.00	1146+8.00	0,05	40	81.3	Santa Clara - Entronque de
2869+6.00	2873+6.00	0,05	40	81.9	Santa Clara - Entronque de
2010+0.00	2014+0.00	0,05	40	78.9	Santa Clara - Entronque de
1804+0.00	1812+0.00	0,045	80	80.1	Santa Clara - Entronque de
855+0.00	867+0.00	0,044	120	78.8	Santa Clara - Manicaragua
836+0.00	864+0.00	0,042	80	78.9	Santa Clara - Encrucijada
760+0.00	772+0.00	0,025	120	77.5	Santa Clara - Santo
10+0.00	85+0.00	0,025	80	76.9	Santa Clara - Encrucijada

Anexo 2.6 Recta de mejor ajuste por condiciones

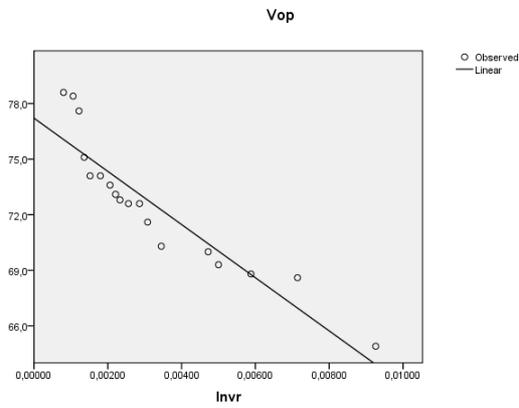
Condición 1 Curva horizontal Pte (-9% a -4%)

Condición - 2 Curva horizontal en Pte (-4% a 0%)

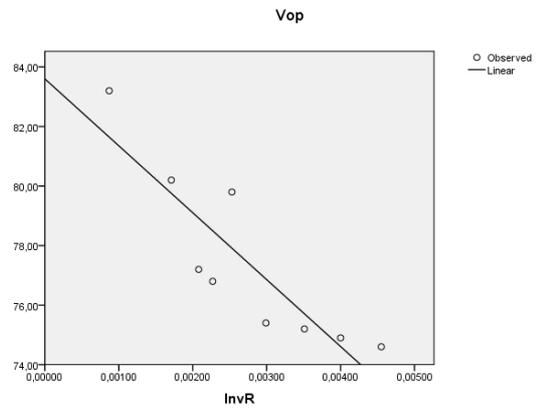




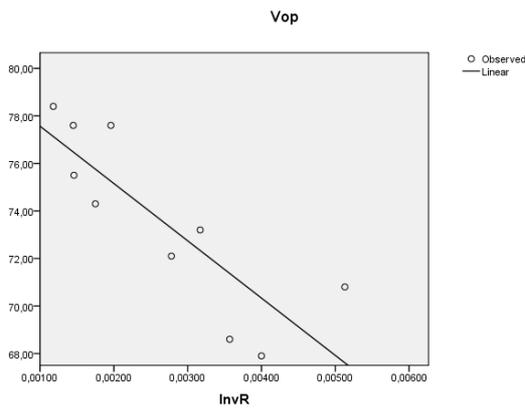
Condición- 3 Curva horiz en rampa (0%- 4%)



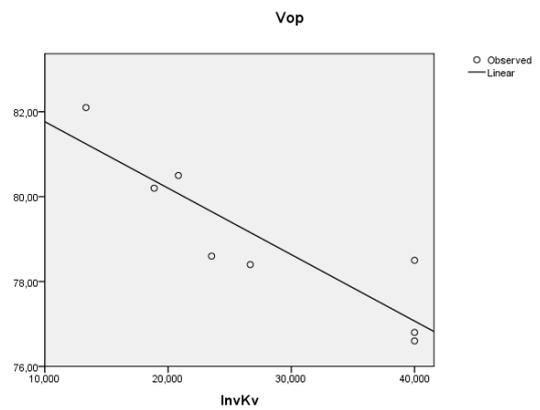
Condición - 6 Curva Horizontal acuerdo cóncavo



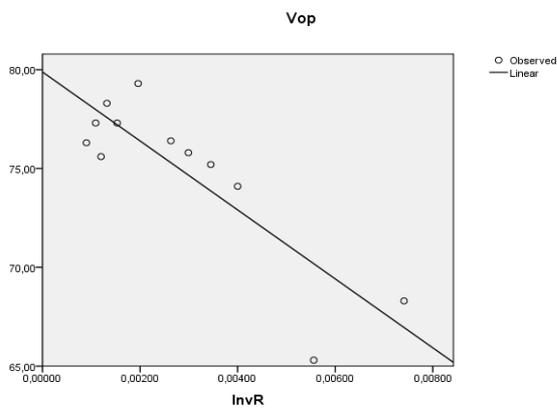
Condición - 4 Curva horiz en rampa (4% 9%)



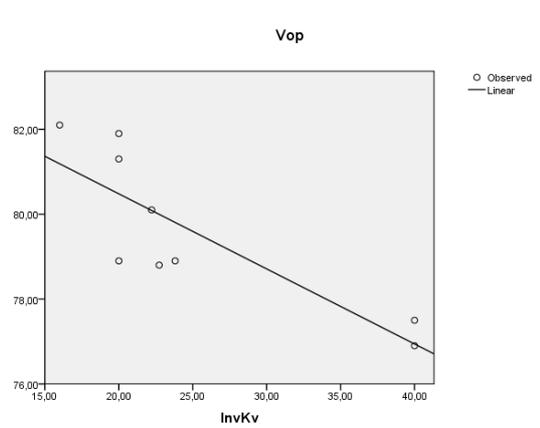
Condición - 7 Recta con acuerdo convexo



Condición - 5 Curva Horiz con acuerdo convexo



Condición - 8 Recta con acuerdo cóncavo





Anexo 2.7 Resultados de análisis matemático del programa SPSS 16.0 por condiciones.

Condición – 1 Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,912 ^a	,833	,799	,794587	1,786			
a. Predictors: (Constant), InvR								
b. Dependent Variable: Vop								
Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	76,587	,881		86,937	,000		
	InvR	-1305,731	261,843	-,912	-4,987	,004	1,000	1,000
a. Dependent Variable: Vop								
Collinearity Diagnostics ^a								
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	InvR			
1	1	1,940	1,000	,03	,03			
	2	,060	5,691	,97	,97			
a. Dependent Variable: Vop								
Condición - 2 Curva horizontal en pendiente (-4% a 0%)								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,875 ^a	,766	,751	1,591222	1,995			
a. Predictors: (Constant), InvR								
b. Dependent Variable: Vop								
Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	77,430	,658		117,725	,000		
	InvR	-166,788	166,788	-,875	-7,232	,000	1,000	1,000
a. Dependent Variable: Vop								
Collinearity Diagnostics ^a								



Condición – 1 Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,912 ^a	,833	,799	,794587	1,786			
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	InvR			
1	1	1,821	1,000	,09	,09			
	2	,179	3,194	,91	,91			
a. Dependent Variable: Vop								
Condición - 3 Curva horizontal en rampa (0% a 4%)								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,923 ^a	,851	,842	1,4304	2,108			
a. Predictors: (Constant), InvR								
b. Dependent Variable: Vop								
Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	77,212	,591		130,589	,000		
	Invr	-1435,599	149,935	-,923	-9,575	,000	1,000	1,000
a. Dependent Variable: Vop								
Collinearity Diagnostics ^a								
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	Invr			
1	1	1,821	1,000	,09	,09			
	2	,179	3,194	,91	,91			
a. Dependent Variable: Vop								
Condición - 4 Curva horizontal en rampa (4% a 9%)								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,840 ^a	,706	,669	2,15990	2,160			
a. Predictors: (Constant), InvR								
b. Dependent Variable: Vop								



Condición – 1 Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,912 ^a	,833	,799	,794587	1,786			
Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	79,977	1,608		49,747	,000		
	InvR	-2410,793	550,225	-,840	-4,381	,002	1,000	1,000
a. Dependent Variable: Vop								
Collinearity Diagnostics ^a								
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	InvR			
1	1	1,905	1,000	,05	,05			
	2	,095	4,484	,95	,95			
a. Dependent Variable: Vop								
Condición - 5 Curva Horizontal con acuerdo convexo								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,856 ^a	,733	,706	2,21928	2,015			
a. Predictors: (Constant), InvR								
b. Dependent Variable: Vop								
Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	79,883	1,142		69,972	,000		
	InvR	-1744,898	333,118	-,856	-5,238	,000	1,000	1,000
a. Dependent Variable: Vop								
Collinearity Diagnostics ^a								
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	InvR			
1	1	1,828	1,000	,09	,09			



Condición - 1 Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,912 ^a	,833	,799	,794587	1,786			
	2	,172	3,257	,91				
a. Dependent Variable: Vop								
Condición - 6 Curva Horizontal con acuerdo cóncavo								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,879 ^a	,772	,740	1,51528	2,027			
a. Predictors: (Constant), InvR								
b. Dependent Variable: Vop								
Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	83,599	1,355		61,705	,000		
	InvR	-	461,619	-,879	-4,869	,002	1,000	1,000
a. Dependent Variable: Vop								
Collinearity Diagnostics ^a								
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	InvR			
1	1	1,928	1,000	,04	,04			
	2	,072	5,171	,96	,96			
a. Dependent Variable: Vop								

Condición - 7 Recta con acuerdo convexo							
Model Summary ^b							
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
1	,894 ^a	,799	,765	,90915	2,106		
a. Predictors: (Constant), InvKv							
b. Dependent Variable: Vop							
Coefficients ^a							



Condición - 7 Recta con acuerdo convexo								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,894 ^a	,799	,765	,90915	2,106			
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	83,332	,951		87,634	,000		
	InvKv	-,157	,032	-,894	-4,882	,003	1,000	1,000
a. Dependent Variable: Vop								
Collinearity Diagnostics ^a								
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	InvKv			
1	1	1,941	1,000	,03	,03			
	2	,059	5,743	,97	,97			
a. Dependent Variable: Vop								

Condición - 8 Recta con acuerdo cóncavo								
Model Summary ^b								
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson			
1	,833 ^a	,693	,650	1,10743	1,859			
a. Predictors: (Constant), InvKv								
b. Dependent Variable: Vop								
Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	84,018	1,170		71,799	,000		
	InvKv	-,177	,044	-,833	-3,979	,005	1,000	1,000
a. Dependent Variable: Vop								
Collinearity Diagnostics ^a								
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	InvKv			

Condición - 8 Recta con acuerdo cóncavo						
Model Summary ^b						
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate		Durbin-Watson
1	,833 ^a	,693	,650	1,10743		1,859
1	1		1,949	1,000	,03	,03
	2	,051		6,178	,97	,97
a. Dependent Variable: Vop						

Anexo 3.1 Comprobación de los modelos para curvas horizontales.

