



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOVIS INPONETUR VIRILISTOGA. 1948

FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

La consistencia del diseño geométrico en vías
Interés Nacional de dos carriles

Autor: Alfonso Javier Carreras Valdés
Tutor: Ing. Samuel Amador Romero

Santa Clara
2009-2010





DEDICATORIA



*A mis padres
Josefina de la Caridad y Alfonso Claudio*



AGRADECIMIENTOS



- + *A mis padres:* gracias por estar siempre a mi lado, y guiarme por el mejor camino, son lo más importante en mi vida.
- + *A mi hermana:* que nunca ha dejado de ser un guía
- + *A mi familia:* por comprenderme y apoyarme siempre.
- + *A mi novia:* por apoyarme en todo momento y cuando mas lo he necesitado y a pesar que hoy no estas aquí, te llevo en mi corazón.
- + *A mi suegra:* te quiero, gracias por acogerme como a un hijo.
- + *A mi suegro:* por su amistad y su apoyo.
- + *A María Julia:* por ser más que una amiga una madre.
- + *A Luí, Toni, Leonel:* gracias por darme fuerzas, brindarme su cariño y su amistad incondicional.
- + *A todos mis vecinos:* Gracias a todos en especial a Odalis, Sonia Rosa Pachi, Naida, Olguita por su paciencia y preocupación.
- + *A mi tutor, Samuel:* por sus valiosas orientaciones y sugerencias.
- + *A mi claustro de profesores:* en especial a Domingo y a René, ya que sin el apoyo de los cuales no hubiese sido posible la terminación de esta tesis.
- + *A Rogelio, Guillermo, y Juan Manuel:* gracias por ayudarme en todo lo que pudieron.



✚ *Etíel, Artiles, Terri y a todo el personal del Centro de Ingeniería del Transito: gracias por brindarme su ayuda ya su apoyo incondicional.*

✚ *A mis compañeros de aula: por su apoyo incondicional, nunca los olvidaré.*

✚ *A todas las personas e instituciones que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.*

✚ *A todos los que me apoyaron y estuvieron a mi lado*

✚ *GRACIAS*



RESUMEN



RESUMEN

Los elementos que intervienen en la seguridad vial son; el hombre, el vehículo y el entorno (vía-medio). Entre los elementos relativos a la vía, está el trazado, que responde a un determinado diseño geométrico que responde a normas, regulaciones, indicaciones y otros documentos, los que una vez aplicados pueden ser evaluados, para lo que existen diferentes métodos utilizados internacionalmente, el de mayor aplicación es el denominado como modelo de perfil de velocidades, por su fácil aplicación.

Inicialmente se determinan los modelos de predicción del perfil de velocidades para diferentes condiciones de alineación en vías rurales (carreteras) de dos carriles en el contexto de Cuba, y después se establece el procedimiento para evaluar la seguridad vial a partir de la consistencia del trazado.

El modelo determinado, para la evaluación de la consistencia en la seguridad vial en las carreteras de interés nacional de dos carriles de la provincia de Villa Clara, es el modelo cubano confeccionado por la ingeniara Abreu Losada Liusbety durante el curso 2008-2009. El fundamento de esta investigación es lograr un perfeccionamiento del mismo para su aplicación en algunos tramos de carretera declarado como Tramo de Concentración de Accidentes (TCA) de la región central de Cuba, en las que se encuentra (Santa Clara-Universidad, Santa Clara-Hatillo, Hatillo-Cifuentes, Santa Clara-Esperanza, Remedios-Caibarien). Con la aplicación de este modelo se detectaran aquellos lugares en los cuales pueda concurrir la accidentalidad, así como las características geométricas de la vía que contribuyen a esta problemática, para tener en cuenta en sus mejoras o posibles diseños.

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



INDICE



ÍNDICE.

Introducción	1
Capítulo-1: Estado actual del conocimiento.....	8
1.1 Generalidades.....	8
1.2 Evaluación de la consistencia del trazado.....	9
1.3 Modelos de perfil de velocidad de operación.....	14
1.3.1 Modelos de Lamm.....	14
1.3.2 Modelo Islam y Seneviratne.....	15
1.3.3 Modelo McFadden y Elefteriadou.....	16
1.3.4 Modelos de Polus – Mattar –Habib.....	16
1.3.5 Criterio de Steyer.....	18
1.3.6 Modelos de Fitzpatrick (2000)	19
1.4 Programas desarrollados para la simulación de velocidad de operación de vehículos para vías de dos carriles.....	21
1.4.1 SINCAR.....	22
1.4.7 TWOPAS.....	23
1.4.3 TRARR.....	26
1.4.4 Sistema EICAM.....	26
1.5 Modelo cubano.....	28
Conclusiones parciales.....	33
Capítulo-2: Procedimiento para la investigación científica.....	34
2.1 Aspecto a considerar en la investigación científica.....	34
2.2 Procedimiento a seguir en la aplicación de la metodología.....	35
2.2.1 Análisis de las carreteras del territorio.....	35
2.2.2 Recopilación de información de las carreteras.....	6
2.2.3 Completamiento de la información de las carreteras en el terreno.....	49
2.2.3.1 Pendiente longitudinal de los sitios seleccionados--	49



2.2.3.2 Determinación del radio de las curvas horizontal-----	50
2.2.3.3 Velocidad de operación a través de la pistola láser-----	51
2.2.4 Cálculo de la velocidad de operación-----	54
2.2.5 Determinación de los modelos de predicción de velocidad de operación-----	54
2.2.6 Comprobación de los modelos de predicción de velocidad de operación-----	55
2.2.7 Evaluación de la consistencia del trazado-----	56
Conclusiones parciales-----	59
Capítulo-3: Análisis de los Resultados-----	60
3.1 Análisis de las carreteras del territorio-----	60
3.2 Recopilación de información de las carreteras-----	60
3.3 Completamiento de la información de las carreteras en terreno---	60
3.4 Cálculo de la velocidad de operación-----	61
3.5 Determinación de los modelos de predicción de velocidad de operación-----	62
3.5.1 Ejemplo empleado en el procedimiento para la obtención de los modelos-----	65
3.6 Comprobación de los modelos de predicción de velocidad de operación-----	68



3.6.1 Ejemplo empleado en el procedimiento para la comprobación de los modelos de predicción de velocidad para curvas horizontales-----	69
3.6.2 Ejemplo empleado en el procedimiento para la comprobación de los modelos de predicción de velocidad para curvas verticales-----	71
3.7 Evaluación de la consistencia del trazado-----	74
3.7.1 Ejemplo empleado en el procedimiento para la evaluación de la consistencia del trazado-----	74
Conclusiones parciales-----	81
Conclusiones-----	82
Recomendaciones-----	83
Bibliografía-----	84
Anexos-----	85



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.

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 maniobrá 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.

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 y otros, siendo la determinación del perfil de velocidades la que más aceptación ha tenido, basando sus



fundamentos en la comparación de la velocidad de diseño con la velocidad de operación.

Se entiende por **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.

La **Velocidad de operación**, no es más que 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.

En un estudio realizado en carreteras de los Estados Unidos se encontró que, en las curvas que obligan al conductor a decelerar más de 20 km/h, la posibilidad de sufrir accidentes aumenta seis veces en comparación con vías, en la que velocidad se mantienen en un rango de uniformidad aceptable.

Actualmente existe una fuerte tendencia a evaluar la seguridad vial a partir de la consistencia del trazado. En su evaluación son varios los modelos que se emplean internacionalmente; el programa de computación IHSDM 2004 (Modelo de Diseño Interactivo de Seguridad Vial), desarrollado por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA). La Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO) que ha desarrollado modelos para las condiciones de las vías de Estados Unidos, siendo los índices de alineamiento de perfil de velocidades los más empleados a nivel mundial (Lamm, R. y Choueiri, E., 1987), el cual responde a las características generales del trazado en un tramo de carretera; (Tasa de cambio de curvatura CCR y Grado de curvatura G_c), se calcula la velocidad de operación, la cual permite determinar si una carretera tiene problemas de consistencia de trazado.



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

En Cuba la NC 53 02 1986 de carreteras no trata la consistencia del diseño geométrico 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 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 vías rurales y de esta forma atenúa el problema de la inconsistencia del trazado.

Objeto de estudio

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

Problemática

“En Cuba existen pocas experiencias en la evaluación de la consistencia del trazado, existiendo la necesidad de perfeccionar el modelo ya existente, el cual responda a las características geométricas y combinaciones de alineación de planta y perfil para la evaluación de los tramos declarados con problemas de accidentes en la provincia”.

Objetivo General

Perfeccionar los modelos de predicción del perfil de velocidades para carreteras rurales de dos carriles en Cuba, para la evaluación de la consistencia del diseño geométrico en la seguridad vial, en las vías que presentan problemas de accidentalidad declaradas de interés nacional de la provincia de Villa Clara.



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. Identificar las vías seleccionadas de interés nacional de dos carriles de la provincia de Villa Clara para un estudio de consistencia de las mismas.
3. Determinar las condiciones de alineación en planta y perfil a partir de los parámetros geométricos de las carreteras a través de la obtención de información en el terreno.
4. Establecer los nuevos modelos de predicción de velocidad de las vías rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara.
5. Evaluar la consistencia del diseño en tramos con dificultades en la seguridad vial en la provincia de Villa Clara.

Hipótesis

Si se dispone de una herramienta para evaluar la consistencia en vías rurales de dos carriles, se podrá definir los tramos con posibilidad de ocurrencia de accidentes, de esa forma considerar mejoras en el trazado y aplicarlo a nuevos proyectos de carreteras que puedan acometerse en la provincia.

Tareas de investigación:

1. Análisis del estado actual del conocimiento sobre los métodos utilizados para la evaluación de la consistencia en la seguridad vial.
2. Selección de las vías de interés nacional de dos carriles de la provincia de Villa Clara.



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 cubano mediante el estudio realizado a las vías de interés nacional de la provincia de Villa Clara.
6. Aplicación el modelo cubano perfeccionado para la evaluación de la consistencia del trazado en las vías 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 mejor para la evaluación de la consistencia de la seguridad vial, aplicado a las vías de interés nacional de la provincia de Villa Clara. Además se podrá identificar los tramos de concentración de accidentes y la 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 Metodológico

Se ofrece una herramienta que permita conocer la incidencia de la consistencia del diseño geométrico en la seguridad vial, que se puede aplicar al resto de las vías del territorio.

Valor Científico

Con la investigación realizada se podrá conocer en mayor medida el comportamiento de la consistencia del trazado en las carreteras de la provincia de Villa Clara, así como la sugerencia de ideas y recomendaciones hacia futuros estudios sobre el tema.

Valor Práctico

El trabajo realizado tiene un gran valor práctico, porque permite determinar y valorar la consistencia vial mediante el modelo cubano 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 exponen los antecedentes y el estado actual de 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 destacar 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 la evaluación de los aspectos geométricos de la vía en un sistema de seguridad vial de las vías rurales de dos carriles de interés nacional en la provincia de Villa Clara, de la etapa correspondiente de la metodología, describiéndose los pasos necesarios para el perfeccionamiento y evaluación del modelo cubano en la seguridad vial.

• Capítulo 3

En este capítulo se realiza una aplicación de la metodología formulada en el capítulo anterior, con el objetivo de confirmar la validez, valor práctico y la veracidad de la misma, presentándose los resultados de la evaluación de cada uno de los aspectos, los que son analizados cuidadosamente e integralmente para poder valorar el comportamiento en el tiempo de la seguridad vial y arribar a conclusiones.

• Conclusiones

• Recomendaciones

• Referencias Bibliográficas

• Anexos



CAPÍTULO I



Capítulo-1 Estado actual del conocimiento.

1.1 Generalidades.

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

El diseño geométrico de una vía se genera a partir de una serie de elementos, a partir de los cuales, se desprenden todas la características geométricas visibles del proyecto final. Entre ellos se destaca la velocidad de diseño, la que es seleccionada en función de la topografía, categoría de vía, volumen del tránsito y otros factores.

La velocidad de diseño determina varias de las características geométricas de la vía, para proporcionar un trazado seguro, cuando se transita a dicha velocidad como máximo, según Lamm y Choueiri, (1987) los que mantienen su vigencia. La observación empírica ha evidenciado que existen diferencia entre la velocidad de diseño y la de operación real de los vehículos. A las diferencias notorias de velocidades de circulación que permiten elementos continuos de un sector de vía se le denomina “Inconsistencias” en el diseño geométrico de la vía.

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.

Para la clasificación de la consistencia propuesto por Leisch (1977) el cual desarrolló un procedimiento para evaluar la consistencia del trazado en carreteras de los Estados Unidos propuso comparar el perfil de velocidades con la velocidad de proyecto, y aplicar la “regla de las 10 millas”:

1. 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).



2. La reducción en la velocidad de proyecto entre dos tramos consecutivos no debe superar las 10 millas/hora.
3. 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 (1977) diversos países utilizan esta forma de evaluación de la consistencia por su fácil aplicación la cual se mantiene vigente en la actualidad.

1.2 Evaluación de la consistencia del trazado.

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 desarrollado sus propios modelos de preedición de velocidad de acuerdo a las características de sus carreteras.

Suiza.

Suiza fue uno de los primeros países en utilizar los modelos de perfil de velocidad en el diseño geométrico de carreteras, siendo este uno de los más antiguos de Europa, donde actualmente se aplica en la mayoría las carreteras rurales de este Continente. Para determinar las inconsistencias del diseño geométrico se basan en las diferencias de velocidades entre los tramos sucesivos apoyándose en el perfil de velocidad, estimado la velocidad de operación en las curvas horizontales y la velocidad máxima en la las tangentes.

El perfil de velocidad se basa fundamentalmente en la alineación horizontal, porque los investigadores suizos llegaron a la conclusión de que grados de curvaturas muy pequeños no tiene efecto sobre las velocidades de operación de vehículos de pasajeros. Investigaciones recientes determinaron que el percentil



85 en las curvas con radios inferiores a 400 metros proporciona un aumento de la inconsistencia, por lo que existen tres condiciones que cualquier perfil de velocidad deben cumplir para que la alineación horizontal se considere consistente:

1. La diferencia de velocidad máxima entre una curva y el radio anterior tangente a la curva se encuentra es de 5 km / h.
2. La diferencia de velocidad máxima en las curvas sucesivas es de 10 km / h, y una diferencia de velocidad por encima de 20 km/h debe ser evitado.
3. La distancia de visibilidad disponible no debe ser inferior a la longitud necesaria para cambiar las velocidades en una tasa de 0,8 m/s² entre curvas sucesivas.

Alemania.

En Alemania, las normas de diseño de carreteras rurales especifican una velocidad de diseño y se estima la velocidad de operación de las carreteras a través del percentil 85, si este es mayor que la velocidad de diseño, se utiliza para decidir las tasas de peralte y las distancias de vista incorporando un factor de seguridad adicional en el diseño.

Los alemanes no revisan las características individuales para tratar de asegurar la consistencia del diseño. Utilizan la tasa de cambio de curvatura (CCR) como una medida de la homogeneidad de la carretera. La ecuación de regresión basada en el (CCR) se utiliza para estimar el percentil 85 de la velocidad a lo largo de la alineación. Especifica que para alcanzar la consistencia, la velocidad de operación no debe ser superior a la velocidad de diseño en un punto dado, por más de 20 km / h. Además, la diferencia máxima de la velocidad de operación entre las secciones sucesivas no debe exceder de 10 km / h, lo que implican que cualquier violación de estas condiciones será necesario un ajuste de la alineación horizontal.

Australia.



En Australia el estudio de la consistencia se basa en investigaciones realizadas por McLean. 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. McLean descubrió que cuando las velocidades de diseño son más de 100 km / h, el percentil 85 son generalmente inferiores a la velocidad de diseño.

En respuesta a las conclusiones de McLean, 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.

En los 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.

Cuba.

Como muchos países a nivel mundial, Cuba no presenta un método propio que permita evaluar la consistencia del trazado de sus carreteras con las características propias de ellas y de los conductores que transitan por estas.

Esto hace necesario pensar en la idea de realizar un método para evaluar la consistencia del trazado en las carreteras cubanas, basado en el perfil de velocidad de operación de los vehículos, ya que este es el procedimiento más empleado por otros países por la facilidad de su aplicación en la práctica.

Cuba ha tomado la experiencia acumulada de otros países como los antes mencionados, pero fundamentalmente de los Estados Unidos, por presentar este una amplia experiencia de años de estudios. En Cuba la evaluación de la consistencia para carreteras rurales dos carriles se realiza mediante la obtención del perfil de velocidad a través de la diferencias de velocidades entre la velocidad diseño y la de operación de los vehículos considerando también las diferencias de velocidades entre tramo consecutivos, las cuales se explican a continuación.

- Para diferencias de velocidades menores de 10 Km/h estamos en presencia de un tramo con consistencia buena, donde el trazado analizado no merece análisis alguno.
- Diferencias entre 10 Km/h a 20 Km/h se considera una consistencia regular, ya este tipo de condición en necesario un análisis por parte del proyectista puesto que si está cercano a 10 Km/h se acerca a una consistencia buena, mientras que se acerque a 20 Km/h el trazado se hace inconsistente.
- Para diferencias mayores a 20 Km/h se consideran una consistencia mala por tanto el trazado se hace inseguro, el cual debe ser



reconstruido por presentar problemas de inconsistente. En la mayoría de los casos lo que se realiza es una señalización del tamo o la vía restringiendo la velocidad máxima de circulación.

Dichas consideraciones se resumen en la (tabla 1.1) reflejándose los distintitos topes de clasificación de la consistencia para las condiciones de las vías cubanas.

Tabla 1.1: Calificación de la consistencia según la velocidad.

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

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.



1.3 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. La mayor parte de los investigadores proponen determinar el perfil de velocidades de operación basándose en el radio de las curvas o en el grado de curvatura (GC). Algunos utilizan otros parámetros, como la tasa de cambio de curvatura (CCR) que tiene en cuenta la relación entre la longitud de la curva y su radio de curvatura, o el ángulo total girado (Ω) (Misaghi y Hassan, 2005).

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 York. Lamm 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 (tabla1.2).

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.

Tabla1.2: 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)

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 R^2 entre 0.90 y 0.98, por tanto mayores que los de los modelos anteriormente citados, aunque con un tamaño maestral muy inferior.

$$V_{op \text{ PC}} = 95.41 - 1.48 \text{ GC} - 0.012 \text{ GC}^2$$

Expresión 1.1: Velocidad al principio de la curva.

$$V_{op \text{ PM}} = 96.11 - 1.07 \text{ GC}$$

Expresión 1.2: Velocidad a la mitad de la curva.

$$V_{op \text{ PR}} = 103.03 - 2.41 \text{ GC} - 0.029 \text{ GC}^2$$

Expresión 1.3: Velocidad al final de la curva.

1.3.3. Modelo McFadden y Elefteriadou:

McFadden y Elefteriadou (1997) establecieron un modelo de velocidad basado en el grado de curvatura (GC (Expresiones 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.

$$V_{op} = 103.66 - 1.95 GC$$

Expresión 1.4: Modelo de velocidad basado en el GC.

Tanto los modelos de McFadden – Elefteriadou, Islam y Seneviratne y Lamm 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 1.3) 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 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 ($C_1 > 20 \text{ Km/h}$ equivale aproximadamente a $C < 0.4$).

Tabla 1.3: 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	$Ra \leq 1 \text{ (m/s)}$	$1 < Ra \leq 2 \text{ (m/s)}$	$Ra > 2 \text{ (m/s)}$
Desviación Estándar	$\sigma \leq 5 \text{ (Km/h)}$	$5 < \sigma \leq 10 \text{ (Km/h)}$	$\sigma > 10 \text{ (Km/h)}$

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, el cual se utiliza para identificar y corregir elementos específicos y el de Polus y Mattar-habib 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 aproximación como la deceleración poseen igual nivel de ponderación. Con esto, plantearon los criterios descritos en la siguiente (tabla 1.4).



Tabla 1.4: Criterios de consistencia en curvas simples para velocidades de aceleración y deceleración.

$K_{EV} = \frac{V_{85,CURVA}}{V_{85,APP}}$	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 crítico del conductor	
$0.9 > K_{EV} \geq 0.75$	Comportamiento		
$K_{EV} < 0.75$	Comportamiento crítico 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.

$$F = \frac{W \cdot V^2}{g \cdot R}$$

Expresión 1.5: Fuerza centrífuga.

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, Fitzpatrick, Polus) 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 1.5).

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 Lefevé y Fambro en el año 1953 y 1987 respectivamente para la obtención de sus modelos.

Lefevé en 1953 estudió curvas en cima en vías rurales de dos carriles en la ciudad Nueva York, con distancias de visión entre 45,7 m y 152,5 m. Se encontró que los conductores no reducen su velocidad en curvas con distancias visuales cortas, sin embargo, que la reducción de la velocidad no era tanto como él creía que era necesario para una operación segura. Para el rango de distancias de vista estudiado, Lefevé no encontró relación entre las velocidades de operación en la cresta de las curvas verticales y la distancia de visibilidad.

Fambro estudió en 1987 la relación entre la velocidad y velocidad en la cresta en las curvas verticales, el cual concluyó que las velocidades de operación son muy superiores a las velocidades de diseño en curvas verticales.



Además estudio 42 curvas en tres Estados diferentes de los Estados Unidos y descubrió que la velocidad de diseño de las curvas verticales es un previsor moderadamente bueno del percentil 85 en estos tipos de carreteras. La velocidad de diseño se dedujo utilizando el tipo de curvatura vertical y la relación encontrada para vía rural de dos carriles presenta la siguiente forma.

$$V \text{ (operación)} = 72.74 + 0.27 V_d.$$

Expresión 1.6: Modelo de velocidad en curvas verticales en cima.

De acuerdo a esto, mientras mayor sea la Distancia de Visibilidad Disponible (DVdisp) con respecto a la Distancia de Visibilidad Requerida de diseño (DVPreq), mayor seguridad tendrá el conductor para realizar una eventual detención. Si ambas distancias son iguales, el conductor tendrá la visión justa sobre el trazado para detenerse en caso de percibir un objeto en la vía y por consiguiente un margen de seguridad a favor, pero estrecho.

Si la DVdisp es menor a la DVPreq, el conductor no contara con la visibilidad necesaria para realizar una detención adecuada la que significa que, de encontrarse un objetivo en su recorrido, no podrá detenerse o se vera en la necesidad de reducir su velocidad hasta ajustar su percepción de igualdad ente ambas distancias de visibilidad, lo que puede llevar en ciertos casos a aumentar la inconsistencia en los distintos trazados.

Todas las ecuaciones propuestas por Fitzpatrick utilizan como única variable independiente el radio de curvatura como se muestra en la (Tabla 1.5). 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.

Tabla 1.5: 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)		

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.

1.4.1 SINCAR.

Los modelos computarizados SINCAR son utilizados para la simulación de los efectos de la circulación de vehículos en vías de dos carriles ya que este es un programa analítico de simulación microscópica, desarrollado por la Universidad del Cauca, Bolivia, para el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), que refleja de manera realista la geometría, los controles de tráfico, el comportamiento del conductor y las características de los vehículos, pudiendo usarse para estudiar el impacto de dichas variables bajo condiciones controladas. Este modelo microscópico puede ser muy exacto y realista, ya que permiten observar para cada instante de tiempo los movimientos de vehículos y las decisiones de los conductores por individual, por lo que el modelo es computarizado para que sea efectivo y a la vez práctico.

Con el modelo SIMCAR, se puede analizar todo el comportamiento de los vehículos que transitan por una vía de una calzada de dos carriles. El comportamiento involucra tanto a los conductores, vehículos y forma de la vía (estado funcional y geométrico), lo cual indica que es posible establecer condiciones ideales, de saturación a las que se piensen proyectar, para analizar el comportamiento del tránsito. A continuación se muestran los resultados que se pueden obtener con el programa computacional de SIMCAR para el análisis de los efectos de la circulación de vehículos en vías de dos carriles

Resultados que se obtienen con SIMCAR.

- . Análisis y verificación de los datos de entrada.
- . Resumen de los tiempos especificados, volúmenes, velocidades y características de los vehículos.
- . Velocidades deseadas representativas, y velocidades y tiempos de viajes de referencia.



- . Estado del tránsito en determinados momentos
- . Velocidad media espacial y de operación.
- . Estadísticas de las velocidades deseadas y simuladas.
- . Tiempos de viaje y demoras.
- . Histogramas de velocidades observadas.
- . Márgenes de tiempo en maniobras de sobrepaso y sobrepasos forzados.
- . Datos de tasas de sobrepaso, sobrepasos forzados, colas.
- . Datos de intervalos y tamaño de colas.
- . Capacidad y Niveles de servicio.

Este modelo presenta como inconveniente, que debido al carácter aleatorio, los resultados obtenidos en cada aplicación sean diferentes. Para lo cual se hace necesario obtener un valor representativo realizado por los menos en tres simulaciones, para cada situación analizada en específico y promediar los resultados obtenidos.

1.4.7 TWOPAS.

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 comenzaron 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 en el programa de mejoras del proyecto para el desarrollo de las autopistas de dos carriles en los Estado Unidos.

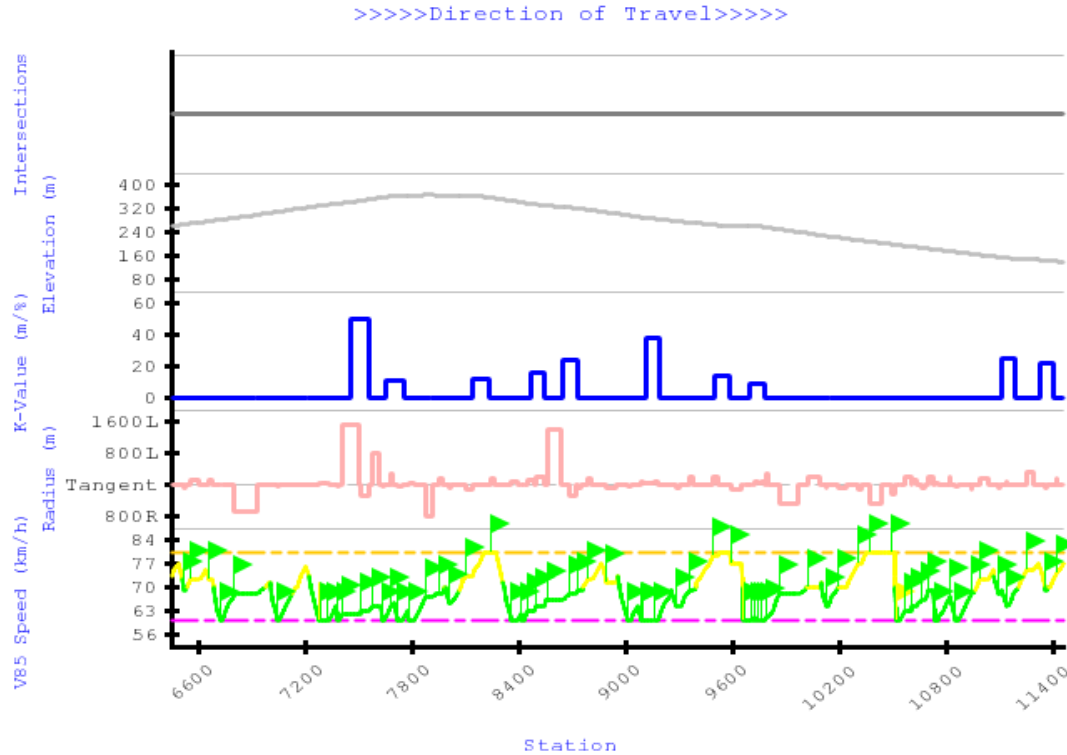


Es un modelo que utiliza las técnicas de simulación macroscópica, el cual aplica la teoría de colas para simular el cambio de longitud a lo largo de una carretera. El modelo consta de una serie de módulos destinados a calcular los diversos aspectos del tráfico a lo largo de una carretera de dos carriles. 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.

El programa representa gráficamente estos intervalos asignando distintos colores al perfil de velocidades (Fig.1.1). Así, diferencias de más de 20 km/h se representan en color rojo, diferencias entre 10 y 20 km/h se representan en color amarillo en el perfil de velocidades, y corresponden a situaciones que deberían ser revisadas por el proyectista. Mientras que, diferencias menores a 10 km/h se representan en color verde, y sugieren unas condiciones más favorables, así como la velocidad de proyecto es un buen estimador de la velocidad de operación de los vehículos. En la parte superior de la figura 1 se representan esquemáticamente las intersecciones en planta (en gris oscuro), el perfil longitudinal de la carretera (en gris claro), el parámetro K de los acuerdos (en azul) y la ubicación y radio de las curvas horizontales, todo esto se realiza para ambas direcciones de circulación, obteniéndose una evaluación completa de la vía como se muestra a continuación.

Figura 1.1 Representación gráfica modelo computacional TWOPAS.



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.



1.4.3 TRARR.

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 los 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.

1.4.4 Sistema EICAM.

El sistema EICAM ha incorporado un módulo, (Visualización, Visibilidad, Consistencia) que permite construir el Diagrama para el análisis de consistencia a partir de los datos del proyecto.

El diagrama de consistencia se presenta para el tramo solicitado, que puede ser requerido en forma total o parcial, en forma gráfica o indicando numéricamente las progresivas inicial y final. El diagrama posee cuatro áreas, identificadas con distintos colores, donde se representan las diferentes características del proyecto de camino y también la velocidad de operación. Al desplazar el Mouse sobre el área del gráfico, en abscisa se indica la progresiva

del tramo que se está evaluando y, según sea la posición vertical dentro del gráfico, puede mostrar los siguientes datos, según se hace referencia en la (figura 1.2).

Figura 1.2 representación gráfica del sistema computarizado EICAM

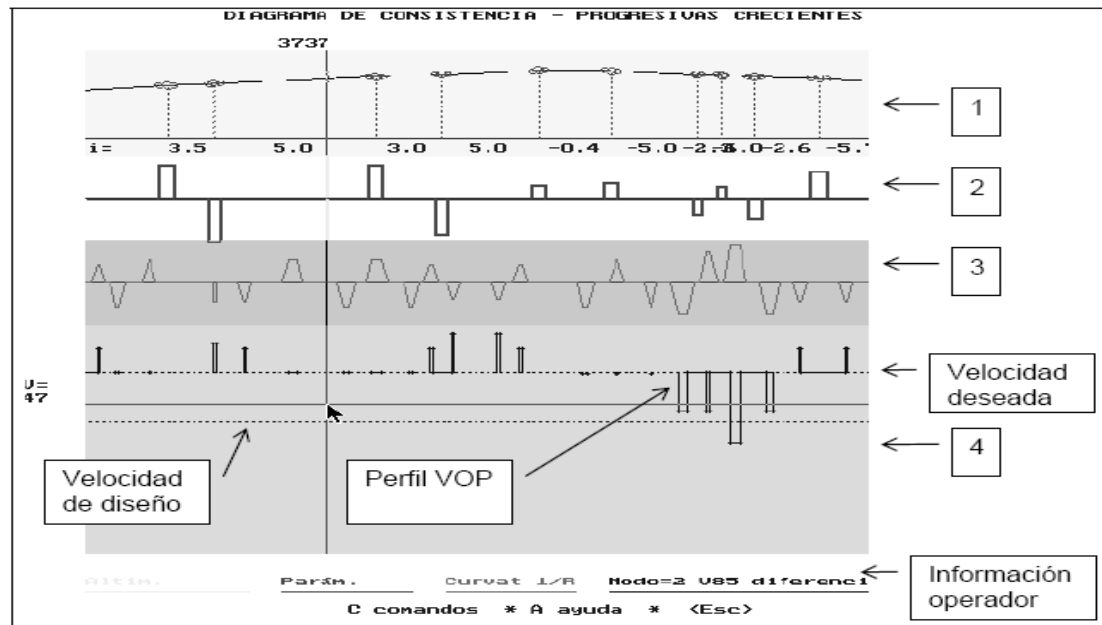


Figura 5: Diagrama de consistencia – referencias.

Parte 1: En ese sector se muestra la poligonal altimetría del proyecto, con indicación de los vértices, los tramos rectos, el principio, centro y fin de cada una de las curvas verticales que están contenidas en el tramo representado. Sobre la parte inferior de esta parte se indica el valor de la pendiente longitudinal, en porcentaje, con el signo (+/-) según sea ascendente o descendente, de acuerdo al sentido de izquierda a derecha. El Mouse sobre esa parte mostrará en ordenadas la cota como Z.

Parte 2: En ella se muestra el valor del parámetro de las curvas verticales, a contar desde el principio y fin de cada curva vertical. El valor que se indica es $K = \text{parámetro}/100$, (+/-) según la curva sea convexa o cóncava, por encima o por debajo del nivel de referencia.



Parte 3: En esa se muestra la planimetría a través de un diagrama de curvatura. Las curvas izquierdas en la parte superior y las curvas derechas en la inferior respecto de la línea de referencia.

Parte 4: En ella se representa el perfil de velocidades de operación. Esta parte del gráfico muestra como origen del gráfico la velocidad deseada que ha sido seleccionada, la velocidad de diseño que fue utilizada para elaborar el proyecto y el valor de la velocidad de operación. La posición del Mouse indica sobre las ordenadas la velocidad de operación en ese punto. Con este gráfico y los de las partes superiores se basa el proyectista para realizar el análisis de consistencia y proponer sus mejoras al proyecto de acuerdo a los criterios de evaluación de la consistencia.

1.5 Modelo cubano.

En el caso de Cuba, existe poca experiencia en la aplicación de un modelo para la predicción de velocidades de las vías rurales de dos carriles, establecido para las condiciones de las carreteras cubanas, que permitan obtener valores de consistencia, con los cuales se pueda identificar lugares de posibles ocurrencias de accidentes. Para el caso de las vías rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara, se ha desarrollado un modelo de predicción por la Facultad de Construcciones de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, mediante la tesis de grado de la ingeniara Abreu Losada Liusbety durante el curso 2008-2009.

