



*Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas  
Facultad de Construcciones  
Departamento de Ingeniería Civil*

## *TRABAJO DE DIPLOMA*

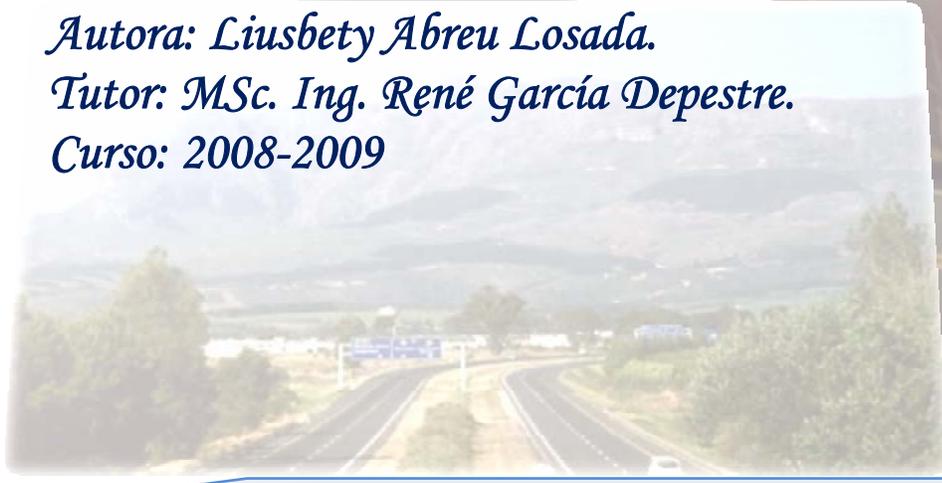


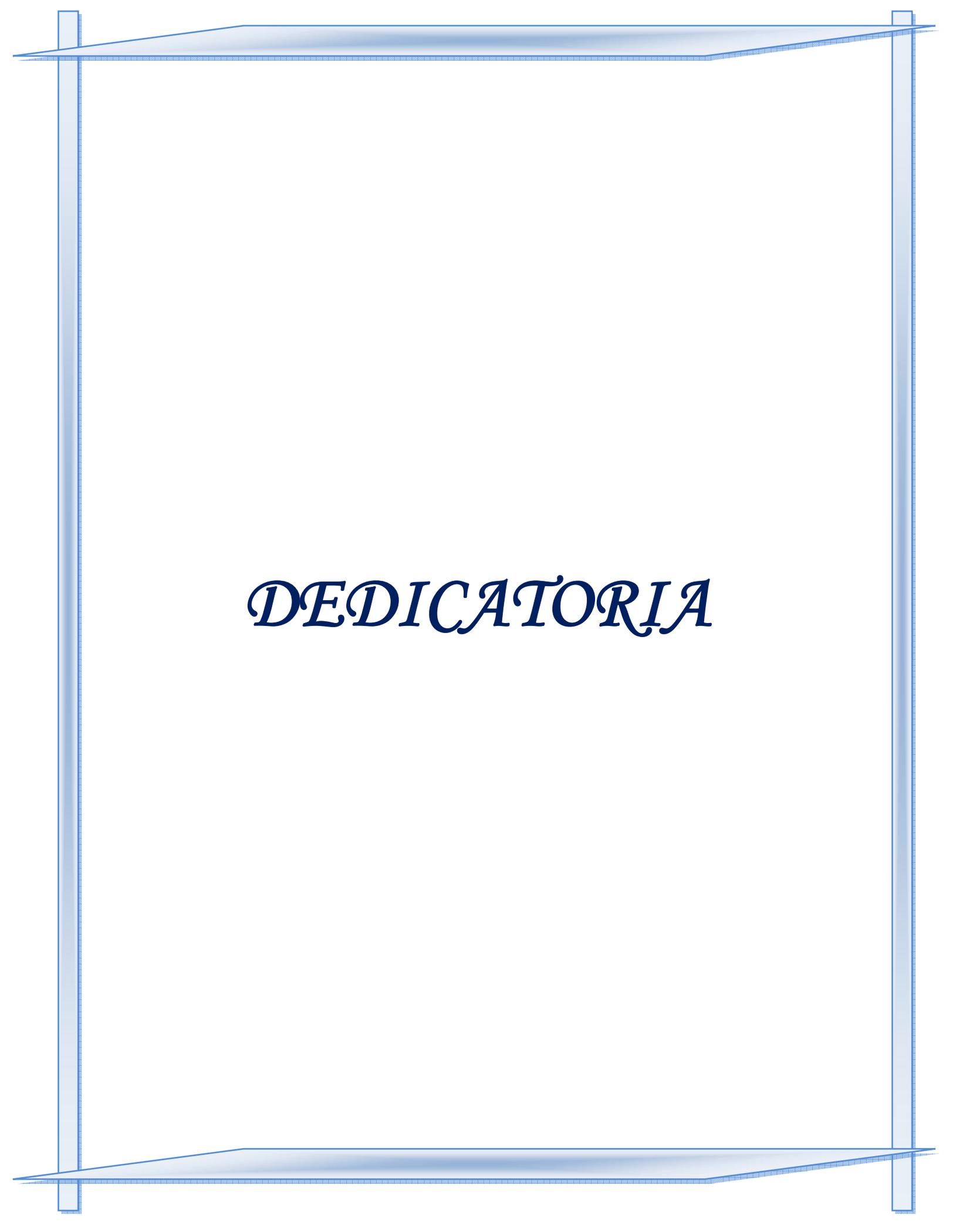
*Modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para  
las vías rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara.*

*Autora: Liusbety Abreu Losada.*

*Tutor: MSc. Ing. René García Depestre.*

*Curso: 2008-2009*





# *DEDICATORIA*



*A mis padres  
Martha y Luis Alberto*



# *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 novio: por ayudarme siempre en todo y estar ahí cuando te necesito, te amo.*
- ❖ *A mis suegros: los quiero, gracias por acogerme como a una hija.*
- ❖ *A Pepe y a Reina: gracias por sus consejos y por darme fuerzas para ser mejor cada día.*
- ❖ *A mi familia: por comprenderme y apoyarme siempre.*
- ❖ *A mi tutor, René: por sus valiosas orientaciones y sugerencias.*
- ❖ *A mi claustro de profesores: en especial a Domingo y a Camilo, ya que sin el apoyo de los cuales no hubiese sido posible la terminación de esta tesis.*
- ❖ *A Rogelio, Samuel, Etiel, Yoandy, Artilés y Juan Manuel: gracias por ayudarme en todo lo que pudieron.*
- ❖ *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*

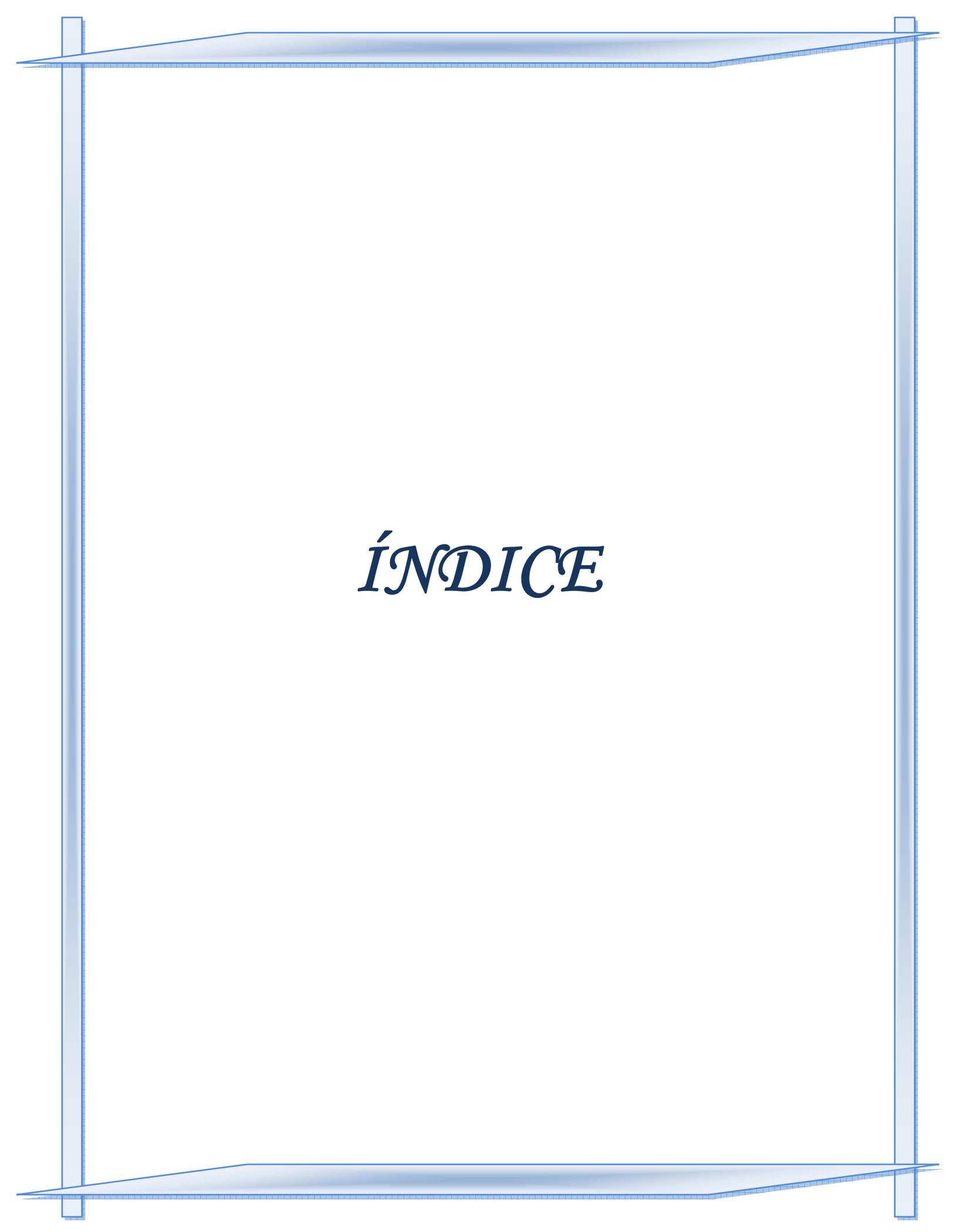


# *RESUMEN*



## **RESUMEN.**

La presente investigación científica tiene como objetivo general establecer los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para las vías rurales de dos carriles de interés nacional en la provincia de Villa Clara y comparar estos modelos con los determinados en otros países, con la finalidad de estudiar la repercusión de la elección de los mismos en el análisis de la consistencia del trazado. Para lograr este objetivo se realizó una revisión bibliográfica donde se analizó el estado actual de conocimiento acerca de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación obtenidos en otros países, con el propósito de evaluar la consistencia del trazado y contribuir a la seguridad vial. Se elaboró una metodología la cual se aplicó para la obtención de los modelos, así como para determinar las características geométricas (pendiente y radio de la curva) de las vías estudiadas. Luego se analizaron los datos obtenidos en la vía y la velocidad de operación de los vehículos que transitaban por ella a flujo libre, obteniéndose los modelos para las combinaciones de alineamientos existentes tanto en planta como en perfil. Se realizó la comprobación de los modelos y se compararon con los de otros países. Finalmente se arribó a las conclusiones de la investigación y se plantearon las recomendaciones.



# *ÍNDICE*

**ÍNDICE.**

<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo 1: Estado actual del conocimiento</b>	7
1.1 Accidentes de tránsito	7
1.1.1 Índices de accidentalidad	9
1.2 Velocidad	12
1.2.1 Velocidades vehiculares	12
1.2.2 Velocidad y accidentes de tránsito	14
1.3 Consistencia del trazado	16
1.3.1 Métodos de evaluación de la consistencia	17
1.3.2 Métodos de evaluación de la consistencia del trazado, basados en la velocidad	18
1.4 Modelos de predicción del perfil de velocidad de operación	21
Conclusiones parciales	25
<b>Capítulo 2: Propuesta de la metodología para la investigación científica</b>	26
2.1 Metodología de la investigación científica	26
2.1.1 Procedimiento a seguir en la aplicación de la metodología	27
Conclusiones parciales	37
<b>Capítulo 3: Aplicación de la metodología y análisis de los resultados</b>	39
3.1 Aplicación de la metodología y análisis de los resultados	39
Tabla resumen	57
Conclusiones parciales	58
<b>Conclusiones</b>	59
<b>Recomendaciones</b>	60
<b>Referencias</b>	61
<b>Bibliografía</b>	62
<b>Anexos</b>	



# *INTRODUCCIÓN*



## **INTRODUCCIÓN.**

Con el desarrollo de la ciencia y la técnica, ha existido un adelanto muy significativo en el transporte a nivel mundial, no solo de los vehículos que circulan por las vías, sino en éstas de forma general. Con este progreso se ha logrado viajar por nuestras carreteras a mayor velocidad, con la sensación de una mejor seguridad. No es conducir a altas velocidades la principal causa de accidentes relacionados con la velocidad, sino hacerlo de forma inadecuada a las condiciones del entorno.

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, que pueden provocar accidentes.

Los accidentes de tránsito son un problema de salud mundial y constituyen la primera causa de muertes de niños y jóvenes en casi todos los países. Es por ello que se considera un problema creciente en términos de años de vida potencialmente perdidos, ya que afectan en mayor proporción a las poblaciones de menor edad, aunque los otros grupos se ven afectados también.

Por lo general en Cuba se producen más muertes en las carreteras rurales, donde la velocidad es más elevada que en las zonas urbanas, pero las lesiones graves que precisan estancia en un hospital son al menos el doble en las vías urbanas, donde el tráfico es más problemático.(2008)

En el país, por provincias, las mayores tasas de accidentalidad le corresponden a La Habana, Ciudad de La Habana, Villa Clara, Ciego de Ávila, Sancti Spíritus y Santiago de Cuba, por encima de las siete provincias restantes. Los muertos por accidentes de tránsito en Villa Clara, en un estudio realizado en los últimos años considerando solo las carreteras rurales son 379 fallecidos.

Radelat (1964), plantea que la seguridad vial no es más que la reducción del riesgo de accidentes y lesiones en las carreteras, lograda a través de un enfoque



multidisciplinario que abarca ingeniería vial y gestión del tráfico, educación y formación de los usuarios de las carreteras y diseño de los vehículos.

Existen diferentes métodos para contribuir a mejorar la seguridad vial, dentro de ellos se encuentra la evaluación de la consistencia del trazado de las vías. En el mundo se han planteado varios procedimientos para implementar este método, destacándose dentro de ellos los basados en los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación, pues este resulta de fácil aplicación en la práctica.

En la actualidad no existe un método cubano para evaluar la consistencia del trazado, pues para hacerlo se deben emplear modelos calibrados en otros países, los cuales no se adaptan a las condiciones del tránsito existente en Cuba, es por ello que se hace necesario la obtención de los modelos de predicción de velocidad de operación según las combinaciones de alineamientos existentes, adecuados para las vías y los conductores cubanos.

Basados en la necesidad de obtener los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación con las características de Cuba y por la importancia que tiene la consistencia de la vía, para contribuir a disminuir el número de accidentes que ocurren en las carreteras, se ha decidido realizar este estudio, que presenta la problemática siguiente.

**Problema:**

Teniendo en cuenta el empeño del Ministerio del Transporte en estudiar la seguridad vial, así como la posibilidad de contar con los datos y recursos necesarios para lograr la obtención de los modelos de predicción del perfil de velocidades de operación en vías rurales de dos carriles, que son las de mayor ocurrencia de accidentes y tomando la provincia de Villa Clara como base para esta investigación, ya que es una de las más afectadas con esta situación. El *problema científico* que aborda este trabajo puede ser resumido en el planteamiento de la siguiente interrogante:

¿Cómo obtener los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación en vías rurales de interés nacional de dos carriles en la provincia de Villa Clara a partir de los parámetros geométricos de la carretera, para evaluar la consistencia de su trazado?



**Objeto de estudio:**

La presente investigación tiene como objeto de estudio; la velocidad de operación y la velocidad de diseño de las vías rurales de dos carriles de interés nacional en la provincia de Villa Clara.

**Hipótesis:**

El establecimiento de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación a partir de los parámetros geométricos de la carretera tales como, la pendiente y el radio de la curva, que permitiría la evaluación de la consistencia del trazado y contribuiría a la seguridad vial.

**Objetivo General:**

Establecer los modelos de predicción del perfil de velocidades de operación para vías rurales de dos carriles de interés nacional en la provincia de Villa Clara y compararlos con modelos de otros países con la finalidad de estudiar la repercusión de la elección de estos modelos en los análisis de consistencia del trazado.

**Objetivos específicos:**

- ❖ Analizar el estado actual del conocimiento de la temática de investigación que permita conocer los modelos empleados en otros países para predecir el perfil de velocidad de operación en vías rurales de dos carriles.
- ❖ Elaborar una metodología para obtener los modelos del perfil de velocidades de operación en vías rurales de dos carriles a partir de las combinaciones de alineamientos existentes.
- ❖ Aplicar la propuesta de metodología a la obtención de los modelos, a través de los datos obtenidos en las carreteras estudiadas.

**Tareas Científicas:**

- ❖ Recopilación bibliográfica preliminar, definición, aprobación del tema y elaboración del plan de trabajo.
- ❖ Estado del arte sobre los modelos utilizados para la predicción del perfil de la velocidad de operación y los parámetros que influyen en ellos.



- ❖ Hallar la cantidad de datos que son necesarios obtener en las vías para procesar y poder confeccionar los modelos.
- ❖ Selección de los tramos a evaluar y desarrollar el plan experimental para la toma de información en las carreteras de dos carriles de interés para el país.
- ❖ Evaluar la velocidad de operación en los tramos de interés de las vías seleccionadas.
- ❖ Procesar los datos de las velocidades de operación obtenidos para la formulación y la posible propuesta de los modelos.
- ❖ Análisis y valoración de los resultados logrados.
- ❖ Confección de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación.
- ❖ Comparación con los modelos de otros países para evaluar los resultados.

**Novedad Científica:**

Con la investigación realizada se establecerán los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación en las carreteras rurales de interés nacional de dos carriles de la provincia de Villa Clara, lo que permitirá evaluar la consistencia del diseño geométrico de las vías, lo cual es un factor importante en la accidentalidad

**Aportes Científicos Relevantes:**

- ❖ Desarrollo de un nuevo enfoque metodológico general para el estudio del comportamiento de la seguridad vial.
- ❖ Desarrollo y obtención de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación en vías rurales de dos carriles de interés nacional para la provincia de Villa Clara, que permite evaluar la consistencia de las vías.

**Valor Metodológico:**

Con esta investigación se constará con una herramienta para determinar el perfil de velocidad de operación en las vías rurales de dos carriles, lo que permitirá la evaluación de la consistencia del trazado.



### **Valor Científico:**

Con la investigación realizada se podrá conocer en mayor medida el comportamiento de la seguridad vial en la provincia de Villa Clara, además de poder generalizar el método empleado a todo el país, con el objetivo de facilitar la obtención del perfil de velocidad de operación de las vías rurales de dos carriles.

### **Valor Práctico:**

El presente trabajo tiene un gran valor práctico ya que se puede determinar y valorar el perfil de velocidad de operación de las vías rurales de dos carriles de la provincia de Villa Clara, para evaluar la consistencia del trazado.

### **Estructura del Trabajo:**

La estructura de la tesis guarda una relación directa con la metodología establecida y específicamente con el desarrollo particular de cada fase 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 la estructura lógica del trabajo se establecen a continuación:

- ❖ Resumen.
- ❖ Introducción.
- ❖ Capítulo 1.

En este capítulo se realiza un análisis del estado del arte de la temática, 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 consultada y destacándose los fundamentos teóricos principales, lo que permitió confirmar la hipótesis del trabajo y establecer la línea a seguir.

- ❖ Capítulo 2.

En este capítulo se realiza la formulación de la metodología para realizar los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación en las carreteras



rurales de dos carriles, teniendo en cuenta las combinaciones de alineamientos existentes.

❖ Capítulo 3.

