

CAPÍTULO I

DISEÑO TEORICO Y METODOLOGIA

1.1. INTRODUCCIÓN.

La consistencia en el diseño geométrico de una vía se refiere a conformar su geometría de acuerdo con las expectativas del conductor. Una inconsistencia en el diseño puede describirse como una característica geométrica, o combinación de ellas, con rasgos inusuales que los conductores pueden abordar de manera insegura.

Los accidentes de tránsito se producen por la concurrencia de diferentes factores (factor humano, infraestructura y vehículo), siendo la infraestructura uno de los más importantes. La afección de dicho factor sobre la siniestralidad puede estudiarse mediante el concepto de consistencia del diseño geométrico. Por ello, hay que lograr un diseño geométrico consistente, que disponga los elementos de la vía y sus características geométricas, contribuyendo a minimizar las violaciones de las expectativas del conductor, de modo que éste perciba homogeneidad en el trazado y no sufra una variación brusca en el nivel de atención necesario para poder adaptarse a las condiciones geométricas cambiantes de la vía y de esta manera disminuir el índice de accidentes en carreteras.

Para controlar elementos como la vía, países como Estados Unidos desarrollan herramientas computacionales encaminadas en la reducción de accidentes y la mejora de los aspectos técnicos y operativos de sus vías; una de estas herramientas es el IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model) que se elaboró con el fin de realizar tareas en la mejora en la seguridad vial. Esta herramienta disminuye totalmente los costos de dichas tareas ya que es de distribución gratuita y el único aspecto que requiere por parte del usuario o entidades es tiempo y dedicación en su implementación.

El software IHSDM, al ser una herramienta desarrollada en Estados Unidos evalúa y trabaja por defecto con las normativas AASHTO (1998 – 2004) en sus diferentes unidades “sistema métrico y sistema inglés”, por tal razón es necesario calibrar y/o adaptar las políticas de diseño del software a la normativa del país.

Esta herramienta permite determinar el impacto que tendrán determinados elementos del diseño geométrico en la seguridad de una carretera. El objetivo de IHSDM es la mejora de la seguridad vial y el aumento de la fluidez del tránsito a través de los avances tecnológicos en el diseño y construcción de carreteras.

Este trabajo se orienta en la evaluación de la consistencia del diseño geométrico del tramo comprendido entre las progresivas 38+000 – 45+501.98 del proyecto “CONSTRUCCIÓN ASFALTADO RUTA TIMBOY – TENTAGUAZÚ – KUMANDAROTI PROVINCIA O’CONNOR”, el cual fue proyectado para un pavimento flexible, para la evaluación se aplica el software IHSDM, una vez adaptado el software a la normativa Boliviana, se realiza la aplicación de los módulos Policy Review Model “Módulo de Revisión de la Política” (PRM) y Design Consistence model “Módulo de Consistencia de Diseño”(DCM), cuyo aporte es identificar los puntos críticos de la carretera en los cuales no se cumple con la norma establecida, permitiendo conocer la consistencia de diseño, definida como la relación de la homogeneidad de las características geométricas a lo largo de la vía y las que espera encontrar el conductor de un vehículo que circula por ella.

La capacidad de evaluación del IHSDM ayuda a los proyectistas a maximizar los beneficios de la seguridad vial dentro de las restricciones de costo, ambientales y otras consideraciones. Se estima que un pequeño incremento en la efectividad del costo de la seguridad de los proyectos contribuirá significativamente a reducir hasta un 20% en diez años, el número de muertos y heridos relacionados con accidentes viales¹. Para vías existentes es también una herramienta que permite evaluar su estado con respecto a la seguridad y la influencia de diferentes mejoras que podrían ser introducidas en el trazado.

La presente investigación pretende servir como documento base para la implementación del software IHSDM en nuestro medio, destinada a la evaluación de la seguridad vial, tanto en las vías en operación como en los nuevos trazos.

¹ García y Camacho, 2009 (pág 21 – 35)

1.2. DISEÑO TEÓRICO.

1.2.1 Situación problemática

En nuestro departamento los accidentes de tránsito en carreteras han aumentado considerablemente en estos últimos años, pueden originarse por diferentes factores, siendo uno de ellos la deficiencia de los diseños, ya que muchas veces éstos no toman en cuenta las características de seguridad necesarias, por lo cual es importante realizar auditorías para analizar la operación y consistencia tanto en trazos de carreteras nuevas como en carreteras en operación y así poder aplicar medidas adecuadas para disminuir la tasa de accidentalidad en las mismas.