Para obtener los modelos de predicción de velocidad de las vías rurales de dos carriles para la provincia de Villa Clara se estudiaron 93 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 vías de interés nacional como son (Santa Clara-Placetas, Santa Clara-Entronque Vueltas, Santa Clara-Manicaragua, Santa Clara-Sagua, Santa Clara-



encrucijada), con el pavimento en buen estado en la zona a estudiar y diferentes tipos de condiciones para lograr abarcar la mayor cantidad de características en las vías cubanas.

Para la obtención del modelo condicionado a las características de la provincia se tuvieron en cuenta distintas combinaciones de alineamientos que existen en las carreteras, con el objetivo de lograr obtener la mayor información necesaria de dichas vías. Estos modelos permiten elaborar el perfil de velocidad de operación, así como detectar problemas de consistencia del diseño geométrico, empleándose las siguientes clasificaciones en la que se puede encontrar el diseño de una carretera.

1. Curva horizontal en pendiente
2. Curva horizontal en rampa
3. Recta en acuerdo convexo
4. Recta en acuerdo cóncavo
5. Curva horizontal combinada con acuerdo convexo
6. Curva horizontal combinada con acuerdo cóncavo

En la (tabla 1.6) se muestran los modelos obtenidos para las vías rurales de dos carriles de circulación, las cuales fueron estudiadas en la provincia de Villa Clara, atendiendo a las combinaciones de alineamientos existentes.

Tabla 1. 6: Resumen de los modelos de predicción de velocidad

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	$V_{op} = 74 - 995.82/R$	5	0.81



cóncavo			
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

El modelo cubano presente hasta el momento esta sujeto a la realización de un perfeccionamiento, pues 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. Diversos autores a nivel mundial como (Glennon, Lamm, Krammes, Voigt) han tratado este término, los cuales establecen modelos de predicción para curvas horizontales en pendientes y rampas, dividiendo cada una en función de la pendiente, teniendo en cuenta de esta manera la afectación del relieve. Atendiendo a la forma en que estos autores trabajan esta condición y a las experiencias acumuladas para este tipo de curvas, se ha llegado a la determinación del siguiente rango de clasificación condicionado por el valor de la pendiente para las curvas horizontales tanto en pendiente como en rampa.

- Curvas horizontales en pendiente ----- pend (-9% a -4%)**
- Curvas horizontales en pendiente ----- pend (-4% a 0%)**
- Curvas horizontales en rampa ----- pend. (0% a 4%)**
- Curvas horizontales en rampa ----- pend. (4% a 9%)**



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. Para el perfeccionamiento del modelo cubano se proponen realizar una clasificación de los radios agrupándolos en los siguientes rangos basándose en los criterios que establece la NC 53 02 1986.

- Radios mayores de 500 metros.
- Radios entre 500 metros y 201 metros.
- Radios entre 200 metros y 81 metros.
- Radios menores de 80 metros.

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

El parámetro (Kv) 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 mismo 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.



Conclusiones parciales.

1. En Cuba existe poca experiencia en la aplicación de un método adecuado para evaluar la consistencia del trazado de las carreteras, por lo que se hace necesario realizar el perfeccionamiento del modelo existente que tenga en cuenta características más reales de las vías en la provincia de Villa Clara, para su aplicación en los tramos que presente problemas de accidentalidad en el territorio.
2. Es de vital importancia 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.
3. Luego de la búsqueda bibliográfica realizada, se constata que es posible darle cumplimiento a la hipótesis de esta investigación y establecer el perfeccionamiento de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para las vías rurales de dos carriles, teniendo en cuenta el trazado en planta y perfil de la carretera, lo que nos permitirá la evaluación de la consistencia del trazado y contribuir de esa forma a la seguridad en las vías cubanas.



CAPÍTULO II



Capítulo-2: Procedimiento para la investigación científica.

En el capítulo se presenta el análisis del procedimiento para la investigación científica, la cual comprende diferentes aspectos fundamentales para lograr el perfeccionamiento de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación existente para las vías rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara. La base teórica en la que se fundamenta este procedimiento se encuentra descrita en la revisión bibliográfica anteriormente realizada, donde se exponen los modelos obtenidos por investigadores en diferentes países.

2.1 Aspecto a considerar en la investigación científica.

Secuencia del procedimiento a seguir para perfeccionar los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación existente para vías rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara:

1. Análisis de las carreteras del territorio.
2. Recopilación de información de las carreteras.
3. Completamiento de la información de las carreteras en el terreno.
 1. Pendiente longitudinal de los sitios seleccionados.
 2. Radio de curvatura horizontal.
 3. 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.
6. Comprobación de los modelos de predicción de velocidad de operación.
7. Evaluación de la consistencia del trazado.

Estos aspectos constituyen el procedimiento de la investigación científica a seguir, para el perfeccionamiento de los modelos de predicción de velocidad para la provincia de Villa Clara.



2.2 Procedimiento a seguir en la aplicación de la metodología:

El perfeccionamiento de los modelos de predicción de velocidad en la provincia de Villa Clara agrupa los aspectos numerados anteriormente, los cuales se explican a continuación.

2.2.1 Análisis de las carreteras del territorio.

En la provincia de Villa Clara están declaradas 1008.1 kilómetros de carreteras como vías de interés nacional, de ellas 905.1 kilómetros de carreteras son de dos carriles de circulación, lo que representa el 89.8% del total de vías de interés nacional existentes en la provincia. Las carreteras de dos carriles de circulación son las de mayor mortalidad en el territorio, hecho por el que se convierten en preocupación en la provincia.

Estas carreteras la conforman el trazado en planta y perfil. El trazado en planta esta formado por sucesión de alineaciones rectas, que son suavizadas por curvas horizontales acorde a la inflexión entre las mismas; el trazado en perfil es similar al anterior, componiéndose de tangentes y curvas verticales que proporcionan el redondeamiento de los ángulos en las inflexiones adaptando el trazado a las condiciones del terreno. Ambos trazados pueden combinarse de varias maneras dando lugar a las diferentes combinaciones de alineamiento en planta y perfil.

Los modelos de perfiles de velocidades de operación de una carretera, están en función de las combinaciones de alineación en planta y perfil, independientemente de su categoría y tipo de terreno de emplazamiento; por tanto es necesario definir las combinaciones existentes en el trazado de las carreteras del territorio para su estudio.

Las carreteras a estudiar deben cumplir con los requisitos que se describen posteriormente, con el propósito de obtener modelos que respondan a las características generales de las carreteras del territorio.

- Carreteras de una sola calzada, con dos carriles de circulación (uno por sentido).
- Diferentes categorías de carreteras.



- Deben encontrarse ubicadas en zonas rurales.
- Sin intersecciones con restricciones de velocidad, ni tercer carril.
- Diferentes combinaciones de alineamientos en planta y en perfil.
- Diferentes tipos de terreno (llano y ondulado).
- Superficie de rodadura pavimentada en buenas condiciones (antes, dentro y después del tramo a analizar).

La determinación de las combinaciones de alineación presente en las carreteras del territorio se realiza a partir de los expedientes e inventarios de las carreteras en poder de las entidades rectoras de la actividad, Centro Provincial de Vialidad y el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito. Además de recorridos preliminares por diferentes carreteras para determinar las combinaciones de alineación, de allí se determinó que las carreteras a estudiar son: Carretera Central, Circuito Norte, Santa Clara-Entronque de Vueltas, Santa Clara-Manicaragua, Santa Clara-Cifuentes, Santa Clara-Encrucijada y Santo Domingo-Corralillo las que ascienden a 489.8 kilómetros lo que representa el 55% de las existente en el territorio, donde están presentes todas las combinaciones de alineación que se presentan en el territorio.

Una vez perfeccionado el modelo se seleccionaron los tramos comprendidos de: Santa Clara – Esperanza, Santa Clara – Hatillo, Hatillo – Cifuentes, Santa Clara – Universidad y Remedios – Caibarién, para su aplicación, por presentar problemas de accidentalidad en la provincia de Villa Clara, pues estos tramos tienen una probabilidad alta de accidente dentro del territorio.

2.2.2 Recopilación de información de las carreteras.

Esta sección describe el procedimiento para la selección de los sitios utilizados para la toma de información en el terreno.

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, 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.



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 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 esta 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 (G1) y la pendiente de salida (G2), 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).

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 representa las condiciones más comunes que se encuentran 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	75 km/h a 115 km/h
Tipo de terreno	llano y ondulado
Radios	81 m, mas de 500 m
Volúmenes de tráfico	100 a 4000 vehículo/día
Anchos	2,75 m a 3,75 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 rangos 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. Se establecieron rangos de radios a partir de intervalos de velocidad que no superen los valores asumidos para la dispersión de ± 2.5 Km/h.

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

Expresión 2.1: radio mínimo curvatura

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



rangos de radios para los sitios, predeterminados a partir de la NC 53 02 1986, la que establece un radio mínimo de 80 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 Sitios establecidos a partir del peralte mínimo para velocidad de diseño de 60 Km/h

Radios (81- 200)m				Radios (201- 500)m				Radios (+) 500m			
V	e(%)	μ	R	V	e(%)	μ	R	V	e(%)	μ	R
60	10	0.16	110	79	8.5	0.16	200	125	4.5	0.16	500
68	9.5	0.16	140	84	7.5	0.16	233	130	4.0	0.16	600
73	9	0.16	170	88	7.0	0.16	266	134	3.5	0.16	700
				93	6.5	0.16	300	139	2.5	0.16	800
				97	6.0	0.16	333	146	2.5	0.16	900
				100	5.5	0.16	366	151	2.0	0.16	1000
				103	5.0	0.16	400				
				107	5.0	0.16	433				
				110	4.5	0.16	466				

En la tabla 2.2 se muestran los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la expresión 2,2 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 80 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. Rangos de radios menores de 80 m, se define un sitio.

- Radios menores de 80 m de acuerdo a lo establecido NC 53 02 1986.



2. Rangos de radios entre (81 – 200) m, se definen tres sitios.

- Radios entre (81 – 110) m
- Radios (110 - 170) m
- Radios de (170 – 200) m

3. Rangos de radios entre (201 – 500) m, se definen nueve sitios.

- Radios de (201 – 233) m
- Radios de (234 – 266) m
- Radios de (267 – 300) m
- Radios de (301 – 333) m
- Radios de (334 – 366) m
- Radios de (367 – 400) m
- Radios de (401 – 433) m
- Radios de (434 – 466) m
- Radios de (466 – 500) m

4. Rangos de radios de mayores de 500 m. se definen seis sitios.

- Radios de (501 – 600) m
- Radios de (601 – 700) m
- Radios de (701 – 800) m
- Radios de (801 – 900) m
- Radios de (901 – 1000) m
- Radios de (+ 1000) 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. 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.

Para evitar un costo muy alto para el estudio o debido a que en ocasiones llega a ser prácticamente imposible el estudio de 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.

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

Expresión 2.2: determinación del número de muestra

Donde:



n - es el tamaño de la muestra;
 Z - es el nivel de confianza;
 p - es la variabilidad positiva;
 q - es la variabilidad negativa;
 E - es la precisión o error.

La tabla 2,3 refleja la cantidad de sitio para el rango 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 por condición para radios (+ 500) m

Agrupamiento de las curvas con rangos de radios mayores de 500m									
Rango Cond.	500-600	601-700	701-800	801-900	901-1000	(+) 1000	Total curva	Sitios (N)	n
1	0	0	1	0	0	0	1	1	1
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 a los 500 metros, su lugar de ubicación y la carretera donde se encuentra.

La tabla 2,4 refleja la cantidad de sitio para el rango de radio entre (500-201) 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 por condición para radios (500 – 201) m.

Agrupamiento de las curvas con rangos de radios entre(500 – 201)m												
Rango	201-233	234-266	267-300	301-333	334-366	367-400	401-433	434-466	467-500	Total curva	Sitio (N)	n
Cond.												
1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	4	4	4
2	3	4	8	4	7	5	6	6	5	48	9	8
3	3	2	7	2	4	9	3	3	2	35	9	8
4	1	0	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	7

En el (anexo 2.2) se encuentra la cantidad de sitios por condiciones para las curvas con rangos de radios entre (500 – 201) metros, su lugar de ubicación y la carretera donde se encuentra.

La tabla 2,5 refleja la cantidad de sitio para el rango de radio entre (200 – 81) 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 sitios por condición para radios (200 – 81) m.

Agrupamiento de las curvas con rangos de radios entre (200 – 81)m							
Rango Cond.	81-110	111-140	141-170	171-200	Totales	Sitios (N)	n
1	0	1	0	1	2	2	2
2	2	1	5	3	11	4	4
3	3	1	2	3	9	4	4
4	0	0	0	0	0	0	0
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 (200 – 81) metros, su lugar de ubicación y la carretera donde se encuentra.

La tabla 2,6 refleja la cantidad de sitio para el rango de radio menores de 80 metros, el número de curvas por sitio correspondiente a cada condición en específico y también el total de curvas por condición. Como se puede apreciar en la provincia no se encontró ninguna curva con relación al sitio determinado, es porque dicho sitio no existe en la provincia, debido a que en el territorio no existen curvas con radios tan pequeños, por lo que el tamaño de la población es cero al igual que la muestra.

Tabla 2.6 Cantidad de sitios por condición para radios menores de 80m

Agrupamiento de las curvas con rangos de radios menores de 80				
Rango Cond.	Menores de 80	Totales	Sitios (N)	n
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0



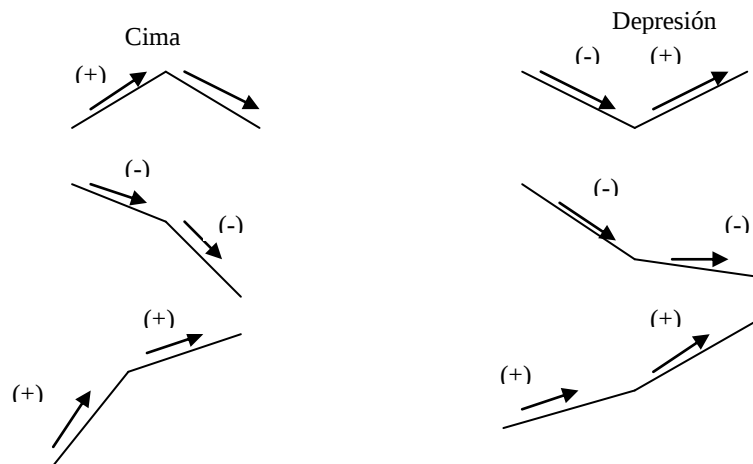
En la (tabla 2.7) se muestran las combinaciones de alineación en tangentes con acuerdo cóncavo y convexo como se muestra en la figura (2.1) donde se muestra las diferentes formas en que pueden combinarse las pendientes de las carreteras de la provincia. La definición de los rangos se estableció a partir 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, teniéndose 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 (Kv). 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 2.7 Cantidad de curvas verticales por condición.

Agrupamiento de las curvas verticales de acuerdo a su longitud							
Rango	Lv (40)	Lv (80)	Lv (120)	Lv (160)	Total curva	Sitio (N)	n
Condiciones							
7-Recta con acuerdo convexo	3	4	1	1	9	4	9
8-Recta con acuerdo cóncavo	5	2	1	1	8	4	9

En el (anexo 2.4) se encuentra la cantidad de curvas evaluadas para el desarrollo de los modelos de predicción de velocidad de operación, su lugar de ubicación y la carretera donde se encuentra.

Figura 2.1 Combinación algebraica de las pendientes



Con el fin de organizar el procedimiento de selección de los sitio, se establecieron rangos 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 2.8 muestra 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 en que se recogieron los datos en la validación del mismo del mismo.

Tabla 2.8 Matriz de sitios deseados:

Rango Radios						
Condiciones de Planta y Perfil	(+) 500	500-201	200-1	(-) 80	Tang.	total
1-Curva Horizontal en pend. (-9% a -4%)	1\1\1	4\4\4	2\2\2	0\0\0	0\0\0	7\7\7
2-Curva Horizontal en pend. (-4% a 0%)	6\6\6	9\8\8	4\4\4	0\0\0	0\0\0	19\18\18
3-Curva Horizontal en rampa. (0% a 4%)	6\6\6	9\8\8	4\4\4	0\0\0	0\0\0	19\18\18
4-Curva Horizontal en rampa. (-4% a -9%)	5\5\5	4\4\4	0\0\0	0\0\0	0\0\0	9\9\9
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\7\7	0\0\0	0\0\0	0\0\0	9\9\9
7-Recta con acuerdo convexo	0\0\0	0\0\0	0\0\0	0\0\0	4\4\9	4\4\9
8-Recta con acuerdo cóncavo	0\0\0	0\0\0	0\0\0	0\0\0	4\4\9	4\4\9
Total	26\26\26	37\35\35	12\12\12	0\0\0	8\8\18	83\81\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.

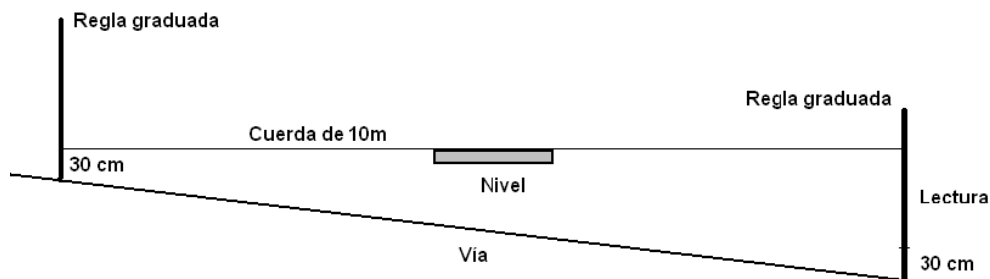
2.2.3 Completamiento de la información de las carreteras en el terreno.

En este epígrafe se hace mención a la obtención 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 en curvas horizontales como verticales de los sitios seleccionados, realizadas en conjunto con el Departamento Provincial de Ingeniería del Tránsito.

2.2.3.1 Pendiente longitudinal de los sitios seleccionados.

Para determinar la pendiente de los sitios estudiados se utiliza un método muy sencillo (Figura 2.2) empleando una cuerda de 10 m, un nivel y dos reglas graduadas.

Figura 2.2: Forma de obtener la pendiente.



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

$$k_v = \frac{G2 - G1}{L_v} \quad (2,3)$$

Expresión 2.3: Diferencia algebraica entre pendientes.

Donde:

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

2.2.3.2 Determinación del radio de las curvas horizontal.

Para poder conocer el radio de la curva se empleó 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).

$$f_{prom} = \frac{\sum f}{n} \quad (2,4)$$

Expresión 2.4: Flecha promedio de la curva.

$$R = \frac{C^2 + f_{prom}^2}{8 \cdot f_{prom}} \quad (2,5)$$

Expresión 2.5: Radio de la curva.

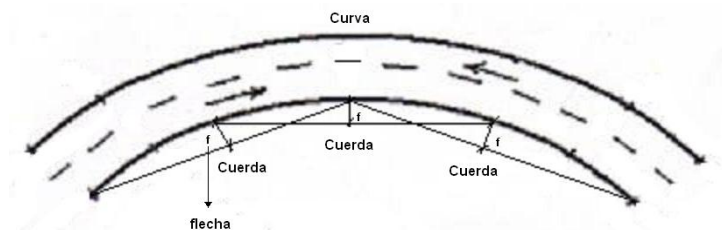


Figura 2.3: Obtener las flechas.

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.

2.2.3.3 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 ± 2.5 km/h.

Figura 2.4: Pistola láser.



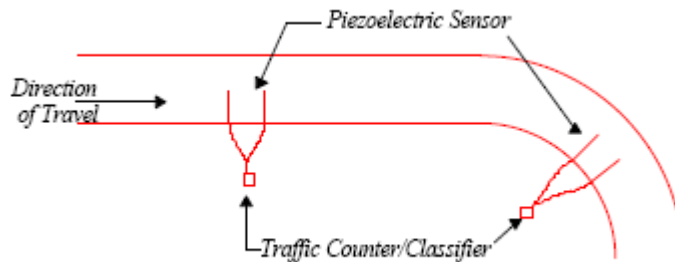
Para obtener la velocidad de operación en las curvas se deben tener en cuenta algunos aspectos que ayudan a seleccionar con calidad las muestras:

- 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 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 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 los sensores piezoeléctricos en curvas horizontales.



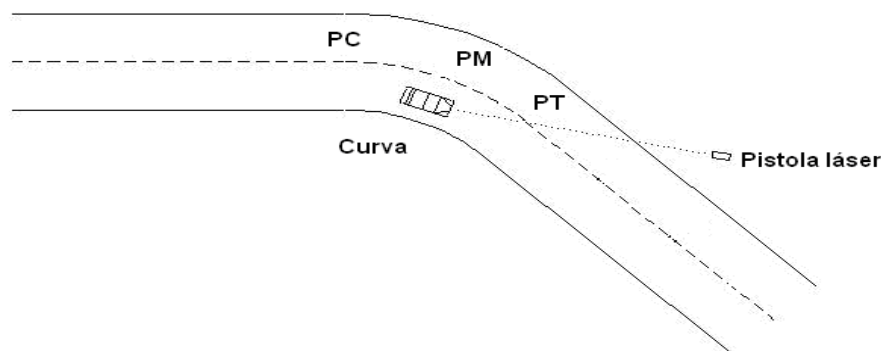
- Dirección de viaje.
- Sensor piezoeléctrico.
- Tráfico Contador / Clasificador.

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

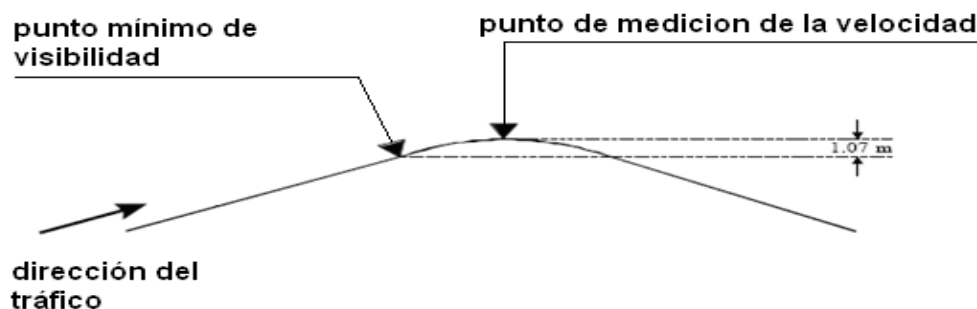
una muestra de 23 o más valores, en dependencia de la desviación estándar calculada y comprobada en el sitio de medición, establecido por estudios desarrollado por la Facultad de Construcciones de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, mediante la tesis de grado de la ingeniera Abreu Losada Liusbety durante el curso 2008-2009.

Figura 2.6: Medición de la velocidad de operación.



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 correspondiente 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 Ubicación de los puntos de medición de velocidad de operación en la curva vertical.





2.2.4 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.

2.2.5 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 (K_v) , diferencia algebraica entre las pendientes.



Luego de obtener el modelo es necesario probar los supuestos de la regresión, la autocorrelación y la multicolinealidad del mismo con el fin de establecer un modelo con la calidad requerida.

La autocorrelación el asistente matemático la establece a través de la prueba de Durbin-Watson (d), luego de obtener el valor, este se compara con los parámetros para conocer si existe o no autocorrelación en el modelo.

Si d es próximo a 2, no hay autocorrelación

Si d es próximo a 4, hay autocorrelación negativa

Si d es próximo a 0, hay autocorrelación positiva

La multicolinealidad la establece también el asistente matemático y luego de obtener el valor del índice de condición (i_c), este se compara con los parámetros establecidos.

Si i_c es menor 20, no hay multicolinealidad

Si i_c está entre 20 y 30, hay multicolinealidad moderada

Si i_c es mayor 30, hay multicolinealidad fuerte

Para comprobar si el modelo es válido o no es necesario comparar la significación de las cantantes del modelo pues estas deben ser menor que 0.05 (nivel de confianza 95%).

Cuando se comprueba que el modelo obtenido cumple con todos los requisitos establecidos, se constituyen las ecuaciones del mismo para cada condición:

$$V_{op} = a - \frac{b}{R} , \text{ para el caso en que se encuentre en una curva horizontal. } \quad (2.6)$$

$$V_{op} = a - b * k , \text{ para el caso en que se encuentre en una curva vertical. } \quad (2.7)$$

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



Para comprobar los modelos con el objetivo de probar si presenta la calidad y la confiabilidad requerida para los estudios de predicción del perfil de velocidad que se realizaran con ellos, se procede de siguiente manera:

- Estudio de las curvas que presenten las características del modelo.
- Se obtiene el radio de curvatura.
- Se mide la velocidad de operación de los vehículos con la pistola láser.
- Se calcula la velocidad de operación empleando el modelo.
- Se comparan ambas velocidades de operación obtenidas.

Las velocidades de operación obtenidas por ambos métodos deben ser aproximadamente iguales con un error permisible de ± 2.5 km/h para poder comprobar la eficiencia del modelo que se evaluó.

Con el fin de dar cumplimiento al objetivo general de esta investigación se realiza una comparación entre los resultados de la velocidad de operación que se obtiene de los modelos FC perfeccionado y los modelos establecidos por Fitzpatrick para los Estados Unidos, en esta comparación se tiene en cuenta varios tipos de radios y las combinaciones de alineamientos tanto en planta como en perfil, así como el comportamiento de los distintos modelos para un mismo radio, empleado en la comprobación para ambos modelos.

2.2.7 Evaluación de la consistencia del trazado.

La evaluación de la consistencia del diseño 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, M. y Sánchez, J. 2008; Sánchez, J. 2008.

La aplicación de los modelos en la evaluación de los tramos seleccionado 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 Laurna Raoul durante del curso 2008-2009. La cual al entrar 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 establecidos.

Con los resultados obtenidos se propone aplicar la evaluación general de la consistencia de la carretera a estudiar, ya sea esta mediante la diferencia de velocidad de operación con la de diseño de todo los tramo de dicha carreteras, entre la longitud total de la carretera, como la diferencia de velocidades entre los elementos consecutivos en función de la cantidad de secciones evaluadas por tramos, afectado por la longitud total de la vía, a demás de obtener la velocidad de operación general para la carretera evaluada (expresión 2.8 ; 2.9 ; 2.10). Esta evaluación de forma general, nos permite determinar cual carretera presenta un problema mayor del trazado al evaluar la consistencia de la vía de forma completa y la toma de decisiones para la reconstrucción de las vías con problemas en el trazado, conformando las mismas en orden de peligrosidad, a demás no solo se puede evaluar vías existentes sino también nuevos trazados que puedan acometerse y determinar si el mismo presenta un trazado es consistente.

$$E_v = \left(\frac{\sum (V_{85} - V_d) L}{L_t} \right) \quad (2,8)$$

Expresión 2.8: Evaluación general mediante la comparación con la velocidad de diseño (Vd).

$$E_v = \left(\frac{\sum (V_{85} - V_{i-1}) L}{L_t} \right) \quad (2,9)$$

Expresión 2.9: Evaluación general mediante la comparación de velocidad entre elementos consecutivos.



$$V_{85} = \left(\frac{\sum V_{85} L_i}{L_t} \right) \quad (2,10)$$

Expresión 2.10: Velocidad de operación general de la vía.

Donde:

V_{85i} = Velocidad de operación en cada tramo.

ΔV_{85i} = Diferencia de velocidad de operación entre elementos consecutivos en cada tramo.

V_{di} = velocidad de diseño en cada tramo

L_i = longitud de cada tramo

L_t = Longitud total del tramo.



Conclusiones parciales:

❖ El propósito de la metodología es mostrar el procedimiento que se propone utilizar para realizar la evaluación de la consistencia del diseño geométrico de una carretera rural de dos carriles.

❖ Para cumplir los objetivos de la investigación se elaboraron siete Aspecto a considerar en la metodología, los cuales son de vital cumplimiento para lograr el perfeccionamiento de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación, en vías rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara.

❖ La aplicación de esta metodología es sencilla y de fácil cumplimiento.



CAPÍTULO III



Capítulo-3: Análisis de los Resultados.

En el capítulo se presentan los resultados una vez aplicado el procedimiento descrito con anterioridad, para el perfeccionamiento de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación en las vías rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara.

3.1 Análisis de las carreteras del territorio.

El análisis de las carreteras rurales de dos carriles de la provincia de Villa, estuvo basado en los aspectos que se comentaron en el capítulo anterior, y se determinaron las combinaciones de alineaciones mas comunes en el territorio, además de cumplir con los requisitos establecidos para la obtención de los modelos de predicción de velocidad que respondan a las condiciones de la provincia, conjuntamente con un análisis económico realizado, como se argumenta en el capítulo anterior, para la evaluación de las carreteras se parte de la caracterización de la accidentalidad vial en la provincia, en total resultaron escogidos cinco tramos, los cuales son: Santa Clara – Esperanza; Santa Clara – Hatillo; Hatillo – Cifuentes; Santa Clara – Universidad y Remedios – Caibarién.

3.2 Recopilación de información de las carreteras.

La información necesaria para el perfeccionamiento de los modelos y la evaluación se obtuvo de los expedientes de las carreteras que se localizan en el Centro Provincial de Vialidad y el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito.

3.3 Completamiento de la información de las carreteras en el terreno.

El completamiento de la información necesaria para lograr el objetivo de la investigación se completa en el terreno para el caso de las alineaciones horizontales y verticales, las mediciones de velocidad se realizan en los lugares determinados con el equipamiento adecuado.



3.4 Cálculo de la velocidad de operación.

Siguiendo el procedimiento de la investigación científica desarrollada en el capítulo anterior en la determinación de la velocidad de operación a través de la obtención del percentil 85 de la velocidad, lo cual se realizó para cada sitio evaluado, los cuales suman un total de 93 plasmados en el anexo 3.4. El algoritmo utilizado fue el mismo para todos los sitios por lo que pretendemos mostrar la realización del ejemplo del sitio ubicado en la carretera Manicaragua de la estación 1267+3.97 a 1288+8.91 donde los resultados del mismo se recogen en la tabla 3.1

Tabla 3.1 obtención de la velocidad de operación.

Condición = 1				
#	V(real)	Frecuen.	Frec. A	%
1	62	1	1	4,3
2	63	2	3	13
4	64	1	4	17
5	65	3	7	30
8	66	1	8	35
9	67	2	10	43
11	68	1	11	48
12	69	2	13	57
14	70	3	16	70
17	71	3	19	83
20	72	1	20	87
21	73	1	21	91
22	74	1	22	96
23	77	1	23	100
TOTAL		23	23	100
Radio = 256				
Desviación = 3.88				
$V_{(opr)} = 71,6$				

Una vez obtenida la muestra y conocido la condición en la que se encuentra el sitio se realizó la comprobación de la misma mediante la obtención de la desviación típica, la cual es de 3.88 menor que el valor asumido, pasándose al cálculo de la velocidad de operación de dicho sitio. Primeramente se realizó un ordenamiento de forma ascendente de las velocidades medidas en terreno, con



el ordenamiento de los datos se obtuvo la frecuencia que no es más que las veces que se repite una misma velocidad.

Después de obtenida la frecuencia acumulada, y con esta, se obtuvo el porcentaje de las velocidades acumulada respecto al total de la muestra, tomándose el 85 como la velocidad de operación para el sitio analizado bajo las condiciones prevaleciente en la carretera, que en el caso específico del ejemplo estudiado la misma fue de 71.6Km/h.

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

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.

Por lo anteriormente expuesto es preciso realizar un análisis de clasificación por el método de Clúster que nos permita agrupar los datos obtenidos en el terreno según el tipo de combinación de alineamiento existente (Figura 3.1).

Figura 3.1: Agrupación por Clúster.

Final Clúster Centers					Number of Cases in each Cluster	
	Clúster					
	1	2	3	4		
inv.Radio	.00	.00	.00	.00	1	18.000
					2	7.000
					3	18.000
					4	9.000
pendiente	1.00	-4.00	-1.00	4.00	Valid	52.000
					Missing	.000



Según los resultados obtenidos del análisis de clasificación realizado por el método de Clúster, se puede apreciar que existen cuatros 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 3.2

Tabla 3.2 Agrupación por Clúster para curvas horizontales.

<u>Tipo de curva horizontal</u>	<u>Rango de Pendiente</u>	<u>Cantidad</u>	
Curvas horizontales en pendiente -----	pend (-9% a -4%) -----	7	} 52
Curvas horizontales en pendiente -----	pend (-4% a 0%) -----	18	
Curvas horizontales en rampa -----	pend. (0% a 4%) -----	18	
Curvas horizontales en rampa -----	pend. (4% a 9%) -----	9	

De estos resultados se llega a la conclusión que es necesario realizar cuatros modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para 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 continuación se describe todo el análisis realizado en la obtención de los modelos de predicción de velocidad de operación para las condiciones de las vías de la provincia de Villa Clara mediante el procesamiento de toda la información recopilada en el terreno. Dicha información consta de la ubicación del sitio estudiado, el Kv para curvas verticales, el inverso del radio de curvatura y la velocidad de operación obtenida en el terreno, y la carretera a la que pertenece.

A partir de la información obtenida se plotean los valores de velocidad contra el inverso del radio en el caso de curvas horizontales y de velocidad contra Kv 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, 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 validos 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.

A continuación se muestra un ejemplo del procedimiento empleado en la obtención de los modelos de predicción de velocidad de operación para la condición de "Curvas horizontales en pendiente (-4% a 0%)" la cual es una de las que más abundas en las condiciones de la provincia y las restantes se agrupan en los anexos 3.1 (Mediciones obtenidas en el terreno por



condiciones); 3.2 (Recta de mejor ajuste por condiciones); 3.3 (Resultados de análisis matemático del programa SPSS 16.0 por condiciones).