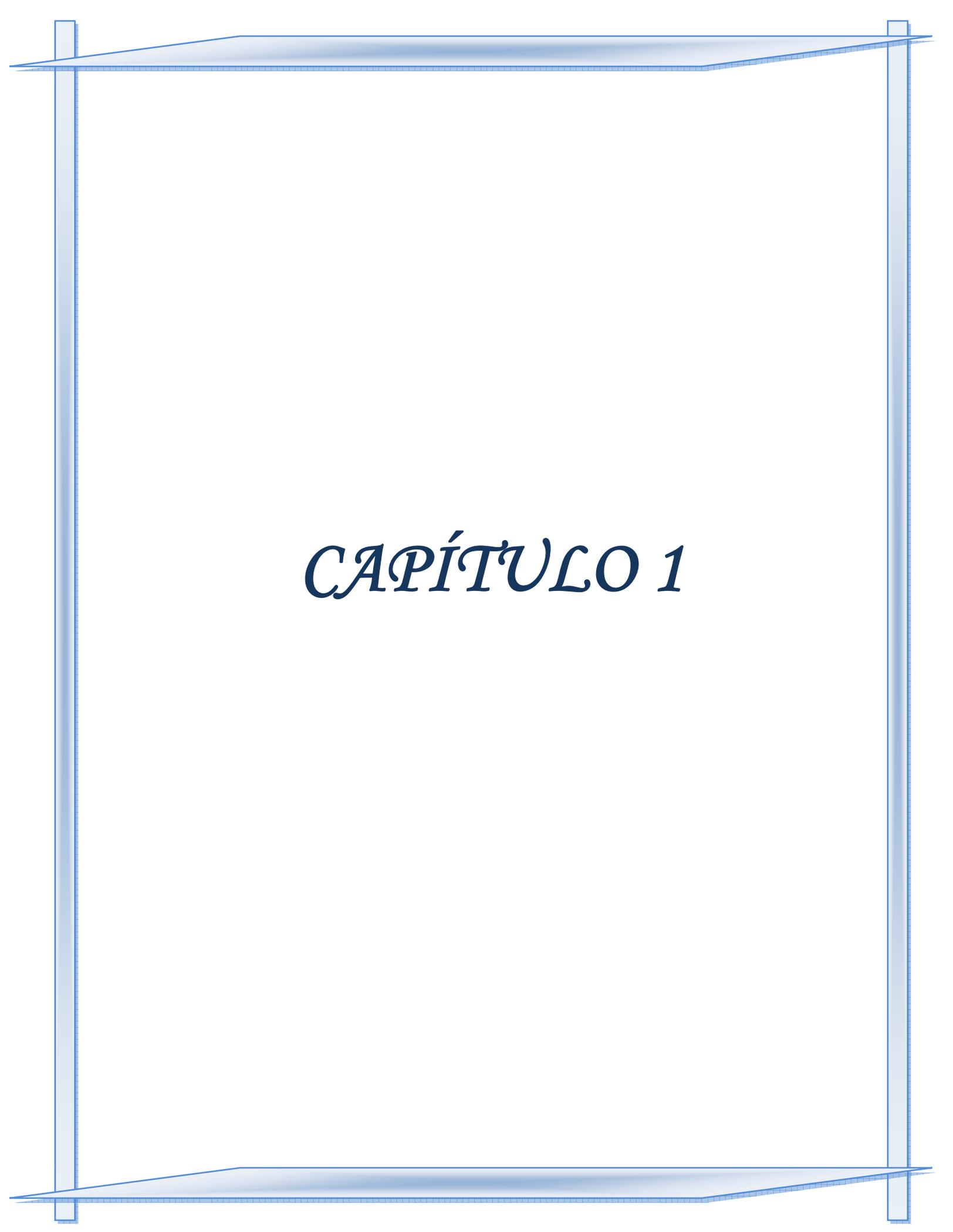
En este capítulo se realiza la aplicación de la metodología formulada en el capítulo anterior con el objetivo de confirmar la eficacia, valor práctico y la veracidad de la misma, presentando los resultados procesados de los datos obtenidos para lograr obtener los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación.

❖ Conclusiones.

❖ Recomendaciones.

❖ Referencias Bibliográficas.

❖ Anexos



# *CAPÍTULO 1*



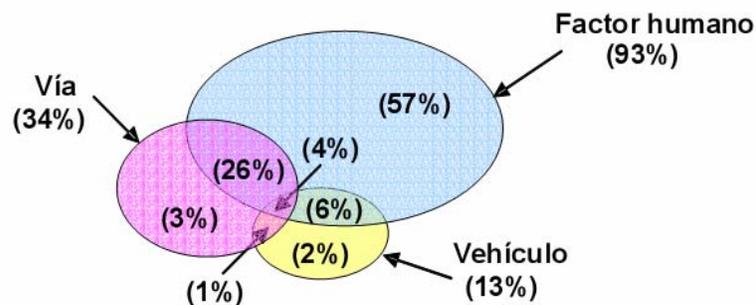
**CAPÍTULO 1: Estado actual del conocimiento.**

En este capítulo se realiza una amplia búsqueda bibliográfica relacionada con el tema de esta investigación, para conocer los antecedentes y el estado actual del conocimiento sobre los modelos de predicción de velocidad de operación para vías rurales de dos carriles a nivel mundial. Esta revisión bibliográfica nos permite confirmar la hipótesis del trabajo y establecer la línea a seguir.

**1.1 Accidentes de tránsito.**

Los accidentes de tránsito se consideran una de las primeras causas de fallecimientos a nivel mundial y se pronostica que en los próximos 20 años ocuparán el tercer lugar dentro de la lista de las principales consecuencias de muertes en todo el mundo. Por la importancia que se le debe dar a este aspecto se considera necesario tener presente que un accidente del tránsito no es más que un hecho que ocurre en la vía, donde intervienen por lo menos un vehículo en movimiento y que como resultado produce la muerte, lesiones de personas o daños materiales, establecido así por la “Ley Número 60 del Código de Vialidad y Tránsito”, que es la encargada de regular la actividad vial y de tránsito en Cuba.(2002-2012)

Los motivos por los cuales sucede el siniestro pueden radicar en los componentes del sistema de Seguridad Vial y la interrelación entre ellos: factor humano, la vía con su entorno y el vehículo, (Treat 1979). Ellos favorecen la ocurrencia de los accidentes en la proporción mostrada en la (Figura 1.1).



**Figura 1.1 Incidencia de los componentes simples y combinados en las causas de los accidentes de tránsito (en porcentajes). (Fuente: Treat, 1979)**



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

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

A continuación se da una breve explicación de cada uno de los componentes expuestos anteriormente:

### **Hombre**

El hombre influye sobre los otros elementos y a la vez es a quien sirve la carretera y para el cual se desea que las características de la vía sean las mejores. En su relación con los otros elementos el usuario de la vía es el que conduce el vehículo que circula por ella, realizando maniobras de acuerdo a su capacidad para conducir, a las características climáticas imperantes, y como es lógico a las condiciones de la carretera. En el conductor están presentes factores internos y externos.(Arboláez 2008)

En relación con el hombre, no hay dudas de que se ha ido adaptando a los cambios tecnológicos de los vehículos, pues no es el mismo chofer de los años 30 ó 40 del siglo pasado, esta adaptación a los cambios paulatinamente introducidos, ha incidido incuestionablemente en la variación de su reacción ante estímulos similares, aspecto importante a tener en cuenta en los accidentes del tránsito provocados por este componente. (Autores 2002)

### **Vía**

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



En cuanto a la vía también se ha ido desarrollando en virtud de los cambios de los vehículos, su volumen, velocidad, el desarrollo de nuevos materiales y de los equipos de construcción, así como la experiencia acumulada en investigaciones realizadas han ido modificando las normas de diseño, por lo que aquellas carreteras construidas hace más de 70 u 80 años, fueron diseñadas para los parámetros de aquellos vehículos, choferes y normas, y sin embargo se siguen utilizando por los vehículos y choferes actuales. (Autores 2002)

### **Vehículo**

En los últimos 80 años el desarrollo de la ciencia y la técnica ha introducido cambios tecnológicos en los automóviles imposibles de imaginárselos en los años 20 ó 30 del siglo pasado, tales como sus dimensiones (ancho y largo), velocidad, sistema de frenado, iluminación, bolsas de aire, aplicación de la computación y confort, que permiten viajar a mayor velocidad y con la sensación de mayor seguridad. Es el vehículo el que mayor desarrollo ha experimentado de los tres componentes. (Autores 2002)

Luego de analizar los tres componentes del Sistema de Seguridad Vial, el hombre es la principal causa de los accidentes en la vía a nivel mundial, según la bibliografía consultada.

En Cuba, aunque se reconoce el hombre como causa principal de ocurrencia de los accidentes (Arboláez 2008), los registros de los datos han estado habitualmente enfocados hacia la determinación de la responsabilidad más que hacia el análisis de las causas, es por ello que no se pueden establecer las proporciones de las causas ni para el país de forma general, ni para el territorio que se estudia.

#### **1.1.1 Índices de accidentalidad.**

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



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

En los países del continente Americano la tasa de mortalidad se comporta entre 12,1 y 16,2 fallecidos por 100 000 habitantes. Estados Unidos, Brasil, México, Colombia, Argentina y Venezuela son las seis naciones con el mayor número de muertes relacionadas con el tránsito. En este continente mueren cada año cerca de 130000 personas, y cerca de un millón y medio sufren traumatismos o quedan parcial o permanentemente discapacitados como consecuencia de colisiones y atropellamientos en la vía pública, según la Organización Mundial de la Salud, 2006.

Según el informe del 2008 de la Comisión Nacional de Vialidad y Tránsito, en Cuba, los accidentes del tránsito ocupan el quinto lugar entre las causas de muerte y el primer motivo de la pérdida de vidas de forma violenta, con un promedio anual, en el período del 2000 al 2008 de 10212 personas, con un saldo de 922 fallecidos y 7899 lesionados, para un índice de 8,23 fallecidos/100000 habitantes. Estas cifras son comparables con indicadores de Europa (5,9-12,8 fallecidos/100 000 habitantes).

Los países del continente europeo son los que menor número de habitantes por vehículos tienen, y por consiguiente, mayor número de vehículos por carretera (Tabla 1.1) los mismos cuentan con las menores cifras de fallecidos por vehículos, ya que además de tener un alto grado de conocimiento del tema de seguridad vial, poseen un elevado porcentaje de vehículos por carreteras, lo que influye en el aumento de la velocidad, siendo esto un factor importante en el número de fallecidos por vehículos y además si le ocurre el siniestro al vehículo, producto a su número de personas por el mismo, ocurrirán menos pérdidas. En América



Latina y el Caribe es todo lo contrario, Cuba ocupa el segundo lugar en mayor cantidad de habitantes por vehículos (después de Nicaragua) y el más alto de fallecidos por vehículos.

Tabla 1.1: Muertes por accidentes del tránsito.

País	Año	Habitantes por Vehículos	Vehículos por km de Carreteras	Fallecidos por 10000 Vehículos
Alemania	1997	1,7	70,9	1,78
Brasil	1994	5,7	14,6	5,58
Canadá	1995	1,7	19,5	2,01
Costa Rica	1997	7,3	14,5	6,40
Cuba	1997	31,0	5,9	36,11
Chile	1995	7,5	25,3	11,84
Ecuador	1996	20,8	13,8	27,46
El Salvador	1997	16,3	36,1	18,01
España	1997	2,0	39,0	3,02
EE UU	1997	1,3	34,1	2,05
Francia	1997	1,7	38,0	2,57
Inglaterra	1997	2,6	62,3	1,53
Italia	1996	1,6	73,6	1,86
México	1993	6,3	49,6	4,57
Nicaragua	1995	38,3	7,6	34,89
Panamá	1996	9,1	27,4	14,94
Portugal	1997	2,3	62,5	5,08
Uruguay	1996	5,9	63,1	12,99

Fuente: Principios de Ingeniería del Tránsito, G. Radelat 2003.

Tabla 1.2: Accidentalidad en Cuba (Fallecidos/veh por km).

Territorio	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Nacional	8.7	8.3	6.7	6.6	6.5	6.5	5.6	5.5	6.5
Internacional	0.8-0.9								
UM	Fallecidos/veh por km								

Fuente: Martínez 2008.

Los resultados de la accidentalidad en Cuba relacionados con los vehículos por kilómetros no son muy alentadores (Tabla 1.2), los que comparados con los obtenidos internacionalmente dejan mucho que desear.



Los índices de accidentalidad en Cuba son altos como se pudo observar anteriormente, por lo que se hace necesario estudiar esta problemática con el objetivo de disminuir estos índices. Es importante analizar la velocidad de los vehículos con el fin de establecer si esta pudiera ser una de las causas que ponen a Cuba entre unos de los países con problemas en la accidentalidad.

## **1.2 Velocidad.**

La velocidad no es más que la variación de la posición de un cuerpo por unidad de tiempo. Esta es un vector, es decir, tiene módulo (magnitud), dirección y sentido. La magnitud de la velocidad, conocida también como rapidez o celeridad, se suele expresar como distancia recorrida por unidad de tiempo (normalmente, una hora o un segundo); se expresa, por ejemplo, en kilómetros por hora o metros por segundo. Cuando la velocidad es uniforme (constante) se puede determinar sencillamente dividiendo la distancia recorrida entre el tiempo empleado. Cuando un objeto está acelerado, su vector velocidad cambia a lo largo del tiempo. La aceleración puede consistir en un cambio de dirección del vector velocidad, un cambio de su magnitud o ambas cosas.

### **1.2.1 Velocidades vehiculares.**

Relacionadas con el fenómeno tránsito existen otras definiciones de velocidad las cuales se expone a continuación, estas se obtuvieron del Trabajo de Diploma de Betty Rodríguez Paneca, 2007-2008:(Rodríguez 2008)

**Velocidad adecuada:** Es la que asume el conductor, dentro de los límites de velocidad establecidos, cuantas circunstancias concurren en cada momento, de manera que siempre pueda detenerlo dentro de su campo de visión y ante cualquier obstáculo que pueda presentársele.

**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.



**Velocidad excesiva:** Se refiere a aquella en que, aún circulando dentro de los límites máximos autorizados, la velocidad puede ser inadecuada o peligrosa en función de las circunstancias del tráfico, de la vía, de las condiciones climatológicas o ambientales adversas.

**Velocidad instantánea:** Es la que ocurre en un instante determinado de tiempo.

**Velocidad libre:** Velocidad de marcha cuyo avance no está impedido por la interacción vehicular, ni por la regulación del tránsito.

**Velocidad limitada:** Es la reglamentada, bien con carácter general para las distintas clases de vías y vehículos, o bien con carácter específico mediante las correspondientes señales.

**Velocidad de marcha:** Relación entre la distancia recorrida y su tiempo de marcha (no tiene en cuenta el tiempo en que pudiera estar detenido el vehículo).

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

**Velocidad puntual:** Velocidad puntual cuando pasa por un punto dado.

**Velocidad de recorrido:** Cociente que resulta de dividir el espacio andado por un vehículo entre el tiempo de recorrido correspondiente a ese espacio, incluyendo el invertido en paradas, excepto cuando estas son ajenas a la vía.

**Velocidad de régimen:** Es la máxima velocidad libre constante que puede mantener un vehículo al subir una pendiente.

En la presente investigación se trabajará con velocidad de operación, en condiciones adecuadas como son: flujo libre, pavimento seco, en horas del día y con la vía en buen estado. Además se tendrá en cuenta la velocidad de diseño de la carretera.



### **1.2.2 Velocidad y accidentes de tránsito.**

La causa inmediata de la gravedad de los accidentes es un gran cambio de la velocidad en un breve lapso, cuanto mayor sea la velocidad inmediatamente anterior a un choque y menor el tiempo en que se produce el cambio, mayor será la gravedad del accidente. El control eficaz de la velocidad excesiva se considera un pilar básico e insustituible para alcanzar una importante reducción de muertos, heridos y daños materiales. Esta es la quinta esencia de los temas sobre seguridad vial, debido a la relación claramente percibida entre la velocidad del vehículo y las capacidades y limitaciones humanas.

La relación entre la velocidad de un vehículo y la gravedad de los choques es inequívoca y se basa en las leyes de la física. Los vehículos y los ocupantes en movimiento tienen energía cinética; en un choque, gran parte de ella se transforma en trabajo de deformación, por lo tanto a mayor velocidad, mayores serán las consecuencias. La gravedad de un choque crece con el cuadrado de la velocidad del vehículo; por ejemplo, si la velocidad crece de 100 a 130 km/h, la energía liberada y la gravedad de un choque crecerán un 69% (Revista "Luchemos por la Vida" -(Año 7).

La decisión para circular por una carretera resulta de la valoración del conductor en términos del tiempo, conveniencia y dinero, además de la percepción de la seguridad que se tenga de la vía. Por ende, la velocidad es uno de los factores más importantes para el conductor al momento de seleccionar rutas o modos de transporte. La velocidad de proyecto debe cumplir con las expectativas de casi todos los usuarios en cuanto al deseo de transitar a cierta velocidad, sujetándose a consideraciones de seguridad y economía.

En este sentido, considerando que sólo un pequeño porcentaje de los usuarios circula a velocidades extremadamente altas, no resulta económicamente factible diseñar únicamente para ellos, como tampoco conviene hacerlo para los conductores en las condiciones de circulación más desfavorables, que también son un pequeño porcentaje, pues se obtendría un camino inseguro, de ahí que frecuentemente se recomiende diseñar para la velocidad más alta razonable que



cubra los niveles deseados de seguridad, de movilidad y de eficiencia, considerando las restricciones ambientales, económicas, estéticas y los impactos sociales y políticos. Asimismo, la velocidad de proyecto debe ser coherente con respecto a la topografía, el uso del suelo adyacente y el tipo de camino.

Un aspecto muy importante en torno a la velocidad y a la seguridad en carreteras es la estabilidad de los vehículos en las curvas. Se dice que un vehículo es inestable cuando experimenta tendencias muy acentuadas a salirse de la trayectoria impuesta por el conductor, generalmente como resultado de las fuerzas transversales que actúan en él, ya sea por carga mal distribuida, llantas desinfladas, suspensión defectuosa, etc., o por la fuerza centrífuga que experimenta cuando transita por una curva, pudiendo suscitarse que el vehículo se deslice o vuelque.

Tomando en cuenta las fuerzas y los elementos que ayudan a contrarrestar los efectos de la fuerza centrífuga, los accidentes en una curva determinada, en condiciones normales de operación, pueden resultar de una velocidad excesiva (para las condiciones prevalecientes), de una inadecuada sobreelevación, de un pavimento derrapante o de la combinación de varios de estos elementos. El primer factor mencionado, la velocidad, es uno de los que más influye en la magnitud de la fuerza centrífuga de un vehículo cuando transita por una curva (Expresión 1.1).

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

**Expresión 1.1: Fuerza centrífuga.**

$F$  : Fuerza centrífuga

$W$  : Peso

$V$  : Velocidad

$g$  : Aceleración de la gravedad

$R$  : Radio de la curva

Por tanto, para un vehículo y una curva dados, la variable fundamental es la velocidad y si esta se incrementa, la fuerza centrífuga también lo hará, pudiendo



resultar eventualmente en la pérdida de control del vehículo; por ejemplo, si la velocidad se duplica, con los demás elementos constantes la fuerza centrífuga resultante se cuadruplicará; si la velocidad se triplica, la fuerza centrífuga resultará nueve veces mayor.

En estudios realizados se demuestra que mientras menor sea la velocidad de proyecto, más significativamente en frecuencia y magnitud se verán excedidas por parte de los conductores; hasta un cierto límite, definido básicamente por la tecnología de los vehículos circulantes. Las carreteras deberán diseñarse para velocidades de proyecto relativamente elevadas (110 km/h), con ello, se tendrá un camino de mejores características geométricas y, por lo mismo, más seguro, es decir, con menores índices de accidentalidad. (Autores 2002)

### **1.3 Consistencia del trazado.**

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 (Autores 2008).

Cuando el trazado corresponde a lo que el conductor espera encontrar, la vía es consistente, lo que minimiza la posibilidad de que cometa errores y efectúe maniobras inseguras.

Si la vía no responde a las expectativas del conductor, su trazado es inconsistente, lo que puede generar maniobras como frenazos o cambios de trayectoria bruscos. Los estudios muestran que en curvas que requieren reducción de velocidad de más de 20 km/h se presentan tasas de accidentes seis veces superiores a aquellas que no requieren reducción de velocidad (Sánchez 2008).

La consistencia está íntimamente ligada con la homogeneidad del trazado. Si la vía mantiene unas características geométricas relativamente homogéneas a lo largo de un tramo, el conductor maniobrará sin sobresaltos, lo que incrementa las condiciones de seguridad.

El paso de un tramo a otro de características muy diferentes (determinadas por aspectos como la orografía, la utilización del suelo u otros) debe hacerse de manera gradual, de modo que el conductor tenga tiempo para adaptarse a las



nuevas condiciones. Este aspecto está considerado en la normativa actual (velocidad de planeamiento), pero a veces no se cumple o no es suficiente para asegurar la consistencia del trazado en términos de la uniformidad en la velocidad de operación a lo largo de la carretera (Sánchez 2008)

La consistencia del trazado de una carretera es un factor destacado en el diseño de ésta, debido a su demostrada influencia en la accidentalidad. Aunque está implícita en aspectos de la normativa vigente, como la relación entre radios de curvas consecutivas y la velocidad de planeamiento, el uso de procedimientos específicos para su evaluación facilita y mejora su análisis.

### **1.3.1 Métodos de evaluación de la consistencia.**

Los procedimientos de evaluación de la consistencia del trazado pueden agruparse de la siguiente manera:

- ❖ Métodos basados en la circulación vehicular: evalúan aspectos como la velocidad de operación ( $V_{op}$ ), la estabilidad del vehículo en las curvas, y la accidentalidad.
- ❖ Métodos basados en las características geométricas de la carretera: índices de alineamiento.
- ❖ Métodos basados en el comportamiento del conductor: la carga de trabajo y la demanda visual.

Los métodos más empleados han sido los basados en análisis del perfil de velocidad de operación, por la rigurosidad de las investigaciones en las que está basada y por la facilidad de su aplicación en la práctica. En estos estudios de la consistencia del trazado se destaca el IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model), que es un método desarrollado por la Administración Federal de Carreteras (FHWA, 2004) y se establece para las condiciones de las vías, los conductores y los vehículos de Estados Unidos, por lo que se hace inadecuado su uso para otros países.

En la práctica, la realización del análisis de consistencia en carreteras cubanas mediante el estudio de perfiles de velocidades de operación se encuentra con el



inconveniente de que han de utilizarse modelos de predicción de velocidades calibrados en otros países. Estos modelos no tienen en cuenta las características de los conductores cubanos, es por ello que se hace necesario determinar un modelo de predicción de velocidades de operación en nuestras carreteras y compararlo con modelos de otros países con la finalidad de estudiar la repercusión de la elección de dicho modelo en los análisis de consistencia.

Los procedimientos basados en la estimación del perfil de velocidades de operación consideran diferentes criterios para mejorar las condiciones de seguridad de una carretera desde el punto de vista de la consistencia del trazado (Autores 2008):

- ❖ Armonizar la velocidad de proyecto y la de operación. Idealmente la velocidad de operación no debe superar en más de 10 Km/h a la velocidad de proyecto. Diferencias superiores a 20 Km/h indican que los vehículos circulan a velocidades superiores a la de diseño, por tanto encontrará en su recorrido elementos con características geométricas que no se corresponden con la velocidad, lo que puede dar lugar a maniobras inseguras.
- ❖ Armonizar la velocidad de operación entre elementos consecutivos al pasar de un elemento geométrico a otro, la diferencia de velocidad debe ser como máximo de 10 Km/h. una disminución de velocidad de más de 20 Km/h incrementa la posibilidad de accidentes.