Cuando una red vial está en operación recién se evidencia de una manera más clara los sectores críticos, en los cuales se producen accidentes, con la implementación de este software en nuestro medio se podrá realizar la evaluación de la seguridad vial en el proceso de diseño, y de esta manera tomar las medidas adecuadas para su ejecución.

1.2.2 Problema

¿Se podrá mejorar la seguridad en una vía aplicando un software para evaluar la consistencia de la misma durante la etapa de diseño?

1.2.3 Justificación

La carencia de herramientas destinadas a la evaluación de la seguridad vial en nuestro país es el factor fundamental para la presente investigación, ya que lo que se pretende es brindar una herramienta que facilite y contribuya con la evaluación de la seguridad vial, tanto en los nuevos trazos como en las vías en operación.

Tener una herramienta que evalúe la seguridad vial en la fase de proyecto o en vías construidas garantiza que se puedan tomar medidas correctoras eficientes y de probada efectividad a los problemas detectados y con ello contribuir a la disminución de los accidentes de tránsito.

La implementación del software IHSDM en la etapa de diseño tiene mayor significancia, ya que se obtienen importantes ventajas desde el punto de vista:

- ✓ Económico: Se evitan estudios de seguridad y rediseño geométrico en la etapa de operación. Se evita los costos de implementación de medidas correctivas o de mitigación ante problemas de inconsistencia y el consecuente efecto sobre el usuario en la materialización de estas nuevas medidas.
- ✓ Social: Principalmente se disminuye la probabilidad de accidentes en las zonas con problemas de inconsistencias de diseño.
- ✓ Técnico: Es posible verificar el diseño geométrico antes de la construcción y operación, por lo que mejora la calidad y la seguridad del proyecto.

Por tal motivo, la presente investigación se orienta a la evaluación de la consistencia, haciendo hincapié en las vías en proceso de diseño y de esta manera poder tomar las medidas necesarias que garanticen la seguridad de la vía una vez que entre en operación y así reducir la probabilidad de accidentes.

1.2.4 Objetivos de la Investigación

1.2.4.1 Objetivo general

- ✓ Evaluar la consistencia del diseño geométrico del tramo comprendido entre las progresivas 38+000 – 45+501.98 del proyecto “CONSTRUCCIÓN ASFALTADO RUTA TIMBOY – TENTAGUAZÚ – KUMANDAROTI PROVINCIA O’CONNOR” aplicando el software IHSDM.

1.2.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Incorporar la herramienta computacional IHSDM en la etapa de diseño de los proyectos para evaluar la seguridad de las mismas y así mejorar su calidad y disminuir el índice de accidentalidad, una vez que esté en operación.
- ✓ Realizar aforos de velocidades en diferentes elementos de la vía, y de esta manera obtener la velocidad de operación de la misma para emplear en el análisis de la consistencia.

- ✓ Adaptar e implementar la Norma de la Administradora Boliviana de Carreteras para caminos bidireccionales en el software IHSDM, para la aplicación del módulo PRM.
- ✓ Aplicar el módulo PRM (Policy Review Module) del Software IHSDM para determinar los puntos críticos del diseño geométrico que no cumplen con la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).
- ✓ Plantear medidas correctoras a los problemas detectados y así garantizar una correcta operación de la vía.

1.2.5 Hipótesis

Si se evalúa la consistencia del diseño geométrico del tramo comprendido entre las progresivas 38+000 – 45+501.98 de la ruta Timboy – Tentaguazú – Kumandaroti aplicando el software IHSDM, entonces se puede identificar en función de las velocidades, las zonas críticas en el diseño, y de esta manera tomar medidas adecuadas de seguridad que ayuden a mitigar los accidentes y mejorar la calidad de la vía, una vez que entre en operación.

1.2.6 Definición de Variables Independientes y Dependientes.

1.2.6.1 Variables

- ✓ **Variable Independiente:** Consistencia del diseño geométrico.
- ✓ **Variable Dependiente:** Velocidad

1.2.6.2 Conceptualización y Operacionalización de Variables

Tabla 1.1 Operacionalización de variables

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción
<p>Variable Independiente</p> <p>Consistencia del diseño geométrico.</p>	<p>La consistencia de diseño se refiere a la conformidad del diseño geométrico con las expectativas de los conductores.</p>	<p>Proceso de Diseño</p>	<p>Geometría de la Carretera</p>	Sección transversal
				Alineamiento horizontal
				Pendiente longitudinal
				Alineamiento vertical
<p>Variable Dependiente</p> <p>Velocidad</p>	<p>Se refiere a la velocidad, que adoptaran los vehículos al circular por la vía</p>	<p>Velocidad de Diseño</p>	<p>Velocidad Deseada</p>	Perfil de velocidades
				Percentil 85 de Velocidades