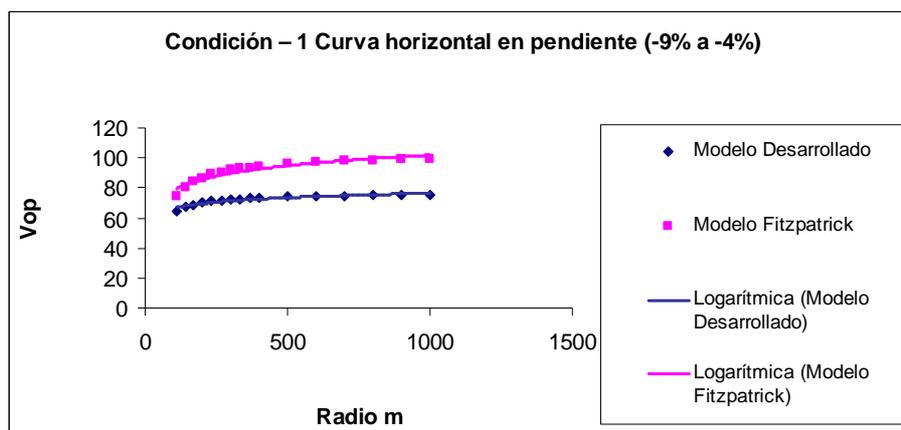
Condición – 1 Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)						
Est. Inicial	Est. Final	R	V (opr) terreno.	V (opr) modelo	Difer enc.	Carretera
30762+0.00	30768+0.00	115	70,5	71,36	0,86	Santa Clara - Placetas
1267+3.97	1288+8.91	256	71,6	71,92	0,32	Santa Clara - Manicaragua
1418+0.17	1442+3.27	335	72,3	72,44	0,14	Santa Clara - Manicaragua
31486+0.00	31505+0.00	470	73,6	74,03	0,43	Santa Clara - Placetas
503+7.03	516+0.11	790	75,7	74,69	-1,01	Santa Clara - Manicaragua
401+6.31	420+0.77	405	72,6	72,86	0,26	Santa Clara - Manicaragua
942+2.30	959+7.47	195	70,9	69,89	-1,01	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 2 Curva horizontal en pendiente (-4% a 0%)						
Est. Inicial	Est. Final	R	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
44+8.34	57+5.04	140	69,6	68,81	-0,79	Santa Clara – Ent de Vuelt
32064+0.00	32088+0.00	660	74,6	7,60	1,00	Santa Clara - Placetas
114+7.64	120+6.53	170	69,8	70,33	0,53	Santa Clara - Ent de Vuelt
545+4.13	551+2.99	290	72,6	73,27	0,67	Santa Clara - Sagua
31642+0.00	31647+4.45	325	72,6	73,2	1,12	Santa Clara - Placetas
31904+0.00	31940+0.00	820	77,2	75,96	-1,24	Santa Clara - Placetas
2840+0.00	2862+5.00	350	72,9	73,98	1,08	Santa Clara - Ent de Vuelt
1740+0.00	7555+0.00	390	73,1	74,34	1,24	Santa Clara - Ent de Vuelt
1835+0.00	1849+0.00	430	73,4	74,62	1,22	Santa Clara - Ent de Vuelt
31200+0.00	31223+0.00	940	78,3	76,15	-2,15	Santa Clara - Placetas
32224+0.00	32268+0.00	735	76,1	75,79	-0,31	Santa Clara - Placetas
596+4.62	609+5.57	108	67,6	66,26	-1,34	Santa Clara - Ent de Vuelt
268+2.91	302+5.38	1250	80,2	76,46	-3,74	Santa Clara - Manicaragua
728+7.22	754+7.16	452	73,6	74,76	1,16	Santa Clara - Manicaragua

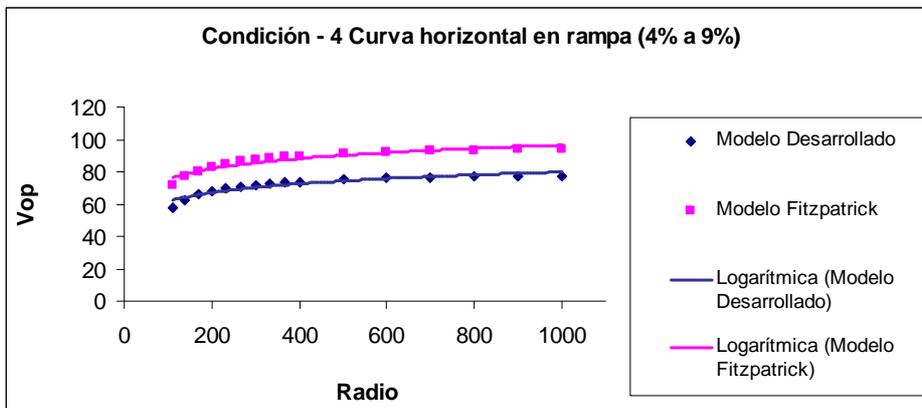
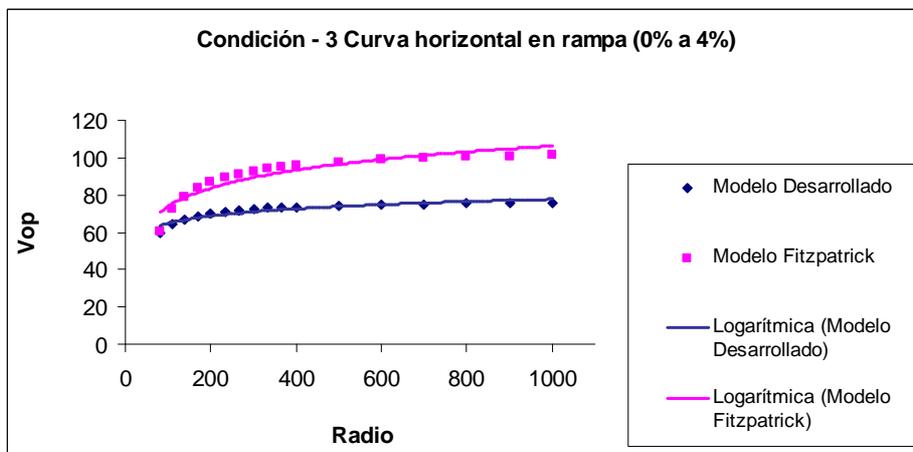
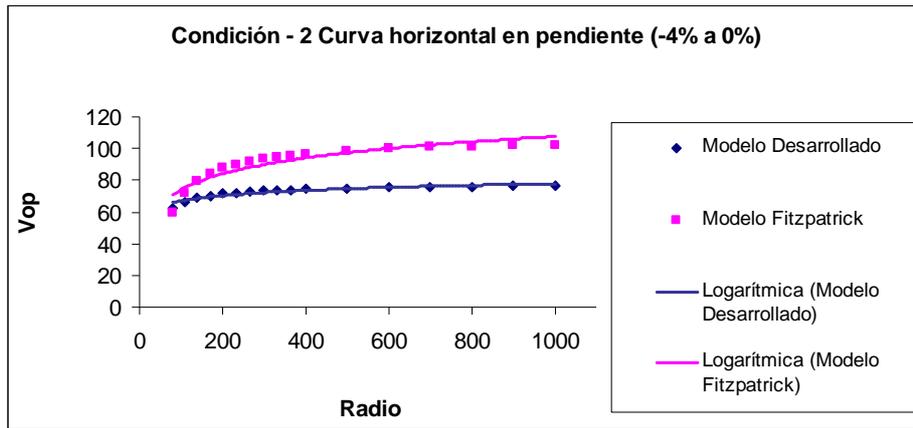


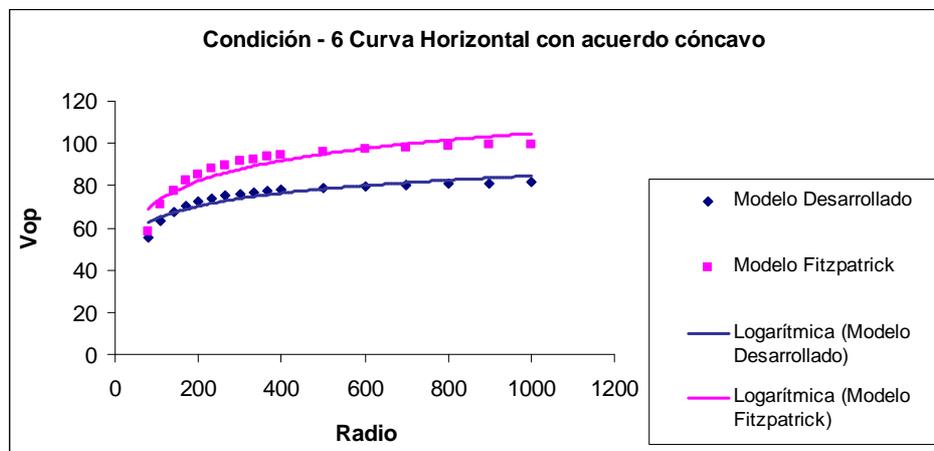
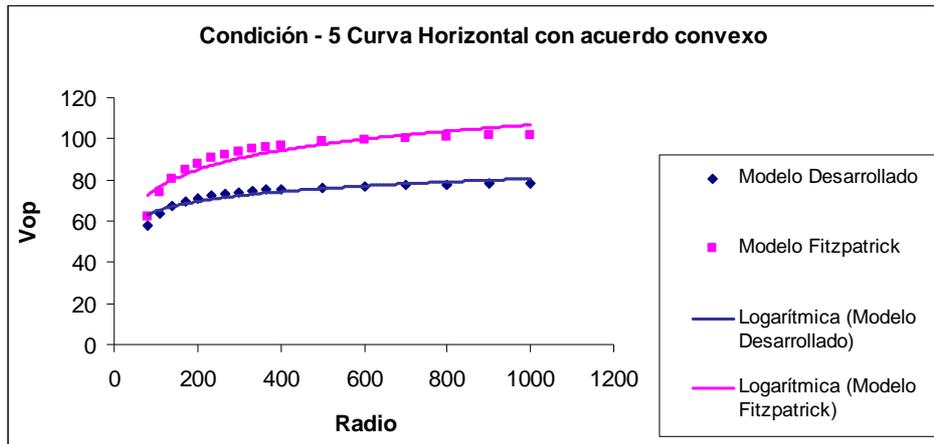
570+0.59	597+9.88	212	72,1	71,74	-0,36	Santa Clara - Manicaragua
314+7.72	333+0.14	486	73,6	74,95	1,35	Santa Clara - Manicaragua
372+936	393+5.10	556	73,8	75,26	1,46	Santa Clara - Manicaragua
896+9.39	915+5.28	200	71,3	71,4	0,10	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 3 Curva horizontal en rampa (0% a 4%)						
Est. Inicial	Est. Final	R	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
44+8.34	57+5.04	140	68,6	66,96	-1,64	Santa Clara – Ent de Vuelt.
32064+0.00	32088+0.00	660	74,1	75,04	0,94	Santa Clara - Placetas
114+7.64	120+6.53	170	68,8	68,77	-0,03	Santa Clara – Ent de Vuelt
545+4.13	551+2.99	290	70,3	72,26	1,96	Santa Clara - Sagua
31642+0.00	31647+4.45	325	71,6	72,8	1,20	Santa Clara - Placetas
31904+0.00	31940+0.00	820	77,6	75,46	-2,14	Santa Clara - Placetas
2840+0.00	2862+5.00	350	72,6	73,11	0,51	Santa Clara - Ent de Vuelt
1740+0.00	7555+0.00	390	72,6	73,53	0,93	Santa Clara – Ent de Vuelt
1835+0.00	1849+0.00	430	72,8	73,87	1,07	Santa Clara – Ent de Vuelt
31200+0.00	31223+0.00	940	78,4	75,69	-2,71	Santa Clara - Placetas
596+4.62	609+5.57	108	64,9	63,92	-0,98	Santa Clara - Ent de Vuelt
32224+0.00	32268+0.00	735	75,1	75,26	0,16	Santa Clara - Placetas
268+2.91	302+5.38	1250	78,6	76,06	-2,54	Santa Clara - Manicaragua
728+7.22	754+7.16	452	73,1	74,04	0,94	Santa Clara - Manicaragua
570+0.59	597+9.88	212	70,0	70,44	0,44	Santa Clara - Manicaragua
314+7.72	333+0.14	486	73,6	74,26	0,66	Santa Clara - Manicaragua
372+936	393+5.10	556	74,1	74,63	0,53	Santa Clara - Manicaragua
896+9.39	915+5.28	200	69,3	70,04	0,74	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 4 Curva horizontal en rampa (4% a 9%)						
Est. Inicial	Est. Final	R	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
30762+0.00	30768+0.00	250	67,9	70,33	2,43	Santa Clara - Placetas
1267+3.97	1288+8.91	280	68,6	71,37	2,77	Santa Clara - Manicaragua
1418+0.17	1442+3.27	315	73,2	72,32	-0,88	Santa Clara - Manicaragua
31486+0.00	31505+0.00	510	77,6	75,25	-2,35	Santa Clara - Placetas
503+7.03	516+0.11	690	77,6	76,48	-1,12	Santa Clara - Manicaragua
1484+6.73	1517+6.28	845	78,4	77,12	-1,28	Santa Clara - Manicaragua
149+6.70	176+5.34	685	75,5	76,46	0,96	Santa Clara - Manicaragua
1572+8.83	1591+2.14	360	72,1	73,28	1,18	Santa Clara - Manicaragua
645+8.50	669.762	570	74,3	75,75	1,45	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 5 Curva Horizontal con acuerdo convexo						
Est. Inicial	Est. Final	R	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
363+0.50	363+5.97	135	68,3	66,96	-1,34	Santa Clara - Ent de Vuelt