3.5.1 Ejemplo empleado en el procedimiento para la obtención de los modelos.

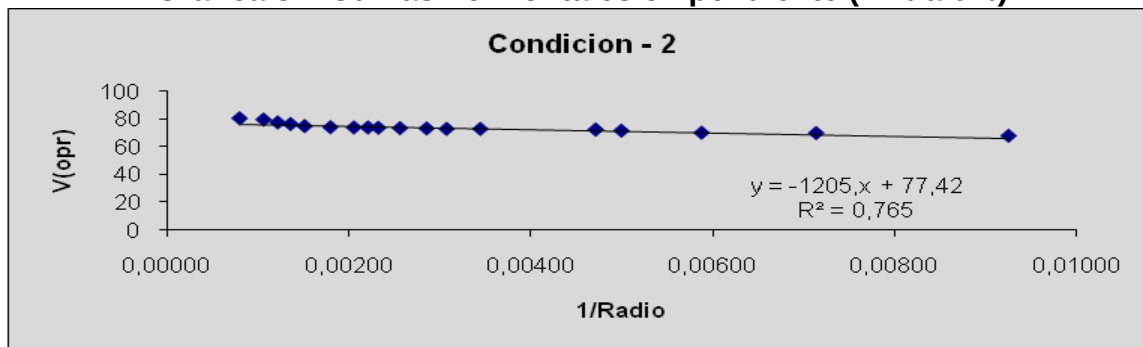
En la taba 3.3 se muestran los valores de las mediciones obtenidas (inverso del radio y la velocidad de operación), utilizadas en la obtención del modelo para las curvas horizontales en pendientes de (-4% a 0%), así como su lugar de ubicación y carretera a la que pertenece.

Tabla 3.3 Mediciones obtenidas para curvas horizontales (-4% a 0%)

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+936	393+5.10	0.00180	73.8	Santa Clara - Manicaragua
896+9.39	915+5.28	0.00500	71.3	Santa Clara - Manicaragua

A partir de los datos obtenidos mediante mediciones en el terreno se plotean los valores de velocidad contra el inverso del radio gráfica 3.1, obteniéndose la recta de mejor ajuste y con esta los valores de la ecuación. Para verificar si la recta obtenida es correcta se obtiene el por ciento de variabilidad (R^2), el cual representa el ajuste del modelo, mientras más cercano se encuentre de la unidad mejor será el ajuste del mismo, considerándose bueno un valor cercano a $R^2 = 0.7$

Gráfica 3.1 Curvas horizontales en pendiente (-4% a 0%)



$R^2 = 0.765$ es mayor que 0.7 $\therefore$ el ajuste del modelo es bueno

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 (3.4).

Tabla 3.4 Resultados de análisis matemático del programa SPSS 16.0

Model Summary ^b						
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics Sig. F Change	Durbin-Watson
1	.875 ^a	.766	.751	1.59122	.000	2.034
Coefficients ^a						
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	77.430	.658		.000		
INVERSODE.R	-1206.266	166.788	-.875	.001	1.000	1.000
Collinearity Diagnostics ^a						
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	INVERSODER	
1	1	1.821	1.000	.09	.09	
	2	.179	3.194	.91	.91	



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

$d = 2.034$ 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 (al menos uno es distinto de cero) por lo que se demuestra que el modelo es válido y la ecuación para el mismo es:

$$V_{op} = 77.43 - 1026.266/R \quad (3.1)$$

Expresión (3.1) Ecuación de Regresión para curvas horizontales en pendiente (-4% a 0%)

El ejemplo expuesto muestra el procedimiento a seguir en la conformación de los modelos de predicción de velocidad de acuerdo a las características de la provincia, agrupándose los resultados obtenidos en la tabla 3.5 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 3.5: Resumen de los datos estadísticos de los modelos de predicción de velocidad para cada condición.

Condiciones	R^2	d	i_c	Sig. constante		Clasific.
				1/R	Kv	
Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)	0.682	1.967	3.568	.022	-	bueno
Curva horizontal en pendiente (-4% a 0%)	0.765	2.034	3.194	.000	-	bueno
Curva horizontal en rampa (0% a 4%)	0.851	2.001	3.194	.000	-	bueno
Curva horizontal en rampa (4% a 9%)	0.757	2.095	3.908	.002	-	bueno
Curva horizontal con acuerdo convexo	0.777	2.064	3.257	.000	-	bueno
Curva horizontal con acuerdo cóncavo	0.905	1.969	5.171	.000	-	bueno
Recta con acuerdo convexo	0.809	2.047	3.926	-	.001	bueno
Recta con acuerdo cóncavo	0.816	2.000	7.777	-	.001	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 numero de sitio en que se realizaron los estudios para el desarrollo de los mismos mostrándose dicho resultado en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Resumen de los modelos de predicción de velocidad

Condiciones	Ecuación	R ²	Sitios
Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)	$V_{op}=74.685 -586.299/R$	0.682	8
Curva horizontal en pendiente (-4% a 0%)	$V_{op}= 77.430-1026.266/R$	0.765	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%)	$V_{op}= 77.937-2593.417/R$	0.757	10
Curva horizontal con acuerdo convexo	$V_{op}= 79.151-1363.410/R$	0.777	12
Curva horizontal con acuerdo cóncavo	$V_{op}= 82.761 -2523.403/R$	0.905	9
Recta con acuerdo convexo	$V_{op}= 86.016-180.961 \cdot kv$	0.809	9
Recta con acuerdo cóncavo	$V_{op}= 97.425-319.501 \cdot kv$	0.816	9

En la tabla 3.6 se muestran los modelos obtenidos para las vías rurales de dos carriles de circulación, las cuales fueron estudiadas en la provincia de Villa Clara, atendiendo a las combinaciones de alineamientos existentes.

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

En los Estados Unidos se realizaron varios modelos que son establecidos para las combinaciones de alineamientos existentes en las carreteras, esto sirvió como base para realizar los modelos adecuados a las características específicas de Cuba y particularmente de las carretas de la provincia de Villa Clara.

Es preciso comprobar el modelo para conocer si se ajusta a las velocidades reales de las carreteras de la provincia de Villa Clara, para ello se realiza una comparación de las velocidades de operación obtenida en el terreno y la calculada mediante los modelos obtenidos para cada condición de alineación en planta y perfil y la misma tiene que ser de ± 2.5 km/h, error en las mediciones para la pistola láser brindado por el fabricante.

Luego de obtener los modelos se comparan las distintas combinaciones de alineamiento en planta y perfil con los modelos establecidos por Fitzpatrick en Estados Unidos, con el fin de comparar en que difiere uno con otro. Para realizar esta comparación se toman varios Valores de radios y Kv, obteniendo a la velocidad de operación según los modelos. A demás se realiza una comparación del comportamiento general de los modelos al evaluar para un radio y un Kv



constante y de esta forma conocer si el modelo cubano perfeccionado describe un comportamiento similar al obtenido por Fitzpatrick.

Este procedimiento se realiza para todas las combinaciones de alineación encontrada en la provincia, para poder establecer la validación y confiabilidad de los mismos, donde a continuación se muestra un ejemplo del procedimiento empleado en curvas horizontales y verticales y las restantes se agrupan en los anexos 3.4 (Comprobación de los modelos para curvas horizontales); 3.5 (Comparación del modelo F_c con el Modelo de Fitzpatrick para curvas horizontales).

3.6.1 Ejemplo empleado en el procedimiento para la comprobación de los modelos de predicción de velocidad para curvas horizontales.

La comprobación del modelo para curvas horizontales en rampa con pendiente de (4% a 9%) se muestra en la tabla 3.7, la que presenta la ubicación del sitio estudiado y la carretera a la que pertenece, el radio de la curva, la velocidad obtenida en el terreno con la pistola láser, la calculada por el modelo obtenido y la diferencia de ambas velocidades. Las mediciones determinadas con la pistola presentan un error de ± 2.5 km/h, error permitido a la diferencia de ambas velocidades.

Como podemos apreciar las diferencias de velocidades calculadas todas son menores de ± 2.5 km/h por la que podemos afirmar que el modelo presenta buenos resultados.

Tabla 3.7 comprobación para 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	218	68.3	66.04	2.26	Santa Clara - Placetas
1267+3.97	1288+8.91	315	68.6	69.70	-1.10	Santa Clara - Manicaragua
1418+0.17	1442+3.27	275	68.6	68.51	0.09	Santa Clara - Manicaragua
31486+0.00	31505+0.00	1140	77.6	75.66	1.94	Santa Clara - Placetas
503+7.03	516+0.11	960	77.6	75.24	2.36	Santa Clara - Manicaragua
1484+6.73	1517+6.28	845	75.6	74.87	0.73	Santa Clara - Manicaragua
149+6.70	176+5.34	685	72.4	74.15	-1.75	Santa Clara - Manicaragua
1572+8.83	1591+2.14	360	68.9	70.73	-1.83	Santa Clara - Manicaragua
645+8.50	669.762	585	70.8	72.50	-1.70	Santa Clara - Manicaragua
30762+0.00	30768+0.00	218	68.3	66.04	2.26	Santa Clara - Placetas

En la gráfica 3.2 se realiza una comparación del modelo FC perfeccionado, con el Modelo de Fitzpatrick para este tipo de combinación de alineamiento, donde se obtuvo la velocidad de operación de ambos modelos para determinados radios de curvatura según expresión (3.2 y 3.3), pudiendo verificarse que ambos modelos describen un comportamiento similar, siendo el Modelo FC de menor velocidad producto de las características de las vías de la provincia y su pendiente es paralela al obtenido por los Estados Unidos, llegando a establecer que el modelo obtenido es válido para las condiciones de la provincia.

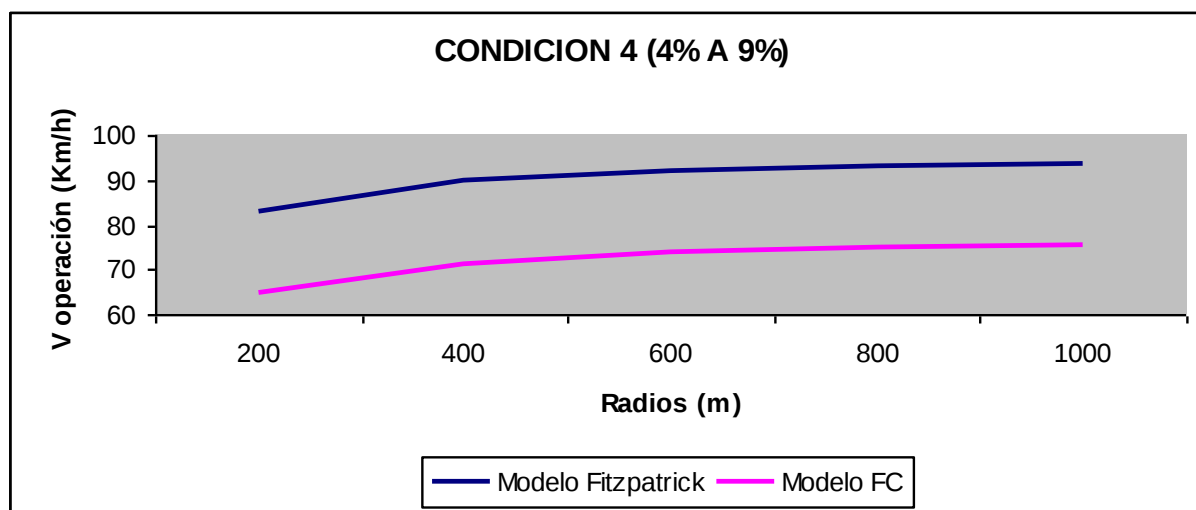
$$V_{op} = 77.937 - 2593.417/R \quad (3.2)$$

Expresión (3.2) Modelo Fc para curva horizontal en rampa (4% a 9%)

$$V_{op} = 96.61 - 2752.19/R \quad (3.3)$$

Expresión (3.3) Modelos Fitzpatrick curva horizontal en rampa (4% a 9%)

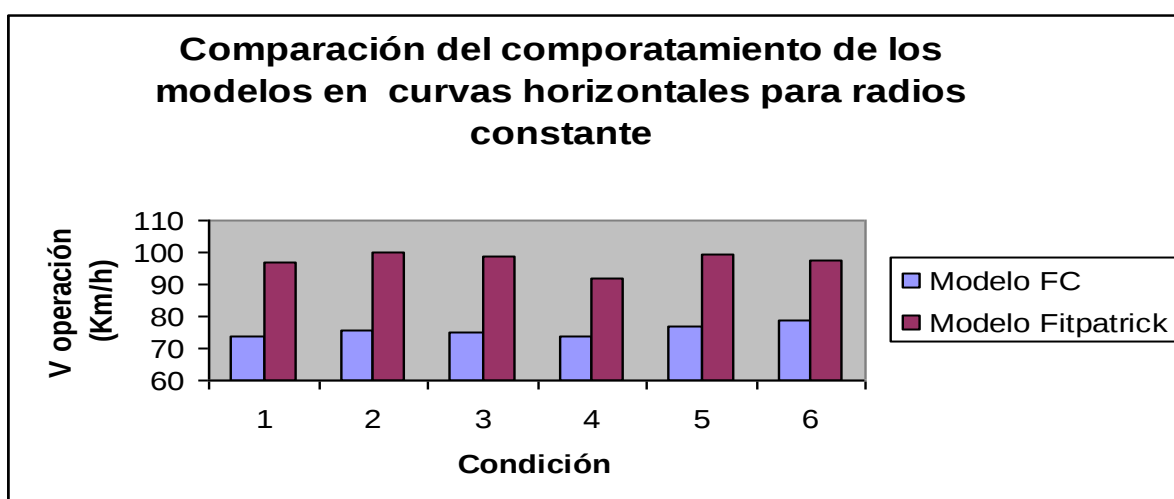
Gráfica 3.2 Comparación del modelo Fc con el Modelo de Fitzpatrick



En la gráfica 3.3 se realiza una comparación del modelo FC perfeccionado, con el Modelo de Fitzpatrick para un radio de curvaturas constante verificando el comportamiento de ambos para las distintas condiciones de alineación de planta y perfil, obteniéndose como resultado que el modelo FC perfeccionado presenta

un comportamiento similar al de Fitzpatrick, ya que ambos para las condiciones 1 y 4 parte de una velocidad inferior debido a la pendiente de la vía, en las condiciones 3 y 4 su velocidad aumente condicionado a una pendiente mas suave de la carretera y para las condiciones 5 y 6 las velocidades describen un ligero ascenso producto de la combinación planta perfil en trazado. De esta manera queda comprobado la valides del modelo del modelo obtenido para las distintas condiciones de manera general.

Gráfica 3.3 Comparación del modelo Fc con el Modelo de Fitzpatrick para radios constante.



3.6.2 Ejemplo empleado en el procedimiento para la comprobación de los modelos de predicción de velocidad para curvas verticales.

La comprobación del modelo en curvas verticales para recta con acuerdo convexo se muestra en la tabla 3.8 la que presenta la ubicación del sitio estudiado y la carretera a la que pertenece, el Kv de la curva vertical, la velocidad obtenida en el terreno con la pistola láser, la calculada por el modelo obtenido y la diferencia de ambas velocidades. Las mediciones determinadas con la pistola presentan un error de ± 2.5 km/h, error permitido a la diferencia de ambas velocidades.



Como podemos apreciar las diferencias de velocidades calculadas todas son menores de ± 2.5 km/h por la que podemos afirmar que el modelo presenta buenos resultados.

Tabla 3.8 comprobación para recta con acuerdo convexo

Est. Inicial	Est. Final	Kv	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
2782+6.00	2786+6.00	0.0375	83.6	85.46	-1.86	Santa Clara - Ent de Vuelta
2383+0.00	2387+0.00	0.025	76.8	76.68	0.12	Santa Clara - Ent de Vuelta
2440+0.00	2444+0.00	0.025	78.5	79.87	-1.37	Santa Clara - Ent de Vuelta
2095+6.00	2103+6.00	0.025	76.6	76.68	-0.08	Santa Clara - Ent de Vuelta
1930+0.00	1938+0.00	0.0375	77.6	79.24	-1.64	Santa Clara - Ent de Vuelta
1273+0.00	1281+0.00	0.044	77.6	77.00	0.60	Santa Clara - Manicaragua
1625+0.00	1637+0.00	0.0425	81.6	83.86	-2.26	Santa Clara - Manicaragua
760+0.00	790+0.00	0.06	78.6	78.28	0.32	Santa Clara - Encrucijada
836+0.00	854+0.00	0.048	80.9	82.11	-1.21	Santa Clara - Santo Dom

En la gráfica 3.4 se realiza una comparación del modelo FC perfeccionado, con el Modelo de Fitzpatrick para este tipo de combinación de alineamiento, donde se obtuvo la velocidad de operación de ambos modelos para determinados radios de curvatura según expresión (3.4 y 3.5), pudiendo verificarse que ambos modelos describen un comportamiento similar, siendo el Modelo FC de menor velocidad producto de las características de las vías de la provincia y su pendiente es paralela al obtenido por los Estados Unidos, llegando a establecer que el modelo obtenido es válido para las condiciones de la provincia.

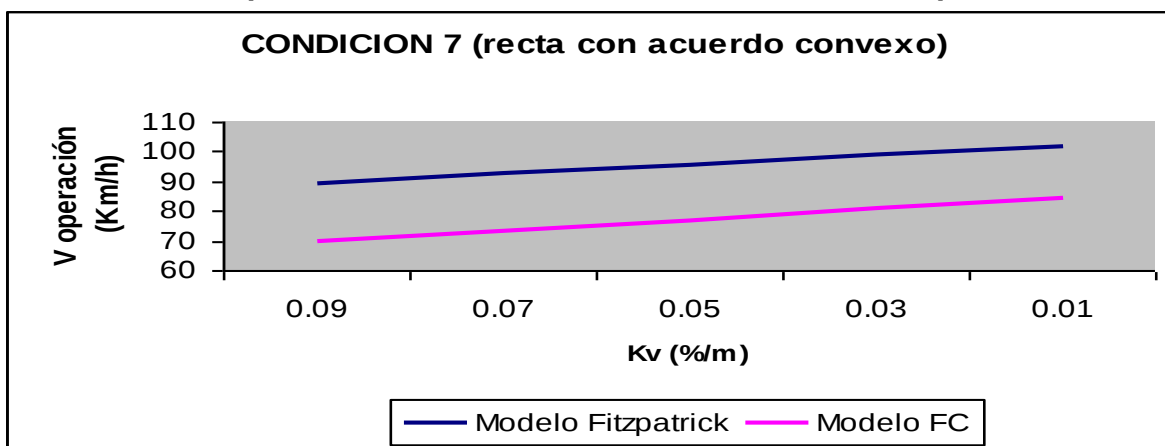
$$V_{op} = 86.016 - 180.961 \cdot kv \quad (3.2)$$

Expresión (3.2) Modelo Fc para curva horizontal en rampa (4% a 9%)

$$V_{op} = 105.08 - 149.69 \cdot kv \quad (3.3)$$

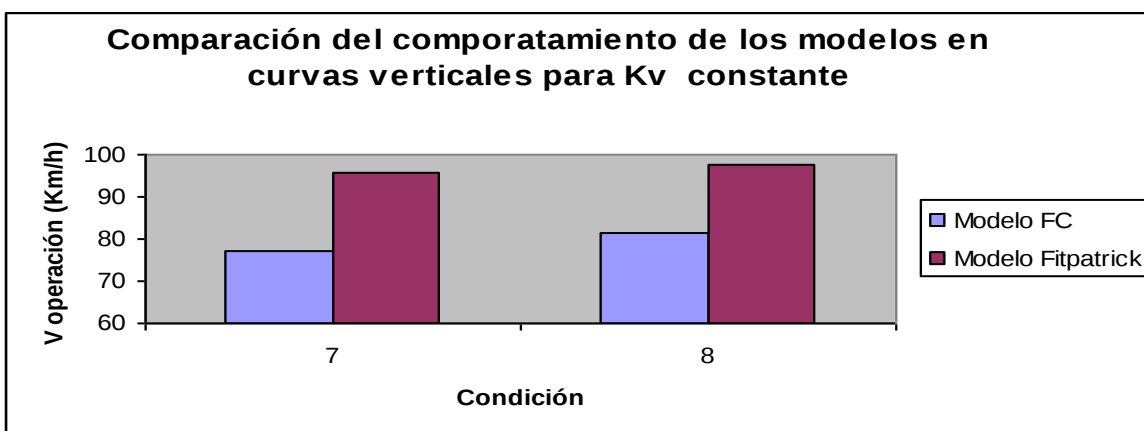
Expresión (3.3) Modelos Fitzpatrick curva horizontal en rampa

Gráfica 3.4 Comparación del modelo Fc con el Modelo de Fitzpatrick



En la gráfica 3.5 se realiza una comparación del modelo FC perfeccionado, con el Modelo de Fitzpatrick para un Kv constante en curvas verticales, verificando el comportamiento de ambos para las distintas condiciones de alineación de planta y perfil. Para la condición 7 (Recta con acuerdo convexo), partiendo de una velocidad inferior ya que al encontrarse la curva vertical en cima se ve afectada la velocidad de los vehículos. En el caso de la condición 8 (recta con acuerdo cóncavo) existe un incremento de la velocidad producto de que la curva vertical se encuentra en depresión, contribuyendo a un incremento de la velocidad de los vehículos. De esta manera queda comprobado la validez del modelo obtenido para las distintas condiciones de manera general.

Gráfica 3.5 Comparación del modelo Fc con el Modelo de Fitzpatrick para radios constante.





3.7 Evaluación de la consistencia del trazado.

La evaluación de la consistencia del diseño, se realizó 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. La evaluación de los tramos comprendidos (Santa Clara – Esperanza, Santa Clara – Hatillo, Hatillo – Cifuentes, Santa Clara – Universidad y Remedios – Caibarién) con problemas de accidente se empleará una hoja de Excel programada, la cual permitirá un mejor procesamiento de los datos simplificando los cálculos en la aplicación de los modelos de perfil de velocidad.

Para facilitar la aplicación del modelo a las carreteras de la provincia se empleará una hoja de Excel programada, desarrollada por la Facultad de Construcciones de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas en estudios realizados por Lurna Raoul, la cual al introducirle los datos del diseño geométrico de la carretera a evaluar, es capaz de realizar todos los cálculos necesarios para la evaluación de la consistencia del trazado incluyendo los gráficos del perfil de velocidad, la clasificación general del estado de la carretera según los criterios de comparación establecidos y la obtención de la velocidad de operación general correspondiente al tramo de carretera analizado.

Considerando lo planteado anteriormente se dispone realizar la evaluación de la consistencia en los tramos con problemas en la accidentalidad en la provincia declarados anteriormente, por lo que desarrollamos a continuación un ejemplo del procedimiento empleado en el desarrollo de la metodología señalada en capítulos anteriores.



3.7.1 Ejemplo empleado en el procedimiento para la evaluación de la consistencia del trazado.

El tramo de vía comprendido entre Remedios – Caibarién es uno de los que más incidencia de accidentes del tránsito presenta por año en el que incurren tres factores determinante (hombre, vehículo y la vía). En el desarrollo de esta investigación nos concentraremos solamente en el estudio de la vía haciendo referencia únicamente al trazado geométrico de dicha carretera, por lo que el ejemplo se desarrollara en dicha vía para un mejor estudio, análisis y comprensión de la metodología empleada y poder determinar si estamos en 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.

Pretendemos mostrar únicamente el procedimiento empleado en la evaluación de la consistencia en un solo tramo, mediante el ejemplo antes mencionado, donde los resultados de la evaluación de los restantes tramos de vías se recogen en los anexos del (3.6 al 3.25).

Figura 3.2 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia

Carretera Circuito Norte (Tramo Remedios - Caibarien) Direccion de Tránsito >>>																							
Tramo	Alineacion en Planta				Alineacion en Perfil						Condición	Valor de A	Resultado de B/R	VOP (A-B/R)	Vop-Vp	ΔVOP	L de tramo (m)	V(operación)*Lo ng.	Estado de la carretera	Estado de la carretera			
	Tipo	Estacion		Radio (m)	Pend (%)	Estacion		Lv	Kv														
		Inicial	Final			Inicial	Final																
1	curva	0+0.00	10+100	573	-0.5	0+0.00	10+100	0	0	2	77.43	2.11	75.32	15.32	0.00	101	7607.81	1547.81	0.00				
2					-0.5	10+100	35+100			9	60	0.00	60.00	0.00	15.32	250	15000.00	0.00	3831.21				
3					-0.3	35+100	107+0.00	40	0.05	8	97.425	15.98	81.45	21.45	21.45	719	58562.51	15422.51	15422.51				
4					-0.4	107+0.00	152+0.00	40	0.025	7	86.016	4.52	81.49	21.49	0.04	450	36671.39	9671.39	18.91				
5					-0.27	152+0.00	182+8.00	40	0.033	8	97.425	10.54	86.88	26.88	5.39	308	26759.49	8273.49	1659.96				
6					recta	10+100	222+9.00	0	-0.51	182+8.00	222+9.00	40	0.06	8	97.425	19.17	78.25	18.25	8.63	401	31380.23	7320.23	3459.24
7	curva	222+9.00	232+9.00	409.3	-0.51	222+9.00	232+9.00	0	0	2	77.43	2.95	74.48	14.48	3.77	100	7448.29	1448.29	377.21				
8					-0.51	232+9.00	236+9.00			9	60	0.00	60.00	0.00	14.48	40	2400.00	0.00	579.31				
9					0.7	236+9.00	281+9.00	40	0.03	7	86.016	5.43	80.59	20.59	20.59	450	36264.23	9264.23	9264.23				
10					-0.25	281+9.00	301+9.00	40	0.024	8	97.425	7.67	89.76	29.76	9.17	200	17951.40	5951.40	1833.96				
11					0.75	301+9.00	334+4.00	40	0.025	7	86.016	4.52	81.49	21.49	8.27	325	26484.89	6984.89	2686.13				
12					-0.2	334+4.00	369+4.00	40	0.024	8	97.425	7.67	89.76	29.76	8.27	350	31414.94	10414.94	2892.75				
13					1.1	369+4.00	386+4.00	40	0.0325	7	86.016	5.88	80.13	20.13	9.62	170	13622.91	3422.91	1635.78				
14					-2.1	386+4.00	499+4.00	80	0.04	8	97.425	12.78	84.64	24.64	4.51	1130	95648.80	27848.80	5096.52				
15					curva	499+4.00	524+4.00	349.3	-2.1	499+4.00	524+4.00	0	0	2	77.43	3.45	73.98	13.98	10.67	250	18494.15	3494.15	2667.09
16					-2.1	524+4.00	533+9.00			9	60	0.00	60.00	0.00	13.98	95	5700.00	0.00	1327.78				
17					recta	524+4.00	539+4.00	0	-0.53	533+9.00	539+4.00	80	0.064	7	86.016	11.58	74.43	14.43	14.43	55	4093.90	793.90	793.90
18					curva	539+4.00	554+4.00	162.2	-0.53	539+4.00	554+4.00	0	0	2	77.43	7.44	69.99	9.99	4.44	150	10498.96	1498.96	666.21
19					-0.53	554+4.00	569+4.00			9	60	0.00	60.00	0.00	9.99	150	9000.00	0.00	1498.96				
20					recta	554+4.00	571+9.00	0	-0.7	569+4.00	571+9.00	40	0.043	8	97.425	13.74	83.69	23.69	23.69	25	2092.16	592.16	592.16
21					curva	571+9.00	584+4.00	511.6	-0.7	571+9.00	584+4.00	0	0	2	77.43	2.36	75.07	15.07	8.61	125	9384.02	1884.02	1076.79
22					-0.7	584+4.00	601+9.00			9	60	0.00	60.00	0.00	15.07	175	10500.00	0.00	2637.63				
23					-0.95	601+9.00	639+4.00	40	0.062	7	86.016	11.22	74.80	14.80	14.80	375	28048.66	5548.66	5548.66				
24					recta	584+4.00	649+4.00	0	-1.2	639+4.00	649+4.00	40	0.062	8	97.425	19.81	77.62	17.62	2.82	100	7761.59	1761.59	281.95
25	curva	649+4.00	671+9.00	452.3	-1.2	649+4.00	671+9.00	0	0	2	77.43	2.67	74.76	14.76	2.85	225	16821.68	3321.68	641.90				
26	recta	694+4.00	700+0.00	0	-1.2	671+9.00	700+0.00			9	60	0.00	60.00	0.00	14.76	281	16860.00	0.00	4148.41				
																7000	546472.02	126472.02	70639.15				



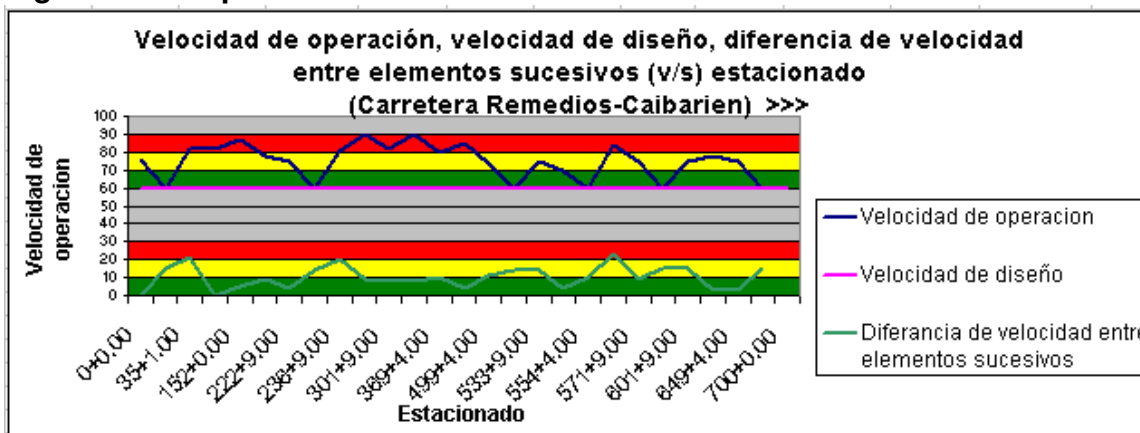
$E_v = \left(\frac{\sum (V_{24(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{L_t} \right)$	18,07
$E_v = \left(\frac{\sum (\Delta V_{24(i)}) L(i)}{L_t} \right)$	10,09
$E_v = \left(\frac{\sum (V_{24}) L(i)}{L_t} \right)$	78,07

En la figura 3.2 se muestra el diseño de la hoja de Excel confeccionada para el modelo FC, utilizado en el cálculo de la consistencia, en la cual se recogen las diferentes características de alineamiento en planta (estacionado de la curva horizontal, radio de curvatura) y perfil (pendiente del tramo, estacionado y longitud de la curva vertical y la relación de pendiente entre dicha longitud) para los tramos de la vía analizada.

A demás se obtiene la velocidad de operación para cada tramo correspondiente y conocido la velocidad de diseño se obtiene la evaluación de la consistencia para diferencias de velocidades y la evaluación de la consistencia entre elementos consecutivos, mostrando el color verde para los tramos que se encuentran en buen estado, amarillo regular y rojo para aquellos que estén en mal estado. A partir de las expresiones (2.7; 2.8; 2.9) se obtiene la evaluación general de la vía para diferencias de velocidades (operación y diseño), entre elementos consecutivos y la velocidad de operación de la carretera evaluada.

Según los resultados de la evaluación de la consistencia para diferencias de velocidades (operación y diseño) es de 18.07 (expresión 2.7) siendo el mismo regulara, para tramos consecutivos el valor obtenido es de 10.09 (expresión 2.8) siendo regular y la velocidad de operación general de la vía es de 78.07 (expresión 2.9). La carretera tiene una consistencia de forma general regular pues todos lo valores de consistencia se encuentran en al rango de (10 a 20 km/h). Los puntos en color rojo se pueden clasificar como puntos de posible ocurrencia de accidentes por tener una velocidad de operación que excede a la velocidad de diseño en más de 20km/h, reflejando un cambio de velocidad inesperado producto del trazado geométrico de la carretera.

Figura 3.3 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



Los resultados del gráfico de perfil de velocidad se muestran en la figura 3.3, indican la diferencia de velocidad de operación respecto al de diseño y la diferencia de velocidades entre tramos sucesivos, mostrando la franja verde para los tramos en buen estado, amarilla regular y rojo en mal estado. El gráfico refleja la diferencia entre las velocidades (operación y diseño), y la evaluación entre elementos consecutivos está dentro del rango permisible, resultando de una evaluación regular al encontrarse en un rango entre 10 y 20 km/h en la mayoría de los casos.

En las figuras 3.4 y 3.5 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de la consistencia del tramo Remedios – Caibarién pero en el sentido contrario de la circulación. La forma de la evaluación es de la misma que la explicada anteriormente difiriendo únicamente en los resultados obtenidos, los cuales se muestran a continuación.

Según los resultados de la evaluación de la consistencia para diferencias de velocidades (operación y diseño) es de 15.20 (expresión 2.7) siendo el mismo regular, para tramos consecutivos el valor obtenido es de 11.50 (expresión 2.8) siendo regular y la velocidad de operación general de la vía es de 75.20 (expresión 2.9).

La carretera tiene una consistencia de forma general regular pues todos los valores de consistencia se encuentran en el rango de (10 a 20 km/h).