Fuente: Elaboración propia`

1.3. DISEÑO METODOLÓGICO

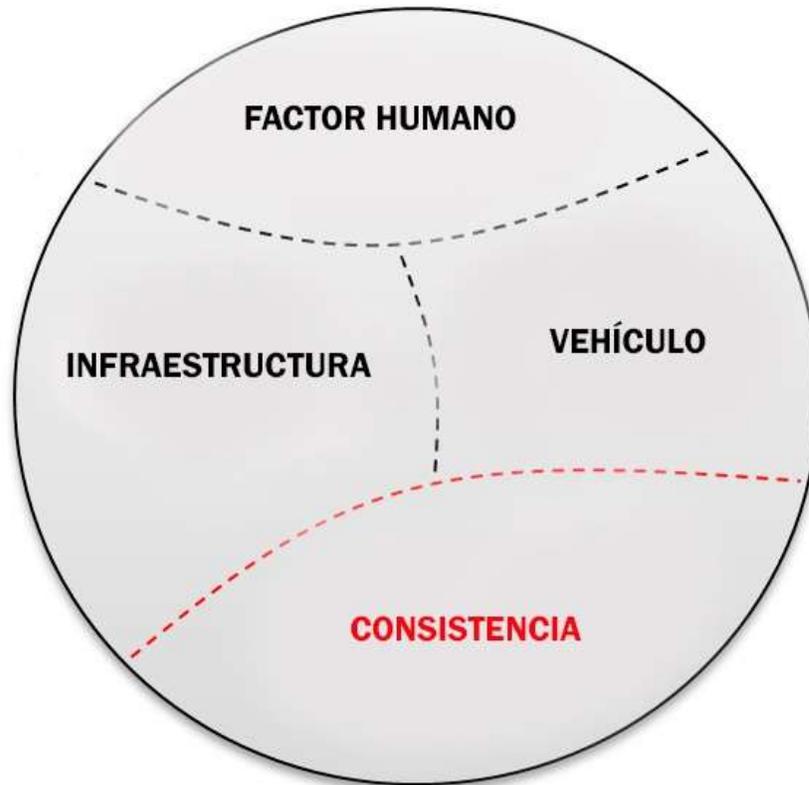
1.3.1. Unidades de Estudio y Decisión Muestral.

1.3.1.1. Unidad de estudio

La unidad de estudio es la consistencia del diseño geométrico del tramo comprendido entre las progresivas 38+000 a 45+501.98 de la ruta Timboy – Tentaguazú – Kumandaroti.

1.3.1.2. Población

Los factores que inciden en la seguridad de una vía.



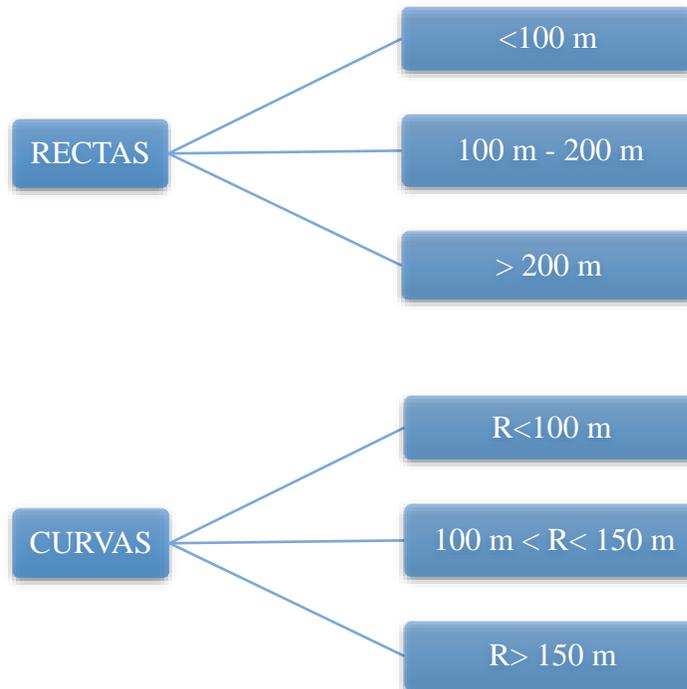
1.3.1.3. Muestra

Consistencia del diseño geométrico entre las progresivas 38+000 – 45+501.98 del tramo que une las comunidades de Timboy – Tentaguazú – Kumandaroti.