487+8.28	495+7.37	180	65,3	70,19	4,89	Santa Clara - Ent de Vuelt
389+6.00	404+4.00	760	78,3	77,59	-0,71	Santa Clara -Encrucijada
905+4.00	922+2.26	510	79,3	76,46	-2,84	Santa Clara -Encrucijada
2882+1.96	2894+6.65	250	74,1	72,90	-1,20	Santa Clara - Ent de Vuelt
413+0.68	417+3.65	380	76,4	75,29	-1,11	Santa Clara - Ent de Vuelt
431+0.86	442+2.74	335	75,8	74,67	-1,13	Santa Clara - Ent de Vuelt
570+0.59	597+9.88	290	75,2	73,87	-1,33	Santa Clara - Manicaragua
1006+2.00	1022+0.00	1115	76,3	78,32	2,02	Santa Clara -Encrucijada
1780+9.00	1809+1.15	830	75,6	77,78	2,18	Santa Clara -Encrucijada
1531+7.71	1550+0.00	915	77,3	77,98	0,68	Santa Clara -Encrucijada
1484+6.73	1517+6.28	652	77,3	77,21	-0,09	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 6 Curva Horizontal con acuerdo cóncavo						
Est. Inicial	Est. Final	R	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
31560+0.00	31572+0.00	220	74,6	73,38	-1,22	Santa Clara - Placetas
126+7.98	137+3.12	335	75,4	76,89	1,49	Santa Clara - Ent de Vuelt
31290+0.00	31320+0.00	285	75,2	75,71	0,51	Santa Clara - Placetas
1151+9.00	1243+2.29	480	77,2	78,92	1,72	Santa Clara - Manicaragua
1295+7.38	1307+7.30	395	79,8	77,91	-1,89	Santa Clara - Manicaragua
429+7.03	450+8.19	250	74,9	74,61	-0,29	Santa Clara - Manicaragua
1223+4.23	1243+2.29	441	76,8	78,50	1,70	Santa Clara - Manicaragua
645+8.50	669.762	585	80,2	79,76	-0,44	Santa Clara - Manicaragua
472+7.03	4919.89	1156	83,2	81,65	-1,55	Santa Clara - Manicaragua

Anexo 3.2 Comparación de los modelos desarrollados con los modelos de Fitzpatrick para curvas horizontales.





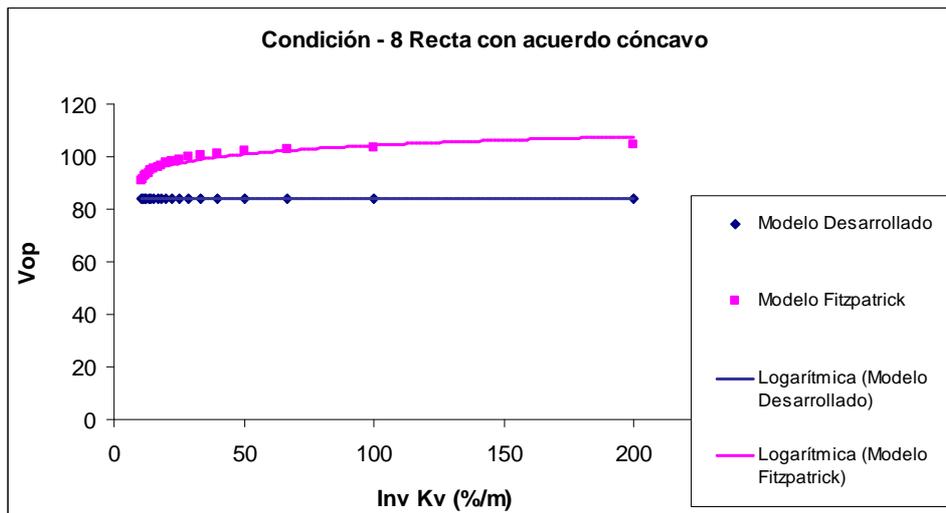
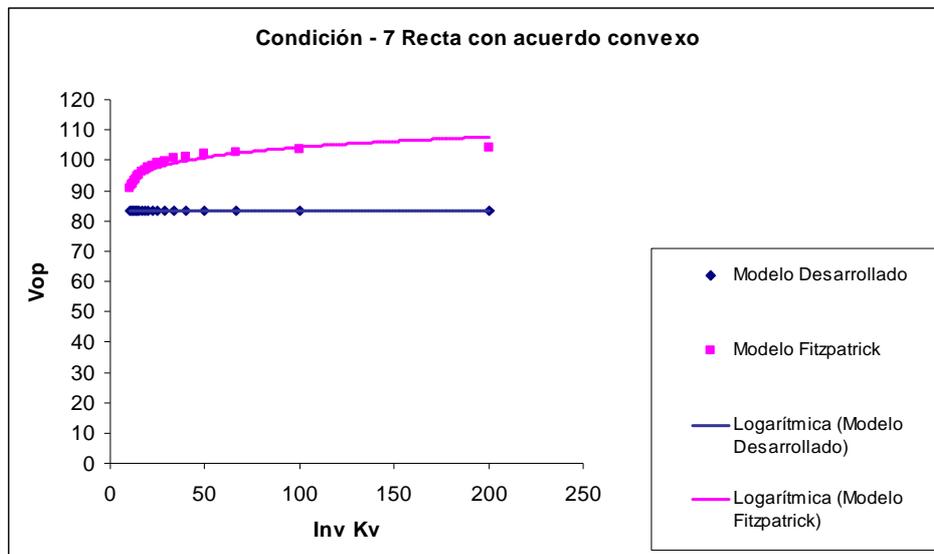


Anexo 3.3 Comprobación de los modelos para curvas verticales.

Condición - 7 Recta con acuerdo convexo						
Est. Inicial	Est. Final	Kv	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
2782+6.00	2786+6.00	0,075	83,6	81,24	-2,36	Santa Clara - Ent de Vuelta
2383+0.00	2387+0.00	0,025	76,8	77,05	0,25	Santa Clara - Ent de Vuelta
2440+0.00	2444+0.00	0,025	78,5	77,05	-1,45	Santa Clara - Ent de Vuelta
2095+6.00	2103+6.00	0,025	76,6	77,05	0,45	Santa Clara - Ent de Vuelta
1930+0.00	1938+0.00	0,0375	77,6	79,15	1,55	Santa Clara - Ent de Vuelta
1273+0.00	1281+0.00	0,053	77,6	80,37	2,77	Santa Clara - Manicaragua
1625+0.00	1637+0.00	0,0425	81,6	79,64	-1,96	Santa Clara - Manicaragua
836+0.00	854+0.00	0,048	80,9	80,06	-0,84	Santa Clara - Encrucijada
Condición - 8 Recta con acuerdo cóncavo						
Est. Inicial	Est. Final	Kv	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
869+0.00	873+0.00	0,0625	82,1	81,19	-0,91	Santa Clara - Ent de Vuelt
1142+8.00	1146+8.00	0,05	81,3	80,48	-0,82	Santa Clara - Ent de Vuelt
2869+6.00	2873+6.00	0,05	81,9	80,48	-1,42	Santa Clara - Ent de Vuelt
2010+0.00	2014+0.00	0,05	78,9	80,48	1,58	Santa Clara - Ent de Vuelt

1804+0.00	1812+0.00	0,045	80,1	80,08	-0,02	Santa Clara - Ent de Vuelt
855+0.00	867+0.00	0,044	78,8	80,00	1,20	Santa Clara - Manicaragua
836+0.00	864+0.00	0,042	78,9	79,80	0,90	Santa Clara - Encrucijada
760+0.00	772+0.00	0,025	77,5	76,94	-0,56	Santa Clara - Santo Domin
10+0.00	85+0.00	0,025	76,9	76,94	0,04	Santa Clara - Encrucijada

Anexo 3.4 Comparación de los modelos desarrollados con los modelo de Fitzpatrick para curvas verticales.