### **1.3.2 Métodos de evaluación de la consistencia del trazado, basados en la velocidad.**

Los métodos basados en la estimación del perfil de velocidades de operación han sido empleados en países como Estados Unidos, Suiza y Alemania, estos se fundamentan en determinar la velocidad a la que un vehículo tipo puede circular a lo largo de un tramo en estudio, afectándola únicamente por el trazado geométrico, y estableciendo comparaciones con criterios definidos.

Leisch (1977) desarrolló un procedimiento para evaluar la consistencia del trazado en carreteras de los Estados Unidos. Su procedimiento se basa en la



determinación de la velocidad de operación considerando la velocidad de vehículos de carga y de pasajeros, y tiene en cuenta diferentes tasas de aceleración y deceleración debidas a la presencia de curvas horizontales. Para calificar la consistencia propusieron comparar el perfil de velocidades con la velocidad de proyecto, y aplicar la “regla de las 10 millas”:

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

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

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

Lamm y Choueiri (1987) y Lamm et al. (1990) establecieron un procedimiento de evaluación de la consistencia que consiste en comparar la variación del grado de curvatura (GC) y de la  $V_{op}$  entre elementos consecutivos. El grado de curvatura (GC) es el ángulo central subtendido por un arco de una longitud determinada (usualmente 30.5 m ó 100 m). La consistencia se califica de acuerdo con los siguientes rangos:



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

Basándose en la tasa media de accidentes, Lamm et al. (1995) sugirieron otros criterios para evaluar la consistencia del trazado entre elementos consecutivos:

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

Polus y Mattar-Habib (2004) han propuesto nuevos parámetros de medida de la consistencia. La primera medida ( $R_a$ ) es el área relativa (por unidad de longitud), delimitada por las líneas del perfil de velocidades y de la velocidad promedio. La velocidad media de operación,  $V_{avg}$ , es la velocidad media en todo el tramo. La segunda medida de consistencia ( $\sigma$ ) es la desviación estándar de las velocidades de operación a lo largo de la carretera. El modelo de consistencia (C) que proponen es (Expresión 1.2):

$$C = 2.808.e^{0.278[R_a . (\sigma/3.6)]}$$

**Expresión 1.2: Modelo de consistencia**

Los rangos para calificar la consistencia propuesto por Polus y Mattar-Habib (2004) son:

- ❖ Buen diseño:  $C > 2$
- ❖ Diseño aceptable:  $1 < C \leq 2$
- ❖ Mal diseño:  $C \leq 1$

El IHSDM evalúa la consistencia mediante el análisis del perfil de velocidades de operación. El perfil de velocidades que calcula tiene en cuenta tanto el trazado en planta como en alzado. Para evaluar la consistencia, realiza dos comparaciones. La velocidad de operación se compara con la velocidad de proyecto y además se comparan entre sí las velocidades de elementos consecutivos. Los criterios para calificar la consistencia están fundamentados en los trabajos de Lamm et al. (1988 y 1995) (Tabla 1.3).



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.

**Tabla 1.3: Calificación de la consistencia según velocidad**

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

Fuente: Artículo sobre la evaluación de la consistencia del trazado, Sánchez 2007.

#### 1.4 Modelos predicción del 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 ( $\Omega$ ) (Misaghi y Hassan, 2005).

Muy citados son los modelos de Lamm y Choueiri (1987), desarrollados con velocidades medidas en doscientas sesenta y una curvas en Nueva York. Ellos sugieren que la sección transversal puede afectar la velocidad de operación. Lamm y Choueiri (1987) reportaron el efecto de la sección transversal en ecuaciones para predecir la velocidad de operación. Estas ecuaciones incluyen el grado de curvatura, ancho de carril, ancho de arcén, y tráfico promedio diario anual (AADT) como variables independientes. Finalmente, decidieron quitar de las mismas el ancho de carril, el ancho de arcén y el AADT, porque explicaban solamente alrededor del 5.5 % de la variación de la velocidad de operación.

También ha sido muy difundido el modelo de Krammes et al. (1995) que está basado en una muestra de ciento treinta y ocho curvas de distintas regiones de Estados Unidos. En este modelo, además del radio de la curva, la longitud de la curva horizontal y del ángulo de deflexión tienen efecto significativo sobre la velocidad de operación. Es importante destacar que el ángulo de deflexión está relacionado con otras dos variables independientes. Voigt (1996) amplió la ecuación de velocidades planteada por Krammes et al. (1995), incluyendo el peralte. En este modelo es importante destacar la colinealidad entre las variables independientes; el radio y el peralte están altamente correlacionados, y el uso de variables correlacionadas como parámetros independientes en la construcción del modelo puede generar un incremento engañoso de  $R^2$  (Johnson y Wichern, 1998). Un mayor valor de  $R^2$  no refleja la verdadera representatividad del modelo. Posteriormente, Ottesen y Krammes (2000) propusieron una nueva formulación del modelo basado en la misma muestra de velocidades.

Islam y Seneviratne (1994) desarrollaron varios modelos de predicción de velocidades sobre una muestra de ocho curvas (in Utah), distinguiendo entre la velocidad al principio de la curva (PC), a mitad (PM) o al final de ella (PR) (Expresiones 1.3; 1.4 y 1.5). 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 muestral muy inferior.



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

**Expresión 1.3: Velocidad al principio de la curva.**

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

**Expresión 1.4: Velocidad a la mitad de la curva.**

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

**Expresión 1.5: Velocidad al final de la curva.**

McFadden y Elefteriadou (1997) establecieron un modelo de velocidad basado en el grado de curvatura (GC (Expresiones 1.6), para ello emplearon datos de velocidades tomados en setenta y ocho curvas de Estados Unidos. Posteriormente, McFadden y Elefteriadou (2000) retomaron la hipótesis planteada por Hirshe (1987). 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 1.6: Modelo de velocidad basado en el GC.**

Hasta el año 2000 no se presentó ningún modelo de predicción de velocidad que considerara el trazado en planta y en alzado. Fitzpatrick et al. (2000) realizaron estudios en ciento setenta y seis lugares ubicados en carreteras de seis regiones de los Estados Unidos con diferentes combinaciones de alineaciones horizontal y vertical (Tabla 1.4). Todas las ecuaciones propuestas utilizan como única variable independiente el radio de curvatura. Este modelo de velocidades ha sido implementado en el IHSDM.

En la actualidad podemos encontrar a nivel mundial una amplia variedad de modelos computarizados de tránsito -determinísticos y estocásticos- usados para evaluar el comportamiento operacional del tránsito de caminos específicos. Estos incluyen los modelos TWOPAS y TRARR para carreteras de dos-carriles, el modelo CORFLO para autopistas, el modelo NETSIM para redes viales urbanas, y



una amplia variedad de modelos para intersecciones semaforizadas. 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. Hay una clara necesidad de incorporar totalmente en estos modelos los resultados de la investigación existente y de alentar nueva investigación para llenar los vacíos en el conocimiento.

**Tabla 1.4: Modelos de predicción de velocidad de Fitzpatrick et al.**

Modelos		R <sup>2</sup>	#
Curva horizontal -9 % ≤ Inclinación de rasante < -4 %	$V_{op} = 102.10 - 3077.13 / R$	0.58	21
Curva horizontal -4 % ≤ Inclinación de rasante < 0 %	$V_{op} = 105.98 - 3709.90 / R$	0.76	25
Curva horizontal 0 % ≤ Inclinación de rasante < 4 %	$V_{op} = 104.82 - 3574.51 / R$	0.76	25
Curva horizontal 4 % ≤ Inclinación de rasante < 9 %	$V_{op} = 96.61 - 2752.19 / R$	0.53	23
Curva horizontal combinada con acuerdo cóncavo	$V_{op} = 105.32 - 3438.19 / R$	0.92	25
Curva horizontal combinada con acuerdo convexo sin limitación de visibilidad	$V_{op} = < \text{valor entre 1 y 2 para bajada, y entre 3 y 4 para subida}$	n/a	13
Curva horizontal combinada con acuerdo convexo y limitación en la distancia de visibilidad ( $K \leq 43 \text{ m} / \%$ )	$V_{op} = 103.24 - 3576.51 / R$	0.74	22
Acuerdo cóncavo en recta	$V_{op} = \text{velocidad libre en recta}$	n/a	7
Acuerdo convexo en recta, sin limitación en la distancia de visibilidad ( $K > 43 \text{ m} / \%$ )	$V_{op} = \text{velocidad libre en recta}$	n/a	6
Acuerdo convexo en recta, con limitación en la distancia de visibilidad ( $K \leq 43 \text{ m} / \%$ )	$V_{op} = 105.08 - 149.69 \cdot k$	0.6	9

Fuente: Artículo sobre la predicción de velocidad de operación, Castro 2008

En Cuba no existe ningún modelo que permita predecir la velocidad de operación para evaluar la consistencia del trazado, por lo que en esta investigación se tiene como objetivo establecer los modelos del perfil de velocidad de operación para las carreteras cubanas, estudiando las vías rurales de dos carriles y proponiendo que se continúe la investigación para las demás tipos de vías existentes en el país,



Estos modelos se obtendrán de analizar la velocidad de operación de los vehículos, partiendo del trazado geométrico tanto en planta como en perfil.

### **Conclusiones parciales.**

- ❖ Dentro de las principales causas existentes a nivel mundial de muertes, lesiones y daños materiales se encuentran los accidentes del tránsito. Los motivos por lo suceden estos pueden hallarse en los componentes del sistema de Seguridad Vial (hombre, vía y vehículo) o la interrelación entre ellos, siendo el hombre el principal origen de estos sucesos.
- ❖ Es de vital importancia tener en cuenta la diferencia entre la velocidad de proyecto y la velocidad de operación dentro de un mismo elemento y en elementos consecutivos, pues de existir pueden ser causas de accidentes del tránsito.
- ❖ En Cuba no existe un método adecuado para evaluar la consistencia del trazado de las carreteras, por lo que se hace necesario aplicar uno que tenga en cuenta las características de las vías y conductores cubanos. Por la severidad de los estudios de los métodos basados en el análisis del perfil de velocidad de operación, se ha escogido este para obtener el método cubano de evaluación de la consistencia.
- ❖ Luego de la búsqueda bibliográfica realizada, se constata que es posible darle cumplimiento a la hipótesis de esta investigación y establecer 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, lo que contribuirá a la seguridad en las vías cubanas.



# *CAPÍTULO 2*



## **CAPÍTULO 2: Propuesta de la metodología para la investigación científica.**

En el siguiente capítulo se expone el análisis de la metodología para la investigación científica, la cual consta de varios pasos para lograr obtener los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para las vías rurales de dos carriles. La base teórica en la que se fundamenta esta metodología se encuentra descrita en la revisión bibliográfica anteriormente realizada, donde se exponen los modelos obtenidos por otros investigadores en todo el mundo.

### **2.1 Metodología de la investigación científica.**

Secuencia de pasos a seguir para determinar los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para vías rurales de dos carriles:

- ❖ Estudio de las carreteras de interés nacional en la provincia de Villa Clara.
- ❖ Determinación la cantidad de muestras a realizar en cada punto, partiendo de los indicadores estadísticos estudiados (Error en el proceso, desviación estándar y nivel de confianza).
- ❖ Estudio de varias curvas con el objetivo de establecer la cantidad de puntos que se deben analizar.
- ❖ Determinación de la pendiente en los tramos a estudiar.
- ❖ Determinación del radio de las curvas a estudiar.
- ❖ Obtención con la pistola láser las velocidades de operación de los vehículos.
- ❖ Determinación de la velocidad de operación promedio y la desviación estándar en el terreno.
- ❖ Determinación de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación.
- ❖ Comprobación de los modelos.
- ❖ Comparación entre los modelos cubanos y los de Fitzpatrick et al (Estados Unidos).



### **2.1.1 Procedimiento a seguir en la aplicación de la metodología.**

- ❖ Estudio de las carreteras de interés nacional en la provincia de Villa Clara.

En la provincia de Villa Clara existen 1064.49 kilómetros de vías de interés nacional encontrándose dentro de ellas 906.43 kilómetros de vías con dos carriles de circulación lo que representa el 85% del total de vías de interés nacional existentes en la provincia. Para realizar este estudio las carreteras que se empleen deben cumplir con los requisitos siguientes, con el fin de estudiar la mayor cantidad de tipos de vías:

- Carreteras de una sola calzada, con dos carriles de circulación (uno por sentido).
- Diferentes categorías de vías.
- Deben encontrarse ubicadas en zonas rurales.
- Sin intersecciones ni tercer carril.
- Diferentes combinaciones de alineamientos en planta y en perfil.
- Diferentes tipos de terreno (llano, ondulado, montañoso).
- Superficie de rodadura pavimentada en buenas condiciones (antes, dentro y después del tramo a analizar).

Luego de efectuar un análisis detallado con información brindada por el Centro Provincial de Vialidad y el Centro Provincial de Ingeniería del Tránsito y realizar varias visitas a las carreteras, se determinó que las vías a estudiar son: Carretera Central, Santa Clara-Entronque de Vueltas, Santa Clara-Manicaragua y Santa Clara-Sagua La Grande, las que ascienden a 218,26 kilómetros.

- ❖ Cantidad de muestras a realizar a partir de los indicadores estadísticos.

Toda investigación científica que esté basada el método experimental requiere de un número de muestras a realizar, esto surge a partir de los indicadores estadísticos que se seleccionen para este estudio, es por ello que cuando se comienza una investigación es necesario analizar una serie de aspectos que llevan a asumir unos indicadores estadísticos de acuerdo al trabajo.



- Error en el proceso ( $e_p$ ).

Para realizar las mediciones de velocidad de operación se emplea una pistola láser (Figura 2.1) la cual es capaz de captar la velocidad de los vehículos desde varias posiciones. Al estudiar el manual y conversar con el personal capacitado para su utilización puntualizamos que el fabricante da un error en las mediciones ( $e_p$ ) de la misma de  $\pm 2.5$  km/h.



**Figura 2.1: Pistola láser.**

- Desviación estándar asumida ( $S_a$ ).

Para un estudio de velocidad en una carretera según Díaz, E. (1990) se debe tomar para vías rurales una  $S_a = 11$  a  $16$  km/h. Radelat, G. (2003) y Sánchez, J. (2008) asumen en sus investigaciones un valor de  $S_a = 6$  km/h, teniendo en cuenta las condiciones en las mediciones. Para este estudio se establece la condición de flujo libre en las mediciones de velocidad, lo que favorece el valor asumido.

- Nivel de confianza ( $t$ ).

En las investigaciones científicas de ingeniería se trabaja con un nivel de confianza de un 90% ó un 95%, siendo este último el más usado, es por ello que en este estudio se emplea un nivel de confianza de un 95%.

Para un nivel de confianza de 95% se toma una  $t=1.96$ .



- Número de muestras aproximado ( $n$ ).

El número de muestras a realizar en los tramos estudiados se obtuvo al aplicar la expresión 2.1, planteada por Radelat, G. 2003, luego de ser utilizada en similares estudios a cargo del Instituto de Ingenieros del Transporte de los Estados Unidos (ITE siglas en inglés), a partir de los datos expuestos anteriormente.

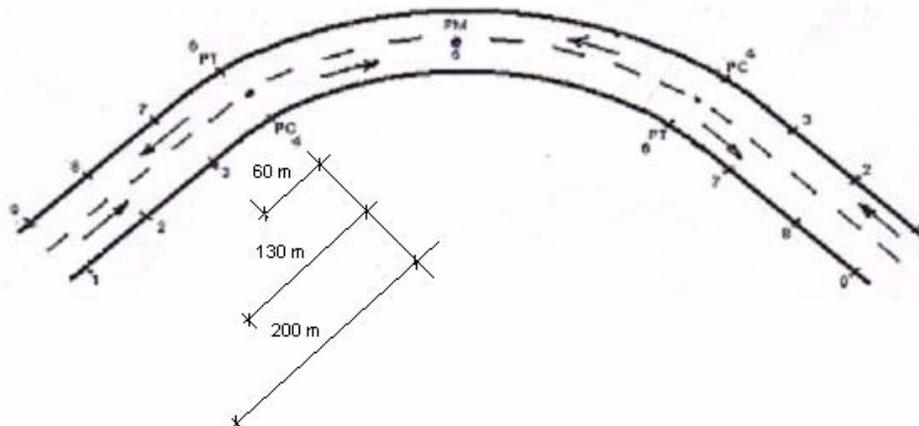
$$n = \left( \frac{t \cdot S}{e_p} \right)^2 = \left( \frac{1.96 \cdot 6 \text{ km/h}}{2.5 \text{ km/h}} \right)^2 = 23$$

**Expresión 2.1: Número de muestras.**

El número de muestra que se debe obtener es 23 mediciones por cada punto.

- ❖ Determinación de la cantidad de puntos donde se debe estudiar la velocidad de operación en una curva.

En esta investigación con el fin de agilizar y economizar el estudio de las velocidades de operación en las curvas se decidió comprobar si no existen diferencias significativas entre las mediciones tomadas en todos los puntos de la curva (1 al 9), con el objetivo de medir en un solo punto (PM) (Figura 2.2). Para esto se analizaron varias curvas mostrándose el estudio de una de ellas.



**Figura 2.2: Puntos a analizar para el estudio de las velocidades en curvas.**

Para comprobar si existen o no diferencias significativas entre las mediciones se decidió trabajar con el asistente matemático SPSS 16.0 (Paquete Estadístico de Ciencias Sociales, en español), antes de comprobar si existe diferencias



significativas entre las muestras en necesario probar la normalidad, la homogeneidad y la independencia de los datos, ya que si los datos no presentan una distribución normal no se puede realizar una prueba paramétrica por lo que no realizaría entonces un análisis de varianza ( tabla ANOVA) y se tendría que emplear un método no paramétrico.

Para comprobar la normalidad de los datos (Tabla 2.1) se emplea la prueba de significación Shapiro Wilk, pues se analizan unas 23 muestras por cada punto, ya que esta prueba se realiza cuando se estudian de 3 a 50 muestras.

**Tabla 2.1: Mediciones de velocidad en la curva.**

# Muestras	1	2	3	PC	PM	PT	7	8	9
1	67	62	66	71	80	74	80	78	67
2	61	63	67	70	66	63	71	63	71
3	60	77	74	76	63	63	67	73	63
4	62	65	75	62	65	62	72	70	67
5	66	84	62	68	64	80	72	65	66
6	75	80	61	74	61	60	63	63	74
7	65	66	68	70	62	76	60	75	73
8	62	69	70	70	69	67	60	74	65
9	65	70	70	78	63	70	70	76	66
10	68	79	77	79	71	69	75	79	65
11	60	66	67	79	68	65	75	75	66
12	62	69	66	65	74	71	63	63	76
13	70	70	67	74	68	65	70	76	72
14	79	68	64	67	71	77	73	60	66
15	71	64	71	66	76	76	71	65	71
16	70	70	76	72	75	70	73	72	66
17	78	63	72	64	73	76	67	71	66
18	63	71	68	65	67	67	60	71	63
19	61	65	62	61	71	62	74	67	73
20	66	76	65	68	76	62	62	70	79
21	68	66	73	69	69	66	65	62	70
22	71	69	76	62	65	64	71	70	65
23	65	67	62	70	64	68	66	63	68

La prueba de Shapiro Wilk se aplica para cada punto en el que se quiera comprobar si existe o no, una distribución normal en los datos obtenidos al medir la velocidad de operación sobre ellos (Figura 2.3).

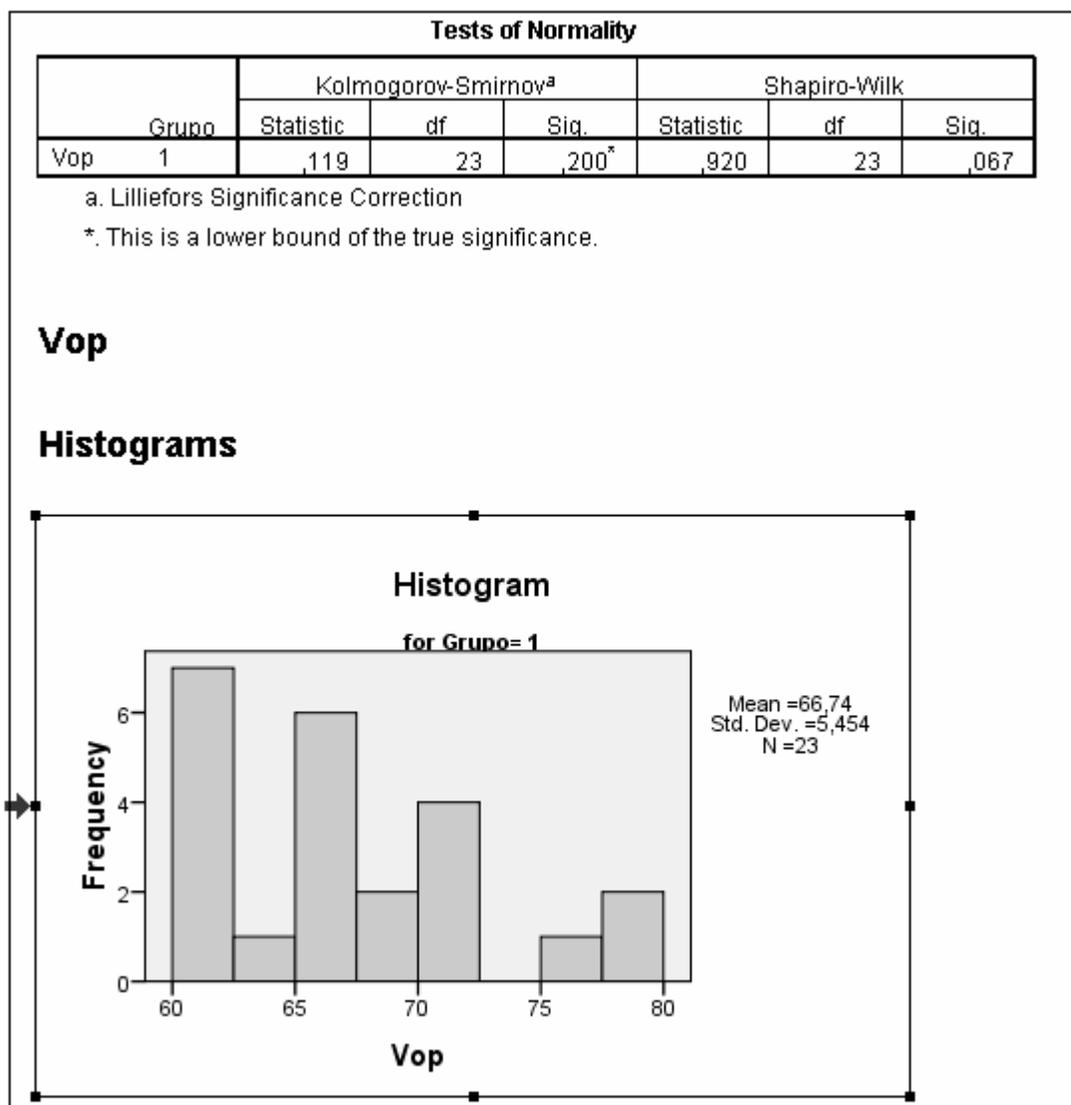


Figura 2.3: Prueba de significación Shapiro Wilk para el punto 1.