Figura 3.4 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia

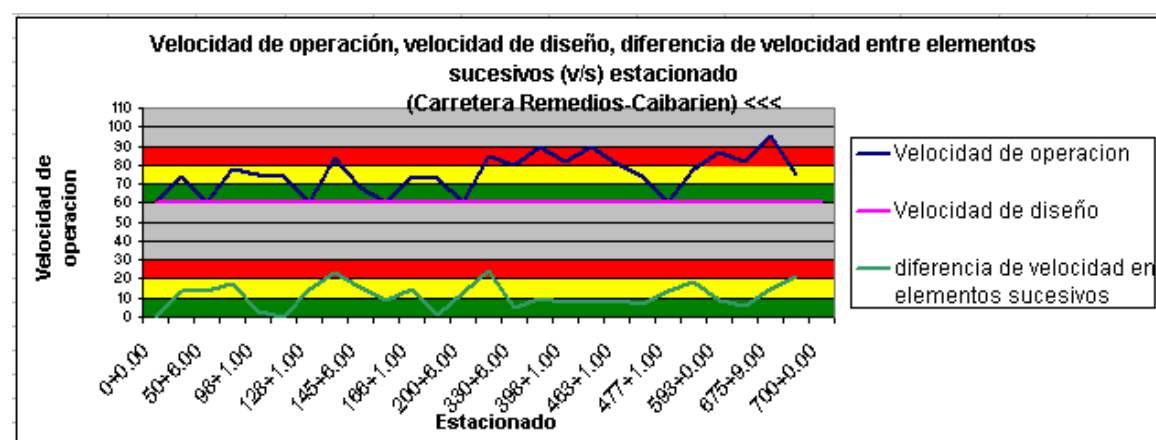
Carretera Circuito Norte (Tramo Remedios - Caibarien) Dirección de tránsito <<<																							
Tramo	Planta				Perfil					Condicion	Valor de A	Resultado de B/R	VOP (A-B/R)	Vop-Vp	ΔVOP	L de tramo	V(operacion) Long.	Estado de la carreter	Estado de la carrete				
	Tipo	Estacion		Radio (m)	Pend (%)	Estacion		Lv	Kv														
		Inicial	Final			Inicial	Final																
1	recta	0	28+100	0	12	0	28+100		0	9	60	0,00	60,00	0,00	0,00	281,00	16860,00	0,000	0,00				
2	curva	28+100	50+6,00	452,3	1,2	28+100	50+6,00	0	0	3	77,212	3,17	74,04	14,04	14,04	225,00	16658,55	3158,55	3158,55				
3													9	60	0,00	60,00	0,00	14,04	100,00	6000,00	0,00	1403,80	
4														8	97,425	19,81	77,62	17,62	17,62	375,00	29105,98	6605,98	6605,98
5	recta	50+6,00	115+6,00	0	0,7	98+1,00	115+6,00	40	0,062	7	86,016	11,22	74,80	14,80	2,82	175,00	13089,37	2589,37	493,42				
6	curva	115+6,00	128+100	511,6	0,7	115+6,00	128+1,00	0	0	3	77,212	2,81	74,41	14,41	0,39	125,00	9300,74	1800,74	48,81				
7													9	60	0,00	60,00	0,00	14,41	25,00	1500,00	0,00	360,15	
8														8	97,425	13,74	83,69	23,69	23,69	150,00	12552,97	3552,97	3552,97
9	curva	145+6,00	160+6,00	162,2	0,53	145+6,00	160+6,00	0	0	3	77,212	8,85	68,36	8,36	15,33	150,00	10254,18	1254,18	2298,79				
10					0,53	160+6,00	166+1,00			9	60	0,00	60,00	0,00	8,36	55,00	3300,00	0,00	459,87				
11	recta	160+6,00	175+6,00	0	2,1	166+1,00	175+6,00	80	0,064	7	86,016	11,58	74,43	14,43	14,43	95,00	7071,28	1371,28	1371,28				
12	curva	175+6,00	200+6,00	349,3	2,1	175+6,00	200+6,00	0	0	3	77,212	4,11	73,10	13,10	1,33	250,00	18275,52	3275,52	333,11				
13													9	60	0,00	60,00	0,00	13,10	1130,00	67800,00	0,00	14805,34	
14														8	97,425	12,78	84,64	24,64	24,64	170,00	14389,64	4189,64	4189,64
15														7	86,016	5,88	80,13	20,13	4,51	350,00	28047,17	7047,17	1578,57
16														8	97,425	7,67	89,76	29,76	9,62	325,00	29171,02	9671,02	3127,22
17														7	86,016	4,52	81,49	21,49	8,27	200,00	16298,40	4298,40	1653,00
18														8	97,425	7,67	89,76	29,76	8,27	450,00	40390,64	13390,64	3719,25
19					recta	200+6,00	467+1,00	0	0,51	463+1,00	467+1,00	40	0,03	7	86,016	5,43	80,59	20,59	9,17	40,00	3223,49	823,49	366,79
20					curva	467+1,00	477+1,00	409,3	0,51	467+1,00	477+1,00	0	0	3	77,212	3,51	73,70	13,70	6,88	100,00	7370,46	1370,46	688,28
21													9	60	0,00	60,00	0,00	13,70	401,00	24060,00	0,00	5495,52	
22														8	97,425	19,17	78,25	18,25	18,25	758,00	59317,24	13837,24	13837,24
23														8	97,425	10,54	86,88	26,88	8,63	719,00	62467,77	19327,77	6202,47
24														7	86,016	4,52	81,49	21,49	5,39	110,00	8964,12	2364,12	532,84
25	recta	477+1,00	689+9,00	0					0,5	675+9,00	689+9,00	40	0,005	8	97,425	1,60	95,83	35,83	14,34	140,00	13415,85	5015,85	2006,97
26	curva	689+9,00	700+0,00	573	0,5	689+9,00	700+0,00	0	0	3	77,212	2,51	74,71	14,71	21,12	101,00	7545,37	1485,37	2133,21				
																7000,00	526429,74	106429,74	80483,05				

$$E_r = \left(\frac{\sum (V_{s(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{L_t} \right) \quad 15,20$$

$$E_v = \left(\frac{\sum (\Delta V_{s(i)}) L(i)}{L_t} \right) \quad 11,50$$

$$E_v = \left(\frac{\sum (V_{s(i)}) L(i)}{L_t} \right) \quad 75,20$$

Figura 3.5 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.





En la tabla 3.9 se muestran los resultados de la evaluación general para los tramos con problemas de accidentalidad en la provincia para un sentido de circulación, obteniéndose una clasificación para las diferencias de velocidades (operación y diseño), diferencias de velocidades entre elementos sucesivos, velocidad de operación de la vía y la clasificación general de la carretera evaluada. A partir de esta clasificación se puede terminar cual vía presenta mayor problema en su trazado y establecer un orden de prioridad para las mismas.

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

Tramos de carreteras	Long vía (m)	Evaluación general ($V_{85} - V_d$)		Evaluación general (ΔV_{85})		Evaluación general (V_{85})		Clacif.
Remedios – Caibarién	7000	18.07	R	10.09	R	78.07	R	Regular
Santa Clara - Hatillo	10100	13.69	R	14.48	R	73.69	R	Regular
Hatillo - Cifuentes	17040	16.47	R	12.01	R	76.47	R	Regular
Santa Clara - Esperanza	13902	14.80	R	10.99	R	74.80	R	Regular
Santa Clara - UCLV	6720	17.18	R	12.77	R	77.18	R	Regular

En la tabla 3.8 se muestran los resultados de la evaluación general para los tramos con problemas de accidentalidad en la provincia en sentido contrario de la circulación, obteniéndose una clasificación para las diferencias de velocidades (operación y diseño), diferencias de velocidades entre elementos sucesivos, velocidad de operación de la vía y la clasificación general de la carretera evaluada. A partir de esta clasificación se puede terminar cual vía presenta mayor problema en su trazado y establecer un orden de prioridad para las mismas.

Tabla 3.8 Resumen de la evaluación de la consistencia del trazado <<<

Tramos de carreteras	Long vía (m)	Evaluación general ($V_{85} - V_d$)		Evaluación general (ΔV_{85})		Evaluación general (V_{85})		Clacif.
Remedios – Caibarién	7000	15.20	R	11.50	R	75.20	R	Regular
Santa Clara - Hatillo	10100	14.32	R	9.09	B	74.32	R	Regular
Hatillo - Cifuentes	17040	19.68	R	16.41	R	79.68	R	Regular
Santa Clara - Esperanza	13902	11.94	R	14.20	R	71.94	R	Regular
Santa Clara - UCLV	6720	13.27	R	12.75	R	73.08	R	Regular



La presente evaluación tiene gran importancia ya que es capaz de evaluar y definir el estado de un trazado a partir de los parámetros geométricos de la carretera seleccionada, además se establece un orden de prioridad de las vías evaluadas en caso de un posible mejoramiento de sus trazados. La norma cubana NC 53 02 1986 no tiene ninguna consideración en la que tenga presente el problema de la inconsistencia del trazado para las vías rurales de dos carriles, con este método no solo se puede evaluar vías existentes sino también nuevos trazados que puedan acometerse y determinar si el mismo realizado es consistente.



Conclusiones parciales:

- ❖ El estudio de velocidad se realizó en varias vías de interés nacional con el pavimento en buen estado en la zona a estudiar y con diferentes tipos de condiciones para lograr abarcar la mayor cantidad de características en las vías cubanas.
- ❖ Se logró el perfeccionamiento de los modelos del perfil de velocidad, los cuales responden a las características y condiciones de la provincia de Villa Clara, quedando conformado de esta forma el Modelo FC.
- ❖ Se demostró que para las condiciones de la provincia era necesario crear un modelo que evaluara de forma independiente las curvas horizontales en pendiente y rampa considerando el tipo de terreno en que se encuentran.
- ❖ Se realizó la evaluación de la consistencia para cada uno de los tramos seleccionados con problemas de accidentalidad en la provincia de Villa Clara, obteniéndose la evaluación general y la velocidad promedio general de los tramos estudiados para las diferentes combinaciones de alineamientos en planta y perfil.



CONCLUSIONES



CONCLUSIONES:

En la presente investigación se puede llegar a las siguientes conclusiones, luego de perfeccionar los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para las carreteras rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara, teniendo en cuenta las combinaciones de alineamientos existentes para el territorio:

1. Se ha obtenido un modelo FC perfeccionado, el cual responde de una mejor forma a las condiciones de alineamiento en planta y perfil existente en la provincia.
2. El modelo FC perfeccionado supera al anterior ya que considera las combinaciones de alineación horizontal acorde al tipo de terreno, establece para los radios de curvatura un rango que garantiza una uniformidad de los estudios realizados, se obtiene adecuadamente el parámetro (K_v), al considerar la longitud mínima deseable en curvas verticales y se calcula correctamente la velocidad de operación o percentil 85 de las mediciones obtenida en el terreno.
3. El comportamiento de los nuevos modelos obtenidos 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, llegando a la conclusión de que cada país debe establecer sus propios modelos con las características específicas de sus carreteras.
4. La evaluación de la consistencia se realizó en cinco tramos de carreteras para ambos sentidos de circulación, los que suman 63 Km de vía, obteniéndose regular en todos los tramos evaluados. Este resultado está condicionado a que los últimos años se han introducido cambios tecnológicos en los automóviles, tales como sus dimensiones (ancho y largo), velocidad, sistema de frenado, iluminación, bolsas de aire, aplicación de la computación que permiten viajar a mayor velocidad y con la sensación de mayor



seguridad, mientras que las carreteras construidas hace más de 70 u 80 años, fueron diseñadas para los parámetros de aquéllos vehículos y normas, utilizándoos por los vehículos y chóferes actuales.

Por consiguiente, se puede afirmar que el objetivo de la investigación ha sido cumplido.



RECOMENDACIONES



1. Aplicarlo a una mayor cantidad de tramos del territorio y en el país.
2. Realizar estudios posteriores en otros territorios para la condición de alineamiento en curvas horizontales (pendiente o rampa), para pendientes entre ± 9 a ± 4 con radios menores de 80 metros, las cuales no existen en la provincia de Villa Clara.
3. Presentar los estudios realizados en esta investigación al Centro Provincial de Vialidad y al Centro Provincial de Ingeniería del Tránsito para emplear los modelos obtenidos con el fin de predecir la velocidad de operación de los vehículos en las condiciones estudiadas en ellos.
4. Aplicarlo a nuevos proyectos para evaluar la consistencia del trazado, lo que traería grandes beneficios económicos.
5. El procedimiento establecido puede ser aplicado para el establecimiento de los modelos en otros tipos de vías, tales como vías urbanas, autopista, intersecciones semaforizadas, etc.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA:

- ❖ Abreu, L. (2009), Modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para las vías rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara, de la provincia de Villa Clara. Santa Clara, UCLV. Trabajo de diploma.
- ❖ 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.
- ❖ Benítez, R (1986), Trazado de Vías, La Habana, Cuba.
- ❖ 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 2009 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.
- ❖ Raoul, L. (2009), Evaluación de la seguridad vial a partir de la consistencia del trazado de la carretera de la provincia de Villa Clara. Santa Clara, UCLV. Trabajo de diploma.
- ❖ 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.

Páginas consultadas de Internet:

- ❖ Evaluation of design consistency methods for two lane rural highways (2008). <http://www.tfhr.gov>, fecha de acceso: 7 de marzo 2010
- ❖ Instituto Mexicano del Transporte (2008). <http://www.imt.mx>, fecha de acceso: 23 de febrero 2010.
- ❖ Islam y Seneviratne (1994) La coherencia del diseño y un modelo interactivo para diseñar caminos más seguros (2002). <http://www.seguridad-vial.com>, fecha de acceso: 5 de abril 2010.



- ❖ ITE (2008). <http://www.ite.org>, fecha de acceso: 3 de marzo 2010.
- ❖ Leisch (1997) Seguridad vial y velocidad (2009). <http://www.cinurog.mx>, fecha de acceso: 12 de abril 2010
- ❖ McFadden y Elefteriadou (1997) 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: 30 de marzo 2010.
- ❖ Polus-Matar-Habib (2000) Safety and operational effects of geometric design features for two lane rural highways workshop (2008). <http://www.nhi.fhwa.dot.gov>, fecha de acceso: 25 de marzo 2010.
- ❖ Speed Prediction For Two –Lane Rural Highways (2000). www.tfhrc.gov/safety/ihsqm/ihsdm.htm , fecha de acceso: 25 de febrero 2010.



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 -4%)	1	503+7.03	516 +0.11	Santa Clara -Manicaragua
2-Curva horizontal en pend. (-4% a 0%)	6	372+936	393+5.10	Santa Clara -Manicaragua
		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
3-Curva horizontal en ramp. (0% a 4%)	6	372+936	393+5.10	Santa Clara -Manicaragua
		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
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	
		503+7.03	516+0.11	
		31486+0.00	31505+0.00	Carretera Central tramo de Santa Clara – Placetas
5- Curva Horizontal con acuerdo conv.	2	645+8.50	669+762	Santa Clara -Manicaragua
		475+7.03	491+9.89	
6-Curva Horizontal con acuerdo cónc.	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



Anexo 2.2 Ubicación de los sitios estudiados.

Curvas con radios (500 – 201) 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	
		31486+0.00	31505+0.00	Carretera Central tramo de Santa Clara – Placetas
2-Curva horizontal en pend. (-4% a 0%)	9	570+0.59	597+9.88	Santa Clara -Manicaragua
		545+4.13	551+2.99	Santa Clara -Sagua
		31642+0.00	31647+4.45	Carretera Central tramo de 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%)	9	570+0.59	597+9.88	Santa Clara -Manicaragua
		545+4.13	551+2.99	Santa Clara -Sagua
		31642+0.00	31647+4.45	Carretera Central tramo de 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	
4-Curva horizontal en ramp. (4% a 9%)	4	30762+0.00	30768+0.00	Carretera Central tramo de Santa Clara – Placetas
		1418+0.17	1442+3.27	Santa Clara -Manicaragua
		1267+3.97	1288+8.91	
		1572+8.83	1591+2.14	
5- Curva Horizontal con acuerdo convexo	7	31560+0.00	31572+0.00	Carretera Central tramo de Santa Clara – Placetas
		429+7.03	450+8.19	Santa Clara -Manicaragua
		31290+0.00	31320+0.00	Carretera Central tramo de Santa Clara – Placetas



		126+7.98	137+3.12	Santa Clara – Entronque Vueltas
		1295+7.38	1307+7.30	Santa Clara -Manicaragua
		1223+4.23	1243+2.29	
		1151+9.00	1243+2.29	
6-Curva Horizontal con acuerdo cóncavo	4	2882+1.96	2894+6.65	Santa Clara – Entronque Vueltas
		570+0.59	597+9.88	Santa Clara -Manicaragua
		431+0.86	442+2.74	Santa Clara – Entronque Vueltas
		413+0.86	417+3.65	

Anexo 2.3 Ubicación de los sitios estudiados.

Curvas con radios (200 – 81) metros				
Variante	N	Est. Inicial	Est. Final	Carretera
1-Curva horizontal en pend. (-9% a -4%)	2	30762+0.00	30768+0.00	Carretera Central tramo de Santa Clara – Placetras
		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	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
4-Curva horizontal en ramp. (4% a 9%)	0	0	0	0
5- Curva Horizontal con acuerdo convexo	0	0	0	0
6-Curva Horizontal con acuerdo cóncavo	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 con radios menores (80) metros

Variante	N	Est. Inicial	Est. Final	Carretera
1-Curva horizontal en pend. (-9% a -4%)	0	0	0	0
2-Curva horizontal en pend. (-4% a 0%)	0	0	0	0
3-Curva horizontal en ramp. (0% a 4%)	0	0	0	0
4-Curva horizontal en ramp. (4% a 9%)	0	0	0	0
5- Curva Horizontal con acuerdo convexo	0	0	0	0
6-Curva Horizontal con acuerdo cóncavo	0	0	0	0

Anexo 2.5 Ubicación de los sitios estudiados.

Curvas Verticales

Variante	N	Est. Inicial	Est. Final	Carretera
7-Recta con acuerdo convexo	7	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	Santa Clara -Manicaragua
		855+0.00	867+0.00	
8-Recta con acuerdo cóncavo	8	760+0.00	772+0.00	Santa Clara – Santo Domingo
		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	Santa Clara -Manicaragua
		1273+0.00	1281+0.00	
		1625+0.00	1637+0.00	Santa Clara – Santo Domingo
		836+0.00	854+0.00	



Anexo 3.1 Mediciones obtenidas en el terreno por condiciones

Condición - 1 Curva horizontal en pendiente (-9% a -4%)					
Est. Inicial	Est. final	Radio (m)	1/Radio	V(opr)	Carretera
30762+0.00	30768+0.00	115	0,00870	70,5	Santa Clara - Placetas
1267+3.97	1288+8.91	256	0,00391	71,6	Santa Clara - Manicaragua
1418+0.17	1442+3.27	335	0,00299	72,3	Santa Clara - Manicaragua
31486+0.00	31505+0.00	470	0,00213	73,6	Santa Clara - Placetas
503+7.03	516+0.11	790	0,00127	75,7	Santa Clara - Manicaragua
401+6.31	420+0.77	405	0,00247	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 (m)	1/Radio	V(opr)	Carretera
44+8.34	57+5.04	140	0,00714	69,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
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 Vueltas
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 Vueltas
1740+0.00	7555+0.00	390	0,00256	73,1	Santa Clara - Entronque de Vueltas
1835+0.00	1849+0.00	430	0,00233	73,4	Santa Clara - Entronque de Vueltas
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 Vueltas
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 (m)	1/Radio	V(opr)	Carretera
44+8.34	57+5.04	140	0,00714	68,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
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 Vueltas
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 Vueltas
1740+0.00	7555+0.00	390	0,00256	72,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
1835+0.00	1849+0.00	430	0,00233	72,8	Santa Clara - Entronque de Vueltas
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 Vueltas
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

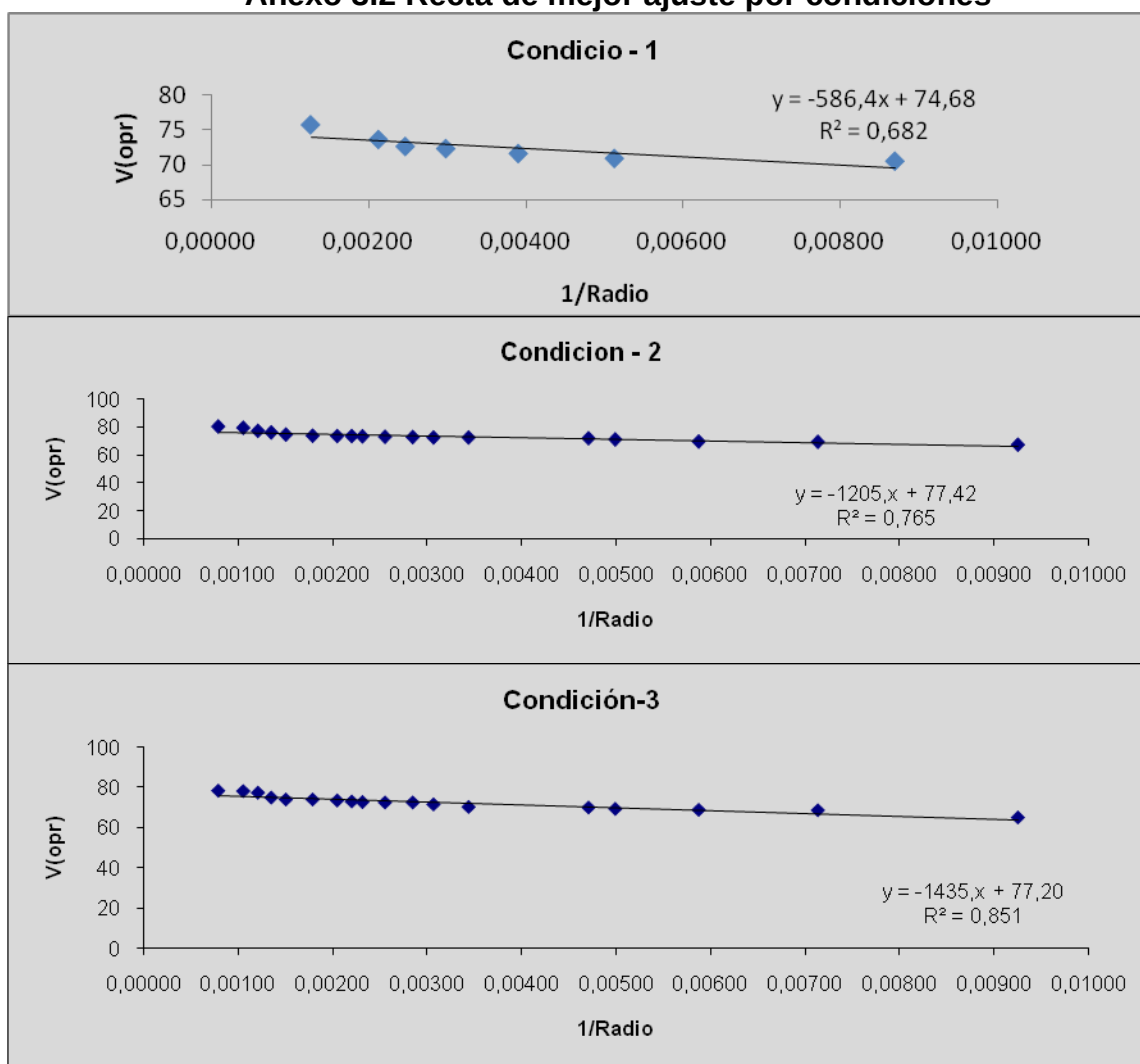


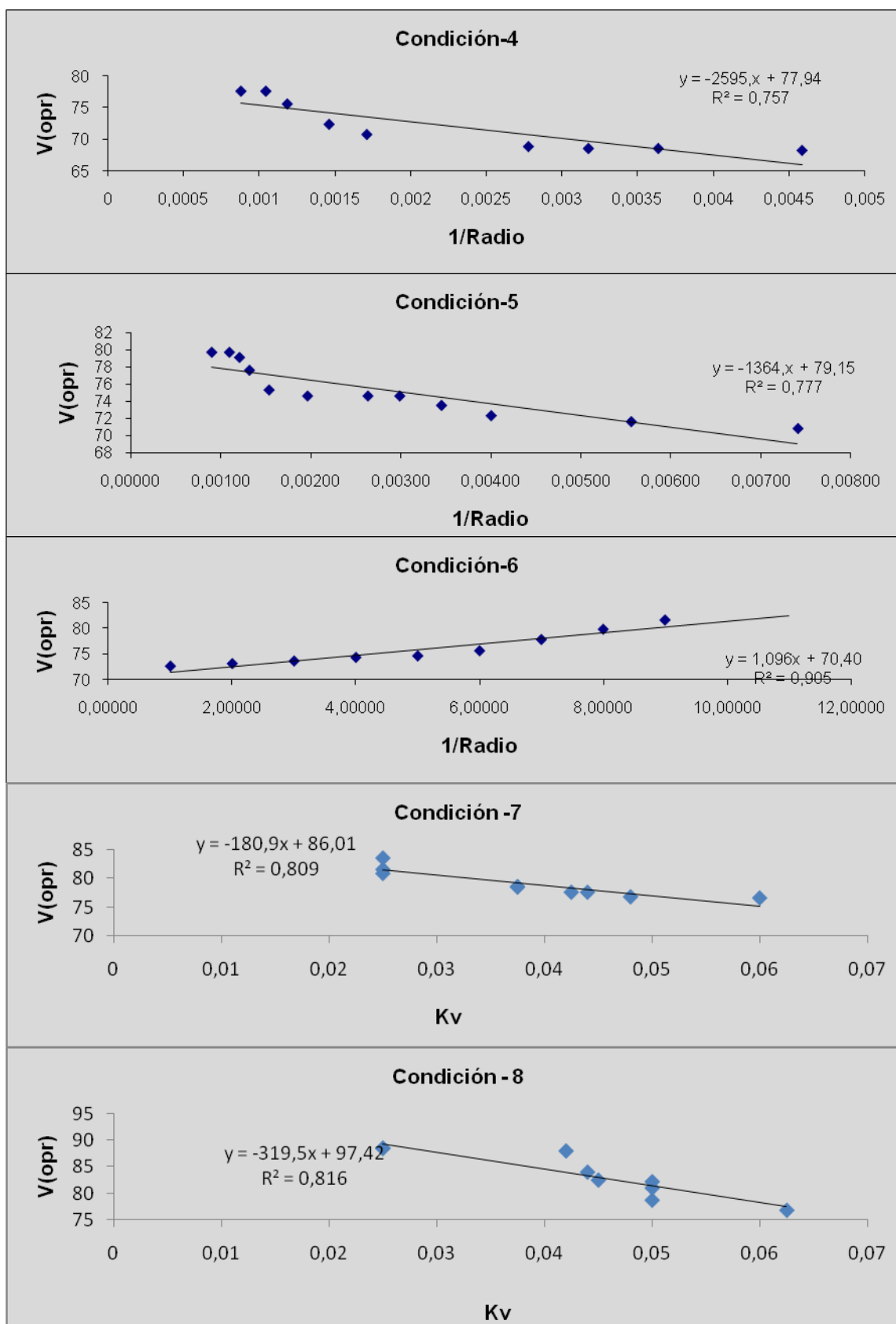
Condición - 4 Curva horizontal en rampa (4% a 9%)					
Est. Inicial	Est. final	Radio (m)	1/Radio	V(opr) Lugar	Carretera
30762+0.00	30768+0.00	218	0,00459	68,3	Santa Clara - Placetas
1267+3.97	1288+8.91	315	0,00317	68,6	Santa Clara - Manicaragua
1418+0.17	1442+3.27	275	0,00364	68,6	Santa Clara - Manicaragua
31486+0.00	31505+0.00	1140	0,00088	77,6	Santa Clara - Placetas
503+7.03	516+0.11	960	0,00104	77,6	Santa Clara - Manicaragua
1484+6.73	1517+6.28	845	0,00118	75,6	Santa Clara - Manicaragua
149+6.70	176+5.34	685	0,00146	72,4	Santa Clara - Manicaragua
1572+8.83	1591+2.14	360	0,00278	68,9	Santa Clara - Manicaragua
645+8.50	669,762	585	0,00171	70,8	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 5 Curva Horizontal con acuerdo convexo					
Est. Inicial	Est. final	Radio (m)	1/Radio	V(opr) Lugar	Carretera
363+0.50	363+5.97	135	0,00741	70,8	Santa Clara - Entronque de Vueltas
487+8.28	495+7.37	180	0,00556	71,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
389+6.00	404+4.00	760	0,00132	77,6	Santa Clara - Encrucijada
905+4.00	922+2.26	510	0,00196	74,6	Santa Clara - Encrucijada
2882+1.96	2894+6.65	250	0,00400	72,3	Santa Clara - Entronque de Vueltas
413+0.68	417+3.65	380	0,00263	74,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
431+0.86	442+2.74	335	0,00299	74,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
570+0.59	597+9.88	290	0,00345	73,5	Santa Clara - Manicaragua
1006+2.00	1022+0.00	1115	0,00090	79,7	Santa Clara - Encrucijada
1780+9.00	1809+1.15	830	0,00120	79,1	Santa Clara - Encrucijada
1531+7.71	1550+0.00	915	0,00109	79,7	Santa Clara - Encrucijada
1484+6.73	1517+6.28	652	0,00153	75,3	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 6 Curva Horizontal con acuerdo cóncavo					
Est. Inicial	Est. final	Radio (m)	1/Radio	V(opr)	Carretera
31560+0.00	31572+0.00	220	0,00455	72,6	Santa Clara - Placetas
126+7.98	137+3.12	335	0,00299	74,3	Santa Clara - Entronque de Vueltas
31290+0.00	31320+0.00	285	0,00351	73,6	Santa Clara - Placetas
1151+9.00	1243+2.29	480	0,00208	77,8	Santa Clara - Manicaragua
1295+7.38	1307+7.30	395	0,00253	74,6	Santa Clara - Manicaragua
429+7.03	450+8.19	250	0,00400	73,1	Santa Clara - Manicaragua
1223+4.23	1243+2.29	441	0,00227	75,6	Santa Clara - Manicaragua
645+8.50	669,762	585	0,00171	79,8	Santa Clara - Manicaragua
472+7.03	4919,89	1156	0,00087	81,6	Santa Clara - Manicaragua
Condición - 7 Recta con acuerdo convexo					
Est. Inicial	Est. final	Kv	Lv	V(opr)	Carretera
2782+6.00	2786+6.00	0,0375	40	83,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
2383+0.00	2387+0.00	0,025	40	76,8	Santa Clara - Entronque de Vueltas
2440+0.00	2444+0.00	0,025	40	78,5	Santa Clara - Entronque de Vueltas
2095+6.00	2103+6.00	0,025	80	76,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
1930+0.00	1938+0.00	0,0375	80	77,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
1273+0.00	1281+0.00	0,044	80	77,6	Santa Clara - Manicaragua
1625+0.00	1637+0.00	0,0425	120	81,6	Santa Clara - Manicaragua
836+0.00	854+0.00	0,06	80	78,6	Santa Clara - Encrucijada
836+0.00	854+0.00	0,048	180	80,9	Santa Clara - Santo Domingo
Condición - 8 Recta con acuerdo cóncavo					
Est. Inicial	Est. final	Kv	Lv	V(opr)	Carretera
869+0.00	873+0.00	0,05	40	78,8	Santa Clara - Entronque de Vueltas



1142+8.00	1146+8.00	0,05	40	81,1	Santa Clara - Entronque de Vueltas
2869+6.00	2873+6.00	0,025	40	88,6	Santa Clara - Entronque de Vueltas
2010+0.00	2014+0.00	0,05	40	76,9	Santa Clara - Entronque de Vueltas
1804+0.00	1812+0.00	0,025	80	82,3	Santa Clara - Entronque de Vueltas
855+0.00	867+0.00	0,045	120	88,6	Santa Clara - Manicaragua
836+0.00	864+0.00	0,044	80	84,1	Santa Clara - Encrucijada
760+0.00	772+0.00	0,042	120	82,6	Santa Clara - Santo Domingo
10+0.00	85+0.00	0,0625	80	88,1	Santa Clara - Encrucijada

Anexo 3.2 Recta de mejor ajuste por condiciones





Anexo 3.3 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	Change Statistics	Durbin-Watson
					Sig. F Change	
1	.826 ^a	.682	.618	1.09535	.022	1.967
Coefficients ^a						
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	74.685	.797		.000		
INVERSODE.R	-586.299	179.096	-.826	.022	1.000	1.000
Collinearity Diagnostics ^a						
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	INVERSODER	
1	1	1.854	1.000	.07	.07	
	2	.146	3.568	.93	.93	
Condición - 2 Curva horizontal en pendiente (-4% a 0%)						
Model Summary ^b						
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics	Durbin-Watson
					Sig. F Change	
1	.875 ^a	.766	.751	1.59122	.000	2.034
Coefficients ^a						
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	77.430	.658		.000		
INVERSODE.R	-1206.266	166.788	-.875	.000	1.000	1.000
Collinearity Diagnostics ^a						
Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	INVERSODER	



1	1	1.821	1.000	.09	.09
	2	.179	3.194	.91	.91

Condición - 3 Curva horizontal en rampa (0% a 4%)

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics	Durbin-Watson
					Sig. F Change	
1	.923 ^a	.851	.842	1.43043	.000	2.001

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	77.212	.591		.000		
INVERSODE.R	-1435.599	149.935	-.923	.000	1.000	1.000

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions	
				(Constant)	INVERSODE.R
1	1	1.821	1.000	.09	.09
	2	.179	3.194	.91	.91

Condición - 4 Curva horizontal en rampa (4% a 9%)

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics	Durbin-Watson
					Sig. F Change	
1	.870 ^a	.758	.723	2.06941	.002	2.095

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	77.937	1.436		.000		
INVERSODE.R	-2593.417	554.418	-.870	.002	1.000	1.000

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions
-------	-----------	------------	-----------------	----------------------



			(Constant)	INVERSODER
1	1	1.877	1.000	.06
	2	.123	3.908	.94

Condición - 5 Curva Horizontal con acuerdo convexo

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics	Durbin-Watson
					Sig. F Change	
1	.882 ^a	.778	.755	1.53596	.000	2.064

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	79.151	.790		.000		
INVERSODE.R	-1363.410	230.551	-.882	.000	1.000	1.000

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions	
				(Constant)	INVERSODE.R
1	1	1.828	1.000	.09	.09
	2	.172	3.257	.91	.91

Condición - 6 Curva Horizontal con acuerdo cóncavo

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics	Durbin-Watson
					Sig. F Change	
1	.928 ^a	.861	.841	1.25689	.000	1.969

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	82.761	1.124		.000		
INVERSODE.R	-2523.403	382.903	-.928	.000	1.000	1.000

Collinearity Diagnostics^a



Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions	
				(Constant)	INVERSODER

Condición - 7 Recta con acuerdo convexo

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics	Durbin-Watson
					Sig. F Change	
1	.900 ^a	.810	.783	1.12291	.001	2.047

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	86.016	1.323		.000		
Paramt.Kv	-180.961	33.155	-.900	.001	1.000	1.000