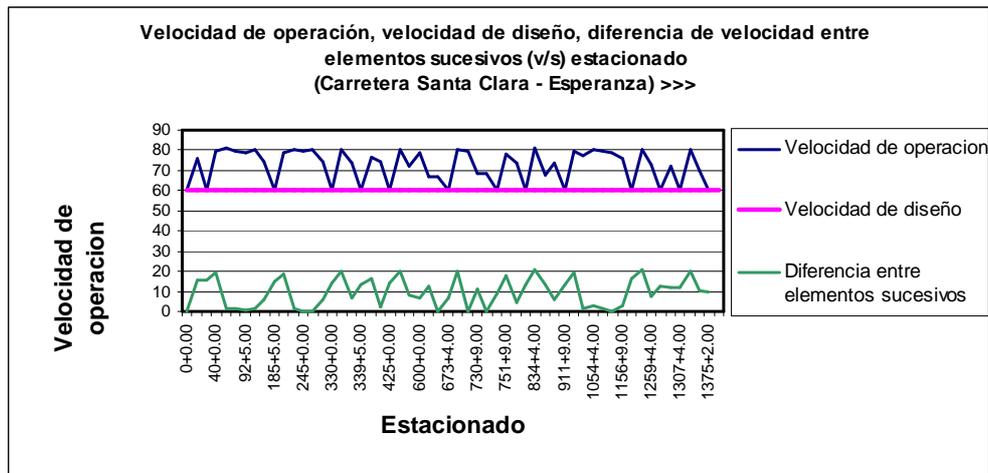
Anexo 3.5 Resumen del modelo desarrollado para cálculo de la consistencia Carretera Central Tramo (Santa Clara - Esperanza) Dirección de Tránsito >>>

Condición	VOP (A- B/R)	VOP-Vd	Δ VOP	L de tramo	V(operation) *Long.	Estado de la carretera (VP - VOP)	Estado de la carretera (Δ VOP)	Estación	V(d)
9	60,00	0,00	0,00	170	10200,00	0,00	0,00	0+0.00	60
2	75,69	15,69	15,69	130	9839,62	2039,62	2039,62	17+5.000	60
9	60,00	0,00	15,69	100	6000,00	0,00	1568,94	30+0.00	60
7	79,50	19,50	19,50	50	3975,14	975,14	975,14	40+0.00	60
8	81,18	21,18	1,68	50	4058,97	1058,97	83,83	45+0.00	60
7	79,41	19,41	1,77	425	33747,98	8247,98	753,25	50+0.00	60
8	79,02	19,02	0,38	700	55316,70	13316,70	268,20	92+5.00	60
7	80,37	20,37	1,35	100	8036,97	2036,97	134,59	162+5.00	60
3	74,71	14,71	5,66	130	9711,86	1911,86	736,21	172+5.00	60
9	60,00	0,00	14,71	120	7200,00	0,00	1764,79	185+5.00	60
8	78,88	18,88	18,88	275	21690,66	5190,66	5190,66	197+5.00	60
7	80,06	20,06	1,19	200	16012,23	4012,23	237,21	225+0.00	60
8	79,87	19,87	0,19	500	39933,36	9933,36	97,23	245+0.00	60
7	80,19	20,19	0,33	200	16038,40	4038,40	65,06	295+0.00	60
3	74,03	14,03	6,16	150	11105,13	2105,13	923,67	315+0.00	60
9	60,00	0,00	14,03	75	4500,00	0,00	1052,57	330+0.00	60
8	80,23	20,23	20,23	10	802,33	202,33	202,33	337+5.00	60
2	73,52	13,52	6,71	10	735,20	135,20	67,13	338+5.00	60
9	60,00	0,00	13,52	505	30300,00	0,00	6827,55	339+5.00	60
7	76,51	16,51	16,51	200	15301,18	3301,18	3301,18	390+0.00	60
3	74,15	14,15	2,36	150	11121,97	2121,97	353,92	410+0.00	60
9	60,00	0,00	14,15	450	27000,00	0,00	6365,90	425+0.00	60
8	80,15	20,15	20,15	475	38070,14	9570,14	9570,14	470+0.00	60
8	72,28	12,28	7,87	825	59631,83	10131,83	6490,00	517+5.00	60
7	79,15	19,15	6,86	100	7914,53	1914,53	686,43	600+0.00	60
5	66,86	6,86	12,28	300	20058,41	2058,41	3685,19	610+0.00	60
5	66,86	6,86	0,00	334	22331,70	2291,70	0,00	640+0.00	60
9	60,00	0,00	6,86	275	16500,00	0,00	1886,88	673+4.00	60
8	80,23	20,23	20,23	175	14040,81	3540,81	3540,81	700+9.00	60
7	79,92	19,92	0,31	125	9989,87	2489,87	39,28	718+4.00	60
6	68,61	8,61	11,31	50	3430,67	430,67	565,27	730+9.00	60
6	68,61	8,61	0,00	91	6243,83	783,83	0,00	735+9.00	60



9	60,00	0,00	8,61	69	4140,00	0,00	594,33	745+0.00	60
7	78,10	18,10	18,10	350	27334,53	6334,53	6334,53	751+9.00	60
2	73,68	13,68	4,42	275	20261,77	3761,77	1215,36	786+9.00	60
9	60,00	0,00	13,68	200	12000,00	0,00	2735,83	814+4.00	60
8	80,74	20,74	20,74	200	16148,28	4148,28	4148,28	834+4.00	60
7	67,63	7,63	13,11	275	18598,80	2098,80	3605,08	854+4.00	60
2	73,64	13,64	6,01	300	22092,09	4092,09	1802,49	881+9.00	60
9	60,00	0,00	13,64	900	54000,00	0,00	12276,26	911+9.00	60
8	79,42	19,42	19,42	225	17870,20	4370,20	4370,20	1001+9.00	60
7	77,72	17,72	1,70	300	23317,46	5317,46	509,47	1024+4.00	60
8	80,68	20,68	2,95	300	24203,15	6203,15	885,69	1054+4.00	60
7	79,50	19,50	1,17	425	33788,66	8288,66	499,13	1084+4.00	60
8	79,16	19,16	0,34	300	23749,30	5749,30	101,52	1126+9.00	60
2	76,05	16,05	3,11	325	24717,73	5217,73	1010,68	1156+9.00	60
9	60,00	0,00	16,05	250	15000,00	0,00	4013,64	1189+4.00	60
7	80,48	20,48	20,48	450	36214,85	9214,85	9214,85	1214+4.00	60
3	72,84	12,84	7,64	200	14567,83	2567,83	1527,66	1259+4.00	60
9	60,00	0,00	12,84	175	10500,00	0,00	2246,86	1279+4.00	60
3	72,14	12,14	12,14	105	7574,62	1274,62	1274,62	1296+9.00	60
9	60,00	0,00	12,14	200	12000,00	0,00	2427,84	1307+4.00	60
8	80,39	20,39	20,39	300	24118,05	6118,05	6118,05	1327+4.00	60
2	69,87	9,87	10,52	178	12437,21	1757,21	1872,84	1357+4.00	60
9	60,00	0,00	9,87	150	9000,00	0,00	1480,79	1375+2.00	60
TOTAL				13902	1004474	170354	129738,95	1390+2.00	60
$E_{V_{op}-V_d} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{170354}{13902} \right)$		12,25			
$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)}) L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{129138,95}{13902} \right)$		9,33			
$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85}) L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{1004474}{13902} \right)$		72,25			
$E_G = \left(\frac{E_{V_{op}-V_d} + E_{\Delta V}}{2} \right)$				$= \left(\frac{12,25 + 9,33}{2} \right)$		10,79	El tramo Clasifica de consistencia regular	Puntuación 5,29	

Anexo 3.6 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



Anexo 3.7 Resumen del modelo desarrollado para cálculo de la consistencia Carretera

Central Tramo (Santa Clara - Esperanza) Dirección de tránsito <<<

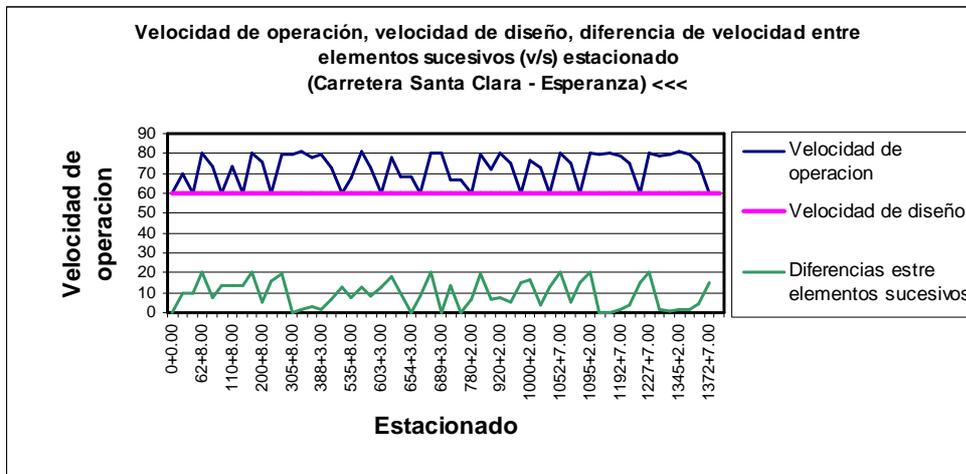
Condición	VOP (A- B/R)	VOP-Vd	Δ VOP	L de tramo	V (operación)*Long	Estado de la carretera (Vp - VOP)	Estado de la carretera (Δ VOP)	Estación	V (d)
9	60,00	0,00	0,00	150	9000,00	0,00	0,00	0+0.00	60
2	69,87	9,87	9,87	178	12437,21	1757,21	1757,21	15+0.00	60
9	60,00	0,00	9,87	300	18000,00	0,00	2961,58	32+8.00	60
8	80,39	20,39	20,39	200	16078,70	4078,70	4078,70	62+8.00	60
2	73,17	13,17	7,23	105	7682,60	1382,60	758,72	82+8.00	60
9	60,00	0,00	13,17	175	10500,00	0,00	2304,33	93+3.00	60
2	73,76	13,76	13,76	200	14751,14	2751,14	2751,14	110+8.00	60
9	60,00	0,00	13,76	450	27000,00	0,00	6190,07	130+8.00	60
7	80,48	20,48	20,48	250	20119,36	5119,36	5119,36	175+8.00	60
3	75,58	15,58	4,90	325	24561,89	5061,89	1593,28	200+8.00	60
9	60,00	0,00	15,58	300	18000,00	0,00	4672,52	233+3.00	60
8	79,16	19,16	19,16	425	33644,84	8144,84	8144,84	263+3.00	60
7	79,50	19,50	0,34	300	23850,82	5850,82	101,52	305+8.00	60
8	80,68	20,68	1,17	300	24203,15	6203,15	352,33	335+8.00	60
7	77,72	17,72	2,95	225	17488,09	3988,09	664,27	365+8.00	60
8	79,42	19,42	1,70	900	71480,79	17480,79	1528,42	388+3.00	60
3	72,70	12,70	6,72	300	21810,54	3810,54	2016,39	478+3.00	60
9	60,00	0,00	12,70	275	16500,00	0,00	3492,99	508+3.00	60
7	67,63	7,63	7,63	200	13526,40	1526,40	1526,40	535+8.00	60