En la tabla 2.2 se que recogen los resultados obtenidos al aplicar la prueba de significación Shapiro Wilk para todos los puntos, es necesario tener en cuenta que en esta investigación se utiliza un nivel de confianza de 95% (0.05):

Tabla 2.2: Valores obtenidos de la prueba Shapiro Wilk.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.067	0.023	0.282	0.435	0.461	0.142	0.270	0.189	0.036

Los valores de los puntos 2 y 9 no se ajustan a una distribución normal, por tanto no se puede realizar un análisis de varianza (ANOVA). Cuando esto sucede se



aplica una prueba no paramétrica y para este caso al ser varios puntos los que hay que analizar se realiza la prueba de Kruskal-Wallis (Figura 2.4):

Hipótesis:  $H_0: \mu_1 = \dots = \mu_9 = 0$  (no existen diferencias significativas)

$H_1: \mu_1 \neq \dots \neq \mu_9 \neq 0$  (existen diferencias significativas)

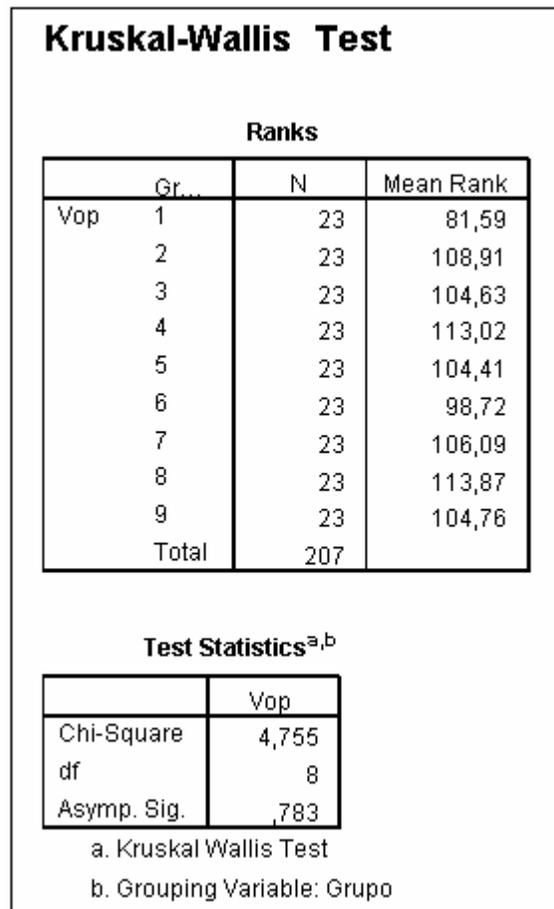


Figura 2.4: Prueba de Kruskal Wallis.

Prueba de Kruskal-Wallis= 0.783 > 0.05 (Zona de no rechazo)

Obteniendo como resultado que no existen diferencias significativas entre los puntos por lo que se puede realizar la medición en cualquier punto de la curva.

❖ Determinación de la pendiente.

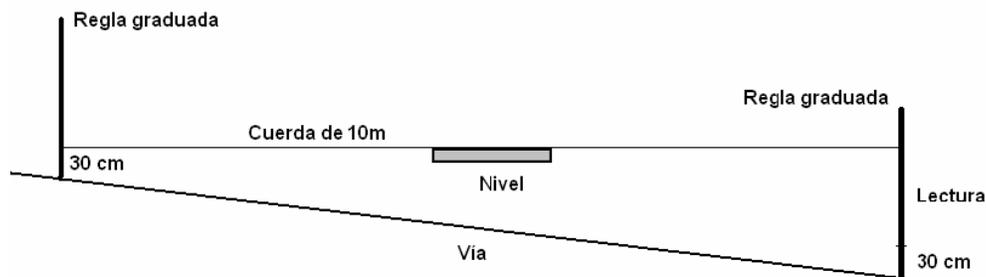
Para realizar los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación se tienen en cuenta las combinaciones de alineamientos que existen en las



carreteras, con el objetivo de lograr obtener la mayor información necesaria para esta investigación:

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

Para determinar la pendiente de los tramos estudiados se utiliza un método muy sencillo (Figura 2.5) empleando una cuerda de 10 m, un nivel y dos reglas graduadas.



**Esquema 2.5: Forma de obtener la pendiente.**

En las combinaciones de alineamientos con rectas se debe obtener la diferencia algebraica entre pendientes en tanto por uno ( $k$ ) (Expresión 2.2).

$$k = \frac{\text{pendiente1}(\%) - \text{pendiente2}(\%)}{100}$$

**Expresión 2.2: Diferencia algebraica entre pendientes en tanto por uno.**

❖ **Determinación el radio de la curva.**

Para poder conocer el radio de la curva se empleó un método muy simple (Figura 2.6), partiendo de medir las flechas ( $f$ ) de la curva con una cuerda de 20 m, se determina la flecha promedio ( $f_{prom}$ ) (Expresión 2.3) y de ahí se obtiene el radio ( $R$ ) de la curva (Expresión 2.4).



$$f_{prom} = \frac{\sum f}{n}$$

Expresión 2.3: Flecha promedio de la curva.

$$R = \frac{C^2 + f_{prom}^2}{8 \cdot f_{prom}}$$

Expresión 2.4: Radio de la curva.

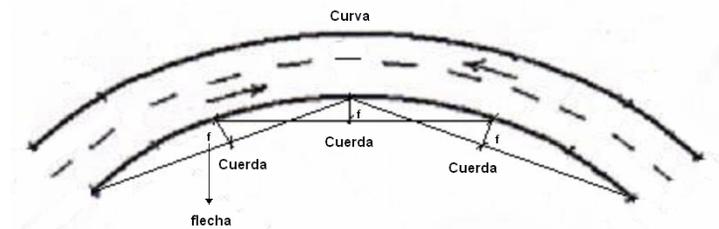


Figura 2.6: Obtener las flechas.

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 que presentan curvas horizontales.

❖ Velocidad de operación en las curvas:

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.

Las mediciones se efectúan en el centro de la curva, es decir, se toma la velocidad de operación de los vehículos con la pistola láser en el centro aproximadamente de la curva (Figura 2.7) y se anotan los resultados hasta tener una muestra de 23 o más valores según lo indique los valores que se vayan obteniendo.

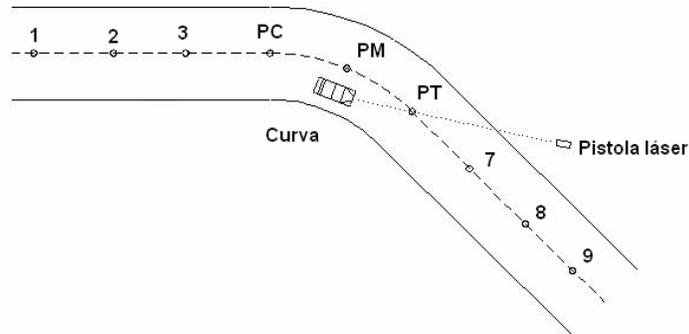


Figura 2.7: Medición de la velocidad de operación.

❖ Procesamiento de los datos obtenidos en el terreno.

Cuando se llegan a las 23 muestras en el terreno es necesario comprobar si cumplen o no con los parámetro establecidos para ésta investigación, es por ello que se procede en el mismo sitio a calcular la velocidad promedio ( $V_{prom}$ ) de la curva (Expresión 2.5) y la desviación estándar calculada ( $S_c$ ) de la misma (Expresión 2.6) para evidenciar si nos cumple con la desviación estándar asumida (6 km/h). En caso de que no cumpla se continúan tomando muestras y se sanean las muestras de la investigación, calculándose nuevamente la velocidad promedio y la desviación estándar calculada y realizando la comparación con la desviación estándar asumida. Este proceso se repite hasta que se alcanzar lo deseado.

$$V_{prom} = \frac{\sum V}{n}$$

Expresión 2.5: Velocidad promedio de la curva.

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (V - V_{prom})^2}{n - 1}}$$

Expresión 2.6: Desviación estándar calculada.

$S_c \leq S_a$  OK.

$S_c > S_a$  Es necesario tomar un mayor número de muestras



- ❖ Determinación de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación.

Para obtener los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para vías rurales de dos carriles en esta investigación se trabaja con el asistente matemático SPSS 16,0, el cual nos da las constantes del modelo, al introducir los datos obtenidos en el terreno.

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 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 constantes 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 constituye la ecuación del mismo:

$$V_{op} = a - \frac{b}{R}$$



❖ Comprobación de los modelos.

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 una curva que presente las características del modelo.
- Se obtiene el radio de la curva.
- Se mide la velocidad de operación de los vehículos con la pistola laser.
- 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  $\pm 2.5$  km/h para poder comprobar la eficiencia del modelo que se evaluó.

❖ Comparación entre los modelos cubanos y los de Fitzpatrick et al (Estados Unidos).

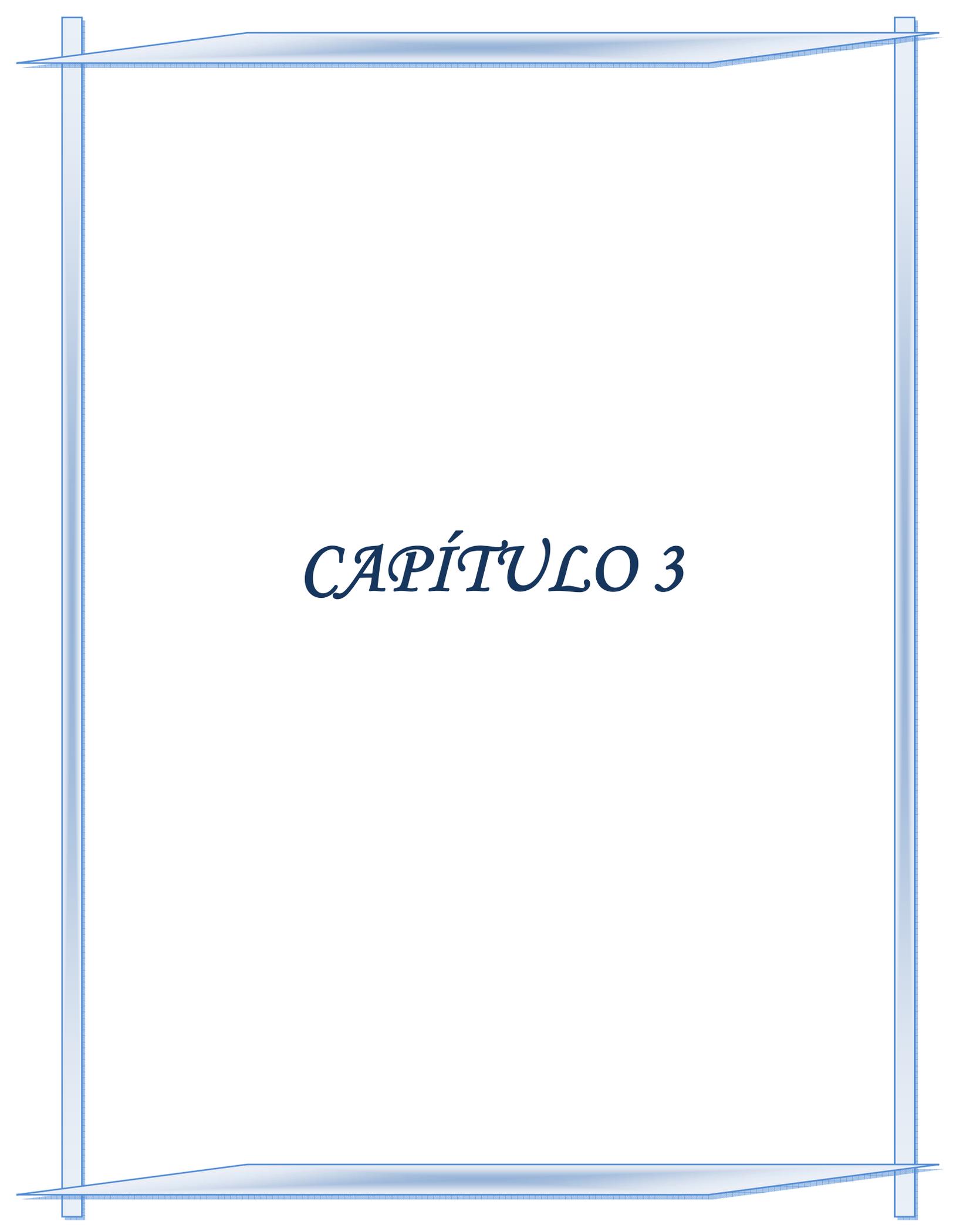
Con el fin de dar cumplimiento al objetivo general de esta investigación se realiza una comparación entre los resultados de velocidad de operación que se obtiene de los modelos cubanos y los de los modelos establecidos por Fitzpatrick et al para los Estados Unidos, para esta comparación se tiene en cuenta varios tipos de radios y las combinaciones de alineamientos tanto en planta como en perfil, empleadas para realizar los mismos.

**Conclusiones parciales:**

- ❖ El objetivo fundamental de la metodología es desarrollar una guía para los investigadores y proyectistas que se dedique a la compleja tarea de evaluar la consistencia del trazado en las vías rurales de dos carriles a partir de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación.
- ❖ La metodología de la investigación está basada en una amplia búsqueda bibliográfica y en la experimentación.



- ❖ Para lograr cumplir con los objetivos de la investigación se elabora esta metodología la cual está basada en una serie de tareas que son de vital cumplimiento para lograr la realización de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación en vías rurales de dos carriles.
- ❖ La aplicación de esta metodología es sencilla y de fácil cumplimiento.



# *CAPÍTULO 3*



## **CAPÍTULO 3: Aplicación de la metodología y análisis de los resultados.**

En el presente capítulo se muestra la aplicación de la metodología para la investigación científica definida para las vías rurales de dos carriles de interés nacional de la provincia de Villa Clara y los resultados obtenidos en la realización de los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación.

### **3.1 Aplicación de la metodología y análisis de los resultados:**

- ❖ Estudio de las carreteras de interés nacional en la provincia de Villa Clara.

A continuación se presentan las carreteras estudiadas para esta investigación:

- Carretera Central (Límite Matanzas- Límite Sancti Spíritus).....118.36 km
- Carretera Santa Clara- Entronque de Vueltas.....28.40 km
- Carretera Santa Clara- Manicaragua.....27.60 km
- Santa Clara – Sagua La Grande.....43.90 km

Estas carreteras estudiadas representan el 24% (218.26 km) de los 906.43 kilómetros de vías de dos carriles de interés nacional que existen en la provincia de Villa Clara, de ellas se analizaron los tramos que cumplían con los requisitos establecidos, los que fueron empleados para realizar los estudio de velocidad de operación según las combinaciones de alineamientos existentes.

- ❖ Modelo general de predicción del perfil de velocidad de operación para curvas horizontales:

Empleando el asistente matemático SPSS 16.0 se realiza un análisis de regresión para lograr obtener un modelo general para curvas horizontales, que nos permita predecir el perfil de la velocidad de operación para una determinada vía a estudiar. Los datos empleados para este estudio se encuentran reflejados en la tabla 3.1.

Cuando se obtiene los datos del terreno se introducen en el programa empleando como variables la velocidad promedio obtenida de las 23 mediciones realizadas en cada curva y el inverso del radio de las curvas estudiadas. Los valores obtenidos son analizados y comprobados para conocer si el modelo es válido o no.



Tabla 3.1: Datos obtenidos de las curvas horizontales.

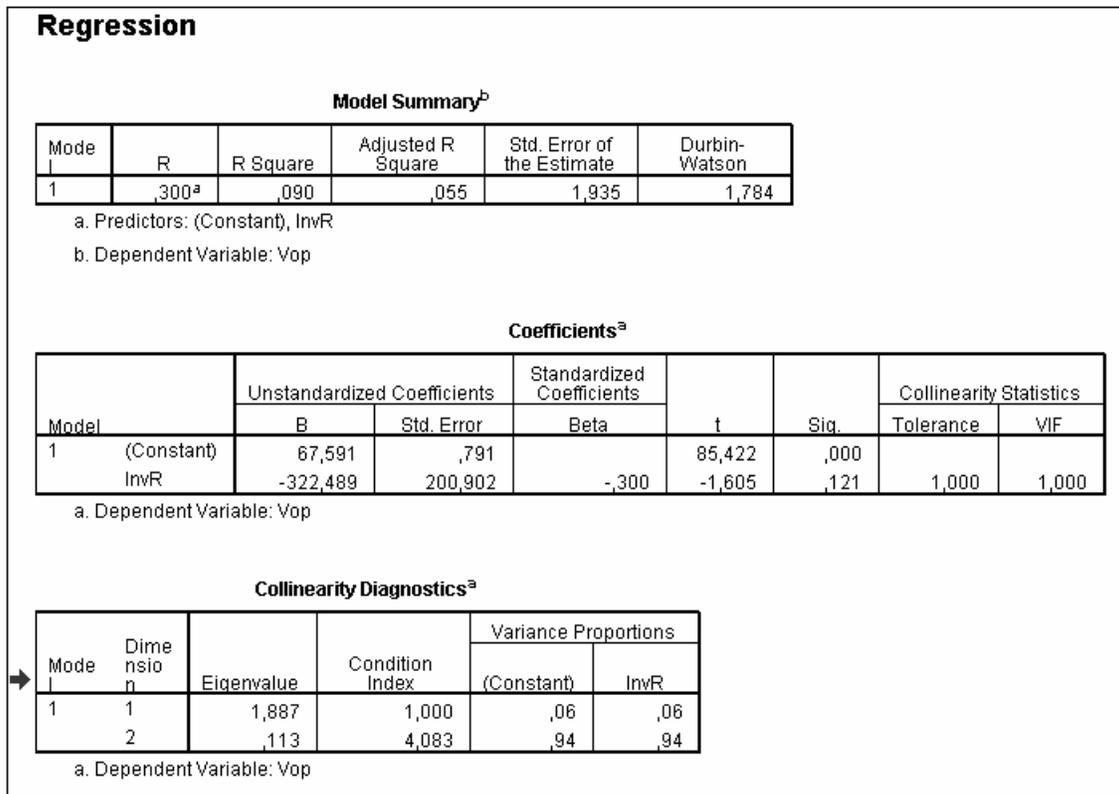
#	Carretera	Ubicación	Pend. (%)	R (m)	V <sub>op</sub> (km/h)
1	Santa Clara-Entronq. Vueltas	3 <sup>ra</sup> antes de Santa Fe	-2	140	65
			2		65
	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Cartel Camajuaní	-6	140	69
			6		68
3	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Calmita	-3	180	64
			3		63
4	Santa Clara-Placetas	Curva de la ceniza	-5	245	66
			5		63
5	Santa Clara-Sagua	Entronque Yabú 1	0	290	67
			0		65
6	Santa Clara-Manicaragua	Acetileno	-6	315	66
			6		64
7	Santa Clara-Placetas	Victoria de Santa Clara	-3	325	66
			3		65
8	Santa Clara-Manicaragua	Unidad Militar	-6	335	69
			6		65
9	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Antes de Los Paragüitas	-3	350	69
			3		69
10	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Frente a Radio Cuba	-3	390	67
			3		66
11	Santa Clara-Entronq. Vueltas	1 <sup>ra</sup> al pasar el elevado	-3	430	67
			3		66
12	Santa Clara-Placetas	Santa Clara 9 ½ km	-5	470	70
			5		65
13	Santa Clara- Manicaragua	UTS	-7	790	69
			7		66
14	Santa Clara-Placetas	2da después del Cubanacán	-2	940	69
			2		68

En la figura 3.1 se muestran los resultados obtenidos en el modelo general para curvas horizontales. Si se compara la autocorrelación y la multicolinealidad con los parámetros establecidos se puede observar que no existe ninguna de la dos:

$d = 1.78$  es próximo a 2  $\therefore$  no hay autocorrelación.

$i_c = 4.08$  es menor 20,  $\therefore$  no hay multicolinealidad.

El nivel de significación de las constantes en una de ellas es mayor que 0.05, por lo que se puede decir que el modelo no es válido. Esto queda demostrado si analizamos el valor del coeficiente de regresión, el cual es muy pequeño (0.09).



**Figura 3.1: Análisis de regresión del modelo general para curvas horizontales.**

Por lo anteriormente expuesto es preciso realizar un análisis de clasificación por el método de Cluster que nos permita agrupar los datos obtenidos en el terreno según el tipo de combinación de alineamiento existente (Figura 3.2).