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions	
				(Constant)	Paramt.Kv
1	1	1.959	1.000	.02	.02
	2	.041	6.926	.98	.98

Condición - 8 Recta con acuerdo cóncavo

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics	Durbin-Watson
					Sig. F Change	
1	.903 ^a	.816	.790	1.96680	.001	2.000

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta		B	Std. Error
(Constant)	97.425	2.591		.000	97.425	2.591
Paramt.Kv	-319.501	57.340	-.903	.001	-319.501	57.340

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimensi	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions
-------	---------	------------	-----------------	----------------------



on			(Constant)	Paramt.Kv
1	1	1.967	1.000	.02
	2	.033	7.777	.98

Anexo 3.4 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	69.59	0.91	Santa Clara - Placetas
1267+3.97	1288+8.91	256	71.6	72.39	-0.79	Santa Clara - Manicaragua
1418+0.17	1442+3.27	335	72.3	72.93	-0.63	Santa Clara - Manicaragua
31486+0.00	31505+0.00	470	73.6	73.44	0.16	Santa Clara - Placetas
503+7.03	516+0.11	790	75.7	73.94	1.76	Santa Clara - Manicaragua
401+6.31	420+0.77	405	72.6	73.24	-0.64	Santa Clara - Manicaragua
942+2.30	959+7.47	195	70.9	71.68	-0.78	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	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	72.80	-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
32224+0.00	32268+0.00	735	75.1	75.26	-0.16	Santa Clara - Placetas
596+4.62	609+5.57	108	64.9	63.92	0.98	Santa Clara - Ent de Vuelt
268+2.91	302+5.38	1250	78.6	77.06	1.54	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	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 - 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	69.6	68.81	0.79	Santa Clara - Ent de Vuelt.
32064+0.00	32088+0.00	660	74.6	75.60	-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	73.72	-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

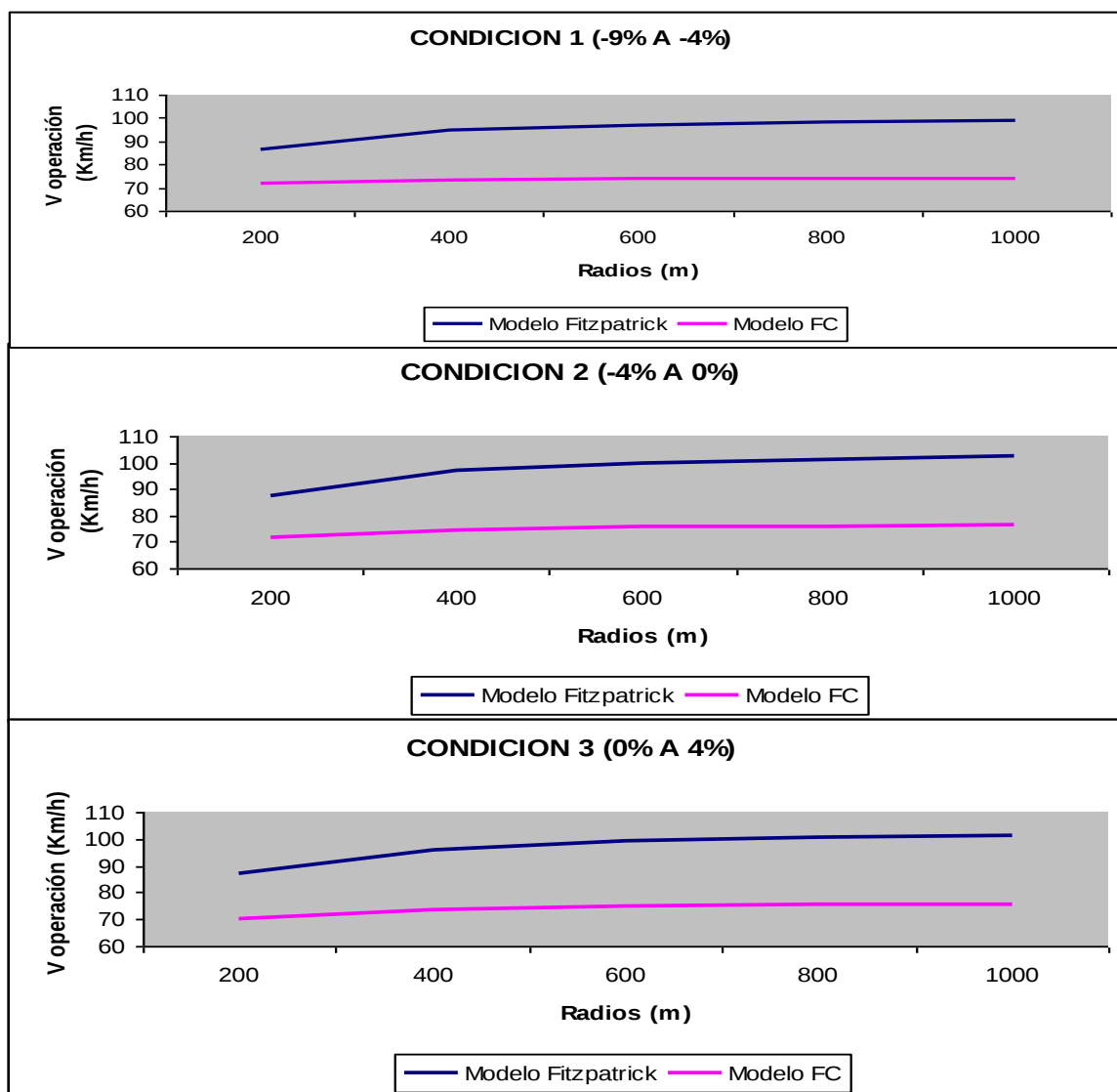


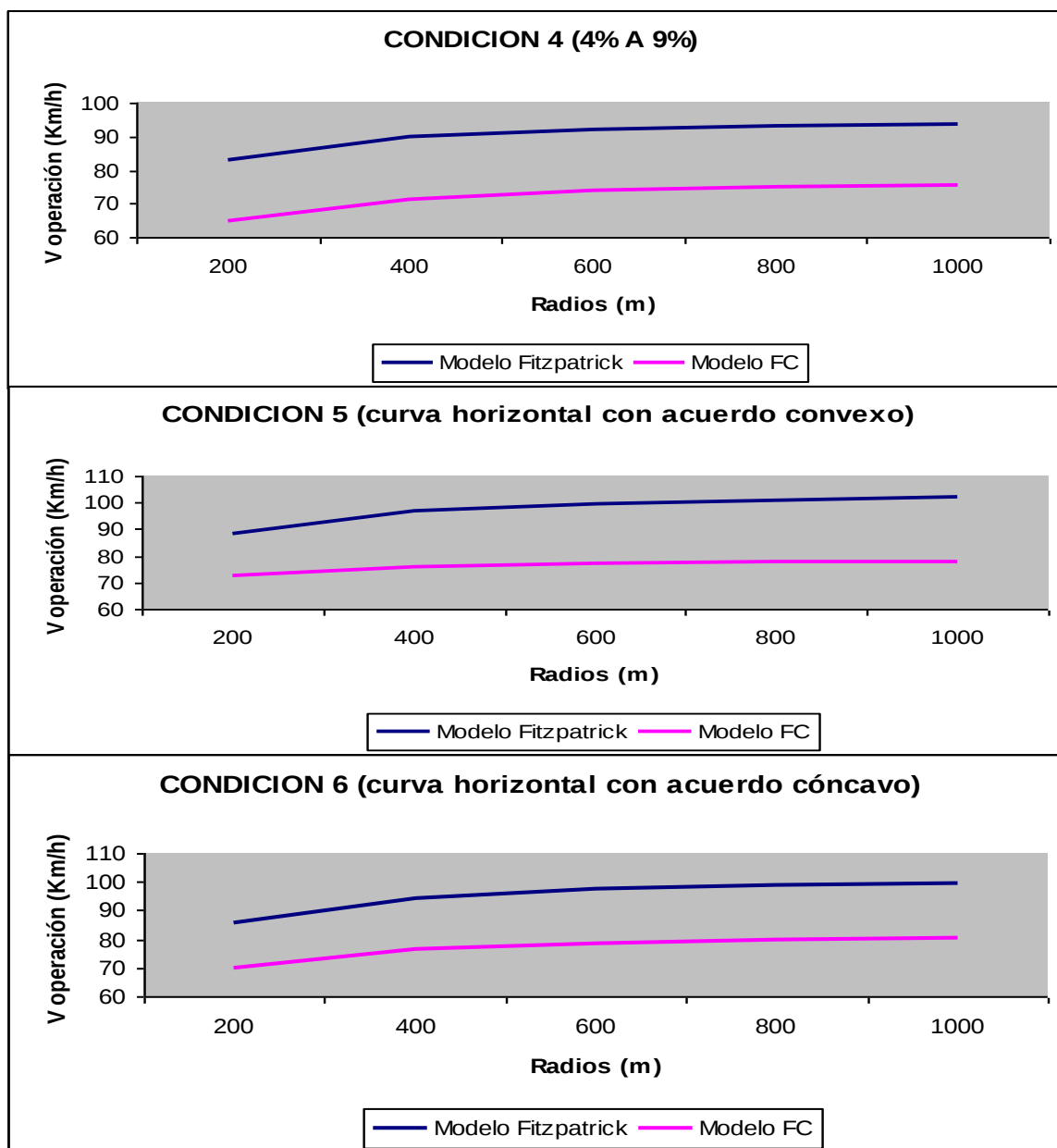
1740+0.00	7555+0.00	390	73.1	74.34	-1.24	Santa Clara – Ent de Vuelt
1835+0.00	1849+0.00	430	73.4	74.62	-1.22	Santa Clara – Ent de Vuelt
31200+0.00	31223+0.00	940	79.3	77.15	2.15	Santa Clara - Placetas
596+4.62	609+5.57	108	67.6	66.26	1.34	Santa Clara - Ent de Vuelt
32224+0.00	32268+0.00	735	76.1	75.79	0.31	Santa Clara - Placetas
268+2.91	302+5.38	1250	80.2	78.46	1.74	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	71.40	-0.10	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	218	68.3	66.04	2.26	Santa Clara - Placetas
1267+3.97	1288+8.91	315	68.6	69.70	-1.10	Santa Clara - Manicaragua
1418+0.17	1442+3.27	275	68.6	68.51	0.09	Santa Clara - Manicaragua
31486+0.00	31505+0.00	1140	77.6	75.66	1.94	Santa Clara - Placetas
503+7.03	516+0.11	960	77.6	75.24	2.36	Santa Clara - Manicaragua
1484+6.73	1517+6.28	845	75.6	74.87	0.73	Santa Clara - Manicaragua
149+6.70	176+5.34	685	72.4	74.15	-1.75	Santa Clara - Manicaragua
1572+8.83	1591+2.14	360	68.9	70.73	-1.83	Santa Clara - Manicaragua
645+8.50	669.762	585	70.8	72.50	-1.70	Santa Clara - Manicaragua
30762+0.00	30768+0.00	218	68.3	66.04	2.26	Santa Clara - Placetas
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	70.8	69.05	1.75	Santa Clara - Ent de Vuelt
487+8.28	495+7.37	180	71.6	71.58	0.02	Santa Clara - Ent de Vuelt
389+6.00	404+4.00	760	77.6	77.36	0.24	Santa Clara -Encrucijada
905+4.00	922+2.26	510	74.6	76.48	-1.88	Santa Clara -Encrucijada
2882+1.96	2894+6.65	250	72.3	73.70	-1.40	Santa Clara - Ent de Vuelt
413+0.68	417+3.65	380	74.6	75.56	-0.96	Santa Clara - Ent de Vuelt
431+0.86	442+2.74	335	74.6	75.08	-0.48	Santa Clara - Ent de Vuelt
570+0.59	597+9.88	290	73.5	74.45	-0.95	Santa Clara - Manicaragua
1006+2.00	1022+0.00	1115	79.7	77.93	1.77	Santa Clara -Encrucijada
1780+9.00	1809+1.15	830	79.1	77.51	1.59	Santa Clara -Encrucijada
1531+7.71	1550+0.00	915	79.7	77.66	2.04	Santa Clara -Encrucijada
1484+6.73	1517+6.28	652	75.3	77.06	-1.76	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	72.6	71.29	1.31	Santa Clara - Placetas
126+7.98	137+3.12	335	74.3	75.23	-0.93	Santa Clara - Ent de Vuelt
31290+0.00	31320+0.00	285	73.6	73.91	-0.31	Santa Clara - Placetas
1151+9.00	1243+2.29	480	77.8	77.50	0.30	Santa Clara - Manicaragua
1295+7.38	1307+7.30	395	74.6	76.37	-1.77	Santa Clara - Manicaragua
429+7.03	450+8.19	250	73.1	72.67	0.43	Santa Clara - Manicaragua
1223+4.23	1243+2.29	441	75.6	77.04	-1.44	Santa Clara - Manicaragua



645+8.50	669.762	585	79.8	78.45	1.35	Santa Clara - Manicaragua
472+7.03	4919.89	1156	81.6	80.58	1.02	Santa Clara - Manicaragua
31560+0.00	31572+0.00	220	72.6	71.29	1.31	Santa Clara - Placetas
126+7.98	137+3.12	335	74.3	75.23	-0.93	Santa Clara - Ent de Vuelt
31290+0.00	31320+0.00	285	73.6	73.91	-0.31	Santa Clara - Placetas

Anexo 3.5 Comparación del modelo Fc con el Modelo de Fitzpatrick para curvas horizontales.



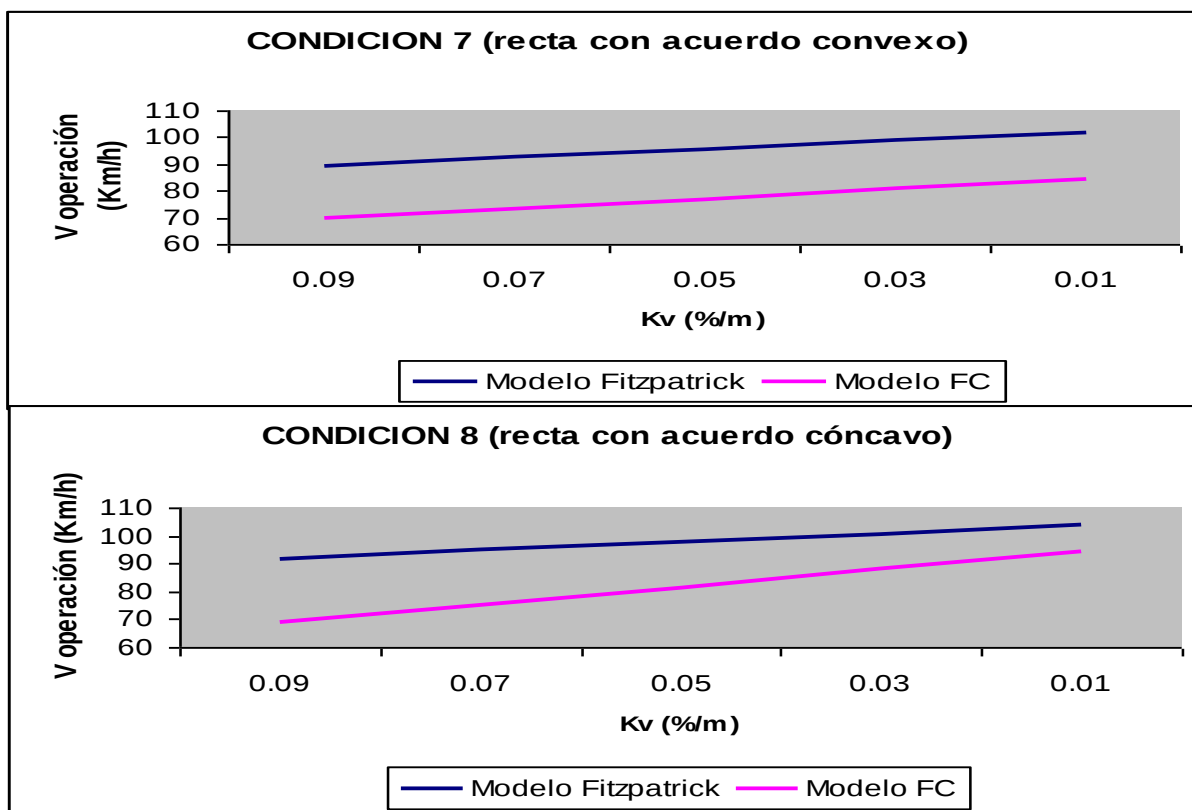




Anexo 3.6 Comprobación de los modelos para curvas verticales.

Est. Inicial	Est. Final	Kv	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
2782+6.00	2786+6.00	0.0375	83.6	85.46	-1.86	Santa Clara - Ent de Vuelta
2383+0.00	2387+0.00	0.025	76.8	76.68	0.12	Santa Clara - Ent de Vuelta
2440+0.00	2444+0.00	0.025	78.5	79.87	-1.37	Santa Clara - Ent de Vuelta
2095+6.00	2103+6.00	0.025	76.6	76.68	-0.08	Santa Clara - Ent de Vuelta
1930+0.00	1938+0.00	0.0375	77.6	79.24	-1.64	Santa Clara - Ent de Vuelta
1273+0.00	1281+0.00	0.044	77.6	77.00	0.60	Santa Clara - Manicaragua
1625+0.00	1637+0.00	0.0425	81.6	83.86	-2.26	Santa Clara - Manicaragua
760+0.00	790+0.00	0.06	78.6	78.28	0.32	Santa Clara - Encrucijada
Est. Inicial	Est. Final	Kv	V (opr) terreno	V (opr) modelo	Difer	Carretera
869+0.00	873+0.00	0.05	78.8	81.47	-2.67	Santa Clara - Ent de Vuelt
1142+8.00	1146+8.00	0.05	81.1	81.47	-0.37	Santa Clara - Ent de Vuelt
2869+6.00	2873+6.00	0.025	88.6	89.44	-0.84	Santa Clara - Ent de Vuelt
2010+0.00	2014+0.00	0.05	76.9	79.87	-2.97	Santa Clara - Ent de Vuelt
1804+0.00	1812+0.00	0.025	82.3	83.06	-0.76	Santa Clara - Ent de Vuelt
855+0.00	867+0.00	0.045	88.6	89.44	-0.84	Santa Clara - Manicaragua
836+0.00	864+0.00	0.044	84.1	83.38	0.72	Santa Clara - Encrucijada
760+0.00	772+0.00	0.042	82.6	84.02	-1.42	Santa Clara - Santo Domin
10+0.00	85+0.00	0.0625	88.1	87.05	1.05	Santa Clara - Encrucijada

Anexo 3.5 Comparación del modelo Fc con el Modelo de Fitzpatrick para curvas verticales.



Anexo 3.6 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

Carretera Circuito Norte (Tramo Remedios - Caibarien) Direccion de Transito >>>																		
Alineacion en Planta				Alineacion en Perfil					Condición	Valor de A	Resultado de B/R	YOP (A-B/R)	Yop-Vp	ΔYOP	L de tramo (m)	V(operacion)*Long.	Estado de la carretera	Estado de la carretera
Tipo	Estacion		Radio (m)	Pend (%)	Estacion		Lv	Kv										
	Inicial	Final			Inicial	Final												
curva	0+0.00	10+1.00	573	-0,5	0+0.00	10+1.00	0	0	2	77,43	2,11	75,32	15,32	0,00	101	7607,81	1547,81	0,00
recta	10+1.00	222+9.00	0	-0,5	10+1.00	35+1.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,32	250	15000,00	0,00	3831,21
				-0,3	35+1.00	107+0.00	40	0,05	8	97,425	15,98	81,45	21,45	21,45	719	58562,51	15422,51	15422,51
				-0,4	107+0.00	152+0.00	40	0,025	7	86,016	4,52	81,49	21,49	0,04	450	36671,39	9671,39	18,91
				-0,27	152+0.00	182+8.00	40	0,033	8	97,425	10,54	86,88	26,88	5,39	308	26759,49	8279,49	1659,96
				-0,51	182+8.00	222+9.00	40	0,06	8	97,425	19,17	78,25	18,25	8,63	401	31380,23	7320,23	3459,24
curva	222+9.00	232+9.00	409,3	-0,51	222+9.00	232+9.00	0	0	2	77,43	2,95	74,48	14,48	3,77	100	7448,29	1448,29	377,21
recta	232+9.00	499+4.00	0	-0,51	232+9.00	236+9.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,48	40	2400,00	0,00	579,31
				0,7	236+9.00	281+9.00	40	0,03	7	86,016	5,43	80,59	20,59	20,59	450	36264,23	9264,23	9264,23
				-0,25	281+9.00	301+9.00	40	0,024	8	97,425	7,67	89,76	29,76	9,17	200	17951,40	5951,40	1833,96
				0,75	301+9.00	334+4.00	40	0,025	7	86,016	4,52	81,49	21,49	8,27	325	26484,89	6984,89	2686,13
				-0,2	334+4.00	369+4.00	40	0,024	8	97,425	7,67	89,76	29,76	8,27	350	31414,94	10414,94	2892,75
				1,1	369+4.00	386+4.00	40	0,0325	7	86,016	5,88	80,13	20,13	9,62	170	13622,91	3422,91	1635,78
				-2,1	386+4.00	499+4.00	80	0,04	8	97,425	12,78	84,64	24,64	4,51	1130	95648,80	27848,80	5096,52
curva	499+4.00	524+4.00	349,3	-2,1	499+4.00	524+4.00	0	0	2	77,43	3,45	73,98	13,98	10,67	250	18494,15	3494,15	2667,09
recta	524+4.00	539+4.00	0	-2,1	524+4.00	533+9.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,98	95	5700,00	0,00	1327,78
				-0,53	533+9.00	539+4.00	80	0,064	7	86,016	11,58	74,43	14,43	14,43	55	4093,90	793,90	793,90
curva	539+4.00	554+4.00	162,2	-0,53	539+4.00	554+4.00	0	0	2	77,43	7,44	69,99	9,99	4,44	150	10498,96	1498,96	666,21
recta	554+4.00	571+9.00	0	-0,53	554+4.00	569+4.00			9	60	0,00	60,00	0,00	9,99	150	9000,00	0,00	1498,96
				-0,7	569+4.00	571+9.00	40	0,043	8	97,425	13,74	83,69	23,69	23,69	25	2092,16	592,16	592,16
curva	571+9.00	584+4.00	511,6	-0,7	571+9.00	584+4.00	0	0	2	77,43	2,36	75,07	15,07	8,61	125	9384,02	1884,02	1076,79
recta	584+4.00	649+4.00	0	-0,7	584+4.00	601+9.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,07	175	10500,00	0,00	2637,63
				-0,95	601+9.00	639+4.00	40	0,062	7	86,016	11,22	74,80	14,80	14,80	375	28048,66	5548,66	5548,66
				-1,2	639+4.00	649+4.00	40	0,062	8	97,425	19,81	77,62	17,62	2,82	100	7761,59	1761,59	281,95
curva	649+4.00	671+9.00	452,3	-1,2	649+4.00	671+9.00	0	0	2	77,43	2,67	74,76	14,76	2,85	225	16821,68	3321,68	641,90
recta	694+4.00	700+0.00	0	-1,2	671+9.00	700+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,76	281	16860,00	0,00	4148,41
															7000	546472	126472,02	70639,15

$$E_v = \left(\frac{\sum (V_{ss(i)} - V_{a(i)}) L(i)}{L_t} \right) \quad 18,07$$

$$E_r = \left(\frac{\sum (\Delta V_{ss(i)}) L(i)}{L_t} \right) \quad 10,09$$

$$V_{ss} = \left(\frac{\sum (V_{ss}) L(i)}{L_t} \right) \quad 78,07$$

Anexo 3.7 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

Carretera Circuito Norte (Tramo Remedios - Caibarien)Direccion de transito <<<																		
Tipo	Planta		Radio	Pend	Perfil				Condicion	Valor de A	Resultado de B/R	VOP (A-B/R)	Vop-Vp	ΔVOP	L de tramo	V(operacion)Long.	Estado de la carretera	Estado de la carrete
	Estacion Inicial	Estacion Final			Radio (m)	Pend (%)	Estacion Inicial	Estacion Final										
recta	0	28+100	0	1,2	0	28+100			9	60	0,00	60,00	0,00	0,00	281,00	16860,00	0,000	0,00
curva	28+100	50+6.00	452,3	1,2	28+100	50+6.00	0	0	3	77,212	3,17	74,04	14,04	14,04	225,00	16658,55	3158,55	3158,55
recta	50+6.00	115+6.00	0	1,2	50+6.00	60+6.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,04	100,00	6000,00	0,00	1403,80
				0,95	60+6.00	98+1.00	40	0,062	8	97,425	19,81	77,62	17,62	17,62	375,00	29105,98	6605,98	6605,98
				0,7	98+1.00	115+6.00	40	0,062	7	86,016	11,22	74,80	14,80	2,82	175,00	13089,37	2589,37	493,42
curva	115+6.00	128+1.00	511,6	0,7	115+6.00	128+1.00	0	0	3	77,212	2,81	74,41	14,41	0,39	125,00	9300,74	1800,74	48,81
recta	128+1.00	145+6.00	0	0,7	128+1.00	130+6.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,41	25,00	1500,00	0,00	360,15
				0,53	130+6.00	145+6.00	40	0,043	8	97,425	13,74	83,69	23,69	23,69	150,00	12552,97	3552,97	3552,97
				0,53	145+6.00	160+6.00	0	0	3	77,212	8,85	68,36	8,36	15,33	150,00	10254,18	1254,18	2298,79
recta	160+6.00	175+6.00	0	0,53	160+6.00	166+1.00			9	60	0,00	60,00	0,00	8,36	55,00	3300,00	0,00	459,87
curva	175+6.00	200+6.00	349,3	2,1	166+1.00	175+6.00	80	0,064	7	86,016	11,58	74,43	14,43	14,43	95,00	7071,28	1371,28	1371,28
recta	200+6.00	467+1.00	0	2,1	175+6.00	200+6.00	0	0	3	77,212	4,11	73,10	13,10	1,33	250,00	18275,52	3275,52	333,11
				2,1	200+6.00	313+6.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,10	1130,00	67800,00	0,00	14805,34
				-1,1	313+6.00	330+6.00	80	0,04	8	97,425	12,78	84,64	24,64	24,64	170,00	14389,64	4189,64	4189,64
				0,2	330+6.00	365+6.00	40	0,0325	7	86,016	5,88	80,13	20,13	4,51	350,00	28047,17	7047,17	1578,57
				-0,75	365+6.00	398+1.00	40	0,024	8	97,425	7,67	89,76	29,76	9,62	325,00	29171,02	9671,02	3127,22
				0,25	398+1.00	418+1.00	40	0,025	7	86,016	4,52	81,49	21,49	8,27	200,00	16298,40	4298,40	1653,00
				-0,7	418+1.00	463+1.00	40	0,024	8	97,425	7,67	89,76	29,76	8,27	450,00	40390,64	13390,64	3719,25
				0,51	463+1.00	467+1.00	40	0,03	7	86,016	5,43	80,59	20,59	9,17	40,00	3223,49	823,49	366,79
curva	467+1.00	477+1.00	409,3	0,51	467+1.00	477+1.00	0	0	3	77,212	3,51	73,70	13,70	6,88	100,00	7370,46	1370,46	688,26
recta	477+1.00	689+9.00	0	0,51	477+1.00	517+2.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,70	401,00	24060,00	0,00	5495,52
				0,27	517+2.00	593+0.00	40	0,06	8	97,425	19,17	78,25	18,25	18,25	758,00	59317,24	13837,24	13837,24
				0,4	593+0.00	664+9.00	40	0,033	8	97,425	10,54	86,88	26,88	8,63	719,00	62467,77	19327,77	6202,47
				0,3	664+9.00	675+9.00	40	0,025	7	86,016	4,52	81,49	21,49	5,39	110,00	8964,12	2364,12	592,84
				0,5	675+9.00	689+9.00	40	0,005	8	97,425	1,60	95,83	35,83	14,34	140,00	13415,85	5015,85	2006,97
curva	689+9.00	700+0.00	573	0,5	689+9.00	700+0.00	0	0	3	77,212	2,51	74,71	14,71	21,12	101,00	7545,37	1485,37	2133,21
															7000,00	526429,74	106429,74	80483,05

$$E_v = \left(\frac{\sum (V_{(i)} - V_{(i-1)}) L(i)}{L_t} \right)$$

15,20

$$E_v = \left(\frac{\sum (\Delta V_{(i)}) L(i)}{L_t} \right)$$

11,50

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

75,20

Anexo 3.8 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

Carretera (Santa Clara - Hatillo) Direccion de Trnsito >>>																			
Alineacion en Planta				Alineacion en Perfil					Condición	Valor de A	Resulta do de B/R	VOP (A- B/R)	Vop- Vp	ΔVOP	L de tramo	V(operac on)*Long	Estado de la carrete	Estado de la carrete	
Tipo	Estacion		Radio (m)	Pend (%)	Estacion		Lv	Kv											
	Inicial	Final			Inicial	Final													
recta	0+0.00	150+0.00	0	1,7	0+0.00	45+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	0,00	450	27000,00	0,00	0,00	
				-0,9	45+0.00	89+0.00	80	0,033	8	97,425	10,38	87,04	27,04	27,04	440	38298,14	11898,14	11898,14	
				1,8	89+0.00	111+5.00	80	0,034	7	86,016	6,12	79,90	19,90	7,14	225	17977,39	4477,39	1606,88	
				2,9	111+5.00	150+0.00	120	0,039	8	97,425	12,52	84,90	24,90	5,00	385	32686,72	9586,72	1925,40	
curva	150+0.00	167+6.31	694	2,9	150+0.00	167+6.31	0	0	3	77,212	2,07	75,14	15,14	9,76	176,31	13248,54	2669,94	1720,28	
recta	167+6.31	371+7.18	0	2,9	167+6.31	191+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,14	233,69	14021,40	0,00	3538,86	
				2,1	191+0.00	228+5.00	40	0,020	7	86,016	3,62	82,40	22,40	22,40	375	30898,79	8398,79	8398,79	
				-1,2	228+5.00	272+5.00	80	0,040	8	97,425	12,78	84,64	24,64	2,25	440	37243,78	10843,78	989,20	
				1	272+5.00	312+0.00	40	0,055	7	86,016	9,95	76,06	16,06	8,58	395	30044,94	6344,94	3389,82	
				-0,85	312+0.00	329+0.00	40	0,046	8	97,425	14,70	82,73	22,73	6,66	170	14063,75	3863,75	1133,02	
				-0,4	329+0.00	341+0.00	40	0,011	8	97,425	3,51	93,91	33,91	11,18	120	11269,26	4069,26	1341,90	
				0,8	341+0.00	368+0.00	40	0,030	7	86,016	5,43	80,59	20,59	13,32	270	21758,54	5558,54	3597,30	
				-0,46	368+0.00	371+7.18	40	0,032	8	97,425	10,06	87,36	27,36	6,77	37,18	3248,07	1017,27	251,84	
				489	-0,46	371+7.18	382+0.00	0	0	5	79,151	2,79	76,36	16,36	11,00	102,82	7851,63	1682,43	1130,80
				489	-0,8	382+0.00	384+5.26	0	0	5	79,151	2,79	76,36	16,36	0,00	25,26	1928,93	413,33	0,00
				-0,8	384+5.26	422+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	16,36	374,74	22484,40	0,00	6131,81	
				1,2	422+0.00	430+0.00	40	0,050	7	86,016	9,05	76,97	16,97	16,97	80	6157,44	1357,44	1357,44	
curva	430+0.00	440+5.86	606,54	1,2	430+0.00	440+5.86	0	0	3	77,212	2,37	74,85	14,85	2,12	105,86	7923,11	1571,51	224,72	
recta	440+5.86	608+7.74	0	1,2	440+5.86	498+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,85	574,14	34448,40	0,00	8523,19	
				-1,1	498+0.00	518+0.00	40	0,058	8	97,425	18,37	79,05	19,05	19,05	200	15810,74	3810,74	3810,74	
				-1,2	518+0.00	545+0.00	40	0,025	7	86,016	4,52	81,49	21,49	2,44	270	22002,83	5802,83	658,34	
				-2	545+0.00	570+0.00	40	0,020	8	97,425	6,39	91,03	31,03	9,54	250	22758,75	7758,75	2385,75	
				3,8	570+0.00	608+7.74	120	0,048	7	86,016	8,69	77,33	17,33	13,71	387,74	29983,88	6719,48	5314,02	
				406,54	3,8	608+7.74	613+0.00	0	0	6	82,761	6,21	76,55	16,55	0,78	42,26	3235,17	699,57	32,79
curva	608+7.74	622+2.49	406,54	-1,1	613+0.00	622+2.49	0	0	6	82,761	6,21	76,55	16,55	0,00	92,49	7080,48	1531,08	0,00	
recta	622+2.49	632+7.16	0	-1,1	622+2.49	627+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	16,55	47,51	2850,60	0,00	786,48	
				1,2	627+0.00	632+7.16	40	0,043	7	86,016	7,78	78,23	18,23	18,23	57,16	4471,89	1042,29	1042,29	
curva	632+7.16	646+0.00	545,66	1,2	632+7.16	646+0.00	0	0	2	77,43	2,21	75,22	15,22	3,02	132,84	9992,14	2021,74	400,56	
recta	646+0.00	720+8.92	0	1,2	646+0.00	673+5.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,22	275	16500,00	0,00	4185,32	
				-1,3	673+5.00	720+0.00	80	0,031	8	97,425	9,90	87,52	27,52	27,52	465	40697,02	12797,02	12797,02	
curva	720+0.00	732+0.00	254,58	-1,3	720+0.00	732+0.00	0	0	2	77,43	4,74	72,69	12,69	14,83	120	8723,01	1523,01	1779,45	
recta	732+0.00	832+5.00	0	-1,3	732+0.00	736+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	12,69	40	2400,00	0,00	507,67	
				0,8	736+0.00	769+5.00	40	0,053	7	86,016	9,50	76,52	16,52	16,52	335	25632,71	5532,71	5532,71	
				-0,4	769+5.00	789+0.00	40	0,030	8	97,425	9,59	87,84	27,84	11,32	195	17128,79	5428,79	2208,26	
				1,3	789+0.00	803+5.00	40	0,043	7	86,016	7,69	78,33	18,33	9,51	145	11357,15	2657,15	1379,65	
				-1,8	803+5.00	832+5.00	80	0,039	8	97,425	12,46	84,96	24,96	6,64	290	24639,69	7239,69	1925,40	
				0	832+5.00	1010+0.00	0	0	9	60	0,00	60,00	0,00	24,96	1775	106500,00	0,00	44311,92	
urb.Hatillo	832+5.00	1010+0.00	0	0	832+5.00	1010+0.00	0	0	9	60	0,00	60,00	0,00	24,96	1775	106500,00	0,00	44311,92	
														10100,00	744318,06	138318,1	146217,7		