8	80,74	20,74	13,11	200	16148,28	4148,28	2621,88	555+8.00	60	
3	72,75	12,75	7,99	275	20005,72	3505,72	2198,16	575+8.00	60	
9	60,00	0,00	12,75	350	21000,00	0,00	4461,83	603+3.00	60	
7	78,10	18,10	18,10	69	5388,81	1248,81	1248,81	638+3.00	60	
6	68,61	8,61	9,49	91	6243,83	783,83	863,15	645+2.00	60	
6	68,61	8,61	0,00	50	3430,67	430,67	0,00	654+3.00	60	
9	60,00	0,00	8,61	125	7500,00	0,00	1076,69	659+3.00	60	
7	79,92	19,92	19,92	175	13985,82	3485,82	3485,82	671+8.00	60	
8	80,23	20,23	0,31	275	22064,12	5564,12	86,41	689+3.00	60	
5	66,86	6,86	13,37	334	22331,70	2291,70	4466,18	716+8.00	60	
5	66,86	6,86	0,00	300	20058,41	2058,41	0,00	750+2.00	60	
9	60,00	0,00	6,86	100	6000,00	0,00	686,14	780+2.00	60	
7	79,15	19,15	19,15	825	65294,90	15794,90	15794,90	790+2.00	60	
8	72,28	12,28	6,86	475	34333,48	5833,48	3260,56	872+7.00	60	
8	80,15	20,15	7,87	450	36066,45	9066,45	3540,00	920+2.00	60	
2	74,85	14,85	5,29	150	11228,12	2228,12	794,03	965+2.00	60	
9	60,00	0,00	14,85	200	12000,00	0,00	2970,83	980+2.00	60	
7	76,51	16,51	16,51	505	38635,49	8335,49	8335,49	1000+2.00	60	
3	72,56	12,56	3,95	10	725,59	125,59	39,47	1050+7.00	60	
	60,00	0,00	12,56	10	600,00	0,00	125,59	1051+7.00	60	
8	80,23	20,23	20,23	75	6017,49	1517,49	1517,49	1052+7.00	60	
2	74,76	14,76	5,47	150	11213,98	2213,98	821,00	1060+2.00	60	
9	60,00	0,00	14,76	200	12000,00	0,00	2951,97	1075+2.00	60	
7	80,19	20,19	20,19	500	40096,00	10096,00	10096,00	1095+2.00	60	
8	79,87	19,87	0,33	200	15973,34	3973,34	65,06	1145+2.00	60	
7	80,06	20,06	0,19	275	22016,82	5516,82	53,47	1165+2.00	60	
8	78,88	18,88	1,19	120	9465,01	2265,01	142,33	1192+7.00	60	
2	75,32	15,32	3,55	130	9792,23	1992,23	461,54	1204+7.00	60	
9	60,00	0,00	15,32	100	6000,00	0,00	1532,48	1217+7.00	60	
7	80,37	20,37	20,37	700	56258,82	14258,82	14258,82	1227+7.00	60	
8	79,02	19,02	1,35	425	33585,14	8085,14	572,00	1297+7.00	60	
7	79,41	19,41	0,38	50	3970,35	970,35	19,16	1340+2.00	60	
8	81,18	21,18	1,77	50	4058,97	1058,97	88,62	1345+2.00	60	
7	79,50	19,50	1,68	100	7950,27	1950,27	167,66	1350+2.00	60	
3	75,14	15,14	4,36	125	9392,55	1892,55	545,29	1360+2.00	60	
9	60,00	0,00	15,14	175	10500,00	0,00	2649,58	1372+7.00	60	
				13902	1021968	187847,881	142012,44	1390+2.00	60	
$E_{V_{op}V_d} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)})L(i)}{L_t} \right)$				$= \left(\frac{187847,881}{13902} \right)$			13,51			

$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)}) L(i)}{L_t} \right) = \left(\frac{142012,44}{13902} \right)$		10,22	El tramo Clasifica de consistencia regular	Puntuación 4,81
$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85}) L(i)}{L_t} \right) = \left(\frac{1021968}{13902} \right)$		73,51		
$E_G = \left(\frac{E_{Vop} - V_d + E_{\Delta V}}{2} \right) = \left(\frac{13,51 + 10,22}{2} \right)$		11,86		

Anexo 3.8 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



Anexo 3.9 Resumen del modelo desarrollado para cálculo de la consistencia Carretera (Hatillo - Cifuentes) Dirección de Tránsito >>>

Condición	VOP (A- B/R)	VOP-Vd	ΔVOP	L de tramo	V(operation)*Long.	Estado de la carretera (Vp - VOP)	Estado de la carretera (ΔVOP)	Estación	V(d)
9	60,00	0,00	0,00	342	20520,00	0,00	0,00	0+0.00	60
7	80,37	20,37	20,37	270	21699,83	5499,83	5499,83	34+2.00	60
8	78,43	18,43	1,94	455	35683,85	8383,85	884,38	61+2.00	60
7	78,50	18,50	0,08	175,8	13802,87	3253,07	13,22	106+7.00	60
3	73,70	13,70	4,80	85,71	6317,03	1174,43	411,31	124+2.83	60
9	60,00	0,00	13,70	439,3	26359,80	0,00	6019,88	132+8.54	60
3	73,82	13,82	13,82	95,96	7083,54	1325,94	1325,94	176+7.87	60
9	60,00	0,00	13,82	104,2	6250,20	0,00	1439,38	186+3.83	60



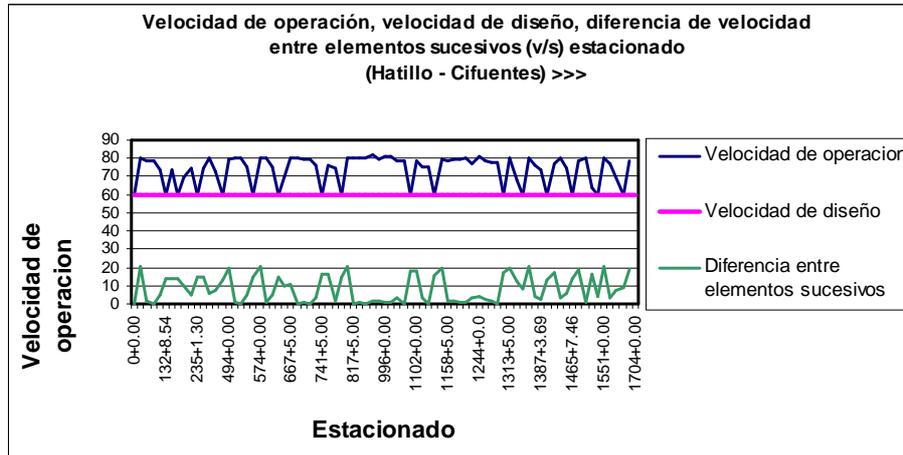
8	69,92	9,92	9,92	270,8	18936,70	2686,90	2686,90	196+8.0	60
3	74,78	14,78	4,86	112,5	8410,29	1662,09	546,28	223+8.83	60
9	60,00	0,00	14,78	28,7	1722,00	0,00	424,13	235+1.30	60
7	74,36	14,36	14,36	1348	100238,0	19358,05	19358,05	238+0.00	60
8	80,15	20,15	5,79	460,2	36883,15	9271,75	2663,16	372+8.00	60
2	73,12	13,12	7,03	107,5	7858,23	1410,03	755,24	418+8.19	60
9	60,00	0,00	13,12	644,3	38660,40	0,00	8453,88	429+5.66	60
7	79,41	19,41	19,41	140	11116,98	2716,98	2716,98	494+0.00	60
8	80,06	20,06	0,65	90	7205,24	1805,24	58,61	508+0.00	60
7	80,19	20,19	0,13	288,8	23162,66	5832,26	38,63	517+0.00	60
3	74,99	14,99	5,20	191,8	14382,54	2875,14	997,48	545+8.84	60
9	60,00	0,00	14,99	89,37	5362,20	0,00	1339,75	565+0.63	60
8	80,54	20,54	20,54	290	23356,89	5956,89	5956,89	574+0.00	60
7	79,99	19,99	0,55	200,1	16003,91	3999,71	109,92	603+0.00	60
3	75,09	15,09	4,90	189,9	14262,65	2866,85	930,15	623+0.07	60
9	60,00	0,00	15,09	60	3600,00	0,00	905,65	642+0.00	60
8	69,92	9,92	9,92	195	13634,60	1934,60	1934,60	648+0.00	60
8	80,47	20,47	10,55	215	17300,78	4400,78	2267,77	667+5.00	60
7	80,48	20,48	0,01	170	13681,17	3481,17	1,48	689+0.00	60
8	79,36	19,36	1,12	110	8729,71	2129,71	122,81	706+0.00	60
7	79,64	19,64	0,28	76,59	6099,47	1504,07	21,21	717+0.00	60
2	76,05	16,05	3,58	168,4	12808,40	2703,80	603,42	724+6.59	60
9	60,00	0,00	16,05	45	2700,00	0,00	722,47	741+5.00	60
8	76,21	16,21	16,21	50,75	3867,88	822,88	822,88	746+0.00	60
2	74,71	14,71	1,51	193,4	14451,72	2845,32	291,18	751+0.75	60
9	60,00	0,00	14,71	175,8	10548,60	0,00	2586,00	770+4.19	60
8	80,35	20,35	20,35	295	23704,63	6004,63	6004,63	788+000	60
7	80,48	20,48	0,12	145	11669,23	2969,23	17,80	817+5.00	60
8	79,92	19,92	0,56	250	19979,07	4979,07	140,29	832+0.00	60
7	80,19	20,19	0,28	195	15637,44	3937,44	53,76	857+0.00	60
8	81,72	21,72	1,53	240	19613,04	5213,04	366,96	876+5.00	60
7	79,76	19,76	1,96	955	76174,45	18874,45	1869,11	900+5.00	60
8	80,71	20,71	0,95	325	26230,61	6730,61	307,37	996+0.00	60
7	81,24	21,24	0,53	275	22340,63	5840,63	145,50	1028+5.00	60
5	78,34	18,34	2,90	200	15667,80	3667,80	579,94	1056+0.00	60
5	78,34	18,34	0,00	115,6	9055,20	2119,80	0,00	1076+0.00	60
9	60,00	0,00	18,34	144,4	8664,60	0,00	2648,33	1087+5.59	60
8	78,37	18,37	18,37	107,8	8448,43	1980,43	1980,43	1102+0.00	60
5	75,33	15,33	3,04	102,2	7698,47	1566,47	311,08	1112+7.8	60
5	75,33	15,33	0,00	91,67	6905,27	1405,07	0,00	1123+0.00	60



9	60,00	0,00	15,33	108,3	6499,80	0,00	1660,43	1132+1.67	60
8	79,66	19,66	19,66	155	12346,68	3046,68	3046,68	1143+0.00	60
7	78,27	18,27	1,39	190	14870,82	3470,82	263,82	1158+5.00	60
8	79,66	19,66	1,39	190	15134,64	3734,64	263,82	1177+5.00	60
7	79,15	19,15	0,51	190	15037,61	3637,61	97,03	1196+5.00	60
8	80,35	20,35	1,21	145	11651,43	2951,43	175,36	1215+5.00	60
7	77,05	17,05	3,30	140	10787,28	2387,28	462,38	1230+0.00	60
8	81,00	21,00	3,95	105	8505,29	2205,29	414,83	1244+0.0	60
8	78,88	18,88	2,13	64	5048,01	1208,01	136,17	1254+5.00	60
5	77,40	17,40	1,48	31	2399,40	539,40	45,73	1260+9.00	60
5	77,40	17,40	0,00	165,3	12790,37	2875,37	0,00	1264+0.00	60
9	60,00	0,00	17,40	329,8	19785,00	0,00	5737,69	1280+5.25	60
8	79,92	19,92	19,92	52,74	4214,79	1050,39	1050,39	1313+5.00	60
2	67,90	7,90	12,02	57,42	3898,66	453,46	690,13	1318+7.74	60
9	60,00	0,00	7,90	169,8	10190,40	0,00	1341,28	1324+5.16	60
7	80,19	20,19	20,19	185	14835,52	3735,52	3735,52	1341+5.00	60
8	76,21	16,21	3,98	273,7	20859,10	4437,70	1088,65	1360+0.00	60
3	73,36	13,36	2,85	97,62	7161,60	1304,40	278,45	1387+3.69	60
9	60,00	0,00	13,36	98,69	5921,40	0,00	1318,69	1397+1.31	60
7	77,05	17,05	17,05	310	23886,12	5286,12	5286,12	1407+0.00	60
8	80,15	20,15	3,10	163,2	13076,09	3287,09	505,06	1438+0.00	60
2	74,11	14,11	6,03	114,3	8472,06	1613,46	689,62	1454+3.15	60
9	60,00	0,00	14,11	142,5	8552,40	0,00	2011,92	1465+7.46	60
7	78,85	18,85	18,85	205	16163,49	3863,49	3863,49	1480+0.00	60
8	80,06	20,06	1,21	263,7	21112,17	5289,57	319,61	1500+5.00	60
2	63,96	3,96	16,09	68,79	4400,07	272,67	1107,14	1526+8.71	60
9	60,00	0,00	3,96	172,5	10350,00	0,00	683,75	1533+7.50	60
7	80,34	20,34	20,34	720	57845,90	14645,90	14645,90	1551+0.00	60
8	77,00	17,00	3,34	230	17710,23	3910,23	768,32	1623+0.00	60
3	69,38	9,38	7,62	80	5550,57	750,57	609,51	1646+0.00	60
9	60,00	0,00	9,38	120	7200,00	0,00	1125,86	1654+0.00	60
7	78,50	18,50	18,50	380	29830,47	7030,47	7030,47	1666+0.00	60
				17040	1270578	248177,6	147788,4	1704+0.00	60
$E_{VopVd} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{248177,6}{17040} \right)$		14,56			
$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)}) L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{147788,4}{17040} \right)$		8,67			
$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85}) L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{1270578}{17040} \right)$		74,56			