Según los resultados obtenidos del análisis de clasificación realizado por el método de Cluster se puede apreciar que existen dos agrupaciones en los datos tomados en el terreno de pendiente y rampa. De estos resultados se llega a la conclusión que es necesario realizar dos modelos de predicción del perfil de velocidad de operación: un modelo para curvas horizontales en pendientes y un modelo para curvas horizontales en rampa.



<b>TwoStep Cluster</b>			
<b>Cluster Distribution</b>			
	N	% of Combined	% of Total
Cluster 1	15	53,6%	53,6%
2	13	46,4%	46,4%
Combined	28	100,0%	100,0%
Total	28		100,0%

<b>Cluster Profiles</b>			
<b>Centroids</b>			
		Pendientes	
		Mean	Std. Deviation
Cluster 1		3,60	2,165
2		-4,15	1,725
Combined		,00	4,389

Figura 3.2: Agrupación por Cluster.

- ❖ Modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para curvas horizontales en pendientes.

Luego de aplicar Cluster como se explicó anteriormente se hace necesario dividir los datos tomados en las curvas horizontales en pendiente y rampa. Además es preciso sanear las muestras para establecer modelos con un coeficiente de regresión lo más alto posible, logrando así modelos válidos.

Tabla 3.2: Datos obtenidos de las curvas horizontales en pendiente.

#	Carretera	Ubicación	Pend. (%)	R (m)	V <sub>op</sub> (km/h)
1	Santa Clara-Entronq. Vueltas	3 <sup>ra</sup> antes de Santa Fe	2	140	65
2	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Calmita	3	180	64
3	Santa Clara-Placetas	Curva de la ceniza	5	245	66
4	Santa Clara-Sagua	Entronque Yabú 1	0	290	67
5	Santa Clara-Manicaragua	Acetileno	6	315	66
6	Santa Clara-Placetas	Victoria de Santa Clara	3	325	66
7	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Frente a Radio Cuba	3	390	67
8	Santa Clara-Entronq. Vueltas	1 <sup>ra</sup> al pasar el elevado	3	430	67
9	Santa Clara- Manicaragua	UTS	7	790	69
10	Santa Clara- Placetas	2 <sup>da</sup> al pasar Cubanacán	2	940	69

Para realizar el modelo de predicción del perfil de velocidades se introducen los datos de las variables en el asistente matemático SPSS 16.0 como se expone en



el modelo anterior y se obtiene mediante un análisis de regresión lineal las constantes de la ecuación del modelo (Figura 3.3).

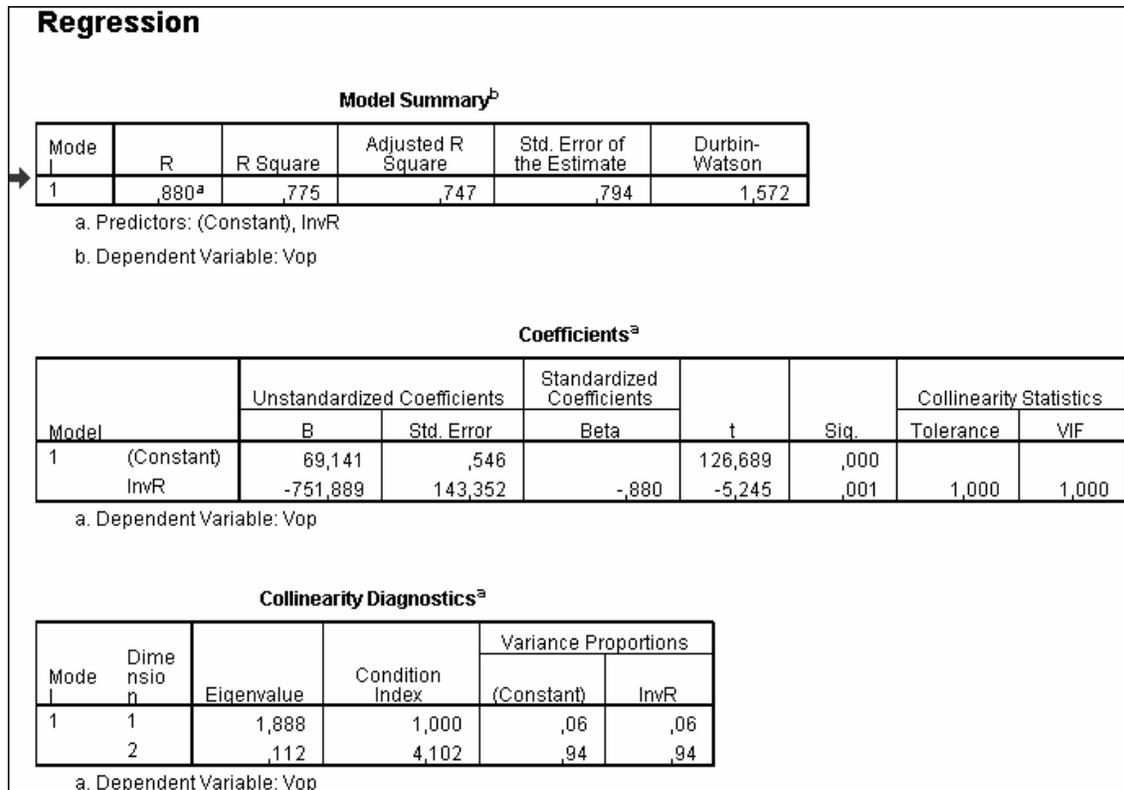


Figura 3.3: Análisis de regresión del modelo para curvas horizontales en pendientes.

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

$d = 1.57$  es próximo a 2  $\therefore$  no hay autocorrelación.

$i_c = 4.10$  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.

El modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para curvas horizontales en pendiente de las vías rurales de dos carriles con coeficiente de regresión de 0.78 es:

$$V_{op} = 69.14 - 751.89/R$$



Comprobación del modelo:

Es preciso comprobar el modelo para conocer si se ajusta a las velocidades reales de las carreteras cubanas, para ello se emplea una curva horizontal con una pendiente de 3% en la carretera de Santa Clara-Entronque de Vueltas de radio 350 metros.

$$V_{op} = 69.14 - 751.89/R = 67 \text{ km/h}$$

La velocidad promedio medida con la pistola fue de 69 km/h, con un error en las mediciones de  $\pm 2.5$  km/h.

∴ Podemos decir que el modelo obtenido para curvas horizontales en pendiente tiene buenos resultados.

Comparación con los modelos de Fitzpatrick et al (Estados Unidos).

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 que se obtiene en esta investigación con las características específicas de Cuba y más particularmente de las carretas de Villa Clara.

Luego de obtener el modelo en este estudio se compara con los modelos establecidos en Estados Unidos para las condiciones de pendientes, con el fin de compara en que difiere uno con otro. Para realizar esta comparación se toman varios tipos de radios y diferentes pendientes, obteniendo la velocidad de operación según los modelos.

Modelo cubano:  $V_{op} = 69.14 - 751.89/R$

Modelos Fitzpatrick et al:  $V_{op} = 102.10 - 3077.13/R$  (-9% ≤ pendiente < -4%)

$$V_{op} = 105.98 - 3709.90/R \text{ (-4% ≤ pendiente < 0%)}$$



Tabla 3.3: Comparación entre el modelo cubano y los modelos Fitzpatrick et al para pendientes.

Radio (m)	Pendiente (%)	Modelo cubano	Modelos Fitzpatrick et al
200	2	65	87
400	6	67	97
600	3	68	97
800	7	68	101

En el gráfico 3.1 que se muestra a continuación se puede observar que las velocidades obtenidas por el modelo cubano son menores que las velocidades de los modelos americanos, estos puede estar dado porque cada modelo esta establecido para las condiciones de su país.

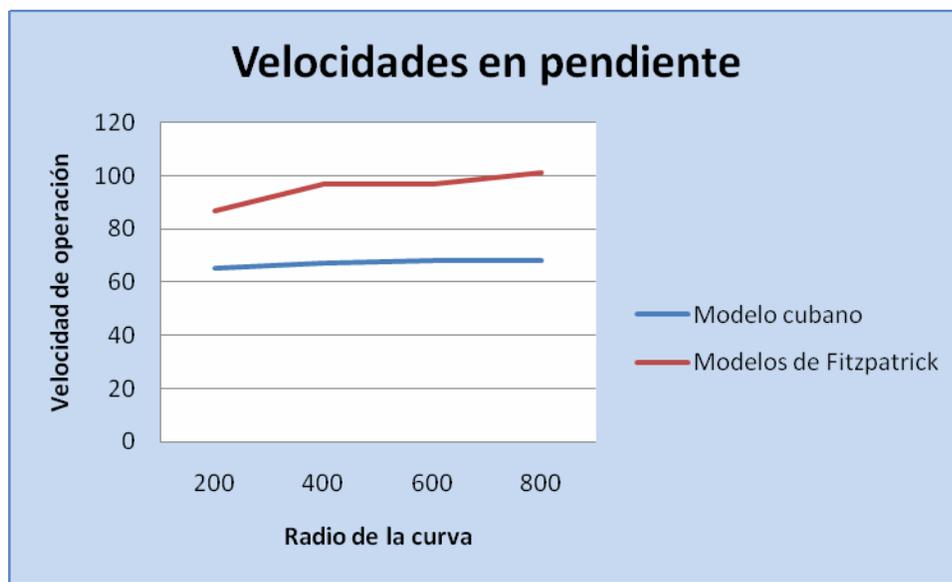


Gráfico 3.1: Velocidad contra radio.

- ❖ Modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para curvas horizontales en rampas.

Para realizar este modelo se procede con el mismo método que para los modelos anteriores, introduciendo los datos en el programa tomados en el terreno para curvas horizontales en rampa (Tabla3.4).



Tabla 3.4: Datos obtenidos de las curvas horizontales en rampa.

#	Carretera	Ubicación	Rampa (%)	R (m)	V <sub>op</sub> (km/h)
1	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Calmita	3	180	63
2	Santa Clara-Placetas	Curva de la Ceniza	5	245	63
3	Santa Clara-Sagua	Entronque Yabú 1	0	290	65
4	Santa Clara-Placetas	Victoria de Santa Clara	3	325	65
5	Santa Clara-Manicaragua	Unidad Militar	6	335	65
6	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Frente a Radio Cuba	3	390	66
7	Santa Clara-Entronq. Vueltas	1 <sup>ra</sup> después del elevado	3	430	66
8	Santa Clara-Placetas	Santa Clara 9 ½ km	5	470	65
9	Santa Clara-Manicaragua	UTS	7	790	66
10	Santa Clara-Placetas	2 <sup>da</sup> después del Cubanacán	2	940	68

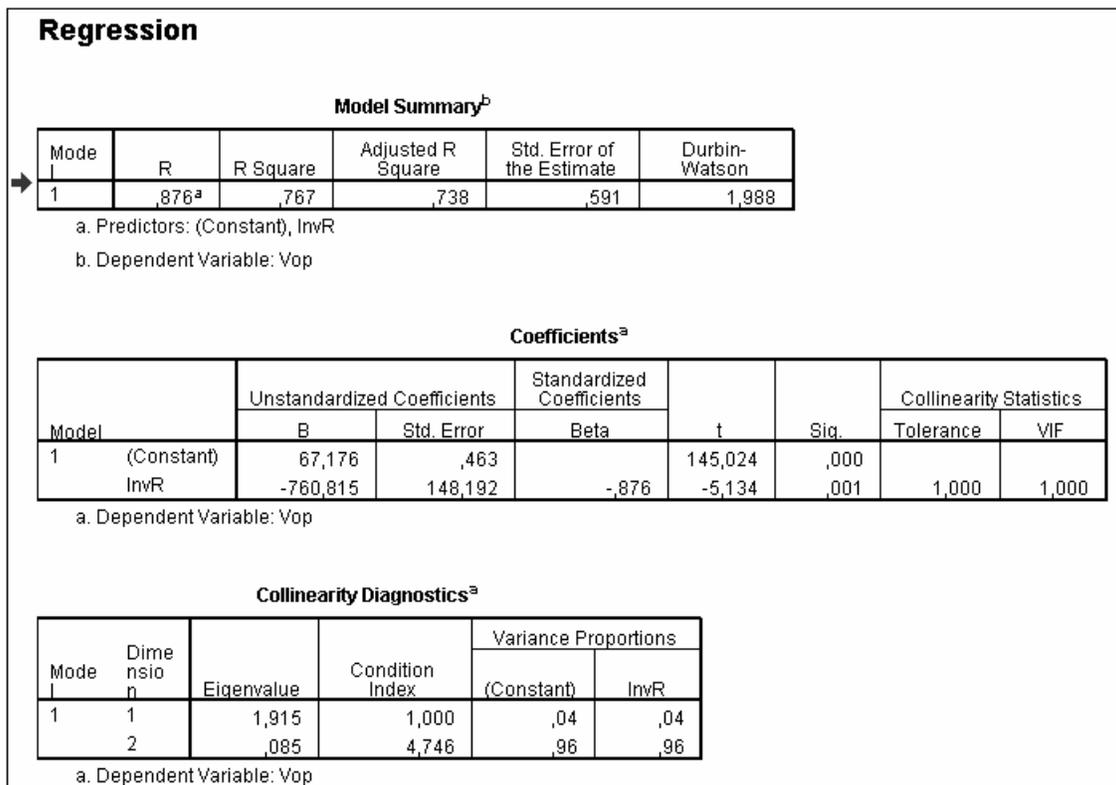


Figura 3.4: Análisis de regresión del modelo para curvas horizontales en rampa.

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

$d = 1.99$  es próximo a 2  $\therefore$  no hay autocorrelación.

$i_c = 4.75$  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.

El modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para curvas horizontales en rampa de las vías rurales de dos carriles con coeficiente de regresión de 0.77 es:

$$V_{op} = 67.18 - 760.82/R$$

Comprobación del modelo:

Para comprobar este modelo se utiliza una curva horizontal en rampa de un 6% en la carretera de Santa Clara-Manicaragua de radio 315 metros.

$$V_{op} = 67.18 - 760.82/R = 65 \text{ km/h}$$

La velocidad promedio medida con la pistola fue de 64 km/h, con un error en las mediciones de  $\pm 2.5$  km/h.

∴ Podemos decir que el modelo obtenido para curvas horizontales en rampa tiene buenos resultados.

Comparación con los modelos de Fitzpatrick et al (Estados Unidos).

Para comparar este modelo con los modelos establecidos en Estados Unidos para las condiciones de rampa, se emplea el mismo procedimiento utilizado en el modelo de curvas horizontales en pendientes.

Modelo cubano:  $V_{op} = 67.18 - 760.82/R$

Modelos Fitzpatrick et al:  $V_{op} = 104.82 - 3574.51/R$  ( $0\% \leq \text{pendiente} < 4\%$ )

$$V_{op} = 96.61 - 2752.19/R \text{ (} 4\% \leq \text{pendiente} < 9\%)$$

**Tabla 3.5: Comparación entre el modelo cubano y los modelos Fitzpatrick et al para rampa.**

Radio (m)	Rampa (%)	Modelo cubano	Modelos Fitzpatrick et al
200	1	63	87
400	8	65	90
600	4	66	92
800	3	66	100



Las velocidades obtenidas del modelo cubano para rampa son menores que las de los modelos de Fitzpatrick, lo que se ve evidenciado en el gráfico 3.2.

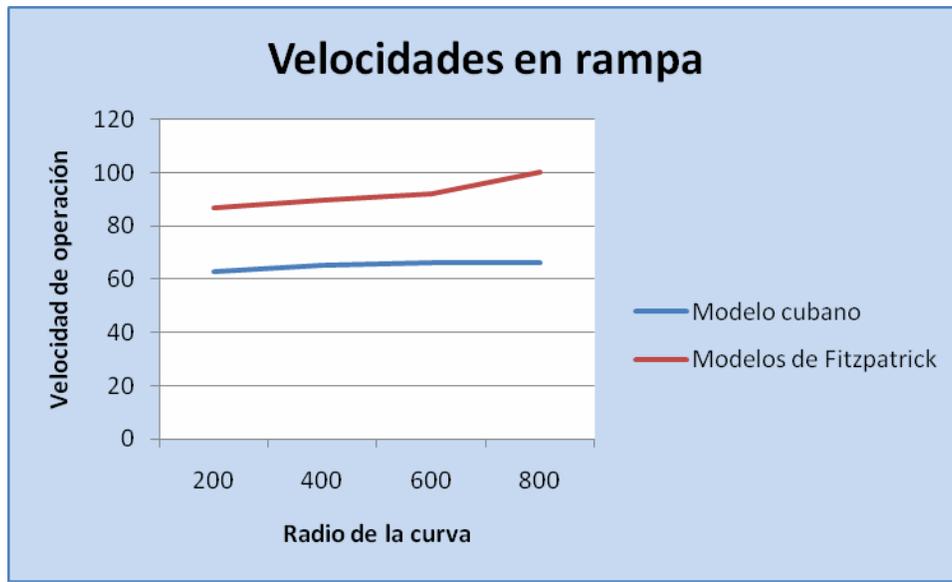


Gráfico 3.2: Velocidad contra radio.

- ❖ Modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para curvas horizontales con acuerdo convexo.

Para este modelo se realiza el mismo procedimiento que los dos modelos anteriores teniendo en cuenta que la curva horizontal se encuentra en un acuerdo convexo. (Tabla 3.6)

Tabla 3.6: Datos obtenidos de las curvas horizontales con acuerdo convexo.

#	Carretera	Ubicación	R (m)	V <sub>op</sub> (km/h)
1	Santa Clara-Placetas	Cementerio Miller	220	69
2	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Finca San Vicente	335	69
3	Santa Clara-Placetas	Al pasar Oliver	375	70
4	Santa Clara-Manicaragua	Antes del río Sagua	385	70
5	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Planta de Asfalto	455	71

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

$d=2.25$  es próximo a 2 ∴ no hay autocorrelación.

$i_c=7.70$  es menor 20, ∴ no hay multicolinealidad.

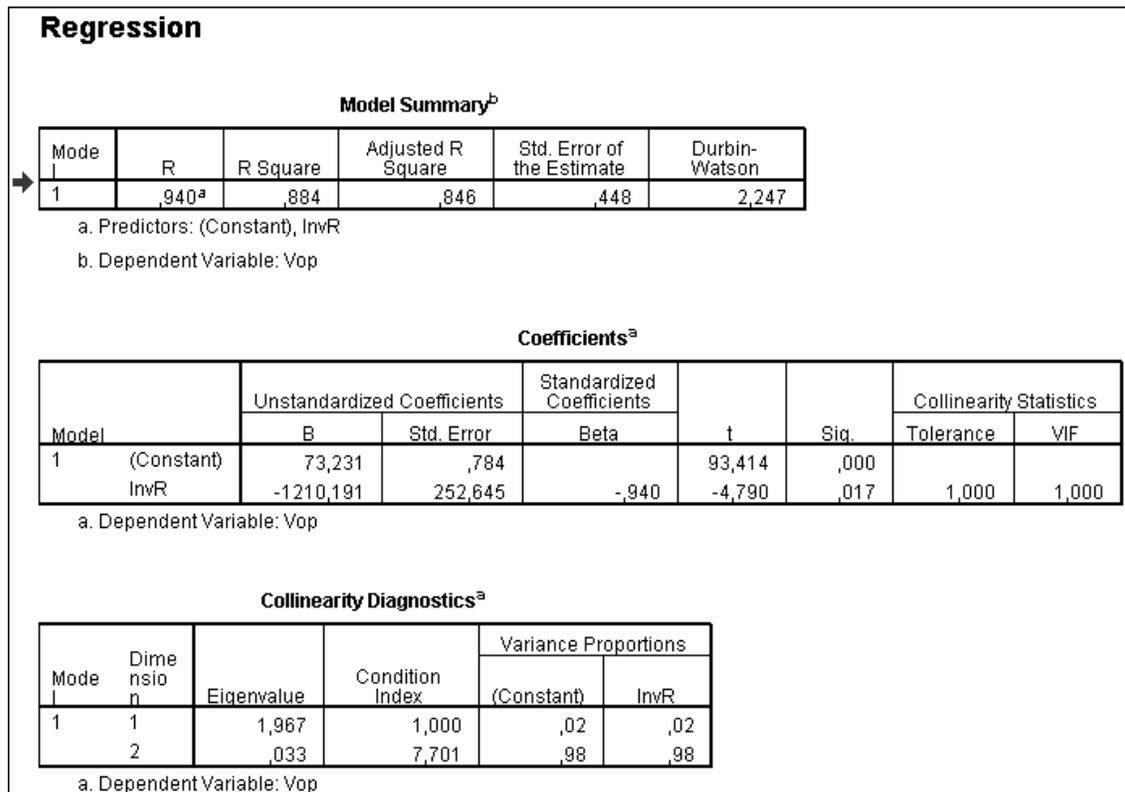


Figura 3.5: Análisis de regresión del modelo para curvas horizontales con acuerdo convexo.

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.

El modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para curvas horizontales con acuerdo convexo de las vías rurales de dos carriles con coeficiente de regresión de 0.88 es:

$$V_{op} = 73.23 - 1210.19/R$$

Comprobación del modelo:

Para comprobar el modelo se emplea una curva horizontal con acuerdo convexo en la carretera de Santa Clara-Entronque de Vueltas de radio 335 metros.

$$V_{op} = 73.23 - 1210.19/R = 70 \text{ km/h}$$

La velocidad promedio medida con la pistola fue de 69 km/h, con un error en las mediciones de  $\pm 2.5$  km/h.



∴ Podemos decir que el modelo obtenido para curvas horizontales con acuerdo convexo tiene buenos resultados.

Comparación con los modelos de Fitzpatrick et al (Estados Unidos).

Luego de obtener el modelo en este estudio se compara con los modelos establecidos en Estados Unidos para las condiciones de curva horizontal con acuerdo convexo.