$E_i = \left(\frac{\sum (V_{ss(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{L_t} \right)$	13,69
$V_{ss} = \left(\frac{\sum (V_{ss}) L(i)}{L_t} \right)$	73,69

$E_r = \left(\frac{\sum (\Delta V_{ss(i)}) L(i)}{L_r} \right)$	14,48
---	-------

Anexo 3.9 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

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

Planta			Perfil						Condicion	Valor de A	Resultado de B/R	YOP (A-B/R)	Yop-Yp	ΔYOP	L de tramo	V(operacion)*Long.	Estado de la carretera	Estado de la carretera
Tipo	Estacion		Radio (m)	Pend (%)	Estacion		Lv	Kv										
	Inicial	Final			Inicial	Final												
urb.Hatillo	1704+0.00	1881+5.00	0	0	0+0.00	177+5.00	0	0	9	60	0.00	60.00	0.00	0.00	1775	106500.00	0.00	0.00
				1.8	177+5.00	206+5.00			9	60	0.00	60.00	0.00	0.00	290	17400.00	0.00	0.00
				-1.3	206+5.00	221+0.00	80	0.039	8	97.425	12.46	84.96	24.96	24.96	145	12319.85	3619.85	3619.85
				0.4	221+0.00	240+5.00	40	0.043	7	86.016	7.69	78.33	18.33	6.64	195	15273.41	3573.41	1294.66
				-0.8	240+5.00	274+0.00	40	0.030	8	97.425	9.59	87.84	27.84	9.51	335	29426.39	9326.39	3187.46
recta	1881+5.00	1982+0.00	0	1.3	274+0.00	278+0.00	40	0.053	7	86.016	9.50	76.52	16.52	11.32	40	3060.62	660.62	452.98
curva	1982+0.00	1994+0.00	254.58	1.3	278+0.00	290+0.00	0	0	3	77.212	5.64	71.57	11.57	4.94	120	8588.75	1388.75	593.12
				1.3	290+0.00	336+5.00			9	60	0.00	60.00	0.00	11.57	465	27900.00	0.00	5381.40
recta	1994+0.00	2068+0.00	0	-1.2	336+5.00	364+0.00	80	0.031	8	97.425	9.90	87.52	27.52	27.52	275	24068.13	7568.13	7568.13
curva	2068+0.00	2081+2.84	545.66	-1.2	364+0.00	377+2.84	0	0	3	77.212	2.63	74.58	14.58	12.94	132.84	9907.35	1936.95	1718.87
				-1.2	377+2.84	383+0.00			9	60	0.00	60.00	0.00	14.58	57.16	3429.60	0.00	833.45
recta	2081+2.84	2091+7.51	0	1.1	383+0.00	387+7.51	40	0.043	7	86.016	7.78	78.23	18.23	18.23	47.51	3716.93	866.33	866.33
curva	2091+7.51	2105+2.26	406.54 406.54	1.1	387+7.51	397+0.00	0	0	6	82.761	6.21	76.55	16.55	1.68	92.49	7080.48	1531.08	155.45
				-3.8	397+0.00	401+2.26	0	0	6	82.761	6.21	76.55	16.55	0.00	42.26	3235.17	699.57	0.00
				-3.8	401+2.26	440+0.00			9	60	0.00	60.00	0.00	16.55	387.74	23264.40	0.00	6418.64
				2	440+0.00	465+0.00	120	0.048	7	86.016	8.69	77.33	17.33	17.33	250	19332.47	4332.47	4332.47
recta	2105+2.26	2273+4.14	0	1.2	465+0.00	492+0.00	40	0.020	8	97.425	6.39	91.03	31.03	13.71	270	24579.44	8379.44	3700.38
				1.1	492+0.00	512+0.00	40	0.025	7	86.016	4.52	81.49	21.49	3.54	200	16298.40	4298.40	1908.60
				-1.2	512+0.00	569+4.14	40	0.058	8	97.425	18.37	79.05	19.05	2.44	574.14	45387.89	10939.49	1399.92
				-1.2	569+4.14	580+0.00	0	0	2	77.43	1.99	75.44	15.44	3.61	105.86	7986.21	1634.61	382.41
curva	2273+4.14	2284+0.00	606.54															
recta	2284+0.00	2329+4.74	0	-1.2	580+0.00	588+0.00			9	60	0.00	60.00	0.00	15.44	80	4800.00	0.00	1235.30
				0.8	588+0.00	625+4.74	40	0.050	7	86.016	9.05	76.97	16.97	16.97	374.74	28842.97	6358.57	6358.57
				0.8	625+4.74	628+0.00	0	0	5	79.151	2.79	76.36	16.36	0.61	25.26	1928.93	413.33	15.29
				0.46	628+0.00	638+2.82	0	0	5	79.151	2.79	76.36	16.36	0.00	102.82	7851.63	1682.43	0.00
curva	2329+4.74	2342+2.82	489	0.46	638+2.82	642+0.00			9	60	0.00	60.00	0.00	16.36	37.18	2230.80	0.00	608.37
				-0.8	642+0.00	669+0.00	40	0.032	8	97.425	10.06	87.36	27.36	27.36	270	23587.39	7387.39	7387.39
				0.4	669+0.00	681+0.00	40	0.030	7	86.016	5.43	80.59	20.59	6.77	120	9670.46	2470.46	812.83
				0.85	681+0.00	698+0.00	40	0.011	8	97.425	3.51	93.91	33.91	13.32	170	15964.78	5764.78	2264.96
				-1	698+0.00	737+5.00	40	0.046	8	97.425	14.70	82.73	22.73	11.18	395	32677.54	8977.54	4417.10
				1.2	737+5.00	781+5.00	40	0.055	7	86.016	9.95	76.06	16.06	6.66	440	33467.78	7067.78	2932.52
				-2.1	781+5.00	819+0.00	80	0.040	8	97.425	12.78	84.64	24.64	8.58	375	31741.86	9241.86	3218.18
				-2.9	819+0.00	842+3.69	40	0.020	7	86.016	3.62	82.40	22.40	2.25	233.69	19255.30	5233.90	525.38
				-2.9	842+3.69	860+0.00	0	0	2	77.43	1.74	75.69	15.69	6.70	176.31	13345.23	2766.63	1182.14
				-2.9	860+0.00	898+5.00			9	60	0.00	60.00	0.00	15.69	385	23100.00	0.00	6041.37
recta	2564+0.00	2714+0.00	0	-1.8	898+5.00	921+0.00	120	0.039	8	97.425	12.52	84.90	24.90	24.90	225	19102.63	5602.63	5602.63
				0.9	921+0.00	965+0.00	80	0.034	7	86.016	6.12	79.90	19.90	5.00	440	35155.79	8755.79	2200.46
				-1.7	965+0.00	1010+0.00	80	0.033	8	97.425	10.38	87.04	27.04	7.14	450	39168.55	12168.55	3213.76
															10100	750647.116	144647.116	91830.363

$$E_i = \left(\frac{\sum (V_{ss(i)} - V_{ss(i)}) L(i)}{L_t} \right)$$

14,32

$$E_f = \left(\frac{\sum (\Delta V_{ss(i)}) L(i)}{L_t} \right)$$

9,09

$$V_{ss} = \left(\frac{\sum (V_{ss}) L(i)}{L_t} \right)$$

74,32

Anexo 3.10 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

Carretera (Hatillo - Cifuentes) Direccion de Transito >>>

Alineacion en Planta			Alineacion en Perfil						Condicio	Valor de A	Resulta do de B/R	VOP (A- B/R)	Vor- Vp	ΔVOP	L de tramo	V(operac on)*Long.	Estado de la carrete	Estado de la carrete
Tipo	Estacion		Radio (m)	Pend (%)	Estacion		Lv	Kv										
	Inicial	Final							Inicial	Final								
recta	1010+0.00	1134+2.83	0	-0.9	0+0.00	34+2.00			9	60	0,00	60,00	0,00	0,00	342	20520,00	0,00	0,00
				1,2	34+2.00	61+2.00	40	0,053	7	86,016	9,59	76,43	16,43	16,43	270	20634,77	4434,77	4434,77
				-1,3	61+2.00	106+7.00	0	0,031	8	97,425	10,00	87,42	27,42	11,00	455	39778,20	12478,20	5004,80
				1,3	106+7.00	124+2.83	80	0,033	7	86,016	5,88	80,13	20,13	7,29	175,83	14090,10	3540,30	1281,77
curva	1134+2.83	1142+8.54	409,05	1,3	124+2.83	132+8.54	0	0	3	77,212	3,51	73,70	13,70	6,43	85,71	6317,03	1174,43	551,32
recta	1142+8.54	1186+7.87	0	1,3	132+8.54	176+7.87			9	60	0,00	60,00	0,00	13,70	439,33	26359,80	0,00	6019,88
curva	1186+7.87	1196+3.83	422,93	1,3	176+7.87	186+3.83	0	0	3	77,212	3,39	73,82	13,82	13,82	95,96	7083,54	1325,94	1325,94
recta	1196+3.83	1233+8.83	0	1,3	186+3.83	196+8.0			9	60	0,00	60,00	0,00	13,82	104,17	6250,20	0,00	1439,38
				1,8	196+8.0	223+8.83	40	0,013	8	97,425	3,99	93,43	33,43	33,43	270,83	25303,98	9054,18	9054,18
curva	1233+8.83	1245+1.30	589,83	1,8	223+8.83	235+1.30	0	0	3	77,212	2,43	74,78	14,78	18,65	112,47	8410,29	1662,09	2097,92
recta	1245+1.30	1428+8.19	0	1,8	235+1.30	238+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,78	28,7	1722,00	0,00	424,13
				1,1	238+0.00	372+8.00	40	0,018	7	86,016	3,17	82,85	22,85	22,85	1348	11680,70	30800,70	30800,70
				-2,5	372+8.00	418+8.19	80	0,045	8	97,425	14,38	83,05	23,05	0,20	460,19	38217,61	10606,21	91,24
				curva	1428+8.19	1439+5.66	279,89	-2,5	418+8.19	429+5.66	0	0	2	77,43	4,31	73,12	13,12	9,93
recta	1439+5.66	1555+8.84	0	-2,5	429+5.66	494+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,12	644,34	38660,40	0,00	8453,88
				0,7	494+0.00	508+0.00	80	0,040	7	86,016	7,24	78,78	18,78	18,78	140	11028,86	2628,86	2628,86
				-2,8	508+0.00	517+0.00	80	0,044	8	97,425	14,06	83,37	23,37	4,59	90	7503,03	2103,03	413,05
				3,2	517+0.00	545+8.84	120	0,050	7	86,016	9,05	76,97	16,97	6,40	288,84	22231,42	4901,02	1848,29
curva	1555+8.84	1575+0.63	646,4	3,2	545+8.84	565+0.63	0	0	3	77,212	2,22	74,99	14,99	1,98	191,79	14382,54	2875,14	379,14
recta	1575+0.63	1633+0.07	0	3,2	565+0.63	574+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,99	89,37	5362,20	0,00	1339,75
				-0,8	574+0.00	603+0.00	80	0,050	8	97,425	15,98	81,45	21,45	21,45	290	23620,49	6220,49	6220,49
				2,9	603+0.00	623+0.07	120	0,047	7	86,016	8,51	77,51	17,51	3,94	200,07	15507,59	3503,39	788,10
curva	1633+0.07	1652+0.00	677,88	2,9	623+0.07	642+0.00	0	0	3	77,212	2,12	75,09	15,09	2,42	189,93	14262,65	2866,65	458,99
recta	1652+0.00	1734+6.59	0	2,9	642+0.00	648+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,09	60	3600,00	0,00	905,65
				2,4	648+0.00	667+5.00	40	0,013	8	97,425	3,99	93,43	33,43	33,43	195	18219,09	6519,09	6519,09
				-1,5	667+5.00	689+0.00	80	0,049	8	97,425	15,66	81,77	21,77	11,66	215	17580,43	4680,43	2507,28
				0,7	689+0.00	706+0.00	40	0,055	7	86,016	9,95	76,06	16,06	5,71	170	12930,73	2730,73	970,07
				-0,8	706+0.00	717+0.00	40	0,038	8	97,425	11,98	85,44	25,44	9,38	110	9398,81	2798,81	1031,86
				-2,5	717+0.00	724+6.59	40	0,043	7	86,016	7,69	78,33	18,33	7,12	76,59	5998,92	1403,52	545,21
curva	1734+6.59	1751+5.00	877,2	-2,5	724+6.59	741+5.00	0	0	2	77,43	1,38	76,05	16,05	2,27	168,41	12808,40	2703,80	382,34
recta	1751+5.00	1761+0.75	0	-2,5	741+5.00	746+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	16,05	45	2700,00	0,00	722,47
				-3,4	746+0.00	751+0.75	40	0,023	8	97,425	7,19	90,24	30,24	30,24	50,75	4579,49	1534,49	1534,49
curva	1761+0.75	1780+4.19	443,33	-3,4	751+0.75	770+4.19	0	0	2	77,43	2,72	74,71	14,71	15,53	193,44	14451,72	2845,32	3003,57
recta				-3,4	770+4.19	788+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,71	175,81	10548,60	0,00	2586,00
				-1,5	788+0.00	817+5.00	40	0,048	8	97,425	15,18	82,25	22,25	22,25	295	24263,37	6563,37	6563,37
				0,7	817+5.00	832+0.00	40	0,055	7	86,016	9,95	76,06	16,06	6,19	145	11029,16	2329,16	896,91
				-0,6	832+0.00	857+0.00	40	0,043	8	97,425	13,58	83,85	23,85	7,78	250	20961,55	5961,55	1945,77
				-0,8	857+0.00	876+5.00	40	0,050	7	86,016	9,05	76,97	16,97	6,88	195	15008,75	3308,75	1341,26

recta	1780+4.19	2066+0.00	0	-1,1	876+5.00	900+5.00	40	0,075	8	97,425	23,96	73,46	13,46	3,51	240	17630,98	3230,98	841,33	
				2,5	900+5.00	996+0.00	80	0,044	7	86,016	7,96	78,05	18,05	4,59	955	74541,30	17241,30	4384,68	
				-1,7	996+0.00	1028+5.00	80	0,053	8	97,425	16,77	80,65	20,65	2,60	325	26211,64	6711,64	844,18	
				-1,4	1028+5.00	1056+0.00	40	0,075	7	86,016	13,57	72,44	12,44	8,21	275	19922,08	3422,08	2257,00	
curva	2066+0.00	2097+5.59	1130,1	-1,4	1056+0.00	1076+0.00	0	0	5	79,151	1,21	77,94	17,94	5,50	200	15588,91	3588,91	1100,12	
			1130,1	1,1	1076+0.00	1087+5.59	0	0	5	79,151	1,21	77,94	17,94	0,00	115,59	9009,61	2074,21	0,00	
recta	2097+5.59	2122+7.80	0	1,1	1087+5.59	1102+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	17,94	144,41	8664,60	0,00	2591,37	
				-1,4	1102+0.00	1112+7.8	80	0,031	8	97,425	9,90	87,52	27,52	27,52	107,8	9434,71	2966,71	2966,71	
curva	2122+7.80	2142+1.67	383,03	-1,4	1112+7.8	1123+0.00	0	0	5	79,151	3,56	75,59	15,59	11,93	102,2	7725,45	1593,45	1219,14	
			383,03	1,5	1123+0.00	1132+1.67	0	0	5	79,151	3,56	75,59	15,59	0,00	91,67	6929,47	1429,27	0,00	
recta	2142+1.67	2270+9.00	0	1,5	1132+1.67	1143+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,59	108,33	6499,80	0,00	1689,02	
				-1,7	1143+0.00	1158+5.00	80	0,040	8	97,425	12,78	84,64	24,64	24,64	155	13119,97	3819,97	3819,97	
				0,8	1158+5.00	1177+5.00	80	0,031	7	86,016	5,61	80,41	20,41	4,24	190	15277,18	3877,18	805,36	
				-2,4	1177+5.00	1196+5.00	80	0,040	8	97,425	12,78	84,64	24,64	4,24	190	16082,54	4682,54	805,36	
				0,6	1196+5.00	1215+5.00	80	0,038	7	86,016	6,79	79,23	19,23	5,41	190	15053,69	3653,69	1028,85	
				-1,3	1215+5.00	1230+0.00	40	0,048	8	97,425	15,18	82,25	22,25	3,02	145	11926,06	3226,06	437,72	
				-1,4	1230+0.00	1244+0.0	40	0,025	7	86,016	4,52	81,49	21,49	0,76	140	11408,88	3008,88	105,94	
				-3,7	1244+0.0	1254+5.00	40	0,058	8	97,425	18,37	79,05	19,05	2,44	105	8300,64	2000,64	256,02	
				-1	1254+5.00	1260+9.00	80	0,034	8	97,425	10,86	86,56	26,56	7,51	64	5539,97	1699,97	480,53	
				-1	1260+9.00	1264+0.00	0	0	5	79,151	1,94	77,21	17,21	9,35	31	2393,54	533,54	289,88	
curva	2270+9.00	2290+5.25	702,77	1,8	1264+0.00	1280+5.25	0	0	5	79,151	1,94	77,21	17,21	0,00	165,25	12759,11	2844,11	0,00	
			702,77	1,8	1280+5.25	1313+5.00			9	60	0,00	60,00	0,00	17,21	329,75	19785,00	0,00	5675,31	
recta	2290+5.25	2328+7.74	0	-1,6	1313+5.00	1318+7.74	80	0,043	8	97,425	13,58	83,85	23,85	23,85	52,74	4422,05	1257,65	1257,65	
curva	2328+7.74	2334+5.16	126,54	-1,6	1318+7.74	1324+5.16	0	0	2	77,43	9,53	67,90	7,90	15,95	57,42	3898,66	453,46	915,79	
recta	2334+5.16	2397+3.69	0	-1,6	1324+5.16	1341+5.00			9	60	0,00	60,00	0,00	7,90	169,84	10190,40	0,00	1341,28	
				2,4	1341+5.00	1360+0.00	80	0,05	7	86,016	9,05	76,97	16,97	16,97	185	14239,07	3139,07	3139,07	
				1,5	1360+0.00	1387+3.69	40	0,0225	8	97,425	7,19	90,24	30,24	13,27	273,69	24696,75	8275,35	3631,39	
curva	2397+3.69	2407+1.31	372,88	1,5	1387+3.69	1397+1.31	0	0	3	77,212	3,85	73,36	13,36	16,87	97,62	7161,60	1304,40	1647,26	
recta	2407+1.31	2464+3.15	0	1,5	1397+1.31	1407+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,36	98,69	5921,40	0,00	1318,69	
				0,5	1407+0.00	1438+0.00	40	0,025	7	86,016	4,52	81,49	21,49	21,49	310	25262,51	6662,51	6662,51	
				-1,3	1438+0.00	1454+3.15	40	0,045	8	97,425	14,38	83,05	23,05	1,56	163,15	13549,19	3760,19	253,78	
curva	2464+3.15	2475+7.46	363,86	-1,3	1454+3.15	1465+7.46	0	0	2	77,43	3,32	74,11	14,11	8,93	114,31	8472,06	1613,46	1021,09	
recta	2475+7.46	2536+8.71	0	-1,3	1465+7.46	1480+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,11	142,54	8552,40	0,00	2011,92	
				1,5	1480+0.00	1500+5.00	80	0,035	7	86,016	6,33	79,68	19,68	19,68	205	16334,88	4034,88	4034,88	
				-2	1500+5.00	1526+8.71	80	0,044	8	97,425	14,06	83,37	23,37	3,68	263,71	21984,70	6162,10	971,66	
curva	2536+8.71	2543+7.50	89,577	-2	1526+8.71	1533+7.50	0	0	2	77,43	13,47	63,96	3,96	19,40	68,79	4400,07	272,67	1334,75	
recta	2543+7.50	2656+0.00	0	-2	1533+7.50	1551+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	3,96	172,5	10350,00	0,00	683,75	
				1,1	1551+0.00	1623+0.00	40	0,0525	7	86,016	9,50	76,52	16,52	16,52	720	55091,19	11891,19	11891,19	
				2,1	1623+0.00	1646+0.00	40	0,025	8	97,425	7,99	89,44	29,44	12,92	230	20570,62	6770,62	2972,04	
curva	2656+0.00	2664+0.00	183,35	2,1	1646+0.00	1654+0.00	0	0	3	77,212	7,83	69,38	9,38	20,06	80	5550,57	750,57	1604,42	
recta	2664+0.00	2714+0.00	0	2,1	1654+0.00	1666+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	9,38	120	7200,00	0,00	1125,86	
				0,8	1666+0.00	1704+0.00	40	0,0325	7	86,016	5,88	80,13	20,13	20,13	380	30451,21	7651,21	7651,21	
																17040	1302969,11	280569,1	204647,5

$E_i = \left(\frac{\sum (V_{si}) - V_{di}) L(i)}{Lt} \right)$	16,47
$V_{ss} = \left(\frac{\sum (V_{ss}) L(i)}{Lt} \right)$	76,47

$E_r = \left(\frac{\sum (\Delta V_{ss(i)}) L(i)}{Lt} \right)$	12,01
--	-------

Anexo 3.11 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

Carretera (Hatillo - Cifuentes) Dirección de tránsito <<<

Planta				Perfil				Condicion	Valor de A	Resultado de B/R	YOP (A-B/R)	Yop-Yp	ΔYOP	L de tramo	V(operacion)Long.	Estado de la carreter	Estado de la carrete	
Tipo	Estacion		Radio (m)	Pend (%)	Estacion		Lv											Kv
	Inicial	Final			Inicial	Final												
recta	0+0.00	50+0.00	0	-0.8	0+0.00	38+0.00		9	60	0,00	60,00	0,00	0,00	380	22800,00	0,00	0,00	
curva	50+0.00	58+0.00	183,35	-2.1	38+0.00	50+0.00	40	0.0325	7	86,016	5,88	80,13	20,13	20,13	120	9616,17	2416,17	2416,17
				-2.1	50+0.00	58+0.00	0	0	2	77,43	6,58	70,85	10,85	9,28	80	5668,08	868,08	742,70
recta	58+0.00	170+2.50	0	-2.1	58+0.00	81+0.00		9	60	0,00	60,00	0,00	10,85	230	13800,00	0,00	2495,72	
				-1.1	81+0.00	153+0.00	40	0.025	8	97,425	7,99	89,44	29,44	29,44	720	64394,98	21194,98	21194,98
				2	153+0.00	170+2.50	40	0.0525	7	86,016	9,50	76,52	16,52	12,92	172,5	13198,93	2848,93	2229,03
				2	170+2.50	177+1.29	0	0	3	77,212	16,03	61,19	1,19	15,33	68,79	4208,96	81,56	1054,55
recta	177+1.29	238+2.54	0	2	177+1.29	203+5.00		9	60	0,00	60,00	0,00	1,19	263,71	15822,60	0,00	312,65	
				-1.5	203+5.00	224+0.00	80	0.044	8	97,425	14,06	83,37	23,37	23,37	205	17090,23	4790,23	4790,23
				1.3	224+0.00	238+2.54	80	0.035	7	86,016	6,33	79,68	19,68	3,68	142,54	11357,92	2805,52	525,20
				1.3	238+2.54	249+6.85	0	0	3	77,212	3,95	73,27	13,27	6,42	114,31	8375,10	1516,50	733,39
recta	249+6.85	306+8.69	0	1.3	249+6.85	266+0.00		9	60	0,00	60,00	0,00	13,27	163,15	9789,00	0,00	2164,43	
				-0.5	266+0.00	297+0.00	40	0.045	8	97,425	14,38	83,05	23,05	23,05	310	25744,71	7144,71	7144,71
				-1.5	297+0.00	306+8.69	40	0.025	7	86,016	4,52	81,49	21,49	1,56	98,69	8042,44	2121,04	153,51
				-1.5	306+8.69	316+6.31	0	0	2	77,43	3,23	74,20	14,20	7,30	97,62	7242,92	1385,72	712,33
recta	316+6.31	379+4.84	0	-1.5	316+6.31	344+0.00		9	60	0,00	60,00	0,00	14,20	273,69	16421,40	0,00	3885,03	
				-2.4	344+0.00	362+5.00	40	0.0225	8	97,425	7,19	90,24	30,24	30,24	185	16693,70	5593,70	5593,70
				1.6	362+5.00	379+4.84	80	0.05	7	86,016	9,05	76,97	16,97	13,27	169,84	13072,24	2881,84	2253,48
				1.6	379+4.84	385+2.26	0	0	3	77,212	11,35	65,87	5,87	11,10	57,42	3782,08	336,88	637,42
recta	385+2.26	423+4.75	0	1.6	385+2.26	390+5.00		9	60	0,00	60,00	0,00	5,87	52,74	3164,40	0,00	309,42	
				-1.8	390+5.00	423+4.75	80	0.043	8	97,425	13,58	83,85	23,85	23,85	329,75	27648,29	7863,29	7863,29
curva	423+4.75	443+1.00	702,77	-1.8	423+4.75	440+0.00	0	0	5	79,151	1,94	77,21	17,21	6,64	165,25	12759,11	2844,11	1096,48
			702,77	1	440+0.00	443+1.00	0	0	5	79,151	1,94	77,21	17,21	0,00	31	2393,54	533,54	0,00
recta	443+1.00	571+8.33	0	1	443+1.00	449+5.00		9	60	0,00	60,00	0,00	17,21	64	3840,00	0,00	1101,50	
				3.7	449+5.00	460+0.00	80	0.034	8	97,425	10,86	86,56	26,56	26,56	105	9089,01	2789,01	2789,01
				1.4	460+0.00	474+0.00	40	0.058	8	97,425	18,37	79,05	19,05	7,51	140	11067,52	2667,52	1051,16
				1.3	474+0.00	488+5.00	40	0.003	7	86,016	0,45	85,56	25,56	6,51	145	12406,72	3706,72	943,94
				-0.6	488+5.00	507+5.00	40	0.048	8	97,425	15,18	82,25	22,25	3,31	190	15627,25	4227,25	629,83
				2.4	507+5.00	526+5.00	80	0.038	7	86,016	6,79	79,23	19,23	3,02	190	15053,69	3653,69	573,56
				-0.8	526+5.00	545+5.00	80	0.040	8	97,425	12,78	84,64	24,64	5,41	190	16082,54	4682,54	1028,85
				1.7	545+5.00	561+0.00	80	0.031	7	86,016	5,61	80,41	20,41	4,24	155	12462,96	3162,96	657,01
				-1.5	561+0.00	571+8.33	80	0.040	8	97,425	12,78	84,64	24,64	4,24	108,33	9169,59	2669,79	459,18
				383,03	-1.5	571+8.33	581+0.00	0	0	5	79,151	3,56	75,59	15,59	9,05	91,67	6929,47	1429,27
curva	571+8.33	591+2.20	383,03	1.4	581+0.00	591+2.20	0	0	5	79,151	3,56	75,59	15,59	0,00	102,2	7725,45	1593,45	0,00
recta	591+2.20	616+4.41	0	1.4	591+2.20	602+0.00		9	60	0,00	60,00	0,00	15,59	107,8	6468,00	0,00	1680,76	
				-1.1	602+0.00	616+4.41	80	0.031	8	97,425	9,90	87,52	27,52	27,52	144,41	12638,83	3974,23	3974,23
curva	616+4.41	648+0.00	1130,1	-1.1	616+4.41	628+0.00	0	0	5	79,151	1,21	77,94	17,94	9,58	115,59	9009,61	2074,21	1106,88
			1130,1	1.4	628+0.00	648+0.00	0	0	5	79,151	1,21	77,94	17,94	0,00	200	15588,91	3588,91	0,00



				1,4	648+0.00	675+5.00			9	60	0,00	60,00	0,00	17,94	275	16500,00	0,00	4934,75
				1,7	675+5.00	708+0.00	40	0,075	7	86,016	13,57	72,44	12,44	12,44	325	23544,28	4044,28	4044,28
				-2,5	708+0.00	803+5.00	80	0,053	8	97,425	16,77	80,65	20,65	8,21	955	77021,89	19721,89	7837,95
				1,1	803+5.00	827+5.00	80	0,044	7	86,016	7,96	78,05	18,05	2,60	240	18732,89	4332,89	623,40
				0,8	827+5.00	847+0.00	40	0,075	8	97,425	23,96	73,46	13,46	4,59	195	14325,17	2625,17	895,30
				0,6	847+0.00	872+0.00	40	0,050	7	86,016	9,05	76,97	16,97	3,51	250	19241,99	4241,99	876,38
				-0,7	872+0.00	886+5.00	40	0,043	8	97,425	13,58	83,85	23,85	6,88	145	12157,70	3457,70	997,35
				1,5	886+5.00	916+0.00	40	0,055	7	86,016	9,95	76,06	16,06	7,78	295	22438,63	4738,63	2296,00
recta	648+0.00	933+5.81	0	3,4	916+0.00	933+5.81	40	0,048	8	97,425	15,18	82,25	22,25	6,19	175,81	14460,14	3911,54	1087,48
curva	933+5.81	952+9.25	443,33	3,4	933+5.81	952+9.25	0	0	3	77,212	3,24	73,97	13,97	8,27	193,44	14309,49	2703,09	1600,70
				3,4	952+9.25	958+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,97	50,75	3045,00	0,00	709,17
recta	952+9.25	962+5.00	0	2,5	958+0.00	962+5.00	40	0,023	8	97,425	7,19	90,24	30,24	30,24	45	4060,63	1360,63	1360,63
curva	962+5.00	979+3.41	877,2	2,5	962+5.00	979+3.41	0	0	3	77,212	1,64	75,58	15,58	14,66	168,41	12727,66	2623,06	2469,02
				2,5	979+3.41	987+0.00	40	0,043	7	86,016	7,69	78,33	18,33	2,75	76,59	5998,92	1403,52	210,60
				0,8	987+0.00	998+0.00	40	0,043	7	86,016	7,69	78,33	18,33	0,00	-8872	-694900,80	-162580,80	0,00
				-0,7	998+0.00	1015+0.00	40	0,038	8	97,425	11,98	85,44	25,44	7,12	9152	781980,86	232860,86	65149,02
				1,5	1015+0.00	1036+5.00	40	0,055	7	86,016	9,95	76,06	16,06	9,38	215	16353,58	3453,58	2016,82
				-2,4	1036+5.00	1056+0.00	80	0,049	8	97,425	15,66	81,77	21,77	5,71	195	15945,04	4245,04	1112,73
recta	979+3.41	1062+0.00	0	-2,9	1056+0.00	1062+0.00	40	0,013	8	97,425	3,99	93,43	33,43	11,66	60	5605,87	2005,87	699,71
curva	1062+0.00	1080+9.93	677,88	-2,9	1062+0.00	1080+9.93	0	0	2	77,43	1,78	75,65	15,65	17,78	189,93	14368,31	2972,51	3377,09
				-2,9	1080+9.93	1101+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,65	200,07	12004,20	0,00	3131,20
				0,8	1101+0.00	1130+0.00	120	0,047	7	86,016	8,51	77,51	17,51	17,51	290	22478,14	5078,14	5078,14
recta	1080+9.93	1138+9.37	0	-3,2	1130+0.00	1138+9.37	80	0,050	8	97,425	15,98	81,45	21,45	3,94	89,37	7279,18	1916,98	352,04
curva	1138+9.37	1158+1.16	646,4	-3,2	1138+9.37	1158+1.16	0	0	3	77,212	2,22	74,99	14,99	6,46	191,79	14382,54	2875,14	1238,75
				-3,2	1158+1.16	1187+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,99	288,84	17330,40	0,00	4330,03
				2,8	1187+0.00	1196+0.00	120	0,050	7	86,016	9,05	76,97	16,97	16,97	90	6927,12	1527,12	1527,12
				-0,7	1196+0.00	1210+0.00	80	0,044	8	97,425	14,06	83,37	23,37	6,40	140	11671,37	3271,37	895,86
recta	1158+1.16	1274+4.34	0	2,5	1210+0.00	1274+4.34	80	0,040	7	86,016	7,24	78,78	18,78	4,59	644,34	50759,53	12099,13	2957,13
curva	1274+4.34	1285+1.81	279,89	2,5	1274+4.34	1285+1.81	0	0	3	77,212	5,13	72,08	12,08	6,69	107,47	7746,74	1298,54	719,48
				2,5	1285+1.81	1331+2.00			9	60	0,00	60,00	0,00	12,08	460,19	27611,40	0,00	5560,40
				-1,1	1331+2.00	1466+0.00	80	0,045	8	97,425	14,38	83,05	23,05	23,05	1348	111947,97	31067,97	31067,97
recta	1285+1.81	1468+8.70	0	-1,8	1466+0.00	1468+8.70	40	0,018	7	86,016	3,17	82,85	22,85	0,20	28,7	2377,77	655,77	5,69
curva	1468+8.70	1480+1.17	589,83	-1,8	1468+8.70	1480+1.17	0	0	2	77,43	2,05	75,38	15,38	7,46	112,47	8478,54	1730,34	839,51
				-1,8	1480+1.17	1507+2.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,38	270,83	16249,80	0,00	4166,69
recta	1480+1.17	1517+6.17	0	-1,3	1507+2.00	1517+6.17	40	0,013	8	97,425	3,99	93,43	33,43	33,43	104,17	9732,73	3482,53	3482,53
curva	1517+6.17	1527+2.13	422,93	-1,3	1517+6.17	1527+2.13	0	0	2	77,43	2,85	74,58	14,58	18,85	95,96	7156,49	1398,89	1809,17
recta	1527+2.13	1571+1.46	0	-1,3	1527+2.13	1571+1.46			9	60	0,00	60,00	0,00	14,58	439,33	26359,80	0,00	6404,48
curva	1571+1.46	1579+7.17	409,05	-1,3	1571+1.46	1579+7.17	0	0	2	77,43	2,95	74,48	14,48	14,48	85,71	6383,77	1241,17	1241,17
				-1,3	1579+7.17	1597+3.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,48	175,83	10549,80	0,00	2546,20
				1,3	1597+3.00	1642+8.00	80	0,033	7	86,016	5,88	80,13	20,13	20,13	455	36461,32	9161,32	9161,32
				-1,2	1642+8.00	1669+8.00	0	0,031	8	97,425	10,00	87,42	27,42	7,29	270	23604,65	7404,65	1968,26
recta	1579+7.17	1704+0.00	0	0,9	1669+8.00	1704+0.00	40	0,053	7	86,016	9,59	76,43	16,43	11,00	342	26137,37	5617,37	3761,85
															17040	1357794,24	335394,24	279677,6