$E_G = \left(\frac{E_{Vop} - V_d + E_{\Delta V}}{2} \right)$	$= \left(\frac{14,56 + 8,67}{2} \right)$	11,62	El tramo Clasifica de consistencia regular	Puntuación 4,92
---	---	-------	---	----------------------------

Anexo 3.10 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



Anexo 3.11 Resumen del modelo desarrollado para cálculo de la consistencia Carretera (Hatillo - Cifuentes) Dirección de tránsito <<<

Condición	VOP (A- B/R)	VOP-Vd	ΔVOP	L de tramo	V(operación)* Lon g.	Estado de la carretera (Vp - VOP)	Estado de la carretera (ΔVOP)	Estación	V(d)
9	60,00	0,00	0,00	380	22800,00	0,00	0,00	0+0.00	60
7	78,50	18,50	18,50	120	9420,15	2220,15	2220,15	38+0.00	60
2	70,85	10,85	7,65	80	5668,08	868,08	612,02	50+0.00	60
9	60,00	0,00	10,85	230	13800,00	0,00	2495,72	58+0.00	60
8	77,00	17,00	17,00	720	55440,72	12240,72	12240,72	81+0.00	60
7	80,34	20,34	3,34	172,5	13858,91	3508,91	576,24	153+0.00	60
3	61,19	1,19	19,16	68,79	4208,96	81,56	1317,74	170+2.50	60
9	60,00	0,00	1,19	263,7	15822,60	0,00	312,65	177+1.29	60
8	80,06	20,06	20,06	205	16411,95	4111,95	4111,95	203+5.00	60
7	78,85	18,85	1,21	142,5	11238,75	2686,35	172,76	224+0.00	60
3	73,27	13,27	5,58	114,3	8375,10	1516,50	637,82	238+2.54	60
9	60,00	0,00	13,27	163,2	9789,00	0,00	2164,43	249+6.85	60
8	80,15	20,15	20,15	310	24845,78	6245,78	6245,78	266+0.00	60
7	77,05	17,05	3,10	98,69	7604,26	1682,86	305,51	297+0.00	60
2	74,20	14,20	2,86	97,62	7242,92	1385,72	278,90	306+8.69	60



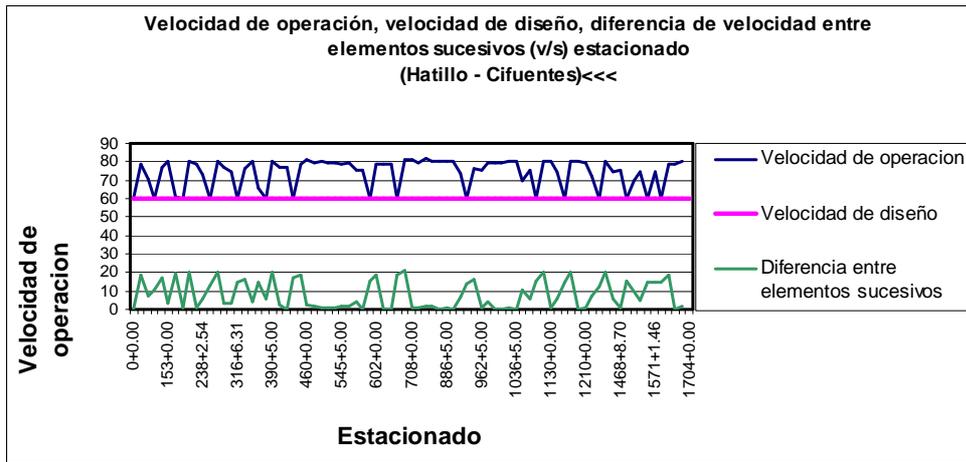
9	60,00	0,00	14,20	273,7	16421,40	0,00	3885,03	316+6.31	60
8	76,21	16,21	16,21	185	14099,65	2999,65	2999,65	344+0.00	60
7	80,19	20,19	3,98	169,8	13619,81	3429,41	675,57	362+5.00	60
3	65,87	5,87	14,33	57,42	3782,08	336,88	822,54	379+4.84	60
9	60,00	0,00	5,87	52,74	3164,40	0,00	309,42	385+2.26	60
8	79,92	19,92	19,92	329,8	26352,40	6567,40	6567,40	390+5.00	60
5	77,40	17,40	2,52	165,3	12790,37	2875,37	415,80	423+4.75	60
5	77,40	17,40	0,00	31	2399,40	539,40	0,00	440+0.00	60
9	60,00	0,00	17,40	64	3840,00	0,00	1113,61	443+1.00	60
8	78,88	18,88	18,88	105	8281,89	1981,89	1981,89	449+5.00	60
8	81,00	21,00	2,13	140	11340,38	2940,38	297,87	460+0.00	60
7	20,53	-39,47	60,47	145	2977,14	-5722,86	8768,26	474+0.00	60
8	80,35	20,35	59,82	190	15267,39	3867,39	11366,31	488+5.00	60
7	79,15	19,15	1,21	190	15037,61	3637,61	229,78	507+5.00	60
8	79,66	19,66	0,51	190	15134,64	3734,64	97,03	526+5.00	60
7	78,27	18,27	1,39	155	12131,46	2831,46	215,22	545+5.00	60
8	79,66	19,66	1,39	108,3	8629,13	2129,33	150,42	561+0.00	60
5	75,33	15,33	4,33	91,67	6905,27	1405,07	396,79	571+8.33	60
5	75,33	15,33	0,00	102,2	7698,47	1566,47	0,00	581+0.00	60
9	60,00	0,00	15,33	107,8	6468,00	0,00	1652,30	591+2.20	60
8	78,37	18,37	18,37	144,4	11317,60	2653,00	2653,00	602+0.00	60
5	78,34	18,34	0,03	115,6	9055,20	2119,80	3,74	616+4.41	60
5	78,34	18,34	0,00	200	15667,80	3667,80	0,00	628+0.00	60
9	60,00	0,00	18,34	275	16500,00	0,00	5043,22	648+0.00	60
7	81,24	21,24	21,24	325	26402,57	6902,57	6902,57	675+5.00	60
8	80,71	20,71	0,53	955	77077,64	19777,64	505,29	708+0.00	60
7	79,76	19,76	0,95	240	19143,32	4743,32	226,98	803+5.00	60
8	81,72	21,72	1,96	195	15935,60	4235,60	381,65	827+5.00	60
7	80,19	20,19	1,53	250	20048,00	5048,00	382,25	847+0.00	60
8	79,92	19,92	0,28	145	11587,86	2887,86	39,98	872+0.00	60
7	80,48	20,48	0,56	295	23740,85	6040,85	165,54	886+5.00	60
8	80,35	20,35	0,12	175,8	14127,16	3578,56	21,58	916+0.00	60
3	73,97	13,97	6,38	193,4	14309,49	2703,09	1234,32	933+5.81	60
9	60,00	0,00	13,97	50,75	3045,00	0,00	709,17	952+9.25	60
8	76,21	16,21	16,21	45	3429,65	729,65	729,65	958+0.00	60
3	75,58	15,58	0,64	168,4	12727,66	2623,06	107,60	962+5.00	60
7	79,64	19,64	4,06	76,59	6099,47	1504,07	311,14	979+3.41	60
7	79,64	19,64	0,00	-8872	-706547,29	-174227,29	0,00	987+0.00	60
8	79,36	19,36	0,28	9152	726311,87	177191,87	2534,03	998+0.00	60
7	80,48	20,48	1,12	215	17302,65	4402,65	240,04	1015+0.00	60



8	80,47	20,47	0,01	195	15691,41	3991,41	1,70	1036+5.00	60
8	69,92	9,92	10,55	60	4195,26	595,26	632,87	1056+0.00	60
2	75,65	15,65	5,73	189,9	14368,31	2972,51	1088,21	1062+0.00	60
9	60,00	0,00	15,65	200,1	12004,20	0,00	3131,20	1080+9.93	60
7	79,99	19,99	19,99	290	23197,56	5797,56	5797,56	1101+0.00	60
8	80,54	20,54	0,55	89,37	7197,95	1835,75	49,10	1130+0.00	60
3	74,99	14,99	5,55	191,8	14382,54	2875,14	1064,42	1138+9.37	60
9	60,00	0,00	14,99	288,8	17330,40	0,00	4330,03	1158+1.16	60
7	80,19	20,19	20,19	90	7217,28	1817,28	1817,28	1187+0.00	60
8	80,06	20,06	0,13	140	11208,16	2808,16	18,72	1196+0.00	60
7	79,41	19,41	0,65	644,3	51165,11	12504,71	419,64	1210+0.00	60
3	72,08	12,08	7,32	107,5	7746,74	1298,54	787,13	1274+4.34	60
9	60,00	0,00	12,08	460,2	27611,40	0,00	5560,40	1285+1.81	60
8	80,15	20,15	20,15	1348	108039,05	27159,05	27159,05	1331+2.00	60
7	74,36	14,36	5,79	28,7	2134,15	412,15	166,09	1466+0.00	60
2	75,38	15,38	1,02	112,5	8478,54	1730,34	115,21	1468+8.70	60
9	60,00	0,00	15,38	270,8	16249,80	0,00	4166,69	1480+1.17	60
8	69,92	9,92	9,92	104,2	7283,67	1033,47	1033,47	1507+2.00	60
2	74,58	14,58	4,66	95,96	7156,49	1398,89	446,87	1517+6.17	60
9	60,00	0,00	14,58	439,3	26359,80	0,00	6404,48	1527+2.13	60
2	74,48	14,48	14,48	85,71	6383,77	1241,17	1241,17	1571+1.46	60
9	60,00	0,00	14,48	175,8	10549,80	0,00	2546,20	1579+7.17	60
7	78,50	18,50	18,50	455	35718,06	8418,06	8418,06	1597+3.00	60
8	78,43	18,43	0,08	270	21175,03	4975,03	20,30	1642+8.00	60
7	80,37	20,37	1,94	342	27486,45	6966,45	664,74	1669+8.00	60
				17040	1269045	246645,04	155123,9	1704+0.00	60