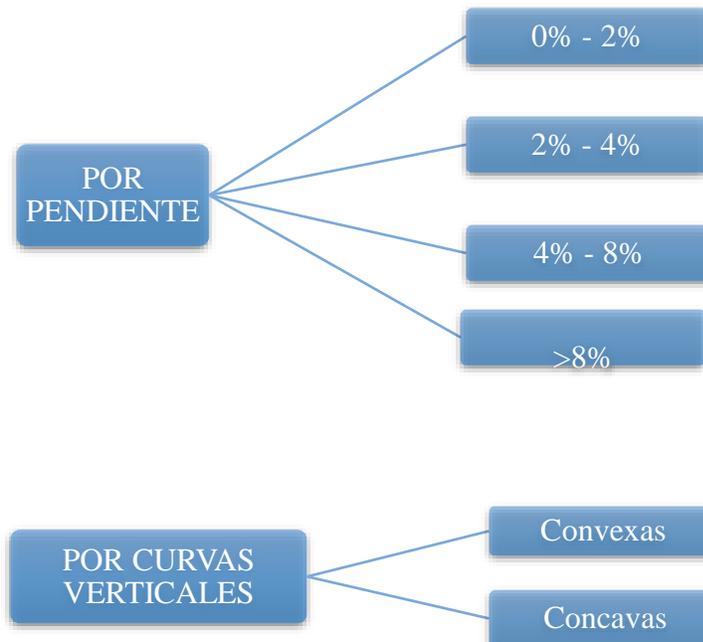
1.3.1.4. Muestreo

Se obtendrán los factores del diseño geométrico de la vía, los cuales son el alineamiento horizontal, alineamiento vertical, ancho de carril, sección transversal, del tramo que une las comunidades de Timboy – Tentaguazú - Kumandaroti de la provincia O’connor del departamento de Tarija, asimismo se realizó un aforo de las velocidades en diferentes puntos de la vía, tomando en cuenta las siguientes características tanto en planimetría como en altimetría.

✓ Planimetría



✓ Altimetría



1.3.1.5. Tipo de investigación

Investigación Explicativa: debido a que se van a establecer relaciones entre la velocidad de operación y la velocidad de diseño de la vía con la consistencia del diseño. Específicamente se tratara de establecer si hay una relación causa y efecto entre ambas variables.

1.3.2. Métodos y Técnicas Empleadas

1.3.2.1. Selección de métodos y técnicas

El aforo manual se usa para medir las velocidades a las cuales circulan los vehículos en la vía en estudio, la duración del aforo varia con el propósito del aforo, el equipo usado puede variar desde hojas de papel hasta pistolas radar de velocidad. Durante periodos de tránsito alto, es necesaria más de una persona para efectuar los aforos, la exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y cantidad de información a ser obtenida por cada personal.

1.3.2.2. Descripción de equipos e instrumentos

Cinta métrica

Es un instrumento de medición que consiste en una cinta flexible graduada y que se puede enrollar, haciendo que el transporte sea más fácil, se usa para medir las distancias en las cuales se hacen los aforos de velocidades.



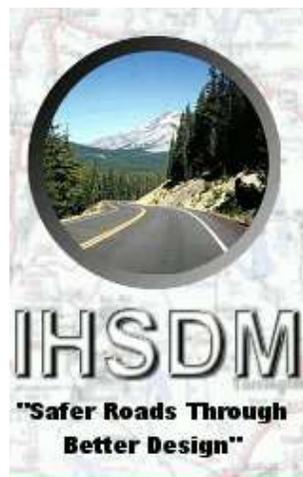
Cronómetro

Es un instrumento de precisión para medir muy pequeñas fracciones de tiempo, se lo empleara para medir el tiempo que tarda en circular los vehículos en las distancias determinadas en los puntos de aforo de las velocidades.



Software IHSDM

El IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model) fue desarrollado en 1993 por la Federal Highway Administration – FHWA (Administración vial de carreteras de los EE.UU) como una herramienta para el análisis operacional y de consistencia en carreteras rurales de dos carriles en doble sentido, aplicable a trazados en proyecto o carreteras en servicio, se usara para realizar el análisis de la consistencia del tramo y la determinación de los puntos críticos que no cumplen con la normativa de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).



AutoCAD Civil 3D

El AutoCAD Civil3D es una herramienta de diseño y cálculo muy útil en el desarrollo de diseño urbanístico, carreteras, movimiento de tierras, cálculo topográfico, replanteo de información, se emplea para la obtención de los datos del diseño geométrico de la vía necesarios para realizar el análisis en el software IHSDM, además se usa para realizar el rediseño en caso de no ser consistente el diseño actual.