$$E_v = \left(\frac{\sum (V_{(i)} - V_{(i-1)}) L(i)}{L_t} \right)$$

19,68

$$E_v = \left(\frac{\sum (\Delta V_{(i-1)}) L(i)}{L_t} \right)$$

16,41

$$V_{ss} = \left(\frac{\sum (V_{ss}) L(i)}{L_t} \right)$$

79,68

Anexo 3.12 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

Carretera Central Tramo (Santa Clara - Esperanza) Dirección de Tránsito >>>

Alineación en Planta				Alineación en Perfil					Condición	Valor de A	Resultado de B/R	VOP (A-B/R)	Vop-Vp	ΔVOP	L de tramo	V[operacion]L ong.	Estado de la carretera	Estado de la carretera
Tipo	Estacion		Radio (m)	Pend (%)	Estacion		Lv	Kv										
	Inicial	Final			Inicial	Final												
recta	0+0.00	17+5.000	0	-2,1	0+0.00	17+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	0,00	170	10200,00	0,00	0,00
curva	17+5.000	30+0.00	693	-2,1	17+5.000	30+0.00	0	0	2	77,43	1,74	75,69	15,69	15,69	130	9839,62	2039,62	2039,62
				-2,1	30+0.00	40+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,69	100	6000,00	0,00	1568,94
				1,2	40+0.00	45+0.00	80	0,041	7	86,016	7,42	78,60	18,60	18,60	50	3929,83	929,83	929,83
				-1,2	45+0.00	50+0.00	40	0,061	8	97,425	19,49	77,94	17,94	0,66	50	3896,77	896,77	33,06
				2	50+0.00	92+5.00	80	0,04	7	86,016	7,24	78,78	18,78	0,84	425	33480,46	7980,46	357,90
				-0,8	92+5.00	162+5.00	80	0,035	8	97,425	11,18	86,24	26,24	7,46	700	60369,73	18369,73	5225,43
				1,3	162+5.00	172+5.00	40	0,053	7	86,016	9,59	76,43	16,43	9,82	100	7642,51	1642,51	981,74
recta	30+0.00	172+5.00	0	1,3	172+5.00	185+5.00	0	0	3	77,212	2,51	74,71	14,71	1,72	130	9711,86	1911,86	223,40
curva	172+5.00	185+5.00	573	1,3	185+5.00	197+5.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,71	120	7200,00	0,00	1764,79
				-1,4	197+5.00	225+0.00	80	0,034	8	97,425	10,86	86,56	26,56	26,56	275	23804,54	7304,54	7304,54
				4,4	225+0.00	245+0.00	120	0,048	7	86,016	8,69	77,33	17,33	9,23	200	15465,97	3465,97	1846,42
				-0,6	245+0.00	295+0.00	120	0,042	8	97,425	13,42	84,01	24,01	6,68	500	42002,98	12002,98	3338,04
				1,4	295+0.00	315+0.00	40	0,05	7	86,016	9,05	76,97	16,97	7,04	200	15393,59	3393,59	1407,60
recta	185+5.00	315+0.00	0	1,4	315+0.00	330+0.00	0	0	3	77,212	3,18	74,03	14,03	2,93	150	11105,13	2105,13	440,06
curva	315+0.00	330+0.00	451,76	1,4	330+0.00	337+5.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,03	75	4500,00	0,00	1052,57
recta	330+0.00	338+5.00	0	-0,44	337+5.00	338+5.00	40	0,046	8	97,425	14,70	82,73	22,73	22,73	10	827,28	227,28	227,28
curva	338+5.00	339+5.00	308,5	-0,44	338+5.00	339+5.00	0	0	2	77,43	3,91	73,52	13,52	9,21	10	735,20	135,20	92,08
				-0,44	339+5.00	390+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,52	505	30300,00	0,00	6827,55
				0,5	390+0.00	410+0.00	40	0,023	7	86,016	4,16	81,85	21,85	21,85	200	16370,78	4370,78	4370,78
recta	339+5.00	410+0.00	0	0,5	410+0.00	425+0.00	0	0	3	77,212	3,07	74,15	14,15	7,71	150	11121,97	2121,97	1156,12
curva	410+0.00	425+0.00	468,3	0,5	425+0.00	470+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,15	450	27000,00	0,00	6365,90
				-1,3	470+0.00	517+5.00	40	0,045	8	97,425	14,38	83,05	23,05	23,05	475	39447,54	10947,54	10947,54
				-0,7	517+5.00	600+0.00	40	0,015	8	97,425	4,79	92,63	32,63	9,59	825	76421,80	26921,80	7907,65
				0,8	600+0.00	610+0.00	40	0,0375	7	86,016	6,79	79,23	19,23	13,40	100	7923,00	1923,00	1340,25
				134	610+0.00	640+0.00	0	0	5	79,151	10,17	68,98	8,98	10,25	300	20692,89	2692,89	3076,10
curva	610+0.00	673+4.00	134	0,9	640+0.00	673+4.00	0	0	5	79,151	10,17	68,98	8,98	0,00	334	23038,08	2998,08	0,00
				0,9	673+4.00	700+3.00			9	60	0,00	60,00	0,00	8,98	275	16500,00	0,00	2468,48
				-2,8	700+3.00	718+4.00	80	0,046	8	97,425	14,70	82,73	22,73	22,73	175	14477,39	3977,39	3977,39
				0,9	718+4.00	730+9.00	80	0,046	7	86,016	8,32	77,69	17,69	5,04	125	9711,47	2211,47	629,52
				150	730+9.00	735+9.00	0	0	6	82,761	16,82	65,94	5,94	11,75	50	3296,92	296,92	587,67
curva	730+9.00	754+9.00	150	-0,7	735+9.00	745+0.00	0	0	6	82,761	16,82	65,94	5,94	0,00	91	6000,39	540,39	0,00
				-0,7	745+0.00	751+9.00			9	60	0,00	60,00	0,00	5,94	69	4140,00	0,00	409,74
				-3,1	751+9.00	786+9.00	80	0,03	7	86,016	5,43	80,59	20,59	20,59	350	28205,51	7205,51	7205,51
recta	745+0.00	786+9.00	0	-3,1	786+9.00	814+4.00	0	0	2	77,43	3,75	73,68	13,68	6,91	275	20261,77	3761,77	1899,70
curva	786+9.00	814+4.00	321,6	-3,1	814+4.00	834+4.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,68	200	12000,00	0,00	2735,83
				-1	834+4.00	854+4.00	40	0,053	8	97,425	16,93	80,49	20,49	20,49	200	16098,29	4098,29	4098,29
				-0,6	854+4.00	881+9.00	40	0,01	7	86,016	1,81	84,21	24,21	3,71	275	23156,76	6656,76	1021,61

curva	881+9.00	911+9.00	318,3	-0,6	881+9.00	911+9.00	0	0	2	77,43	3,79	73,64	13,64	10,57	300	22092,09	4092,09	3169,83
recta	911+9.00	1156+9.00	0	-0,6	911+9.00	1001+9.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,64	900	54000,00	0,00	12276,26
				-3,6	1001+9.00	1024+4.00	80	0,038	8	97,425	12,14	85,28	25,28	25,28	225	19188,89	5688,89	5688,89
				3,3	1024+4.00	1054+4.00	140	0,028	7	86,016	5,07	80,95	20,95	4,33	300	24284,73	6284,73	1300,46
				-0,8	1054+4.00	1084+4.00	80	0,052	8	97,425	16,61	80,81	20,81	0,14	300	24243,28	6243,28	41,44
				2,5	1084+4.00	1126+9.00	80	0,041	7	86,016	7,42	78,60	18,60	2,21	425	33403,55	7903,55	941,10
recta	911+9.00	1156+9.00	0	-0,4	1126+9.00	1156+9.00	80	0,036	8	97,425	11,50	85,92	25,92	7,33	300	25776,89	7776,89	2197,91
curva	1156+9.00	1189+4.00	877	-0,4	1156+9.00	1189+4.00	0	0	2	77,43	1,38	76,05	16,05	9,87	325	24717,73	5217,73	3207,23
recta	1189+4.00	1259+4.00	0	-0,4	1189+4.00	1214+4.00			9	60	0,00	60,00	0,00	16,05	250	15000,00	0,00	4013,64
				1,8	1214+4.00	1259+4.00	40	0,055	7	86,016	9,95	76,06	16,06	16,06	450	34228,42	7228,42	7228,42
curva	1259+4.00	1279+4.00	328,3	1,8	1259+4.00	1279+4.00	0	0	3	77,212	4,37	72,84	12,84	3,22	200	14567,83	2567,83	644,79
recta	1279+4.00	1296+9.00	0	1,8	1279+4.00	1296+9.00			9	60	0,00	60,00	0,00	12,84	175	10500,00	0,00	2246,86
curva	1296+9.00	1307+4.00	283	1,8	1296+9.00	1307+4.00	0	0	3	77,212	5,07	72,14	12,14	12,14	105	7574,62	1274,62	1274,62
recta	1307+4.00	1357+4.00	0	1,8	1307+4.00	1327+4.00			9	60	0,00	60,00	0,00	12,14	200	12000,00	0,00	2427,84
				-2	1327+4.00	1357+4.00	80	0,048	8	97,425	15,34	82,09	22,09	22,09	300	24626,69	6626,69	6626,69
curva	1357+4.00	1375+2.00	159,6	-2	1357+4.00	1375+2.00	0	0	2	77,43	7,56	69,87	9,87	12,22	178	12437,21	1757,21	2174,63
recta	1375+2.00	1390+2.00	0	-2	1375+2.00	1390+2.00			9	60	0,00	60,00	0,00	9,87	150	9000,00	0,00	1480,79
															13902	1039912	205791,9	152800,334

$$E_v = \left(\frac{\sum (V_{ss(i)} - V_{d(i)}) L(i)}{L_t} \right)$$

14,80

$$E_r = \left(\frac{\sum (\Delta V_{ss(i)}) L(i)}{L_r} \right)$$

10,99

$$V_{ss} = \left(\frac{\sum (V_{ss}) L(i)}{L_t} \right)$$

74,80

Anexo 3.13 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

Carretera Central Tramo (Santa Clara - Esperanza) Dirección de tránsito <<<																		
Tipo	Planta		Radio de	Pend (%)	Perfil		Lv	Kv	Condicion	Valor de A	Resultado de B/R	YOP (A-B/R)	Yop-Yp	ΔYOP	L de tramo	Y(operacion)*Long	Estado de la carretera	Estado de la carreter
	Inicial	Final			Inicial	Final												
recta	0+0.00	15+0.00	0	2	0+0.00	15+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	0,00	150	9000,00	0,00	0,00
curva	15+0.00	32+8.00	159,6	2	15+0.00	32+8.00	0	0	2	76,9	6,29	70,61	10,61	10,61	178	12568,00	1888,00	1888,00
				2	32+8.00	62+8.00			9	60	0,00	60,00	0,00	10,61	300	18000,00	0,00	3182,03
recta	32+8.00	82+8.00	0	-1,8	62+8.00	82+8.00	80	0,048	8	73,9	7,11	66,79	6,79	6,79	200	13358,91	1358,91	1358,91
curva	82+8.00	93+3.00	283	-1,8	82+8.00	93+3.00	0	0	2	76,9	3,55	73,35	13,35	6,56	105	7701,84	1401,84	688,41
recta	93+3.00	110+8.00	0	-1,8	93+3.00	110+8.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,35	175	10500,00	0,00	2336,40
curva	110+8.00	130+8.00	328,3	-1,8	110+8.00	130+8.00	0	0	2	76,9	3,06	73,84	13,84	13,84	200	14768,12	2768,12	2768,12
				-1,8	130+8.00	175+8.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,84	450	27000,00	0,00	6228,27
recta	130+8.00	200+8.00	0	0,4	175+8.00	200+8.00	40	0,055	7	91,37	11,05	80,32	20,32	20,32	250	20080,68	5080,68	5080,68
curva	200+8.00	233+3.00	877	0,4	200+8.00	233+3.00	0	0	3	75,89	1,19	74,70	14,70	5,63	325	24276,64	4776,64	1828,23
				0,4	233+3.00	263+3.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,70	300	18000,00	0,00	4409,21
				-2,5	263+3.00	305+8.00	80	0,036	8	73,9	5,33	68,57	8,57	8,57	425	29142,64	3642,64	3642,64
				0,8	305+8.00	335+8.00	80	0,041	7	91,37	8,24	83,13	23,13	14,56	300	24940,42	6940,42	4369,15
				-3,3	335+8.00	365+8.00	80	0,052	8	73,9	7,70	66,20	6,20	16,93	300	19860,73	1860,73	5079,69
				3,6	365+8.00	388+3.00	140	0,028	7	91,37	5,62	85,75	25,75	19,54	225	19292,83	5792,83	4397,28
recta	233+3.00	478+3.00	0	0,6	388+3.00	478+3.00	80	0,038	8	73,9	5,63	68,27	8,27	17,47	900	61447,37	7447,37	15723,95
curva	478+3.00	508+3.00	318,3	0,6	478+3.00	508+3.00	0	0	3	75,89	3,29	72,60	12,60	4,33	300	21781,19	3781,19	1298,74
				0,6	508+3.00	535+8.00			9	60	0,00	60,00	0,00	12,60	275	16500,00	0,00	3466,09
				1	535+8.00	555+8.00	40	0,01	7	91,37	2,01	89,36	29,36	29,36	200	17872,28	5872,28	5872,28
recta	508+3.00	575+8.00	0	3,1	555+8.00	575+8.00	40	0,053	8	73,9	7,85	66,05	6,05	23,31	200	13210,88	1210,88	4661,40
curva	575+8.00	603+3.00	321,6	3,1	575+8.00	603+3.00	0	0	3	75,89	3,25	72,64	12,64	6,58	275	19975,37	3475,37	1810,40
				3,1	603+3.00	638+3.00			9	60	0,00	60,00	0,00	12,64	350	21000,00	0,00	4423,19
recta	603+3.00	645+2.00	0	0,7	638+3.00	645+2.00	80	0,03	7	91,37	6,03	85,34	25,34	25,34	69	5888,75	1748,75	1748,75
				150	645+2.00	654+3.00	0	0	6	75,37	2,94	72,43	12,43	12,91	91	6591,57	1131,57	1174,76
curva	645+2.00	659+3.00	150	0,9	654+3.00	659+3.00	0	0	6	75,37	2,94	72,43	12,43	0,00	50	3621,74	621,74	0,00
				-0,9	659+3.00	671+8.00			9	60	0,00	60,00	0,00	12,43	125	7500,00	0,00	1554,35
				2,8	671+8.00	689+3.00	80	0,046	7	91,37	9,24	82,13	22,13	22,13	175	14372,83	3872,83	3872,83
recta	659+3.00	716+8.00	0	-0,9	689+3.00	716+8.00	80	0,046	8	73,9	6,81	67,09	7,09	15,04	275	18449,92	1949,92	4135,95
				134	716+8.00	750+2.00	0	0	5	74,06	2,45	71,61	11,61	4,52	334	23919,39	3879,39	1511,12
curva	716+8.00	780+2.00	134	-0,9	750+2.00	780+2.00	0	0	5	74,06	2,45	71,61	11,61	0,00	300	21484,48	3484,48	0,00
				-0,8	780+2.00	790+2.00			9	60	0,00	60,00	0,00	11,61	100	6000,00	0,00	1161,49
				0,7	790+2.00	872+7.00	40	0,0375	7	91,37	7,53	83,84	23,84	23,84	825	69166,14	19666,14	19666,14
recta	780+2.00	780+2.00	0	1,3	872+7.00	920+2.00	40	0,015	8	73,9	2,22	71,68	11,68	12,16	475	34047,79	5547,79	5775,15
				-0,5	920+2.00	780+2.00	40	0,045	8	73,9	6,66	67,24	7,24	4,44	450	30257,39	3257,39	1998,41
curva	965+2.00	980+2.00	468,3	-0,5	965+2.00	980+2.00	0	0	2	76,9	2,14	74,76	14,76	7,52	150	11213,28	2213,28	1127,49
				-0,5	980+2.00	1000+2.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,76	200	12000,00	0,00	2951,04
recta	980+2.00	1050+7.00	0	0,44	1000+2.00	1050+7.00	40	0,023	7	91,37	4,62	86,75	26,75	26,75	505	43808,86	13508,86	13508,86

curva	1050+7.00	1051+7.00	308,5	0,44	1050+7.00	1051+7.00	0	0	3	75,89	3,39	72,50	12,50	14,25	10	725,00	125,00	142,51
				0,44	1051+7.00	1052+7.00				60	0,00	60,00	0,00	12,50	10	600,00	0,00	125,00
recta	1051+7.00	1060+2.00	0	-1,4	1052+7.00	1060+2.00	40	0,046	8	73,9	6,81	67,09	7,09	7,09	75	5031,80	531,80	531,80
curva	1060+2.00	1075+2.00	451,76	-1,4	1060+2.00	1075+2.00	0	0	2	76,9	2,22	74,68	14,68	7,59	150	11201,50	2201,50	1137,91
				-1,4	1075+2.00	1095+2.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,68	200	12000,00	0,00	2935,34
				0,6	1095+2.00	1145+2.00	40	0,05	7	91,37	10,04	81,33	21,33	21,33	500	40663,50	10663,50	10663,50
				-4,4	1145+2.00	1165+2.00	120	0,042	8	73,9	6,22	67,68	7,68	13,64	200	13536,55	1536,55	2728,85
recta	1075+2.00	1204+7.00	0	1,4	1165+2.00	1192+7.00	120	0,048	7	91,37	9,64	81,73	21,73	14,05	275	22475,40	5975,40	3862,64
curva	1204+7.00	1217+7.00	573	-1,3	1192+7.00	1204+7.00	80	0,034	8	73,9	5,03	68,87	8,87	12,86	120	8264,04	1064,04	1543,41
				-1,3	1204+7.00	1217+7.00	0	0	2	76,9	1,75	75,15	15,15	6,28	130	9769,13	1969,13	816,42
				-1,3	1217+7.00	1227+7.00			9	60	0,00	60,00	0,00	15,15	100	6000,00	0,00	1514,71
				0,8	1227+7.00	1297+7.00	40	0,053	7	91,37	10,85	80,72	20,72	20,72	700	56507,09	14507,09	14507,09
				-2	1297+7.00	1340+2.00	80	0,035	8	73,9	5,18	68,72	8,72	12,01	425	29205,55	3705,55	5102,32
				1,2	1340+2.00	1345+2.00	80	0,04	7	91,37	8,03	83,34	23,34	14,62	50	4166,78	1166,78	730,83
recta	1217+7.00	1360+2.00	0	-1,2	1345+2.00	1350+2.00	40	0,061	8	73,9	9,03	64,87	4,87	18,47	50	3243,51	243,51	923,27
curva	1360+2.00	1272+7.00	693	2,1	1350+2.00	1360+2.00	80	0,041	7	91,37	8,24	83,13	23,13	18,26	100	8313,47	2313,47	1826,46
recta	1272+7.00	1390+2.00	0	2,1	1372+7.00	1390+2.00			3	75,89	1,51	74,38	14,38	8,75	125	9297,59	1797,59	1094,25
									9	60	0,00	60,00	0,00	14,38	175	10500,00	0,00	2516,62
															13902	1000101	165980,96	197402,37

$$E_f = \left(\frac{\sum (V_{(i)} - V_{(0)}) L(i)}{L_t} \right) \quad 11,94$$

$$E_r = \left(\frac{\sum (\Delta V_{(i)}) L(i)}{L_t} \right) \quad 14,20$$

$$V_{ss} = \left(\frac{\sum (V_{ss}) L(i)}{L_t} \right) \quad 71,94$$

Anexo 3.14 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

Carretera (Santa Clara - UCLV) Direccion de Transito >>>																		
Alineacion en Planta			Alineacion en Perfil					Condición	Valor de A	Resultado de B/R	VOP (A-B/R)	Vop-Yp	ΔVOP	L de tramo	V(opera con)*Long.	Estado de la carretera	Estado de la carretera	
Tipo	Estacion		Radio (m)	Pend (%)	Estacion		Lv											Kv
	Inicial	Final																
recta	0+0.00	9+1.31	0	-0,65	0+0.00	9+1.31			9	60	0,00	60,00	0,00	0,00	91,31	5478,60	0,00	0,00
curva	9+1.31	12+2.61	334,93	-0,65	9+1.31	12+2.61	0	0	2	77,43	3,60	73,83	13,83	13,83	31,3	2310,83	432,83	432,83
recta	12+2.61	19+3.08	0	-0,65	12+2.61	14+7.00			9	60	0,00	60,00	0,00	13,83	24,39	1463,40	0,00	337,28
				0,53	14+7.00	19+3.08	40	0,0295	7	86,016	5,34	80,68	20,68	20,68	46,08	3717,63	952,83	952,83
curva	19+3.08	25+1.68	190,921	0,53	19+3.08	25+1.68	0	0	3	77,212	7,52	69,69	9,69	10,98	58,6	4083,99	567,99	643,72
recta	25+1.68	44+8.33		0,53	25+1.68	26+5.00			9	60	0,00	60,00	0,00	9,69	13,32	799,20	0,00	129,11
				0,07	26+5.00	43+1.00	40	0,0115	8	97,425	3,67	93,75	33,75	33,75	166	15562,62	5602,62	5602,62
			0	-0,43	43+1.00	44+8.33	40	0,0125	7	86,016	2,26	83,75	23,75	10,00	17,33	1451,46	411,66	173,24
curva	44+8.33	57+5.03	395,34	-0,43	44+8.33	57+2.00	0	0	6	82,761	6,38	76,38	16,38	7,38	123,67	9445,68	2025,48	912,17
			395,34	-1,68	57+2.00	57+5.03	0	0	6	82,761	6,38	76,38	16,38	0,00	3,03	231,43	49,63	0,00
recta	57+5.03	80+9.74	0	-1,68	57+5.03	73+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	16,38	154,97	9298,20	0,00	2538,12
				-0,54	73+0.00	80+9.74	40	0,0285	7	86,016	5,16	80,86	20,86	20,86	79,74	6447,67	1663,27	1663,27
curva	80+9.74	89+0.34	286,99	-0,54	80+9.74	84+1.99	0	0	5	79,151	4,75	74,40	14,40	6,46	32,25	2399,41	464,41	208,28
			286,99	1,77	84+1.99	89+0.34	0	0	5	79,151	4,75	74,40	14,40	0,00	48,35	3597,25	696,25	0,00
recta	89+0.34	98+4.11	0	1,77	89+0.34	91+0.50			9	60	0,00	60,00	0,00	14,40	20,16	1209,60	0,00	290,31
				5,45	91+0.50	96+4.70	40	0,092	8	97,425	29,39	68,03	8,03	8,03	54,2	3687,28	435,28	435,28
				6,48	96+4.70	98+4.11	40	0,026	7	86,016	4,70	81,31	21,31	13,28	19,41	1578,25	413,65	257,77
curva	98+4.11	99+4.63	256,79	6,48	98+4.11	99+4.63	0	0	3	77,212	5,59	71,62	11,62	9,69	10,52	753,46	122,26	101,93
recta	99+4.63	114+7.64	0	6,48	99+4.63	101+8.40			9	60	0,00	60,00	0,00	11,62	23,77	1426,20	0,00	276,24
				2,81	101+8.40	109+1.70	80	0,046	8	97,425	14,70	82,73	22,73	22,73	73,3	6063,96	1665,96	1665,96
				-3,05	109+1.70	113+1.70	80	0,073	8	97,425	23,32	74,10	14,10	8,63	40	2964,06	564,06	345,06
				-4,48	113+1.70	114+7.64	40	0,036	7	86,016	6,51	79,50	19,50	5,40	15,94	1267,25	310,85	86,08
curva	114+7.64	120+6.52	192,62	-4,48	114+7.64	118+5.09	0	0	5	79,151	7,08	72,07	12,07	7,43	37,45	2699,12	452,12	278,20
			192,62	-1,08	118+5.09	120+6.52	0	0	5	79,151	7,08	72,07	12,07	0,00	21,43	1544,52	258,72	0,00
recta	120+6.52	126+7.98	0	-1,08	120+6.52	122+5.40			9	60	0,00	60,00	0,00	12,07	18,88	1132,80	0,00	227,93
				-2,88	122+5.40	126+7.98	40	0,045	8	97,425	14,38	83,05	23,05	23,05	42,58	3536,16	981,36	981,36
curva	126+7.98	137+3.12	343,94	-2,88	126+7.98	128+0.90	0	0	6	82,761	7,34	75,42	15,42	7,62	12,92	974,48	199,28	98,49
			343,94	-3,2	128+0.90	137+3.12	0	0	6	82,761	7,34	75,42	15,42	0,00	92,22	6955,62	1422,42	0,00
recta	137+3.12	166+8.01	0	-3,2	137+3.12	138+2.90			9	60	0,00	60,00	0,00	15,42	9,78	586,80	0,00	150,85
				-0,39	138+2.90	149+4.90	80	0,035	8	97,425	11,18	86,24	26,24	26,24	112	9659,16	2939,16	2939,16
				1,49	149+4.90	158+6.20	40	0,047	7	86,016	8,51	77,51	17,51	8,73	91,3	7076,74	1598,74	797,20
				-2,9	158+6.20	166+8.01	80	0,055	8	97,425	17,57	79,85	19,85	2,34	81,81	6532,73	1624,13	191,57

curva	166+8.01	188+4.04	322,59	-2,9	166+8.01	170+1.20	0	0	6	82,761	7,82	74,94	14,94	4,91	33,19	2487,21	495,81	163,09
			322,59	-0,08	170+1.20	185+7.19	0	0	6	82,761	7,82	74,94	14,94	0,00	155,99	11689,68	2330,28	0,00
			322,59	-4,26	185+7.19	188+4.04	0	0	6	82,761	7,82	74,94	14,94	0,00	26,85	2012,10	401,10	0,00
recta	188+4.04	243+0.22	0	-4,26	188+4.04	193+0.70			9	60	0,00	60,00	0,00	14,94	46,66	2799,60	0,00	697,04
				-1,12	193+0.70	208+4.70	80	0,039	7	86,016	7,06	78,96	18,96	18,96	154	12159,61	2919,61	2919,61
				-0,83	208+4.70	230+0.70	40	0,07	8	97,425	22,37	75,06	15,06	3,90	216	16212,94	3252,94	842,10
				-0,9	230+0.70	243+0.22	40	0,02	7	86,016	3,62	82,40	22,40	7,34	129,52	10672,03	2900,83	950,27
curva	243+0.22	251+7.67	229,865	-0,9	243+0.22	243+7.92	0	0	5	79,151	5,93	73,22	13,22	9,18	7,7	563,79	101,79	70,66
			229,865	-1,06	243+7.92	251+7.67	0	0	5	79,151	5,93	73,22	13,22	0,00	79,75	5839,27	1054,27	0,00
curva	2+517.670	2+605.985	430	-1,06	251+7.67	252+1.91	0	0	6	82,761	5,87	76,89	16,89	3,67	4,24	326,02	71,62	15,57
			430	-0,7	252+1.91	260+5.98	0	0	6	82,761	5,87	76,89	16,89	0,00	84,07	6464,36	1420,16	0,00
recta	260+5.98	363+0.49	0	-0,7	260+5.98	282+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	16,89	214,02	12841,20	0,00	3615,36
				-1,36	282+0.00	293+3.25	40	0,017	7	86,016	3,08	82,94	22,94	22,94	113,25	9392,92	2597,92	2597,92
				-0,79	293+3.25	305+1.25	40	0,014	8	97,425	4,47	92,95	32,95	10,01	118	10968,33	3888,33	1181,45
				-1,59	305+1.25	325+7.25	40	0,02	8	97,425	6,39	91,03	31,03	1,92	206	18753,21	6393,21	394,90
				-1,02	325+7.25	338+5.25	40	0,014	7	86,016	2,53	83,48	23,48	7,55	128	10685,77	3005,77	966,71
				-1,54	338+5.25	355+8.22	40	0,013	8	97,425	4,15	93,27	33,27	9,79	172,97	16133,17	5754,97	1693,19
				-0,74	355+8.22	363+0.49	40	0,02	7	86,016	3,62	82,40	22,40	10,87	72,27	5954,82	1618,62	785,92
curva	363+0.49	369+5.97	167,53	-0,74	363+0.49	369+5.97	0	0	2	77,43	7,20	70,23	10,23	12,17	65,48	4598,64	669,84	796,70
recta	369+5.97	407+0.26	0	-0,74	369+5.97	370+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	10,23	4,03	241,80	0,00	41,23
				-1,47	370+0.00	382+7.22	40	0,018	7	86,016	3,26	82,76	22,76	22,76	127,22	10528,56	2895,36	2895,36
				-1,52	382+7.22	397+0.22	40	0,01	8	97,425	3,20	94,23	34,23	11,47	143	13474,89	4894,89	1640,39
				0,32	397+0.22	407+0.26	40	0,046	7	86,016	8,32	77,69	17,69	16,54	100,04	7772,29	1769,89	1654,48
curva	407+0.26	409+2.25	107,765	0,32	407+0.26	409+2.25	0	0	3	77,212	13,32	63,89	3,89	13,80	21,99	1404,95	85,55	303,49
recta	409+2.25	413+0.67	0	0,32	409+2.25	412+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	3,89	27,75	1665,00	0,00	107,96
				0,94	412+0.00	413+0.67	40	0,016	7	86,016	2,90	83,12	23,12	23,12	10,67	886,90	246,70	246,70
curva	413+0.67	417+3.64	382,38	0,94	413+0.67	417+3.64	0	0	3	77,212	3,75	73,46	13,46	9,66	42,97	3156,47	578,27	415,22
recta	417+3.64	431+0.86	0	0,94	417+3.64	423+1.22	40		9	60	0,00	60,00	0,00	13,46	57,58	3454,80	0,00	774,89
				-0,3	423+1.22	431+0.86	40	0,031	8	97,425	9,90	87,52	27,52	27,52	79,64	6970,13	2191,73	2191,73
curva	431+0.86	442+2.73	430,513	-0,3	431+0.86	442+2.73	0	0	2	77,43	2,80	74,63	14,63	12,89	111,87	8348,64	1636,44	1442,27
recta	442+2.73	460+1.50	0	-0,3	442+2.73	452+2.22			9	60	0,00	60,00	0,00	14,63	99,49	5969,40	0,00	1455,35
				-0,71	452+2.22	460+1.50	40	0,01	7	86,016	1,81	84,21	24,21	24,21	79,28	6675,88	1919,08	1919,08
curva	460+1.50	472+6.19	100,623	-0,71	460+1.50	462+4.22	0	0	5	79,151	13,55	65,60	5,60	18,61	22,72	1490,46	127,26	422,71
			100,623	-4,28	462+4.22	470+2.71	0	0	5	79,151	13,55	65,60	5,60	0,00	78,49	5149,05	439,65	0,00
			100,623	-4,54	470+2.71	472+6.19	0	0	5	79,151	13,55	65,60	5,60	0,00	23,48	1540,32	131,52	0,00
recta	472+6.19	487+8.27	0	-4,54	472+6.19	478+0.22			9	60	0,00	60,00	0,00	5,60	54,03	3241,80	0,00	302,64

				-2,31	478+0.22	483+7.32	40	0,056	8	97,425	17,89	79,53	19,53	19,53	57,1	4541,33	1115,33	1115,33
				-1,28	483+7.32	487+8.27	40	0,026	7	86,016	4,70	81,31	21,31	1,78	40,95	3329,69	872,69	72,81
curva	487+8.27	495+7.37	165,03	-1,28	487+8.27	492+8.82	0	0	6	82,761	15,29	67,47	7,47	13,84	50,55	3410,63	377,63	699,64
			165,03	-0,8	492+8.82	495+7.37	0	0	6	82,761	15,29	67,47	7,47	0,00	28,55	1926,28	213,28	0,00
recta	495+7.37	545+4.13	0	-0,8	495+7.37	509+2.82			9	60	0,00	60,00	0,00	7,47	135,45	8127,00	0,00	1011,87
				-0,69	509+2.82	526+1.82	40	0,003	8	97,425	0,96	96,47	36,47	36,47	169	16302,84	6162,84	6162,84
				-1,06	526+1.82	545+4.13	40	0,09	7	86,016	16,29	69,73	9,73	26,74	192,31	13409,68	1871,08	5141,79
curva	545+4.13	551+2.99	253,88	-1,06	545+4.13	551+2.99	0	0	2	77,43	4,75	72,68	12,68	2,95	58,86	4277,87	746,27	173,59
curva	551+2.99	562+7.65	354,937	-1,06	551+2.99	558+1.76	0	0	6	82,761	7,11	75,65	15,65	2,97	68,77	5202,56	1076,36	204,45
			354,937	-2,67	558+1.76	562+7.65	0	0	6	82,761	7,11	75,65	15,65	0,00	45,89	3471,65	718,25	0,00
recta	562+7.65	596+4.61		-2,67	562+7.65	569+2.76			9	60	0,00	60,00	0,00	15,65	65,11	3906,60	0,00	1019,07
				-1,43	569+2.76	576+3.26	40	0,031	8	97,425	9,90	87,52	27,52	27,52	70,5	6170,19	1940,19	1940,19
				-2,53	576+3.26	586+5.26	40	0,028	7	86,016	5,07	80,95	20,95	6,57	102	8256,81	2136,81	670,28
			0	-0,97	586+5.26	596+4.61	40	0,039	8	97,425	12,46	84,96	24,96	4,02	99,35	8441,22	2480,22	398,93
curva	596+4.61	609+5.56	667,32	-0,97	596+4.61	596+8.87	0	0	5	79,151	2,04	77,11	17,11	7,86	4,26	328,48	72,88	33,47
			667,32	-1,18	596+8.87	609+5.56	0	0	5	79,151	2,04	77,11	17,11	0,00	126,69	9768,80	2167,40	0,00
recta	609+5.56	633+0.86	0	-1,18	609+5.56	617+2.26			9	60	0,00	60,00	0,00	17,11	76,7	4602,00	0,00	1312,17
				-1,14	617+2.26	633+0.86	40	0,01	8	97,425	3,20	94,23	34,23	34,23	158,6	14944,88	5428,88	5428,88
curva	633+0.86	645+2.49	1327,51	-1,14	633+0.86	633+8.26	0	0	6	82,761	1,90	80,86	20,86	13,37	7,4	598,37	154,37	98,94
			1327,51	-1,11	633+8.26	645+2.49	0	0	6	82,761	1,90	80,86	20,86	0,00	114,23	9236,65	2382,85	0,00
recta	645+2.49	665+9.65	0	-1,11	645+2.49	646+2.26			9	60	0,00	60,00	0,00	20,86	9,77	586,20	0,00	203,80
				-0,09	646+2.26	659+3.26	40	0,026	7	86,016	4,70	81,31	21,31	21,31	131	10651,74	2791,74	2791,74
				-0,42	659+3.26	665+9.65	40	0,08	8	97,425	25,56	71,86	11,86	9,45	66,39	4771,11	787,71	627,13
curva	665+9.65	668+4.48	271,4	-0,42	665+9.65	668+4.48	0	0	2	77,43	4,44	72,99	12,99	1,12	24,83	1812,23	322,43	27,82
recta	668+4.48	672+0.00	0	-0,42	668+4.48	672+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	12,99	35,52	2131,20	0,00	461,24
															6,720	518,668	115,468	85,817

$$E_v = \left(\frac{\sum (V_{s(i)} - V_{s(i)}) L(i)}{L_t} \right) \quad 17,18$$

$$E_v = \left(\frac{\sum (\Delta V_{s(i)}) L(i)}{L_t} \right) \quad 12,77$$

$$V_{ss} = \left(\frac{\sum (V_{ss}) L(i)}{L_t} \right) \quad 77,18$$

Anexo 3.15 Hoja de Excel del modelo FC para cálculo de la consistencia estaciones crecientes.