$E_{Vop-Vd} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)})L(i)}{Lt} \right)$	$= \left(\frac{246645,04}{17040} \right)$	14,47		
$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)})L(i)}{Lt} \right)$	$= \left(\frac{155123,9}{17040} \right)$	9,10		
$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85})L(i)}{Lt} \right)$	$= \left(\frac{1269045}{17040} \right)$	74,47		
$E_G = \left(\frac{E_{Vop - Vd} + E_{\Delta V}}{2} \right)$	$= \left(\frac{14,47 + 9,10}{2} \right)$	11,79	El tramo Clasifica de consistencia regular	Puntuación 4,84

Anexo 3.12 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



Anexo 3.13 Resumen del modelo desarrollado para cálculo de la consistencia Carretera (Santa Clara - UCLV) Dirección de Tránsito >>>

Condición	VOP (A- B/R)	VOP-Vp	Δ VOP	L de tramo	V(operación)*Long.	Estado de la carretera (Vp - VOP)	Estado de la carretera (Δ VOP)	Estación	V(d)
9	60,00	0,00	0,00	91,31	5478,60	0,00	0,00	0+0.00	60
2	73,83	13,83	13,83	31,3	2310,83	432,83	432,83	9+1.31	60
9	60,00	0,00	13,83	24,39	1463,40	0,00	337,28	12+2.61	60
7	78,01	18,01	18,01	46,08	3594,70	829,90	829,90	14+7.00	60
3	69,69	9,69	8,32	58,6	4083,99	567,99	487,39	19+3.08	60
9	60,00	0,00	9,69	13,32	799,20	0,00	129,11	25+1.68	60
8	68,69	8,69	8,69	166	11402,49	1442,49	1442,49	26+5.00	60
7	70,77	10,77	2,08	17,33	1226,48	186,68	36,09	43+1.00	60
6	77,91	17,91	7,14	123,7	9635,52	2215,32	883,15	44+8.33	60
6	77,91	17,91	0,00	3,03	236,08	54,28	0,00	57+2.00	60
9	60,00	0,00	17,91	155	9298,20	0,00	2776,01	57+5.03	60
7	77,82	17,82	17,82	79,74	6205,62	1421,22	1421,22	73+0.00	60
5	73,80	13,80	4,02	32,25	2380,15	445,15	129,65	80+9.74	60
5	73,80	13,80	0,00	48,35	3568,38	667,38	0,00	84+1.99	60
9	60,00	0,00	13,80	20,16	1209,60	0,00	278,27	89+0.34	60
8	82,16	22,16	22,16	54,2	4452,91	1200,91	1200,91	91+0.50	60
7	77,29	17,29	4,86	19,41	1500,27	335,67	94,40	96+4.70	60
3	71,62	11,62	5,67	10,52	753,46	122,26	59,67	98+4.11	60
9	60,00	0,00	11,62	23,77	1426,20	0,00	276,24	99+4.63	60
8	80,23	20,23	20,23	73,3	5881,09	1483,09	1483,09	101+8.40	60



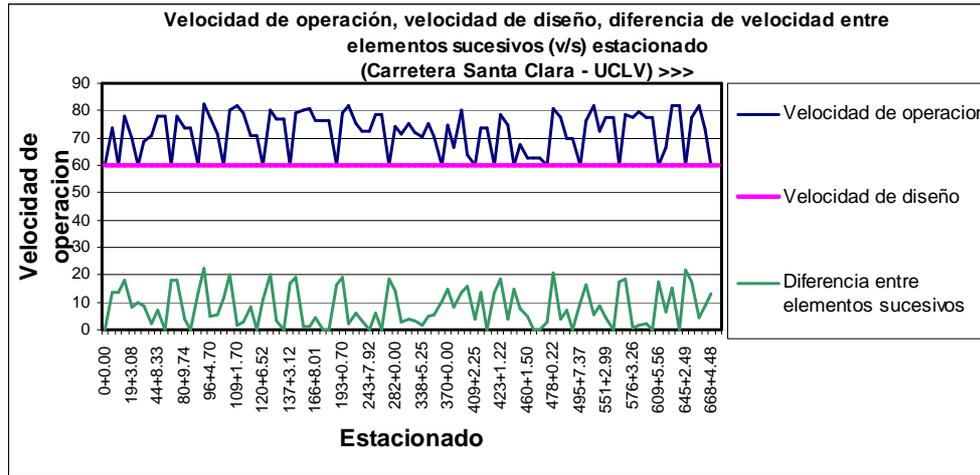
8	81,66	21,66	1,42	40	3266,25	866,25	56,93	109+1.70	60
7	78,97	18,97	2,69	15,94	1258,80	302,40	42,81	113+1.70	60
5	70,82	10,82	8,15	37,45	2652,37	405,37	305,09	114+7.64	60
5	70,82	10,82	0,00	21,43	1517,76	231,96	0,00	118+5.09	60
9	60,00	0,00	10,82	18,88	1132,80	0,00	204,36	120+6.52	60
8	80,15	20,15	20,15	42,58	3412,69	857,89	857,89	122+5.40	60
6	77,06	17,06	3,08	12,92	995,66	220,46	39,85	126+7.98	60
6	77,06	17,06	0,00	92,22	7106,79	1573,59	0,00	128+0.90	60
9	60,00	0,00	17,06	9,78	586,80	0,00	166,88	137+3.12	60
8	79,02	19,02	19,02	112	8850,67	2130,67	2130,67	138+2.90	60
7	79,99	19,99	0,97	91,3	7303,23	1825,23	88,35	149+4.90	60
8	80,86	20,86	0,87	81,81	6615,39	1706,79	71,28	158+6.20	60
6	76,63	16,63	4,23	33,19	2543,38	551,98	140,46	166+8.01	60
6	76,63	16,63	0,00	156	11953,66	2594,26	0,00	170+1.20	60
6	76,63	16,63	0,00	26,85	2057,54	446,54	0,00	185+7.19	60
9	60,00	0,00	16,63	46,66	2799,60	0,00	776,00	188+4.04	60
7	79,31	19,31	19,31	154	12213,18	2973,18	2973,18	193+0.70	60
8	81,55	21,55	2,25	216	17615,32	4655,32	485,15	208+4.70	60
7	75,48	15,48	6,07	129,5	9776,43	2005,23	786,24	230+0.70	60
5	72,29	12,29	3,19	7,7	556,65	94,65	24,56	243+0.22	60
5	72,29	12,29	0,00	79,75	5765,29	980,29	0,00	243+7.92	60
6	78,37	18,37	6,08	4,24	332,30	77,90	25,78	251+7.67	60
6	78,37	18,37	0,00	84,07	6588,69	1544,49	0,00	252+1.91	60
9	60,00	0,00	18,37	214	12841,20	0,00	3931,87	260+5.98	60
7	74,10	14,10	14,10	113,3	8391,45	1596,45	1596,45	282+0.00	60
8	71,44	11,44	2,66	118	8429,70	1349,70	313,71	293+3.25	60
8	75,23	15,23	3,79	206	15497,59	3137,59	781,33	305+1.25	60
7	72,12	12,12	3,11	128	9231,07	1551,07	398,50	325+7.25	60
8	70,47	10,47	1,65	173	12188,44	1810,24	285,76	338+5.25	60
7	75,48	15,48	5,02	72,27	5455,08	1118,88	362,53	355+8.22	60
2	70,23	10,23	5,25	65,48	4598,64	669,84	343,92	363+0.49	60
9	60,00	0,00	10,23	4,03	241,80	0,00	41,23	369+5.97	60
7	74,61	14,61	14,61	127,2	9491,86	1858,66	1858,66	370+0.00	60
8	66,38	6,38	8,23	143	9492,48	912,48	1176,72	382+7.22	60
7	79,92	19,92	13,54	100	7995,09	1992,69	1354,34	397+0.22	60
3	63,89	3,89	16,03	21,99	1404,95	85,55	352,47	407+0.26	60
9	60,00	0,00	3,89	27,75	1665,00	0,00	107,96	409+2.25	60
7	73,52	13,52	13,52	10,67	784,45	144,25	144,25	412+0.00	60
3	73,46	13,46	0,06	42,97	3156,47	578,27	2,66	413+0.67	60
9	60,00	0,00	13,46	57,58	3454,80	0,00	774,89	417+3.64	60



8	78,37	18,37	18,37	79,64	6241,49	1463,09	1463,09	423+1.22	60
2	74,63	14,63	3,74	111,9	8348,64	1636,44	418,76	431+0.86	60
9	60,00	0,00	14,63	99,49	5969,40	0,00	1455,35	442+2.73	60
7	67,63	7,63	7,63	79,28	5361,86	605,06	605,06	452+2.22	60
5	62,54	2,54	5,09	22,72	1420,96	57,76	115,64	460+1.50	60
5	62,54	2,54	0,00	78,49	4908,93	199,53	0,00	462+4.22	60
5	62,54	2,54	0,00	23,48	1468,49	59,69	0,00	470+2.71	60
9	60,00	0,00	2,54	54,03	3241,80	0,00	137,35	472+6.19	60
8	80,92	20,92	20,92	57,1	4620,55	1194,55	1194,55	478+0.22	60
7	77,29	17,29	3,63	40,95	3165,17	708,17	148,52	483+7.32	60
6	69,98	9,98	7,32	50,55	3537,40	504,40	369,79	487+8.27	60
6	69,98	9,98	0,00	28,55	1997,88	284,88	0,00	492+8.82	60
9	60,00	0,00	9,98	135,5	8127,00	0,00	1351,56	495+7.37	60
8	76,39	16,39	34,92	169	4238,69	-5901,31	5901,31	509+2.82	60
7	81,59	21,59	56,51	192,3	15690,10	4151,50	10866,78	526+1.82	60
2	72,68	12,68	8,91	58,86	4277,87	746,27	524,38	545+4.13	60
6	77,27	17,27	4,59	68,77	5313,58	1187,38	315,47	551+2.99	60
6	77,27	17,27	0,00	45,89	3545,74	792,34	0,00	558+1.76	60
9	60,00	0,00	17,27	65,11	3906,60	0,00	1124,19	562+7.65	60
8	78,37	18,37	18,37	70,5	5525,18	1295,18	1295,18	569+2.76	60
7	77,72	17,72	0,65	102	7927,94	1807,94	65,94	576+3.26	60
8	79,54	19,54	1,82	99,35	7902,55	1941,55	180,59	586+5.26	60
5	77,27	17,27	2,27	4,26	329,16	73,56	9,69	596+4.61	60
5	77,27	17,27	0,00	126,7	9789,11	2187,71	0,00	596+8.87	60
9	60,00	0,00	17,27	76,7	4602,00	0,00	1324,47	609+5.56	60
8	66,38	6,38	6,38	158,6	10528,03	1012,03	1012,03	617+2.26	60
6	81,91	21,91	15,52	7,4	606,10	162,10	114,88	633+0.86	60
6	81,91	21,91	0,00	114,2	9356,09	2502,29	0,00	633+8.26	60
9	60,00	0,00	21,91	9,77	586,20	0,00	214,02	645+2.49	60
7	77,29	17,29	17,29	131	10125,45	2265,45	2265,45	646+2.26	60
8	81,87	21,87	4,57	66,39	5435,25	1451,85	303,73	659+3.26	60
2	72,99	12,99	8,88	24,83	1812,23	322,43	220,57	665+9.65	60
9	60,00	0,00	12,99	35,52	2131,20	0,00	461,24	668+4.48	60
				6720	488838	85638	55761	672+0.00	60
$E_{V_{op}V_d} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)})L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{85638}{6720} \right)$		12,74			
$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)})L(i)}{Lt} \right)$				$= \left(\frac{55761}{6720} \right)$		8,30			