Para realizar esta comparación se toman varios tipos de radios, obteniendo la velocidad de operación según los modelos.

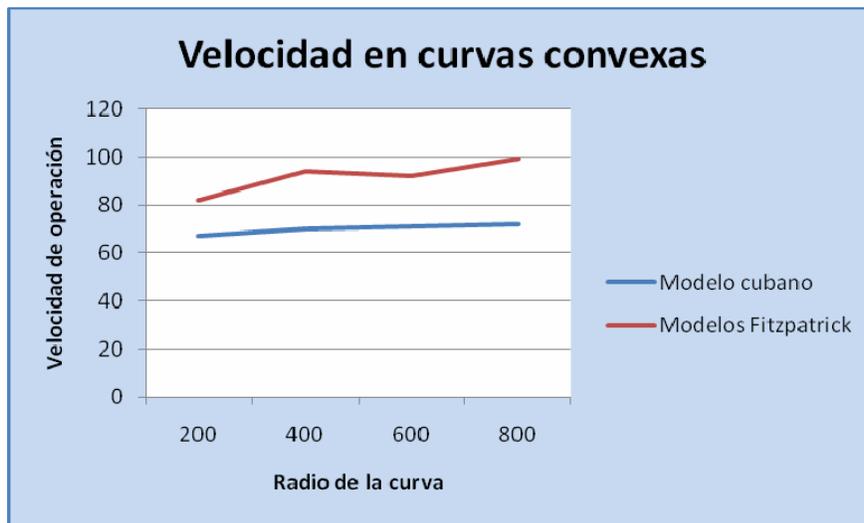
Modelo cubano:  $V_{op} = 73.23 - 1210.19/R$

Modelos Fitzpatrick et al:  $V_{op} = < \text{valor entre pendiente para bajada, y entre rampa para subida (sin limitación visibilidad)}$

$V_{op} = 103.24 - 3576.51/R$  (con limitación visibilidad)

**Tabla 3.7: Comparación entre el modelo cubano y los modelos Fitzpatrick et al curvas horizontales con acuerdo convexo.**

Radio (m)	Recta	Modelo cubano	Modelos Fitzpatrick et al
200	Visibilidad	67	82
400	Sin visibilidad	70	94
600	Visibilidad	71	92
800	Sin visibilidad	72	99



**Gráfico 3.3: Velocidad contra radio.**



Como se muestra en el gráfico 3.3 las velocidades obtenidas por el modelo cubano son menores que las velocidades de los modelos americanos.

- ❖ Modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para curvas horizontales con acuerdo cóncavo.

Con los datos obtenidos en el terreno (Tabla 3.8) se obtiene el modelo mediante un análisis de regresión, como se explica en los modelos anteriores.

Tabla 3.8: Datos obtenidos de las curvas horizontales con acuerdo cóncavo.

#	Carretera	Ubicación	R (m)	V <sub>op</sub> (km/h)
1	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Entrada Camajuaní	155	67
2	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Kilómetro 10	170	69
3	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Kilómetro 13	350	70
4	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Kilómetro 22	380	71
5	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Kilómetro 12	460	73

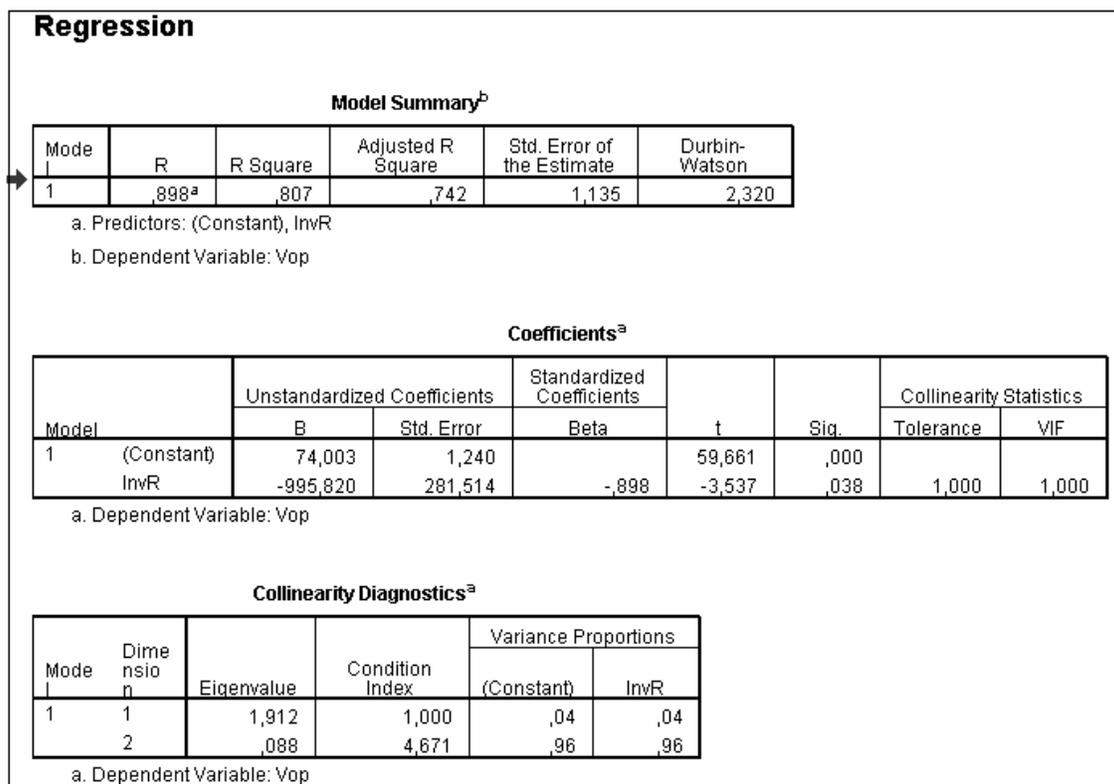


Figura 3.6: Análisis de regresión del modelo para curvas horizontales con acuerdo cóncavo.



Si comparamos la autocorrelación y la multicolinealidad con los parámetros establecidos obtenemos el modelo es válido pues no existe ni autocorrelación, ni multicolinealidad:

$d=2.32$  es próximo a 2  $\therefore$  no hay autocorrelación.

$i_c=4.67$  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.

El modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para curvas horizontales con acuerdo convexo de las vías rurales de dos carriles con coeficiente de regresión de 0.81 es:

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

#### Comprobación del modelo:

Para comprobar el modelo se emplea una curva horizontal con acuerdo cóncavo en la carretera de Santa Clara-Entronque de Vueltas de radio 350 metros.

$$V_{op} = 74 - 995.82/R = 71 \text{ km/h}$$

La velocidad promedio medida con la pistola fue de 70 km/h, con un error en las mediciones de  $\pm 2.5$  km/h.

$\therefore$  Podemos decir que el modelo obtenido para curvas horizontales con acuerdo cóncavo tiene buenos resultados.

#### Comparación con los modelos de Fitzpatrick et al (Estados Unidos).

Para este tipo de combinación de alineamiento en los estados Unidos se establece una sola ecuación, para comparar el modelo de esta investigación con el americano se procede de la misma manera.

Modelo cubano:  $V_{op} = 74 - 995.82/R$

Modelos Fitzpatrick et al:  $V_{op} = 105.32 - 3438.19/R$



Tabla 3.9: Comparación entre el modelo cubano y los modelos Fitzpatrick et al curvas horizontales con acuerdo cóncavo.

Radio (m)	Modelo cubano	Modelos Fitzpatrick et al
200	69	88
400	72	97
600	72	100
800	73	101

Como se muestra en el gráfico 3.4 las velocidades obtenidas por el modelo cubano son menores que las velocidades de los modelos americanos.

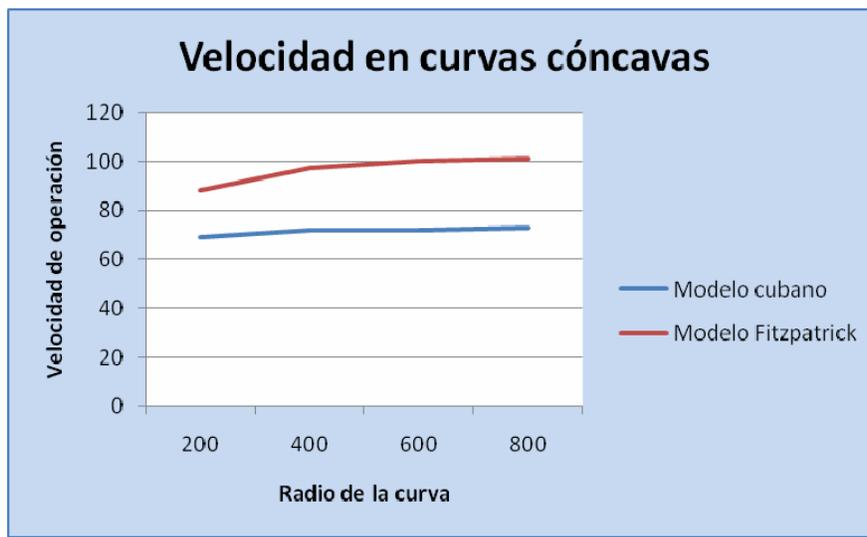


Gráfico 3.4: Velocidad contra radio.

- ❖ Modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para rectas con acuerdo convexo.

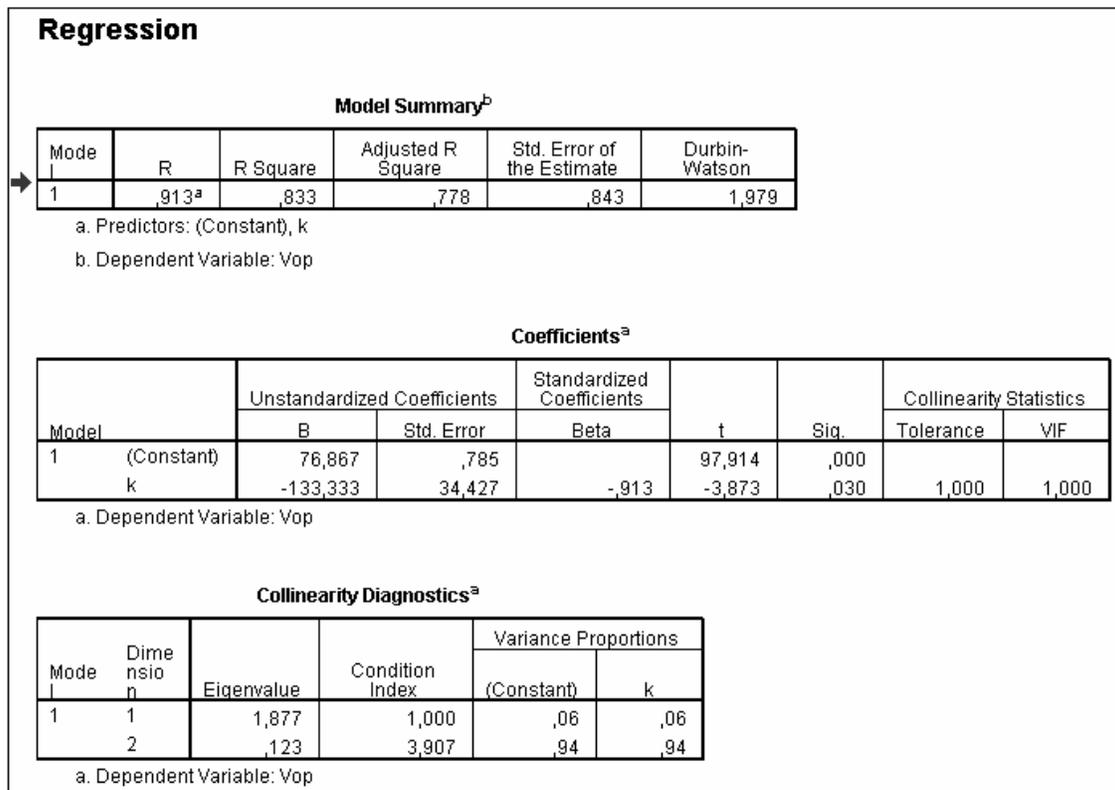
Para realizar estos tipos de modelos se analizaron tramos rectos que presentan acuerdos convexos o cóncavos por lo fue necesario tener en cuenta la diferencia algebraica entre las pendientes en tanto por uno, como se muestra a continuación: (Tabla 3.10).

Tabla 3.10: Datos obtenidos de tramos rectos con acuerdo convexo.

#	Carretera	Ubicación	k	V <sub>op.</sub> (km/h)
1	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Loma de los Güiros	0.02	73
2	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Después de los Paragüitas	0.02	74
3	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Al pasar la planta de Asfalto	0.01	76
4	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Entrada de Camajuaní	0.04	72
5	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Antes del Entronq. Vueltas	0.01	76



En la figura 3.7 se muestran los resultados del análisis de regresión lineal realizado para obtener este modelo.



**Figura 3.7: Análisis de regresión del modelo para rectas con acuerdo convexo.**

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

$d = 1.98$  es próximo a 2  $\therefore$  no hay autocorrelación.

$i_c = 3.91$  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.

El modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para rectas con acuerdo convexo de las vías rurales de dos carriles con coeficiente de regresión de 0.83 es:

$$V_{op} = 76.87 - 133.33 \cdot k.$$



Comprobación del modelo:

Para este tipo de modelo se emplea una recta con acuerdo convexo ubicada en la carretera de Santa Clara-Entronque de Vueltas con diferencia algebraica de 0.03.

$$V_{op} = 76.87 - 133.33 \cdot k = 73 \text{ km/h}$$

La velocidad promedio medida con la pistola fue de 74 km/h, con un error en las mediciones de  $\pm 2.5$  km/h.

∴ Podemos decir que el modelo obtenido para rectas con acuerdo convexo tiene buenos resultados.

Comparación con los modelos de Fitzpatrick et al (Estados Unidos).

Los modelos obtenidos para Estados Unidos cuando la recta con acuerdo convexo no tiene limitación de la visibilidad se establece que la velocidad de operación es igual a la velocidad libre en recta, mientras que para el modelo cubano se obtiene una velocidad de operación.

Modelo cubano:  $V_{op} = 76.87 - 133.33 \cdot k$

Modelos Fitzpatrick et al:  $V_{op} =$  velocidad libre en recta (sin limitación visibilidad)

$$V_{op} = 105.08 - 149.69 \cdot k \text{ (con limitación visibilidad)}$$

**Tabla 3.11: Comparación entre el modelo cubano y los modelos Fitzpatrick et al para recta con acuerdo convexo.**

Recta	k	Modelo cubano	Modelos Fitzpatrick et al
Visibilidad	0.01	76	Velocidad libre en recta
Sin visibilidad	0.02	74	102
Visibilidad	0.03	73	Velocidad libre en recta
Sin visibilidad	0.04	72	99

Las velocidades obtenidas en el modelo cubano para rectas con acuerdo convexo son menores que las de los modelos de Fitzpatrick. Esto puede estar dado a la influencia de muchos factores que intervienen en la vía, debido a que cada país tiene sus propias características.

- ❖ Modelo de predicción del perfil de velocidad para rectas con acuerdo cóncavo.



Para lograr obtener este modelo se procede de la misma manera que para el modelo anterior, teniendo en cuenta los datos determinados en la vía para este tipo de combinación de alineamiento.

Tabla 3.12: Datos obtenidos de tramos rectos con acuerdo cóncavo.

#	Carretera	Ubicación	k	V <sub>op</sub> (km/h)
1	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Blanquizal	0.03	80
2	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Salida de Camajuaní	0.01	73
3	Santa Clara-Entronq. Vueltas	El Níspero	0.01	72
4	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Después de El Níspero	0.01	74
5	Santa Clara-Entronq. Vueltas	Antes del Entronq. Vueltas	0.03	77

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

$d = 1.98$  es próximo a 2  $\therefore$  no hay autocorrelación.

$i_c = 3.91$  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.

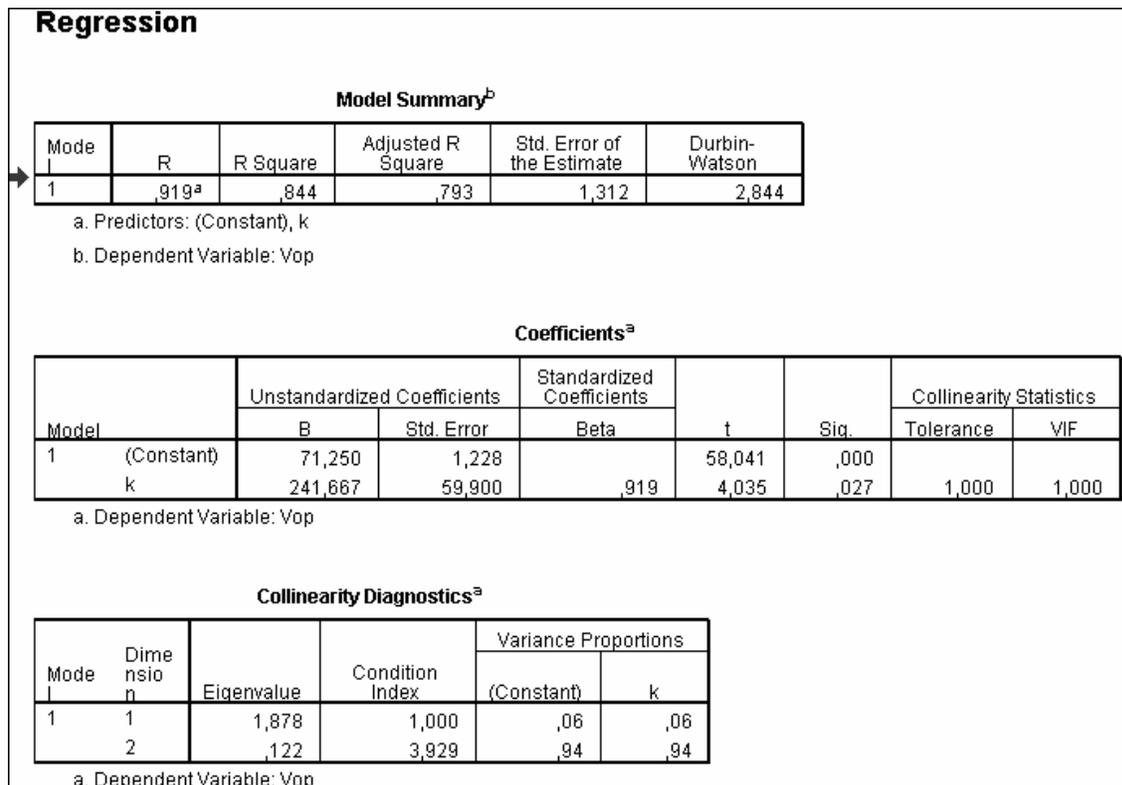


Figura 3.8: Análisis de regresión del modelo para rectas con acuerdo cóncavo.



El modelo de predicción del perfil de velocidad de operación para rectas con acuerdo cóncavo de las vías rurales de dos carriles con coeficiente de regresión de 0.84 es:

$$V_{op} = 71.25 - 241.77 \cdot k.$$

Comprobación del modelo:

Para este tipo de modelo se emplea una recta con acuerdo cóncavo ubicada en la carretera de Santa Clara-Entronque de Vueltas con diferencia algebraica de 0.02.

$$V_{op} = 71.25 - 241.77 \cdot k = 66 \text{ km/h}$$

La velocidad promedio medida con la pistola fue de 67 km/h, con un error en las mediciones de  $\pm 2.5$  km/h.

∴ Podemos decir que el modelo obtenido para rectas con acuerdo cóncavo tiene buenos resultados.

Comparación con los modelos de Fitzpatrick et al (Estados Unidos).

Según Fitzpatrick la velocidad de operación de los vehículos cuando existe una recta con acuerdo cóncavo es igual a la velocidad libre en recta, en esta investigación se haya un modelo, ya que las carreteras de cada país presentan características diferentes.

**Tabla Resumen:**

En la tabla 3.8 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 3.13: Resumen de los modelos de predicción de velocidad**

Modelos	Ecuación	Curvas	R <sup>2</sup>
Curva horizontal en pendiente	$V_{op} = 69.14 - 751.89/R$	10	0.78
Curva horizontal en rampa	$V_{op} = 67.18 - 760.82/R$	10	0.77
Curva horizontal con acuerdo convexo	$V_{op} = 73.23 - 1210.19/R$	5	0.88
Curva horizontal con acuerdo cóncavo	$V_{op} = 74 - 995.82/R$	5	0.81
Recta con acuerdo convexo	$V_{op} = 76.87 - 133.33 \cdot k$	5	0.83
Recta con acuerdo cóncavo	$V_{op} = 71.25 - 241.77 \cdot k.$	5	0.84



**Conclusiones parciales:**

- ❖ Con la evaluación de cada uno de los elementos tomados en cuenta en la metodología se obtienen los modelos de predicción de velocidad de las vías rurales de dos carriles para la provincia de Villa Clara, en curvas horizontales y rectas con diferentes combinaciones de alineamientos verticales.
- ❖ 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.
- ❖ Por presentar mayor exactitud en los resultados se empleará los modelos de predicción de velocidad en curvas por condiciones de pendiente.