Carretera (Santa Clara - UCLV) Dirección de tránsito <<<

Alineación en Planta				Alineación en Perfil					Condición	Valor de A	Resultado de B/R	VOP (A-B/R)	Vop-Yp	ΔVOP	L de tramo	V(operación)*Long.	Estado de la carretera	Estado de la carretera
Tipo	Estación		Radio (m)	Pend (%)	Estación		Lv	Kv										
	Inicial	Final			Inicial	Final												
recta	0+0.00	3+5.52	0	0,42	0+0.00	3+5.52			9	60	0,00	60,00	0,00	0,00	35,52	2131,20	0,00	0,00
curva	3+5.52	6+0.35	271,4	0,42	3+5.52	6+0.35	0	0	3	75,89	3,85	72,04	12,04	12,04	24,83	1788,66	298,86	298,86
recta	6+0.35	26+7.51	0	0,42	6+0.35	12+6.74			9	60	0,00	60,00	0,00	12,04	66,39	3983,40	0,00	799,08
				0,09	12+6.74	25+7.74	40	0,08	8	73,9	11,84	62,06	2,06	2,06	131	8129,55	269,55	269,55
				1,11	25+7.74	26+7.51	40	0,026	7	91,37	5,22	86,15	26,15	24,09	9,77	841,66	255,46	235,36
curva	26+7.51	38+9.14	1327,51	1,11	26+7.51	38+1.74	0	0	6	75,37	0,33	75,04	15,04	11,11	114,23	8571,63	1717,83	1269,02
			1327,51	1,14	38+1.74	38+9.14	0	0	6	75,37	0,33	75,04	15,04	0,00	7,4	555,28	111,28	0,00
recta	38+9.14	62+4.44	0	1,14	38+9.14	54+7.74			9	60	0,00	60,00	0,00	15,04	158,26	9495,60	0,00	2379,97
				1,18	54+7.74	62+4.44	40	0,01	8	73,9	1,48	72,42	12,42	12,42	76,7	5554,59	952,59	952,59
curva	62+4.44	75+5.39	667,32	1,18	62+4.44	75+1.13	0	0	5	74,06	0,49	73,57	13,57	1,15	126,69	9320,46	1719,06	145,61
			667,32	0,97	75+1.13	75+5.39	0	0	5	74,06	0,49	73,57	13,57	0,00	4,26	313,40	57,80	0,00
recta	75+5.39	109+2.35	0	0,97	75+5.39	85+4.74			9	60	0,00	60,00	0,00	13,57	99,35	5961,00	0,00	1348,08
				2,53	85+4.74	95+6.74	40	0,039	8	73,9	5,77	68,13	8,13	8,13	102	6948,94	828,94	828,94
				1,43	95+6.74	102+7.24	40	0,028	7	91,37	5,62	85,75	25,75	17,62	70,5	6045,09	1815,09	1242,15
				2,67	102+7.24	109+2.35	40	0,031	8	73,9	4,59	69,31	9,31	16,43	65,11	4512,84	606,24	1070,07
curva	109+2.35	120+7.01	354,937	2,67	109+2.35	113+8.24	0	0	6	75,37	1,24	74,13	14,13	4,82	45,89	3401,81	648,41	221,12
			354,937	1,06	113+8.24	120+7.01	0	0	6	75,37	1,24	74,13	14,13	0,00	68,77	5097,89	971,69	0,00
curva	120+7.01	126+5.87	253,88	1,06	120+7.01	126+5.87	0	0	3	75,89	4,12	71,77	11,77	2,36	58,86	4224,39	692,79	138,87
recta	126+5.87	176+2.63	0	1,06	126+5.87	145+8.18			9	60	0,00	60,00	0,00	11,77	192,31	11538,60	0,00	2263,52
				0,69	145+8.18	162+7.18	40	0,09	7	91,37	18,08	73,29	13,29	13,29	169	12386,45	2246,45	2246,45
				0,8	162+7.18	176+2.63	40	0,03	8	73,9	4,44	69,46	9,46	3,83	135,45	9408,24	1281,24	519,25
curva	176+2.63	184+1.73	165,03	0,8	176+2.63	179+1.18	0	0	6	75,37	2,67	72,70	12,70	3,24	28,55	2075,65	362,65	92,59
			165,03	1,28	179+1.18	184+1.73	0	0	6	75,37	2,67	72,70	12,70	0,00	50,55	3675,09	642,09	0,00
recta	184+1.73	199+3.18	0	1,28	184+1.73	188+2.68			9	60	0,00	60,00	0,00	12,70	40,95	2457,00	0,00	520,15
				2,31	188+2.68	193+9.78	40	0,026	7	91,37	5,22	86,15	26,15	26,15	57,1	4919,03	1493,03	1493,03
				4,54	193+9.78	199+3.18	40	0,056	8	73,9	8,29	65,61	5,61	20,54	53,4	3503,59	299,59	1096,69
curva	199+3.18	211+8.5	100,623	4,54	199+3.18	201+7.29	0	0	5	74,06	3,26	70,80	10,80	5,19	24,11	1707,08	260,48	125,22
			100,623	4,28	201+7.29	209+5.78	0	0	5	74,06	3,26	70,80	10,80	0,00	78,49	5557,40	848,00	0,00
			100,623	0,71	209+5.78	211+8.5	0	0	5	74,06	3,26	70,80	10,80	0,00	22,72	1608,66	245,46	0,00
recta	211+8.5	229+7.27	0	0,71	211+8.5	219+7.78			9	60	0,00	60,00	0,00	10,80	79,28	4756,80	0,00	856,53
				0,3	219+7.78	229+7.27	40	0,01	7	91,37	2,01	89,36	29,36	29,36	99,49	8890,57	2921,17	2921,17
curva	229+7.27	240+9.14	430,513	0,3	229+7.27	240+9.14	0	0	3	75,89	2,43	73,46	13,46	15,90	111,87	8218,02	1505,82	1778,84

recta	240+9.14	254+6.36	0	0,3	240+9.14	248+8.78			9	60	0,00	60,00	0,00	13,46	79,64	4778,40	0,00	1071,99
				-0,94	248+8.78	254+6.36	40	0,031	8	73,9	4,59	69,31	9,31	9,31	57,58	3990,93	536,13	536,13
curva	254+6.36	258+9.33	382,38	-0,94	254+6.36	258+9.33	0	0	2	76,9	2,63	74,27	14,27	4,96	42,97	3191,52	613,32	213,23
recta	258+9.33	262+7.75	0	-0,94	258+9.33	260+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	14,27	10,67	640,20	0,00	152,30
				-0,32	260+0.00	262+7.75	40	0,016	7	91,37	3,21	88,16	28,16	28,16	27,75	2446,34	781,34	781,34
curva	262+7.75	264+9.74	107,765	-0,32	262+7.75	264+9.74	0	0	2	76,9	9,32	67,58	7,58	20,58	21,99	1486,08	166,68	452,48
recta	264+9.74	302+4.03		-0,32	264+9.74	274+9.78			9	60	0,00	60,00	0,00	7,58	100,04	6002,40	0,00	758,28
				1,52	274+9.78	289+2.78	40	0,046	7	91,37	9,24	82,13	22,13	22,13	143	11744,65	3164,65	3164,65
				1,47	289+2.78	302+0.00	40	0,01	8	73,9	1,48	72,42	12,42	9,71	127,22	9213,23	1580,03	1235,40
			0	0,74	302+0.00	302+4.03	40	0,018	7	91,37	3,62	87,75	27,75	15,33	4,03	353,65	111,85	61,80
curva	302+4.03	308+9.51	167,53	0,74	302+4.03	308+9.51	0	0	3	75,89	6,24	69,65	9,65	18,11	65,48	4560,47	631,67	1185,70
recta	308+9.51	411+4.02	0	0,74	308+9.51	316+1.78			9	60	0,00	60,00	0,00	9,65	72,27	4336,20	0,00	697,17
				1,54	316+1.78	333+4.75	40	0,02	7	91,37	4,02	87,35	27,35	27,35	172,97	15109,41	4731,21	4731,21
				1,02	333+4.75	346+2.75	40	0,013	8	73,9	1,92	71,98	11,98	15,38	128	9212,88	1532,88	1968,28
				1,59	346+2.75	366+8.75	40	0,014	7	91,37	2,81	88,56	28,56	16,58	206	18242,94	5882,94	3415,96
				0,79	366+8.75	378+6.75	40	0,02	8	73,9	2,96	70,94	10,94	17,62	118	8370,85	1290,85	2078,99
				1,36	378+6.75	390+0.00	40	0,014	8	73,9	2,07	71,83	11,83	0,89	113,25	8134,47	1339,47	100,59
				0,7	390+0.00	411+4.02	40	0,017	7	91,37	3,41	87,96	27,96	16,13	214,02	18824,21	5983,01	3451,67
curva	411+4.02	420+2.33	430	0,7	411+4.02	419.8.09	0	0	6	75,37	1,02	74,35	14,35	13,61	84,07	6250,28	1206,08	1144,13
			430	1,06	419.8.09	420+2.33	0	0	6	75,37	1,02	74,35	14,35	0,00	4,24	315,23	60,83	0,00
curva	420+2.33	428+9.78	229,865	1,06	420+2.33	428+2.08	0	0	5	74,06	1,43	72,63	12,63	1,71	79,75	5792,61	1007,61	136,49
			229,865	0,9	428+2.08	428+9.78	0	0	5	74,06		74,06	14,06	1,43	7,7	570,26	108,26	10,98
recta	428+9.78	485+5.96	0	0,9	428+9.78	441+9.30			9	60	0,00	60,00	0,00	14,06	129,52	7771,20	0,00	1821,05
				0,83	441+9.30	463+5.30	40	0,02	7	91,37	4,02	87,35	27,35	27,35	216	18868,20	5908,20	5908,20
				1,12	463+5.30	478+9.30	40	0,007	8	73,9	1,04	72,86	12,86	14,49	154	11221,02	1981,02	2231,31
				4,26	478+9.30	485+5.96	80	0,039	7	91,37	7,83	83,54	23,54	10,67	66,66	5568,54	1568,94	711,44
curva	485+5.96	505+1.99	322,59	4,26	485+5.96	486+2.81	0	0	6	75,37	1,36	74,01	14,01	9,53	6,85	506,94	95,94	65,29
			322,59	0,08	486+2.81	501+8.80	0	0	6	75,37	1,36	74,01	14,01	0,00	155,99	11544,07	2184,67	0,00
			322,59	2,9	501+8.80	505+1.99	0	0	6	75,37	1,36	74,01	14,01	0,00	33,19	2456,23	464,83	0,00
recta	505+1.99	534+6.88	0	2,9	505+1.99	513+3.80			9	60	0,00	60,00	0,00	14,01	81,81	4908,60	0,00	1145,76
				-1,49	513+3.80	522+5.10	80	0,055	8	73,9	8,14	65,76	20,00	20,00	91,3	6003,74	1826,00	1826,00
				0,39	522+5.10	533+7.10	40	0,047	7	91,37	9,44	81,93	21,93	1,93	112	9176,11	2456,11	216,11
				3,2	533+7.10	534+6.88	80	0,035	8	73,9	5,18	68,72	8,72	13,21	9,78	672,07	85,27	129,20

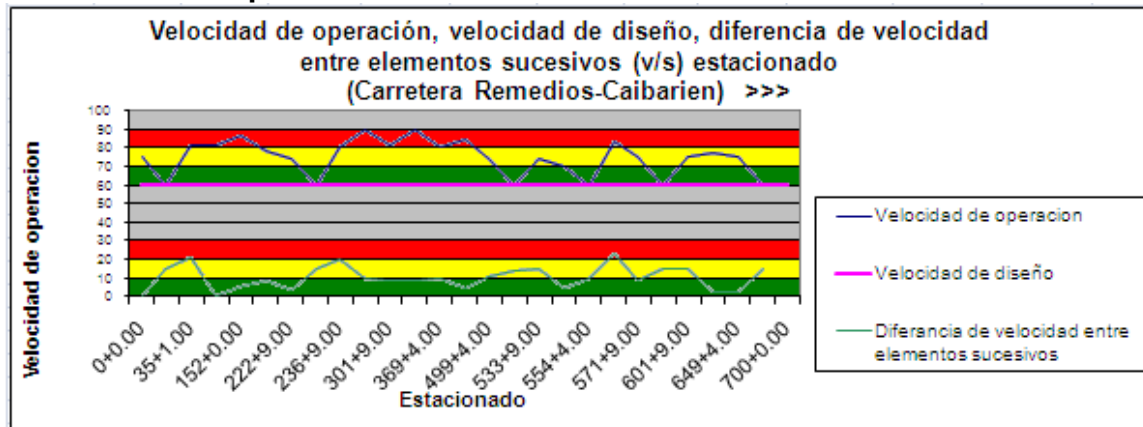
curva	534+6.88	545+2.02	343,94	3,2	534+6.88	543+9.10	0	0	6	75,37	1,28	74,09	14,09	5,37	92,22	6832,57	1299,37	495,31
			343,94	2,88	543+9.10	545+2.02	0	0	6	75,37	1,28	74,09	14,09	0,00	12,92	957,24	182,04	0,00
recta	545+2.02	551+3.48	0	2,88	545+2.02	549+4.60			9	60	0,00	60,00	0,00	14,09	42,58	2554,80	0,00	599,95
				1,08	549+4.60	551+3.48	40	0,045	8	73,9	6,66	67,24	7,24	7,24	18,88	1269,47	136,67	136,67
curva	551+3.48	557+2.36	192,62	1,08	551+3.48	553+4.91	0	0	5	74,06	1,70	72,36	12,36	5,12	21,43	1550,65	264,85	109,73
			192,62	4,48	553+4.91	557+2.36	0	0	5	74,06	1,70	72,36	12,36	0,00	37,45	2709,85	462,85	0,00
recta	557+2.36	572+5.37	0	4,48	557+2.36	558+8.30			9	60	0,00	60,00	0,00	12,36	15,94	956,40	0,00	197,00
				3,05	558+8.30	562+8.30	40	0,036	7	91,37	7,23	84,14	24,14	24,14	40	3365,56	965,56	965,56
				-2,81	562+8.30	570+1.60	80	0,073	8	73,9	10,81	63,09	3,09	21,05	73,3	4624,78	226,78	1542,62
				-6,48	570+1.60	572+5.37	80	0,046	8	73,9	6,81	67,09	7,09	4,00	23,77	1594,74	168,54	95,00
curva	572+5.37	573+5.89	256,79	-6,48	572+5.37	573+5.89	0	0	2	76,9	3,91	72,99	12,99	5,90	10,52	767,84	136,64	62,05
recta	573+5.89	586+8.10	0	-6,48	573+5.89	575+5.30				60	0,00	60,00	0,00	12,99	19,41	1164,60	0,00	252,11
				-5,45	575+5.30	580+9.50	40	0,026	7	91,37	5,22	86,15	26,15	26,15	54,2	4669,20	1417,20	1417,20
				-1,77	580+9.50	586+8.10	40	0,092	8	73,9	13,62	60,28	0,28	25,87	58,6	3532,48	16,48	1515,77
curva	586+8.10	593+6.61	286,99	-1,77	586+8.10	588+8.26	0	0	5	74,06	1,14	72,92	12,92	12,64	20,16	1470,03	260,43	254,76
			286,99	0,54	588+8.26	593+6.61	0	0	5	74,06	1,14	72,92	12,92	0,00	48,35	3525,60	624,60	0,00
recta	593+6.61	593+6.61	0	0,54	593+6.61	596+8.86			9	60	0,00	60,00	0,00	12,92	32,25	1935,00	0,00	416,62
				1,68	596+8.86	593+6.61	40	0,0285	7	91,37	5,72	85,65	25,65	25,65	79,74	6829,37	2044,97	2044,97
curva	604+8.60	632+7.24	395,34	1,68	604+8.60	620+3.57	0	0	6	75,37	1,11	74,26	14,26	11,39	154,97	11507,50	2209,30	1764,98
			395,34	0,43	620+3.57	632+7.24	0	0	6	75,37	1,11	74,26	14,26	0,00	123,67	9183,28	1763,08	0,00
recta	632+7.24	652+3.89		0,43	632+7.24	634+4.57			9	60	0,00	60,00	0,00	14,26	17,33	1039,80	0,00	247,06
			0	-0,07	634+4.57	651+0.57	40	0,0125	7	91,37	2,51	88,86	28,86	28,86	166	14750,64	4790,64	4790,64
				-0,53	651+0.57	652+3.89	40	0,0115	8	73,9	1,70	72,20	12,20	16,66	13,32	961,67	162,47	221,93
curva	652+3.89	658+2.49	190,921	-0,53	652+3.89	658+2.49	0	0	2	76,9	5,26	71,64	11,64	0,56	58,6	4198,06	682,06	32,73
recta	658+2.49	665+2.96	0	-0,53	658+2.49	662+8.57			9	60	0,00	60,00	0,00	11,64	46,08	2764,80	0,00	536,33
				0,65	662+8.57	665+2.96	40	0,0295	7	91,37	5,93	85,44	25,44	25,44	24,39	2083,99	620,59	620,59
curva	665+2.96	668+4.26	334,93	0,65	665+2.96	668+4.26	0	0	3	75,89	3,12	72,77	12,77	12,68	31,3	2277,61	399,61	396,81
recta	668+4.26	672+0.00	0	0,65	668+4.26	672+0.00			9	60	0,00	60,00	0,00	12,77	35,74	2144,40	0,00	456,30
															6,720	491,065	89,186	85,688

$$E_v = \left(\frac{\sum (V_{s(i)} - V_{s(i)}) L(i)}{Lt} \right) \quad 13,27$$

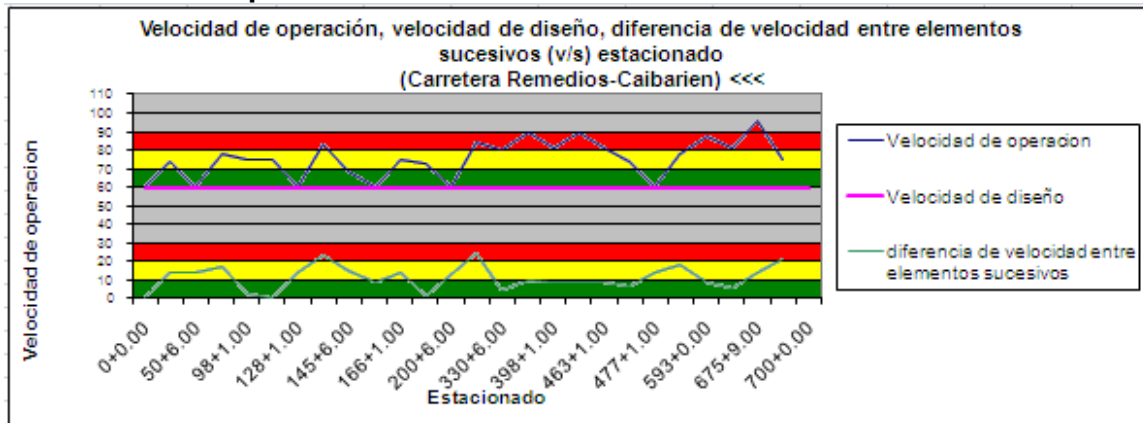
$$E_v = \left(\frac{\sum (\Delta V_{s(i)}) L(i)}{Lt} \right) \quad 12,75$$

$$V_{ss} = \left(\frac{\sum (V_{ss}) L(i)}{Lt} \right) \quad 73,08$$

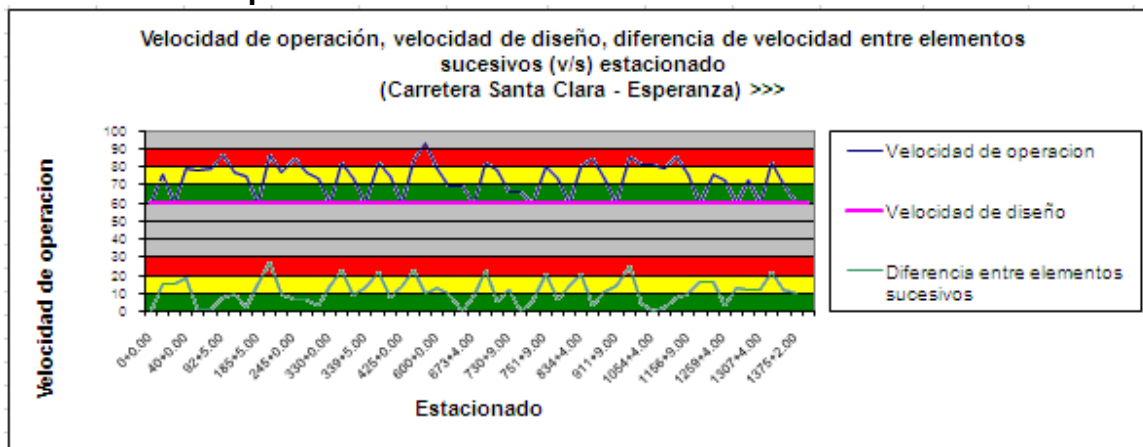
Anexo 3.16 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



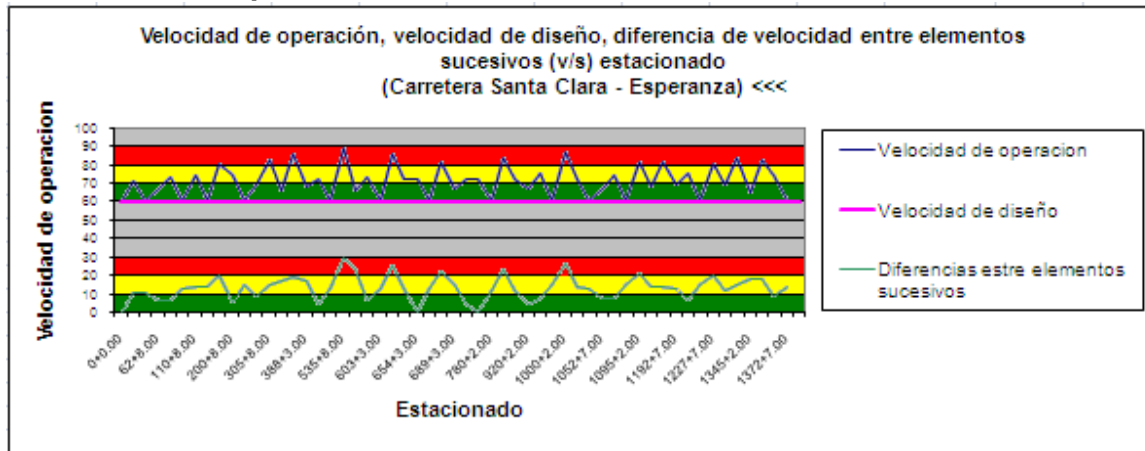
Anexo 3.17 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



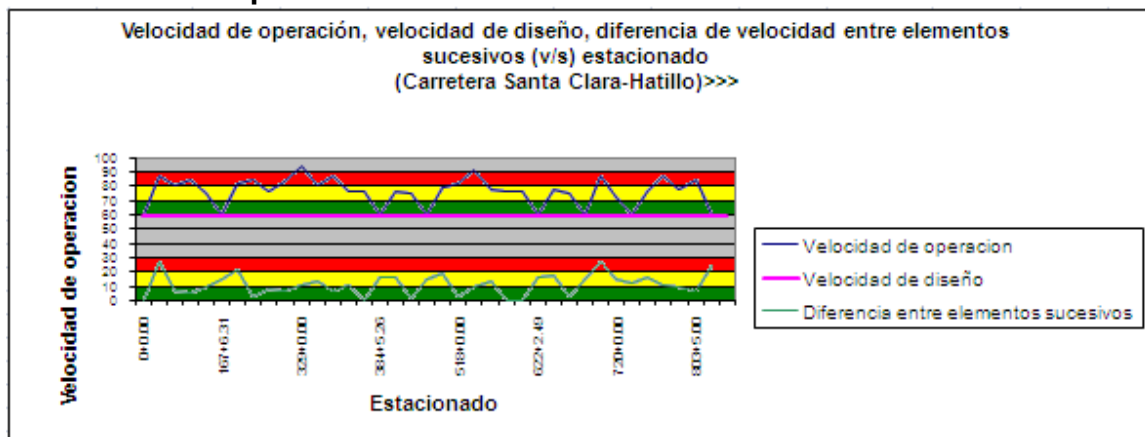
Anexo 3.18 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



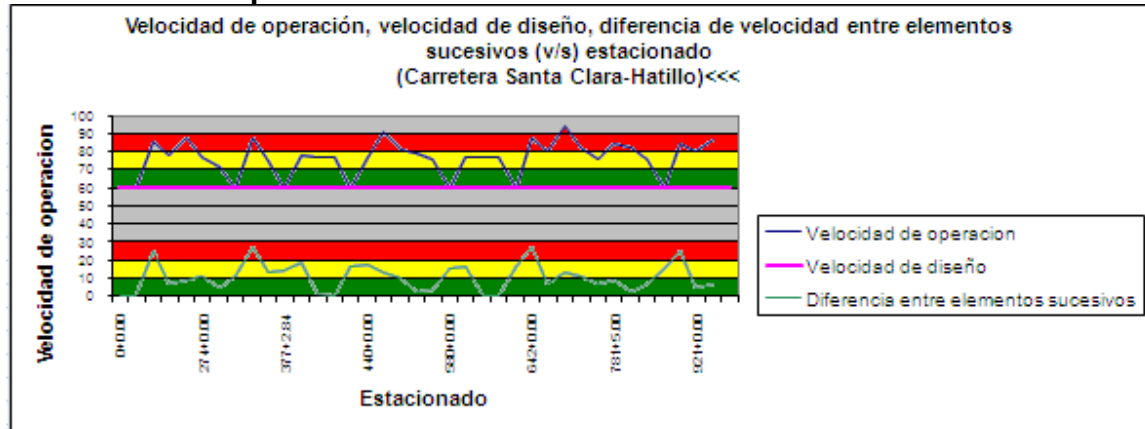
Anexo 3.19 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



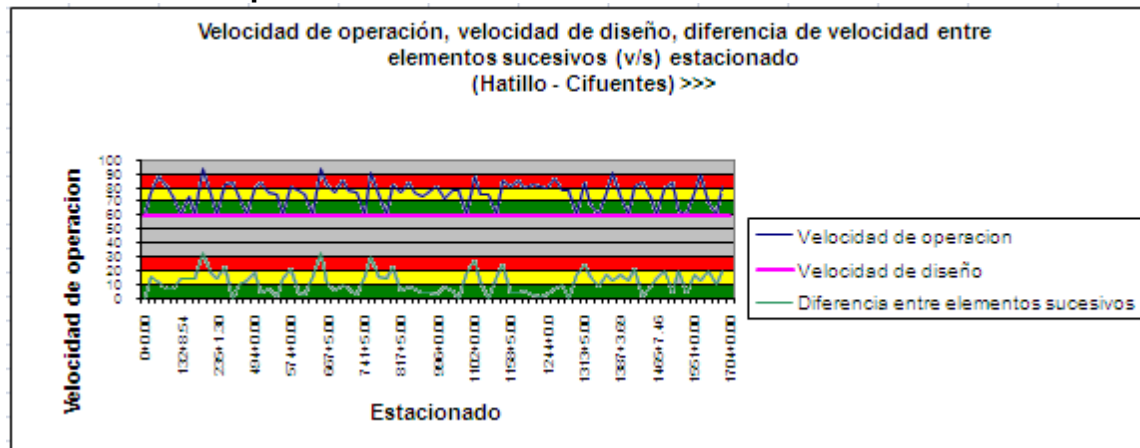
Anexo 3.20 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



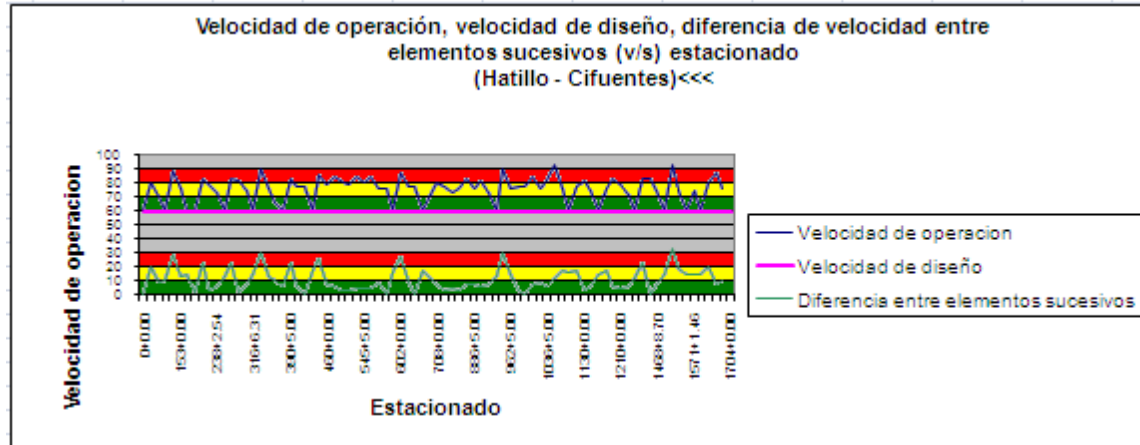
Anexo 3.21 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



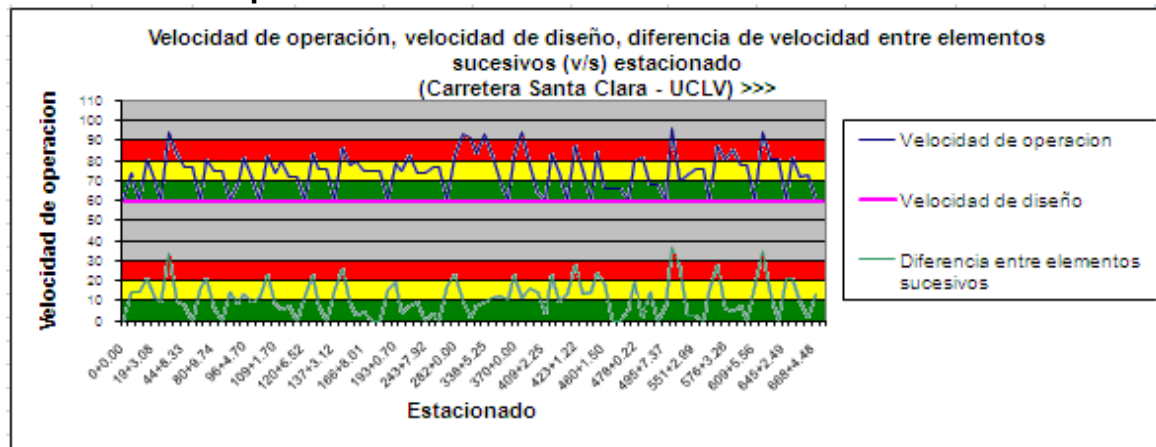
Anexo 3.22 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



Anexo 3.23 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



Anexo 3.24 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.



Anexo 3.25 comportamiento de la consistencia en los tramos de vía.