$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85})L(i)}{Lt} \right)$	$= \left(\frac{488838}{6720} \right)$	72,74		
$E_G = \left(\frac{E_{Vop} - V_d + E_{\Delta V}}{2} \right)$	$= \left(\frac{12,74 + 8,30}{2} \right)$	10,52	El tramo Clasifica de consistencia regular	Puntuación 5,41

Anexo 3.14 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



Anexo 3.15 Resumen del modelo desarrollado para cálculo de la consistencia Carretera (Santa Clara - UCLV) Dirección de transito <<<

Condición	VOP (A- B/R)	VOP-Vd	ΔVOP	L de tramo	V(operation)*Long.	Estado de la carretera (Vp - VOP)	Estado de la carretera (ΔVOP)	Estación	V(d)
9	60,00	0,00	0,00	35,52	2131,20	0,00	0,00	0+0.00	60
3	71,92	11,92	11,92	24,83	1785,83	296,03	296,03	3+5.52	60
9	60,00	0,00	11,92	66,39	3983,40	0,00	791,53	6+0.35	60
8	81,87	21,87	21,87	131	10724,77	2864,77	2864,77	12+6.74	60
7	77,29	17,29	4,57	9,77	755,16	168,96	44,70	25+7.74	60
6	81,91	21,91	4,61	114,23	9356,09	2502,29	526,85	26+7.51	60
6	81,91	21,91	0,00	7,4	606,10	162,10	0,00	38+1.74	60
9	60,00	0,00	21,91	158,26	9495,60	0,00	3466,80	38+9.14	60
8	66,38	6,38	6,38	76,7	5091,42	489,42	489,42	54+7.74	60
5	77,27	17,27	10,89	126,69	9789,11	2187,71	1379,30	62+4.44	60
5	77,27	17,27	0,00	4,26	329,16	73,56	0,00	75+1.13	60
9	60,00	0,00	17,27	99,35	5961,00	0,00	1715,60	75+5.39	60



8	79,54	19,54	19,54	102	8113,34	1993,34	1993,34	85+4.74	60
7	77,72	17,72	1,82	70,5	5479,60	1249,60	128,15	95+6.74	60
8	78,37	18,37	0,65	65,11	5102,76	1196,16	42,09	102+7.24	60
6	77,27	17,27	1,11	45,89	3545,74	792,34	50,72	109+2.35	60
6	77,27	17,27	0,00	68,77	5313,58	1187,38	0,00	113+8.24	60
3	71,56	11,56	5,71	58,86	4211,87	680,27	336,01	120+7.01	60
9	60,00	0,00	11,56	192,31	11538,60	0,00	2222,60	126+5.87	60
7	81,59	21,59	21,59	169	13788,30	3648,30	3648,30	145+8.18	60
8	78,18	18,18	3,41	135,45	10589,62	2462,62	461,42	162+7.18	60
6	69,98	9,98	8,20	28,55	1997,88	284,88	234,19	176+2.63	60
6	69,98	9,98	0,00	50,55	3537,40	504,40	0,00	179+1.18	60
9	60,00	0,00	9,98	40,95	2457,00	0,00	408,61	184+1.73	60
7	77,29	17,29	17,29	57,1	4413,46	987,46	987,46	188+2.68	60
8	80,92	20,92	3,63	53,4	4321,14	1117,14	193,67	193+9.78	60
5	62,54	2,54	18,38	24,11	1507,89	61,29	443,10	199+3.18	60
5	62,54	2,54	0,00	78,49	4908,93	199,53	0,00	201+7.29	60
5	62,54	2,54	0,00	22,72	1420,96	57,76	0,00	209+5.78	60
9	60,00	0,00	2,54	79,28	4756,80	0,00	201,53	211+8.5	60
7	67,63	7,63	7,63	99,49	6728,71	759,31	759,31	219+7.78	60
3	73,88	13,88	6,25	111,87	8264,66	1552,46	698,67	229+7.27	60
9	60,00	0,00	13,88	79,64	4778,40	0,00	1105,19	240+9.14	60
8	78,37	18,37	18,37	57,58	4512,62	1057,82	1057,82	248+8.78	60
2	74,28	14,28	4,10	42,97	3191,61	613,41	176,00	254+6.36	60
9	60,00	0,00	14,28	10,67	640,20	0,00	152,32	258+9.33	60
7	73,52	13,52	13,52	27,75	2040,17	375,17	375,17	260+0.00	60
2	66,24	6,24	7,28	21,99	1456,54	137,14	160,15	262+7.75	60
9	60,00	0,00	6,24	100,04	6002,40	0,00	623,90	264+9.74	60
7	79,92	19,92	19,92	143	11428,41	2848,41	2848,41	274+9.78	60
8	66,38	6,38	13,54	127,22	8444,99	811,79	1722,30	289+2.78	60
7	74,61	14,61	8,23	4,03	300,68	58,88	33,16	302+0.00	60
3	68,64	8,64	5,97	65,48	4494,73	565,93	390,72	302+4.03	60
9	60,00	0,00	8,64	72,27	4336,20	0,00	624,61	308+9.51	60
7	75,48	15,48	15,48	172,97	13056,12	2677,92	2677,92	316+1.78	60
8	70,47	10,47	5,02	128	9019,60	1339,60	642,10	333+4.75	60
7	72,12	12,12	1,65	206	14856,25	2496,25	340,33	346+2.75	60
8	75,23	15,23	3,11	118	8877,26	1797,26	367,37	366+8.75	60
8	71,44	11,44	3,79	113,25	8090,37	1295,37	429,54	378+6.75	60
7	74,10	14,10	2,66	214,02	15858,18	3016,98	568,99	390+0.00	60
6	78,37	18,37	4,27	84,07	6588,69	1544,49	359,38	411+4.02	60
6	78,37	18,37	0,00	4,24	332,30	77,90	0,00	419.8.09	60



5	72,29	12,29	6,08	79,75	5765,29	980,29	484,84	420+2.33	60
5	72,29	12,29	0,00	7,7	556,65	94,65	0,00	428+2.08	60
9	60,00	0,00	12,29	129,52	7771,20	0,00	1592,06	428+9.78	60
7	75,48	15,48	15,48	216	16304,11	3344,11	3344,11	441+9.30	60
8	78,18	18,18	2,70	154	12039,87	2799,87	415,65	463+5.30	60
7	79,31	19,31	1,13	66,66	5286,56	1286,96	75,02	478+9.30	60
6	76,63	16,63	2,68	6,85	524,92	113,92	18,33	485+5.96	60
6	76,63	16,63	0,00	155,99	11953,66	2594,26	0,00	486+2.81	60
6	76,63	16,63	0,00	33,19	2543,38	551,98	0,00	501+8.80	60
9	60,00	0,00	16,63	81,81	4908,60	0,00	1360,58	505+1.99	60
8	80,86	20,86	20,86	91,3	7382,78	1904,78	1904,78	513+3.80	60
7	79,99	19,99	0,87	112	8959,06	2239,06	97,58	522+5.10	60
8	79,02	19,02	0,97	9,78	772,85	186,05	9,46	533+7.10	60
6	77,06	17,06	1,96	92,22	7106,79	1573,59	180,79	534+6.88	60
6	77,06	17,06	0,00	12,92	995,66	220,46	0,00	543+9.10	60
9	60,00	0,00	17,06	42,58	2554,80	0,00	726,56	545+2.02	60
8	80,15	20,15	20,15	18,88	1513,19	380,39	380,39	549+4.60	60
5	70,82	10,82	9,32	21,43	1517,76	231,96	199,80	551+3.48	60
5	70,82	10,82	0,00	37,45	2652,37	405,37	0,00	553+4.91	60
9	60,00	0,00	10,82	15,94	956,40	0,00	172,54	557+2.36	60
7	78,97	18,97	18,97	40	3158,84	758,84	758,84	558+8.30	60
8	81,66	21,66	2,69	73,3	5985,41	1587,41	196,84	562+8.30	60
8	80,23	20,23	1,42	23,77	1907,14	480,94	33,83	570+1.60	60
2	72,73	12,73	7,50	10,52	765,15	133,95	78,91	572+5.37	60
	60,00	0,00	12,73	19,41	1164,60	0,00	247,14	573+5.89	60
7	77,29	17,29	17,29	54,2	4189,31	937,31	937,31	575+5.30	60
8	82,16	22,16	4,86	58,6	4814,41	1298,41	285,00	580+9.50	60
5	73,80	13,80	8,35	20,16	1487,87	278,27	168,42	586+8.10	60
5	73,80	13,80	0,00	48,35	3568,38	667,38	0,00	588+8.26	60
9	60,00	0,00	13,80	32,25	1935,00	0,00	445,15	593+6.61	60
7	77,82	17,82	17,82	79,74	6205,62	1421,22	1421,22	596+8.86	60
6	77,91	17,91	0,09	154,97	12074,21	2776,01	13,94	604+8.60	60
6	77,91	17,91	0,00	123,67	9635,52	2215,32	0,00	620+3.57	60
9	60,00	0,00	17,91	17,33	1039,80	0,00	310,44	632+7.24	60
7	70,77	10,77	10,77	166	11748,15	1788,15	1788,15	634+4.57	60
8	68,69	8,69	2,08	13,32	914,95	115,75	27,74	651+0.57	60
2	71,11	11,11	2,42	58,6	4167,15	651,15	141,94	652+3.89	60
9	60,00	0,00	11,11	46,08	2764,80	0,00	512,03	658+2.49	60
7	78,01	18,01	18,01	24,39	1902,66	439,26	439,26	662+8.57	60
3	72,93	12,93	5,08	31,3	2282,58	404,58	159,14	665+2.96	60

9	60,00	0,00	12,93	35,74	2144,40	0,00	461,97	668+4.26	60	
				6720	486235	83055	58429	672+0.00	60	
$E_{V_{op} - V_d} = \left(\frac{\sum (V_{85(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{Lt} \right) = \left(\frac{83055}{6720} \right)$						12,36				
$E_{\Delta V} = \left(\frac{\sum (\Delta V_{85(i)}) L(i)}{Lt} \right) = \left(\frac{58429}{6720} \right)$						8,70				
$V_{85} = \left(\frac{\sum (V_{85}) L(i)}{Lt} \right) = \left(\frac{486235}{6720} \right)$						72,36				
$E_G = \left(\frac{E_{V_{op} - V_d} + E_{\Delta V}}{2} \right) = \left(\frac{12,36 + 8,70}{2} \right)$						10,53	El tramo Clasifica de consistencia regular	Puntuación 5,41		

Anexo 3.16 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.