# *CONCLUSIONES*

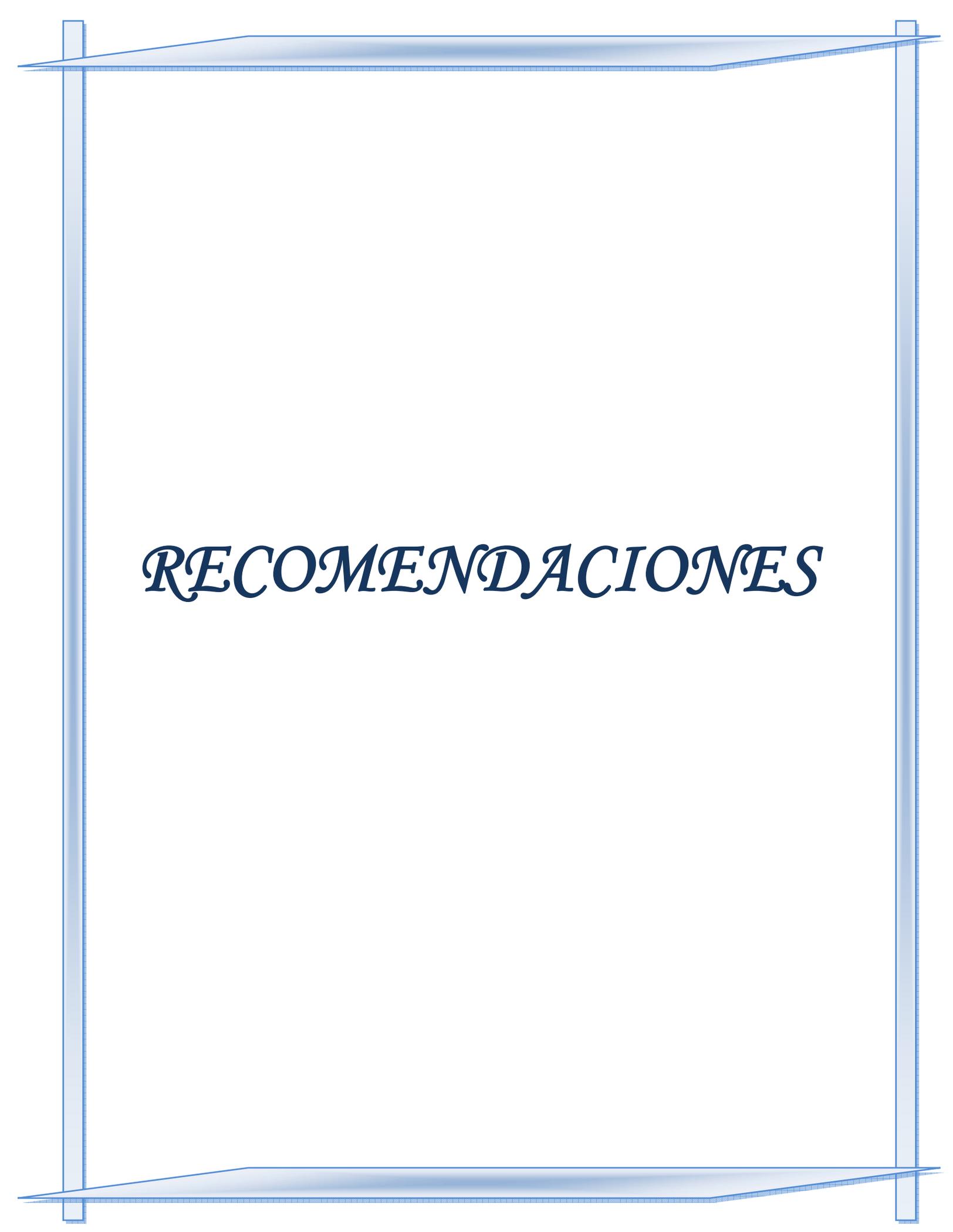


## **CONCLUSIONES:**

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

- ❖ Se han obtenido modelos que permiten calcular la velocidad de operación de automóviles a flujo libre en algunas combinaciones de alineamientos en carreteras rurales de dos carriles. Esto permitirá elaborar el perfil de velocidades de operación con base en las características geométricas y comparar con la velocidad de diseño y entre elementos consecutivos, para detectar problemas de consistencia del diseño geométrico.
- ❖ Las fórmulas para calcular velocidades de operación planteadas por investigadores extranjeros arrojan valores más altos que las velocidades medidas o calculadas con las fórmulas establecidas en la presente investigación. Esto puede estar dado por la heterogeneidad de los vehículos, las condiciones de las carretas y las características de los conductores cubanos.
- ❖ Luego de realizar una detallada búsqueda bibliográfica y comparar los modelos obtenidos en esta investigación con los modelos de Fitzpatrick se puede llegar a la conclusión de que cada país debe establecer sus propios modelos con las características específicas de sus carreteras.
- ❖ Los resultados de la investigación demuestran que la metodología empleada es de fácil aplicación, por lo que puede ser utilizada para obtener los modelos del perfil de velocidad de operación para los demás tipos de vías (vías urbanas, autopista, intersecciones semaforizadas, etc.).

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

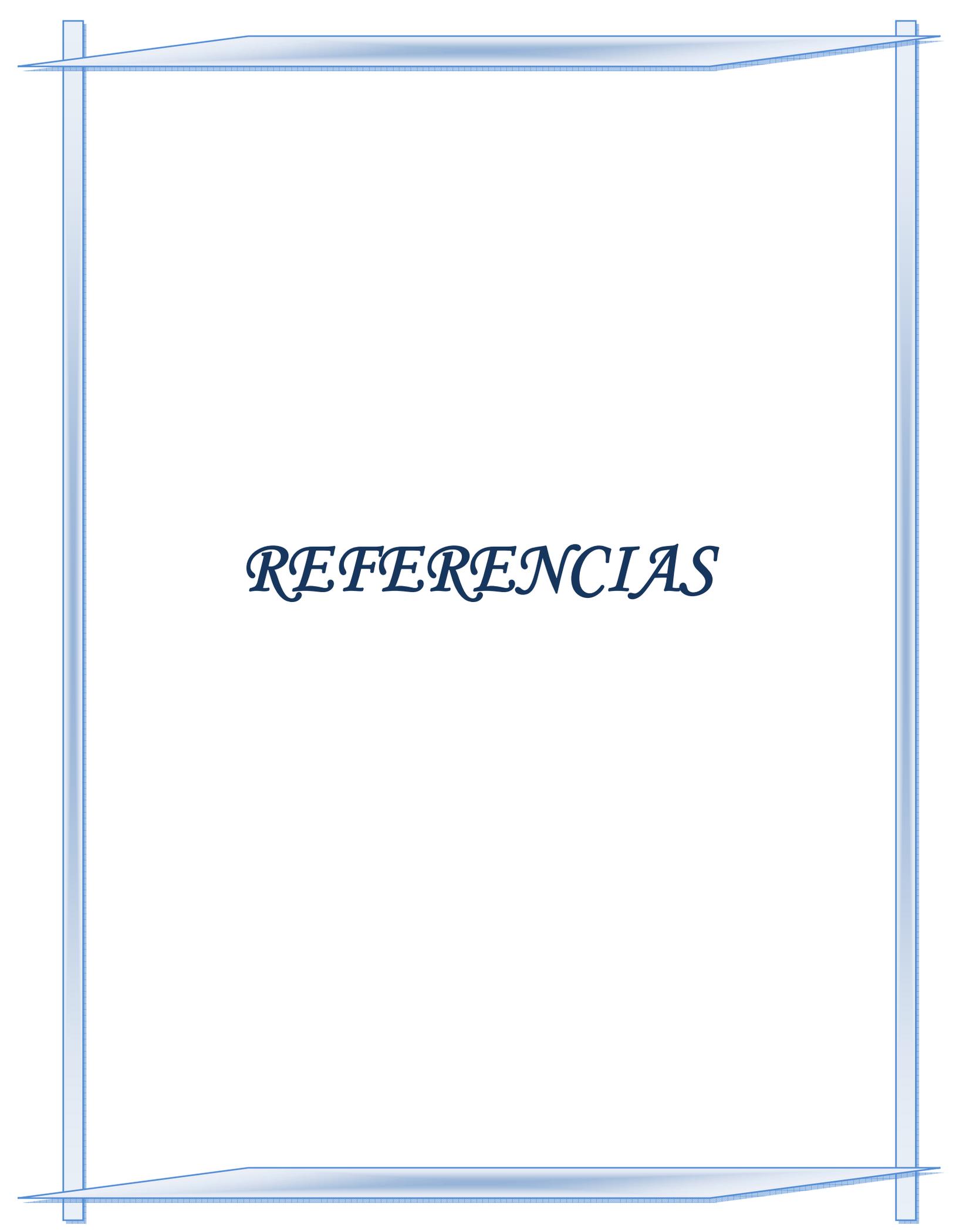


# *RECOMENDACIONES*



**RECOMENDACIONES:**

- ❖ Continuar la investigación con el objetivo de establecer los modelos de predicción del perfil de velocidad de operación para vías rurales de dos carriles en todo el país.
- ❖ 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.
- ❖ Actualizar los estudios periódicamente.



# *REFERENCIAS*



## RERERENCIAS:

- ❖ (2002-2012). Ley N° 60, Código de Vialidad y Tránsito.
- ❖ (2008). Por una seguridad vial mejor. . Granma.
- ❖ (Año 7). Luchemos por la vida. **N°21**.
- ❖ Arboláez, I. (2008). Metodología para la evaluación de los aspectos geométricos en vías rurales de interés nacional, de la provincia de Villa Clara.
- ❖ Autores, C. d. (2002) Algunas consideraciones de seguridad para el diseño geométrico de carreteras.
- ❖ Autores, C. d. (2008) Predicción de la velocidad de operación para evaluar la consistencia del trazado.
- ❖ Autores, C. d. (2008) Procedimientos de evaluación de la consistencia del trazado de las carreteras: IHSDM.
- ❖ Labrousse, M. (2003) Road Safety Manual.
- ❖ Rodríguez, B. (2008). Caracterización de la accidentalidad en la provincia de Villa Clara y la influencia de la velocidad en ella.
- ❖ Sánchez, J. (2008) La evaluación de la consistencia del diseño geométrico de carreteras: un aporte a la seguridad vial.
- ❖ Treat, J. (1979) Tri-level study of the causes off traffic accidents: Final report - Executive summary.



# *BIBLIOGRAFÍA*

**BIBLIOGRAFÍA:**

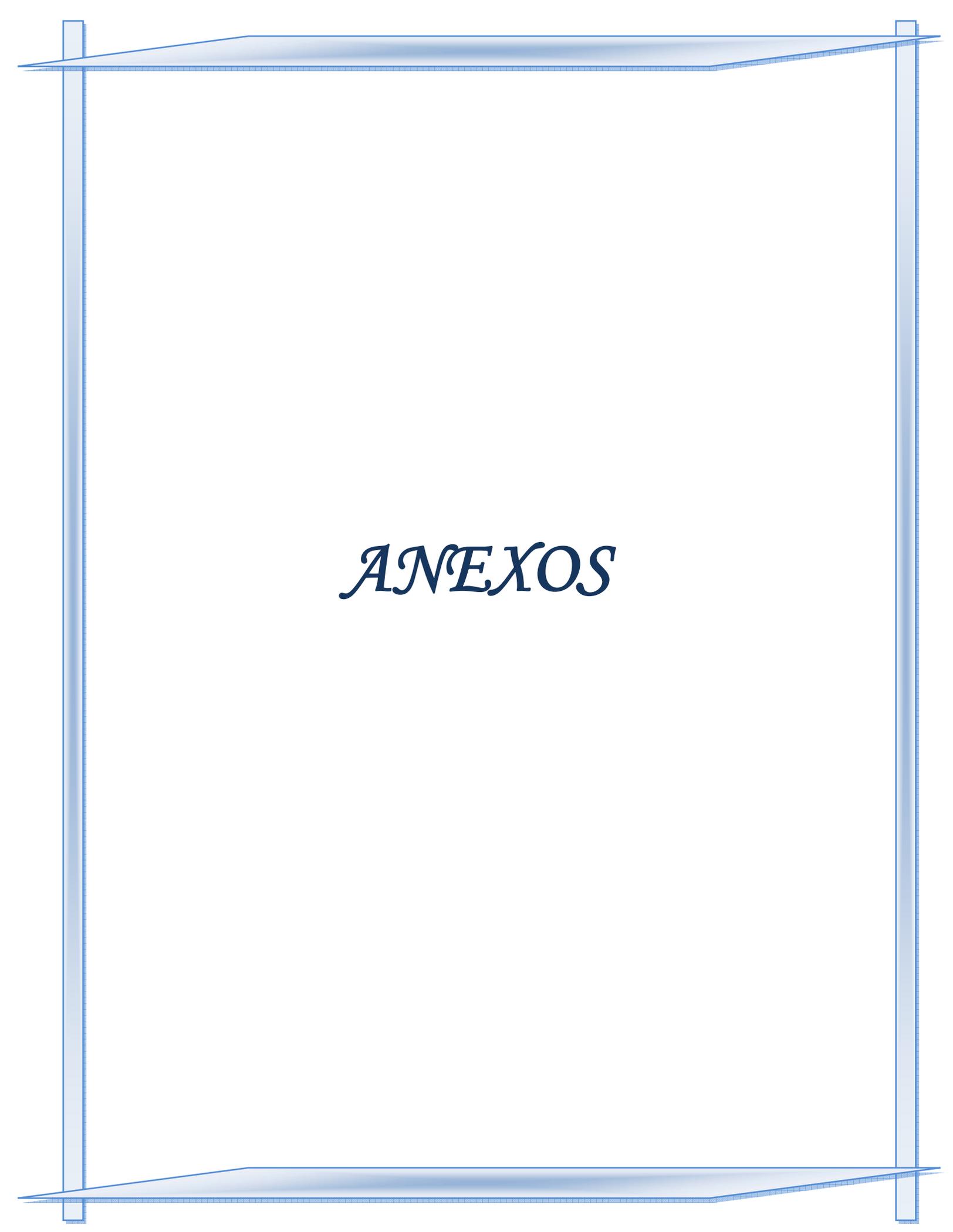
- ❖ Arbolález, I. (2008), Metodología para la evaluación de los aspectos geométricos en vías rurales de interés nacional, de la provincia de Villa Clara. Santa Clara, UCLV. Trabajo de diploma.
- ❖ Colectivo de autores. (2002), Algunas consideraciones de seguridad vial para el diseño geométrico de carreteras.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



- ❖ Rodríguez, B. (2008), Caracterización de la accidentalidad en la provincia de Villa Clara y la influencia de la velocidad en ella. Santa Clara, UCLV. Trabajo de diploma.
- ❖ Sánchez, J. (2008), La evaluación de la consistencia del diseño geométrico de carreteras: un aporte a la seguridad vial. Universidad de Cauca. Colombia.
- ❖ Treat, J. (1979), Tri-level study of the causes off traffic accidents: Final report-Executive summary. Bloomintong, Washington, DC. USA.
- ❖ 2008. Por una seguridad vial mejor. Periódico Granma.
- ❖ Páginas consultadas de Internet:
- ❖ Instituto Mexicano del Transporte (2008). <http://www.imt.mx>, fecha de acceso: 23 de octubre del 2008.
- ❖ ITE (2008). <http://www.ite.org>, fecha de acceso: 23 de octubre del 2008.
- ❖ Evaluation of design consistency methods for two lane rural highways (2008). <http://www.tfrc.gov>, fecha de acceso: 28 de octubre del 2008.
- ❖ Safety and operational effects of geometric design features for two lane rural highways workshop (2008). <http://www.nhi.fhwa.dot.gov>, fecha de acceso: 12 de noviembre del 2008.
- ❖ Efectos de geometría de los caminos sobre la operación y seguridad, en el cambio de milenio, y más allá (2008). <http://www.nas.edu>, fecha de acceso: 17 de diciembre del 2008.
- ❖ Accidentes de tránsito: una lacra de la sociedad moderna (2008). <http://www.seguridad-vial.net>, fecha de acceso: 17 de diciembre del 2008.
- ❖ La coherencia del diseño y un modelo interactivo para diseñar caminos más seguros (2002). <http://www.seguridad-vial.com>, fecha de acceso: 17 de diciembre del 2008.



- ❖ Estudio acerca de rebajar el límite de velocidad, reduce el número de accidentes (2007). <http://www.dgt.es>, fecha de acceso: 12 de enero del 2009.
- ❖ Rebajar velocidad no reduce accidentes (2000). <http://www.motor.es>, fecha de acceso: 12 de enero del 2009.
- ❖ Velocidad, causa de accidentes (2008). <http://www.custom125.com>, fecha de acceso: 18 de febrero del 2009.
- ❖ Seguridad vial y velocidad (2009). <http://www.cinurog.mx>, fecha de acceso: 25 de febrero del 2009.
- ❖ Accidentalidad mundial, tema de debate (2009). <http://www.eumed.net>, fecha de acceso: 25 de febrero del 2009.



# *ANEXOS*



**ANEXOS:**

Anexo 1: Datos de velocidad de operación obtenidos en curvas horizontales.

<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción:</b> 3ra antes de la loma de Santa Fé, donde hay un Algarroba (Inflexión derecha)			
<b>Pendiente:</b> 2%			
<b>Radio:</b> 140 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60km/h			
<b>#</b>	<b>Vop(SC-Ent.V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	65	1	69
2	70	2	65
3	62	3	60
4	75	4	68
5	64	5	65
6	64	6	63
7	65	7	66
8	62	8	67
9	64	9	62
10	65	10	60
11	60	11	61
12	61	12	66
13	74	13	60
14	66	14	73
15	63	15	70
16	69	16	65
17	62	17	63
18	62	18	61
19	63	19	61
20	64	20	61
21	64	21	64
22	71	22	74
23	70	23	66
<b>Velocidad media</b>	65	<b>Velocidad media</b>	65
<b>Desviación</b>	4,10	<b>Desviación</b>	4,03



<b>Carretera Santa Clara- Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Calmita (Inflexión derecha)</b>			
<b>Pendiente: 3%</b>			
<b>Radio: 180 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	62	1	60
2	63	2	60
3	66	3	65
4	67	4	65
5	66	5	60
6	62	6	62
7	63	7	61
8	64	8	64
9	70	9	62
10	68	10	64
11	63	11	68
12	69	12	62
13	60	13	62
14	65	14	62
15	68	15	69
16	60	16	63
17	65	17	60
18	60	18	61
19	66	19	60
20	62	20	65
21	63	21	62
22	62	22	65
23	61	23	68
<b>Velocidad media</b>	64	<b>Velocidad media</b>	63
<b>Desviación</b>	2,96	<b>Desviación</b>	2,72



<b>Carretera Santa Clara-Sagua</b>			
<b>Descripción:</b> Entronque Yabú 1, en el Kilómetro 3.8 ( Inflexión derecha)			
<b>Rampa:</b> 0%			
<b>Radio:</b> 290 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60 km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-S)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (S-SC)</b>
1	70	1	71
2	65	2	61
3	68	3	64
4	63	4	67
5	66	5	72
6	64	6	64
7	67	7	63
8	64	8	65
9	61	9	64
10	71	10	64
11	68	11	68
12	65	12	62
13	60	13	78
14	63	14	67
15	62	15	67
16	68	16	80
17	69	17	81
18	61	18	69
19	62	19	63
20	70	20	62
21	65	21	69
22	69	22	67
23	64	23	63
<b>Velocidad media</b>	65	<b>Velocidad media</b>	67
<b>Desviación</b>	3,24	<b>Desviación</b>	5,66



<b>Carretera Santa Clara-Placetas</b>			
<b>Descripción:</b> Frente a Victoria de Santa Clara, en el Kilómetro 3.07 (Inflexión derecha)			
<b>Rampa:</b> 3%			
<b>Radio:</b> 325 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-P)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (P-SC)</b>
1	70	1	63
2	69	2	65
3	71	3	70
4	60	4	63
5	69	5	68
6	67	6	64
7	60	7	63
8	70	8	72
9	74	9	65
10	64	10	65
11	65	11	65
12	65	12	67
13	67	13	68
14	62	14	68
15	61	15	68
16	62	16	73
17	62	17	62
18	63	18	62
19	62	19	60
20	61	20	68
21	64	21	69
22	60	22	70
23	69	23	65
<b>Velocidad media</b>	65	<b>Velocidad media</b>	66
<b>Desviación</b>	4,11	<b>Desviación</b>	3,37



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Antes de los Paragüitas (Inflexión izquierda)</b>			
<b>Rampa: 3%</b>			
<b>Radio: 350 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	68	1	68
2	69	2	85
3	67	3	61
4	69	4	75
5	64	5	63
6	63	6	69
7	70	7	66
8	68	8	69
9	66	9	76
10	85	10	69
11	70	11	77
12	75	12	71
13	71	13	65
14	63	14	64
15	64	15	79
16	62	16	64
17	73	17	66
18	66	18	62
19	63	19	65
20	65	20	68
21	70	21	67
22	65	22	71
23	82	23	69
<b>Velocidad media</b>	69	<b>Velocidad media</b>	69
<b>Desviación</b>	5,81	<b>Desviación</b>	5,91



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción:</b> Frente a Radio Cuba.			
<b>Rampa:</b> 3%			
<b>Radio:</b> 390 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	69	1	70
2	70	2	60
3	70	3	82
4	71	4	65
5	63	5	72
6	72	6	60
7	64	7	70
8	61	8	65
9	65	9	75
10	70	10	60
11	62	11	63
12	70	12	70
13	73	13	71
14	61	14	64
15	70	15	71
16	62	16	62
17	65	17	63
18	60	18	73
19	66	19	63
20	62	20	64
21	71	21	75
22	63	22	65
23	65	23	66
<b>Velocidad media</b>	66	<b>Velocidad media</b>	67
<b>Desviación</b>	4,16	<b>Desviación</b>	5,73



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción:</b> La primera después del elevado (Inflexión izquierda)			
<b>Pendiente:</b> 3%			
<b>Radio:</b> 430 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	72	1	64
2	67	2	71
3	68	3	68
4	67	4	65
5	76	5	63
6	73	6	61
7	65	7	64
8	74	8	62
9	63	9	71
10	68	10	65
11	63	11	61
12	71	12	70
13	68	13	63
14	62	14	62
15	70	15	69
16	63	16	69
17	65	17	67
18	63	18	61
19	75	19	61
20	60	20	70
21	63	21	78
22	68	22	65
23	63	23	71
<b>Velocidad media</b>	67	<b>Velocidad media</b>	66
<b>Desviación</b>	4,57	<b>Desviación</b>	4,44



<b>Carretera Santa Clara-Placetas</b>			
<b>Descripción:</b> Después del Cubanacán la segunda curva ( Inflexión izquierda)			
<b>Pendiente:</b> 2%			
<b>Radio:</b> 940 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-P)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (P-SC)</b>
1	67	1	68
2	66	2	70
3	65	3	66
4	67	4	68
5	66	5	74
6	70	6	66
7	75	7	68
8	65	8	65
9	70	9	73
10	65	10	65
11	67	11	67
12	79	12	65
13	65	13	73
14	60	14	69
15	67	15	70
16	68	16	66
17	72	17	73
18	72	18	72
19	70	19	66
20	75	20	69
21	70	21	65
22	75	22	69
23	76	23	67
<b>Velocidad media</b>	69	<b>Velocidad media</b>	68
<b>Desviación</b>	4,56	<b>Desviación</b>	2,92



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Cartel Camajuaní ( Inflexión izquierda)</b>			
<b>Rampa: 6%</b>			
<b>Radio: 140 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	73	1	65
2	67	2	70
3	73	3	72
4	68	4	68
5	77	5	71
6	79	6	63
7	60	7	71
8	72	8	75
9	68	9	71
10	67	10	65
11	70	11	75
12	62	12	64
13	71	13	70
14	62	14	65
15	65	15	66
16	67	16	62
17	65	17	65
18	74	18	71
19	65	19	73
20	60	20	66
21	64	21	72
22	67	22	75
23	71	23	80
<b>Velocidad media</b>	68	<b>Velocidad media</b>	69
<b>Desviación</b>	5,10	<b>Desviación</b>	4,63



<b>Santa Clara-Placetas</b>			
<b>Descripción:</b> Curva de la ceniza ( Inflexión derecha)			
<b>Pendiente:</b> 5%			
<b>Radio:</b> 245 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-P)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (P-SC)</b>
1	71	1	60
2	63	2	62
3	62	3	60
4	64	4	61
5	63	5	63
6	64	6	60
7	62	7	60
8	61	8	60
9	67	9	62
10	60	10	60
11	63	11	69
12	60	12	67
13	62	13	63
14	71	14	64
15	71	15	69
16	70	16	68
17	60	17	66
18	67	18	68
19	68	19	62
20	67	20	61
21	63	21	63
22	80	22	63
23	72	23	62
<b>Velocidad media</b>	66	<b>Velocidad media</b>	63
<b>Desviación</b>	5,01	<b>Desviación</b>	3,11



<b>Carretera Santa Clara- Manicaragua</b>			
<b>Descripción: Acetileno ( Inflexión derecha)</b>			
<b>Pendiente: 6%</b>			
<b>Radio: 315 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-M)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (M-SC)</b>
1	70	1	69
2	73	2	66
3	64	3	68
4	65	4	67
5	60	5	62
6	71	6	61
7	61	7	60
8	60	8	63
9	65	9	64
10	70	10	69
11	62	11	61
12	62	12	63
13	67	13	64
14	67	14	60
15	68	15	69
16	67	16	61
17	60	17	64
18	60	18	63
19	64	19	69
20	72	20	63
21	71	21	60
22	75	22	65
23	71	23	69
<b>Velocidad media</b>	66	<b>Velocidad media</b>	64
<b>Desviación</b>	4,71	<b>Desviación</b>	3,27



<b>Carretera Santa Clara-Manicaragua</b>			
<b>Descripción:</b> La primera después de la Unidad Militar ( Inflexión izquierda)			
<b>Rampa:</b> 6%			
<b>Radio:</b> 335 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-M)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (M-SC)</b>
1	69	1	66
2	64	2	70
3	60	3	64
4	65	4	68
5	60	5	72
6	66	6	78
7	60	7	60
8	69	8	64
9	71	9	66
10	65	10	76
11	68	11	69
12	67	12	70
13	61	13	73
14	63	14	80
15	74	15	71
16	65	16	62
17	62	17	65
18	69	18	70
19	63	19	75
20	67	20	69
21	60	21	66
22	70	22	71
23	66	23	65
<b>Velocidad media</b>	65	<b>Velocidad media</b>	69
<b>Desviación</b>	3,93	<b>Desviación</b>	5,06



<b>Carretera Santa Clara-Placetas</b>			
<b>Descripción:</b> Antes del Cubanacán, Santa Clara 91/2 km (Inflexión derecha)			
<b>Pendiente:</b> 5%			
<b>Radio:</b> 470 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-P)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (P-SC)</b>
1	71	1	64
2	68	2	79
3	69	3	64
4	67	4	77
5	73	5	73
6	66	6	64
7	70	7	62
8	68	8	67
9	65	9	69
10	68	10	63
11	73	11	61
12	75	12	60
13	72	13	65
14	69	14	62
15	69	15	67
16	71	16	68
17	61	17	63
18	73	18	66
19	77	19	61
20	72	20	63
21	67	21	62
22	70	22	64
23	73	23	62
<b>Velocidad media</b>	70	<b>Velocidad media</b>	65
<b>Desviación</b>	3,53	<b>Desviación</b>	4,96



<b>Carretera Santa Clara-Manicaragua</b>			
<b>Descripción: Curva UTS( Inflexión derecha)</b>			
<b>Rampa: 7%</b>			
<b>Radio: 790 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-M)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (M-SC)</b>
1	65	1	72
2	65	2	70
3	63	3	63
4	68	4	65
5	67	5	69
6	68	6	63
7	64	7	67
8	64	8	62
9	63	9	68
10	66	10	64
11	60	11	72
12	62	12	80
13	63	13	66
14	68	14	72
15	67	15	69
16	72	16	67
17	60	17	72
18	62	18	73
19	65	19	67
20	70	20	68
21	64	21	73
22	73	22	72
23	69	23	77
<b>Velocidad media</b>	66	<b>Velocidad media</b>	69
<b>Desviación</b>	3,47	<b>Desviación</b>	4,51



Anexo 2: Datos de velocidad de operación obtenidos en curvas horizontales con acuerdo convexo.

<b>Carretera Santa Clara-Placetas</b>			
<b>Descripción: Cementerio Miller ( Inflexión izquierda)</b>			
<b>Radio: 220 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-P)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (P-SC)</b>
1	73	1	61
2	69	2	64
3	60	3	64
4	71	4	67
5	65	5	64
6	70	6	75
7	69	7	64
8	70	8	60
9	69	9	74
10	73	10	68
11	72	11	73
12	61	12	70
13	73	13	73
14	64	14	70
15	71	15	65
16	65	16	75
17	61	17	64
18	64	18	72
19	66	19	67
20	70	20	74
21	67	21	80
22	69	22	70
23	66	23	79
<b>Velocidad media</b>	68	<b>Velocidad media</b>	69
<b>Desviación</b>	3,96	<b>Desviación</b>	5,56



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Finca San Vicente (Inflexión izquierda)</b>			
<b>Radio: 335 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	72	1	68
2	70	2	71
3	68	3	64
4	61	4	81
5	65	5	70
6	62	6	66
7	67	7	80
8	66	8	65
9	65	9	80
10	64	10	82
11	75	11	73
12	66	12	68
13	73	13	70
14	72	14	74
15	72	15	64
16	65	16	70
17	67	17	73
18	66	18	70
19	77	19	72
20	80	20	64
21	70	21	68
22	64	22	63
23	75	23	
<b>Velocidad media</b>	<b>69</b>	<b>Velocidad media</b>	<b>71</b>
<b>Desviación</b>	<b>4,99</b>	<b>Desviación</b>	<b>5,78</b>



<b>Carretera Santa Clara- Placetas</b>			
<b>Descripción:</b> Al pasar Oliver (Inflexión izquierda)			
<b>Radio:</b> 375 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-P)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (P-SC)</b>
1	70	1	60
2	70	2	65
3	62	3	66
4	64	4	66
5	75	5	76
6	67	6	71
7	71	7	64
8	70	8	78
9	70	9	72
10	65	10	72
11	72	11	70
12	74	12	68
13	78	13	75
14	70	14	75
15	67	15	67
16	70	16	62
17	73	17	67
18	67	18	60
19	64	19	78
20	75	20	60
21	78	21	63
22	72	22	70
23	70	23	60
<b>Velocidad media</b>	70	<b>Velocidad media</b>	68
<b>Desviación</b>	4,26	<b>Desviación</b>	5,89



<b>Carretera Santa Clara- Manicaragua</b>			
<b>Descripción:</b> Antes del río Sagua La Grande (Inflexión izquierda)			
<b>Radio:</b> 385 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60 km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-M)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (M-SC)</b>
1	66	1	67
2	69	2	64
3	71	3	69
4	64	4	60
5	68	5	72
6	71	6	70
7	65	7	70
8	68	8	73
9	68	9	67
10	65	10	80
11	71	11	71
12	81	12	60
13	75	13	62
14	71	14	65
15	71	15	70
16	62	16	75
17	70	17	65
18	65	18	62
19	78	19	66
20	75	20	69
21	70	21	63
22	75	22	65
23	65	23	67
<b>Velocidad media</b>	70	<b>Velocidad media</b>	67
<b>Desviación</b>	4,73	<b>Desviación</b>	4,89



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción:</b> Planta de Asfalto ( Inflexión izquierda)			
<b>Radio:</b> 455 m			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60 km/h			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	67	1	70
2	70	2	62
3	65	3	71
4	72	4	74
5	68	5	65
6	74	6	62
7	65	7	72
8	69	8	70
9	70	9	63
10	68	10	69
11	79	11	79
12	74	12	70
13	77	13	78
14	75	14	66
15	82	15	64
16	71	16	70
17	70	17	65
18	66	18	83
19	60	19	68
20	83	20	64
21	67	21	66
22	74	22	76
23	72	23	76
<b>Velocidad media</b>	71	<b>Velocidad media</b>	70
<b>Desviación</b>	5,58	<b>Desviación</b>	5,80



Anexo 3: Datos de velocidad de operación obtenidos en curvas horizontales con acuerdo cóncavo.

<b>Carretera Santa Clara- Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Entrada de Camajuaní (Inflexión izquierda)</b>			
<b>Radio: 155 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	64	1	74
2	65	2	70
3	71	3	71
4	68	4	68
5	67	5	73
6	73	6	69
7	65	7	71
8	68	8	74
9	67	9	71
10	66	10	72
11	67	11	70
12	70	12	72
13	63	13	74
14	72	14	73
15	65	15	73
16	70	16	80
17	73	17	76
18	65	18	73
19	71	19	68
20	67	20	71
21	62	21	65
22	68	22	68
23	60	23	65
<b>Velocidad media</b>	67	<b>Velocidad media</b>	71
<b>Desviación</b>	3,47	<b>Desviación</b>	3,39



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Kilómetro 10</b>			
<b>Radio: 170 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	73	1	75
2	68	2	68
3	65	3	63
4	70	4	61
5	69	5	69
6	65	6	65
7	72	7	71
8	65	8	69
9	72	9	71
10	71	10	68
11	75	11	72
12	61	12	64
13	65	13	69
14	70	14	73
15	75	15	70
16	67	16	65
17	68	17	63
18	65	18	67
19	63	19	70
20	69	20	61
21	74	21	65
22	70	22	62
23	69	23	67
<b>Velocidad media</b>	69	<b>Velocidad media</b>	67
<b>Desviación</b>	3,83	<b>Desviación</b>	3,91



<b>Carretera Santa Clara- Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Kilómetro 13</b>			
<b>Radio: 350 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	76	1	72
2	70	2	70
3	69	3	74
4	68	4	65
5	72	5	72
6	78	6	68
7	68	7	61
8	74	8	70
9	66	9	73
10	76	10	76
11	69	11	63
12	65	12	70
13	73	13	73
14	70	14	65
15	65	15	71
16	72	16	72
17	64	17	75
18	65	18	70
19	61	19	68
20	75	20	64
21	72	21	66
22	70	22	69
23	63	23	61
<b>Velocidad media</b>	70	<b>Velocidad media</b>	69
<b>Desviación</b>	4,58	<b>Desviación</b>	4,31



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Kilómetro 22</b>			
<b>Radio: 380 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	71	1	70
2	65	2	68
3	74	3	76
4	67	4	85
5	72	5	70
6	69	6	75
7	68	7	79
8	75	8	74
9	67	9	66
10	69	10	72
11	75	11	71
12	70	12	70
13	73	13	73
14	72	14	69
15	68	15	68
16	69	16	69
17	71	17	67
18	72	18	71
19	73	19	72
20	75	20	68
21	69	21	69
22	67	22	71
23	73	23	72
<b>Velocidad media</b>	71	<b>Velocidad media</b>	72
<b>Desviación</b>	2,92	<b>Desviación</b>	4,23



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Kilómetro 12</b>			
<b>Radio: 460 m</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	76	1	75
2	72	2	72
3	70	3	73
4	71	4	65
5	76	5	72
6	70	6	76
7	73	7	65
8	70	8	70
9	65	9	71
10	73	10	74
11	71	11	66
12	78	12	73
13	82	13	69
14	74	14	72
15	74	15	71
16	75	16	70
17	70	17	69
18	73	18	73
19	72	19	74
20	68	20	64
21	69	21	75
22	71	22	65
23	75	23	69
<b>Velocidad media</b>	73	<b>Velocidad media</b>	71
<b>Desviación</b>	3,59	<b>Desviación</b>	3,58



Anexo 4: Datos de velocidad de operación obtenidos en rectas con acuerdo convexo.

<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Loma de los Güiros</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>Rampa</b>	<b>5%</b>	<b>Rampa</b>	<b>3%</b>
<b>k: 0,02</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	70	1	83
2	64	2	70
3	67	3	75
4	69	4	71
5	86	5	65
6	70	6	80
7	62	7	78
8	71	8	87
9	69	9	70
10	70	10	74
11	73	11	68
12	62	12	79
13	66	13	70
14	64	14	72
15	61	15	70
16	62	16	65
17	75	17	70
18	61	18	70
19	66	19	71
20	75	20	73
21	64	21	79
22	70	22	77
23	72	23	67
<b>Velocidad media</b>	<b>68</b>	<b>Velocidad media</b>	<b>73</b>
<b>Desviación</b>	<b>5,85</b>	<b>Desviación</b>	<b>5,70</b>



<b>Carretera Santa Clara- Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción:</b> Después de los Paragüitas.			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60 km/h			
<b>Rampa</b>	<b>3%</b>	<b>Rampa</b>	<b>5%</b>
<b>k: 0,02</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	87	1	84
2	71	2	80
3	77	3	73
4	73	4	72
5	84	5	69
6	82	6	72
7	73	7	67
8	80	8	76
9	72	9	72
10	66	10	70
11	73	11	73
12	71	12	75
13	67	13	65
14	71	14	66
15	75	15	71
16	68	16	69
17	74	17	71
18	78	18	84
19	86	19	78
20	71	20	71
21	72	21	73
22	70	22	82
23	69	23	75
<b>Velocidad media</b>	<b>74</b>	<b>Velocidad media</b>	<b>73</b>
<b>Desviación</b>	<b>5,93</b>	<b>Desviación</b>	<b>5,29</b>



<b>Carretera Santa Clara- Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Al pasar la planta de Asfalto</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>Rampa</b>	<b>3%</b>	<b>Rampa</b>	<b>4%</b>
<b>k: 0,01</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	85	1	76
2	79	2	68
3	88	3	74
4	79	4	72
5	94	5	74
6	95	6	84
7	85	7	79
8	87	8	68
9	83	9	90
10	83	10	83
11	76	11	80
12	80	12	71
13	80	13	75
14	91	14	70
15	96	15	73
16	79	16	70
17	86	17	70
18	75	18	75
19	81	19	79
20	79	20	85
21	82	21	73
22	84	22	76
23	80	23	79
<b>Velocidad media</b>	<b>84</b>	<b>Velocidad media</b>	<b>76</b>
<b>Desviación</b>	<b>5,85</b>	<b>Desviación</b>	<b>5,79</b>



<b>Carretera Santa Clara- Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción:</b> Entrada de Camajuaní			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60 km/h			
<b>Rampa</b>	<b>7%</b>	<b>Rampa</b>	<b>3%</b>
<b>k: 0,04</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	67	1	65
2	69	2	68
3	65	3	78
4	68	4	70
5	72	5	71
6	60	6	63
7	60	7	82
8	64	8	73
9	76	9	70
10	62	10	68
11	73	11	73
12	69	12	65
13	70	13	70
14	70	14	78
15	64	15	87
16	63	16	80
17	65	17	69
18	60	18	68
19	69	19	70
20	67	20	65
21	63	21	70
22	60	22	73
23	65	23	71
<b>Velocidad media</b>	66	<b>Velocidad media</b>	72
<b>Desviación</b>	4,47	<b>Desviación</b>	5,91



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción:</b> Antes del entronque a Vueltas			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60 km/h			
<b>Rampa</b>	<b>5%</b>	<b>Rampa</b>	<b>6%</b>
<b>k: 0,01</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	78	1	73
2	69	2	71
3	72	3	76
4	83	4	72
5	79	5	76
6	69	6	70
7	70	7	90
8	76	8	74
9	86	9	75
10	75	10	79
11	75	11	69
12	85	12	68
13	75	13	74
14	69	14	67
15	72	15	75
16	72	16	74
17	79	17	77
18	75	18	80
19	66	19	72
20	80	20	79
21	83	21	88
22	72	22	74
23	84	23	70
<b>Velocidad media</b>	76	<b>Velocidad media</b>	75
<b>Desviación</b>	5,77	<b>Desviación</b>	5,63



Anexo 5: Datos de velocidad de operación obtenidos en rectas con acuerdo cóncavo.

<b>Carretera Santa Clara- Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Blanquizal</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>Pendiente</b>	<b>7%</b>	<b>Pendiente</b>	<b>4%</b>
<b>k: 0,03</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	78	1	68
2	75	2	73
3	83	3	69
4	78	4	79
5	73	5	70
6	79	6	74
7	81	7	90
8	73	8	68
9	81	9	67
10	72	10	70
11	81	11	70
12	90	12	75
13	79	13	68
14	80	14	66
15	81	15	67
16	77	16	68
17	93	17	75
18	81	18	70
19	80	19	72
20	77	20	74
21	83	21	70
22	85	22	68
23	85	23	82
<b>Velocidad media</b>	<b>80</b>	<b>Velocidad media</b>	<b>72</b>
<b>Desviación</b>	<b>5,03</b>	<b>Desviación</b>	<b>5,62</b>



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción:</b> Salida de Camajuaní			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60 km/h			
<b>Pendiente</b>	4%	<b>Pendiente</b>	3%
<b>k: 0,01</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	70	1	73
2	77	2	82
3	75	3	76
4	72	4	74
5	73	5	80
6	75	6	71
7	74	7	70
8	70	8	69
9	72	9	75
10	73	10	71
11	70	11	75
12	78	12	69
13	71	13	70
14	74	14	78
15	71	15	71
16	73	16	74
17	76	17	72
18	73	18	75
19	77	19	70
20	80	20	73
21	75	21	75
22	79	22	76
23	76	23	70
<b>Velocidad media</b>	74	<b>Velocidad media</b>	73
<b>Desviación</b>	2,89	<b>Desviación</b>	3,49



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: El Níspero</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>Pendiente</b>	<b>6%</b>	<b>Pendiente</b>	<b>5%</b>
<b>k: 0,01</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent.V-SC)</b>
1	71	1	70
2	72	2	74
3	70	3	70
4	71	4	68
5	69	5	76
6	67	6	81
7	76	7	70
8	76	8	76
9	75	9	66
10	68	10	76
11	78	11	71
12	71	12	73
13	79	13	76
14	76	14	70
15	73	15	65
16	79	16	85
17	70	17	71
18	79	18	72
19	76	19	74
20	72	20	65
21	80	21	68
22	88	22	80
23	71	23	68
<b>Velocidad media</b>	<b>74</b>	<b>Velocidad media</b>	<b>72</b>
<b>Desviación</b>	<b>4,89</b>	<b>Desviación</b>	<b>5,15</b>



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción:</b> Después del Níspero			
<b>Velocidad de diseño:</b> 60 km/h			
<b>Pendiente</b>	<b>5%</b>	<b>Pendiente</b>	<b>6%</b>
<b>k: 0,01</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	71	1	74
2	68	2	70
3	72	3	69
4	73	4	73
5	75	5	72
6	70	6	78
7	75	7	82
8	77	8	67
9	75	9	74
10	77	10	74
11	76	11	76
12	70	12	76
13	73	13	79
14	69	14	69
15	77	15	79
16	74	16	76
17	73	17	75
18	70	18	76
19	68	19	72
20	75	20	69
21	70	21	77
22	68	22	70
23	79	23	69
<b>Velocidad media</b>	<b>73</b>	<b>Velocidad media</b>	<b>74</b>
<b>Desviación</b>	<b>3,31</b>	<b>Desviación</b>	<b>3,96</b>



<b>Carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas</b>			
<b>Descripción: Antes del entronque de Vueltas</b>			
<b>Velocidad de diseño: 60 km/h</b>			
<b>Pendiente</b>	<b>6%</b>	<b>Pendiente</b>	<b>3%</b>
<b>k: 0,03</b>			
<b>#</b>	<b>Vop (SC-Ent. V)</b>	<b>#</b>	<b>Vop (Ent. V-SC)</b>
1	80	1	73
2	83	2	72
3	84	3	75
4	75	4	70
5	70	5	76
6	77	6	73
7	79	7	74
8	85	8	76
9	88	9	73
10	75	10	69
11	76	11	72
12	70	12	69
13	75	13	70
14	79	14	68
15	70	15	73
16	76	16	71
17	75	17	70
18	74	18	73
19	78	19	75
20	72	20	68
21	75	21	70
22	76	22	73
23	77	23	72
<b>Velocidad media</b>	<b>77</b>	<b>Velocidad media</b>	<b>72</b>
<b>Desviación</b>	<b>4,73</b>	<b>Desviación</b>	<b>2,40</b>