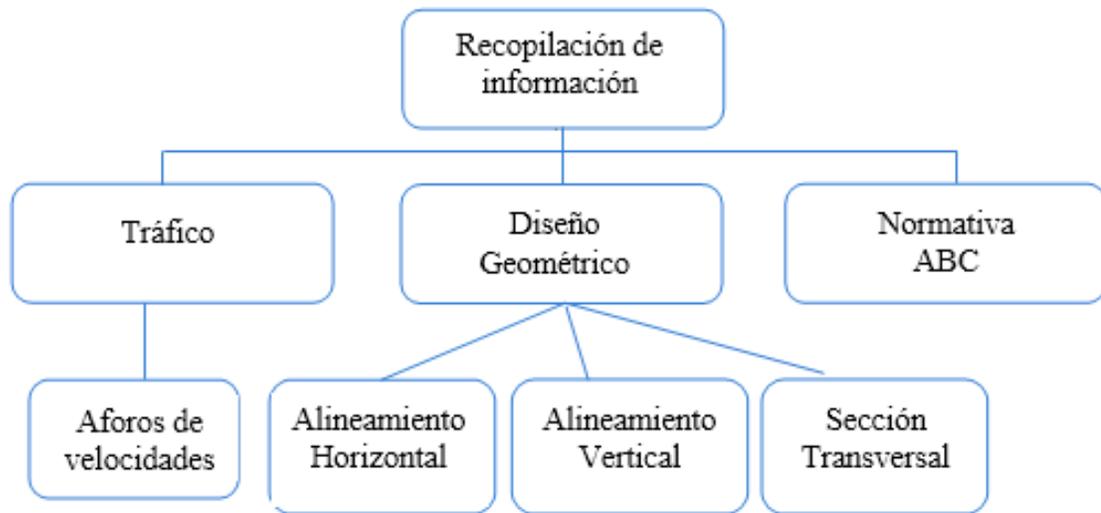


1.3.2.3. Procedimiento de aplicación

✓ Recopilación de Información

La información necesaria para realizar la presente investigación se basa en la Normativa de la Administradora Boliviana de Carreteras vigente, el Diseño Geométrico del Tramo, datos de tráfico y aforos de velocidades.

Los datos de diseño geométrico y tráfico se obtienen mediante la empresa consultora que fue la encargada de realizar el Estudio TESA “CONSTRUCCIÓN ASFALTADO RUTA TIMBOY – TENTAGUAZÚ – KUMANDAROTI PROVINCIA O’CONNOR”; que nos facilita los datos necesarios del diseño.



✓ **Adaptación de la Norma ABC al software IHSDM**

Una vez que se cuenta con la Normativa se procederá a realizar la adaptación de la misma para que pueda ser utilizada en el software, ya que el software trabaja por defecto con la Normativa AASHTO (1998 – 2004), pero puede ser adaptada a otras normativas.

✓ **Determinación de los puntos Críticos**

Una vez recopilados los datos necesarios del diseño geométrico, el tráfico del tramo de estudio, los aforos de velocidades y adaptada la norma ABC e introducida en el software se procede a utilizar el módulo PRM, para identificar los puntos críticos donde las características geométricas de la vía no cumplen con la norma establecida previamente, los factores que serán analizados por este método son el ancho de calzada, curvas horizontales, pendiente longitudinal, curva vertical. Terminado el análisis el software nos proporciona cuadros de resultados de cada parámetro.

✓ **Evaluación de la consistencia**

La evaluación de la consistencia del tramo se lo realiza aplicando el módulo DCM, el cual permite dar un concepto de la homogeneidad de las características geométricas de la vía en estudio, en relación con la percepción del conductor al circular por ella. Esto se consigue comparando el perfil de velocidades de operación con las velocidades

de diseño y las características geométricas de los tramos consecutivos sobre la carretera, para la determinación del perfil de velocidades el software sigue la siguiente metodología:

Figura 1.1 Modelo de perfil de velocidades



Fuente: Design Consistence Module, engineers manual, (página 6)

Al finalizar la evaluación se realiza un análisis de los puntos en los que la vía es inconsistente y se plantean alternativas que ayuden en la mejora de la seguridad en dichos puntos.

1.3.2.4. Preparación previa

Dentro de la preparación previa es necesario contar con tablas que permitan la tabulación de los datos del diseño geométrico y los datos del aforo de velocidades, las cuales facilitan la introducción de estos datos al software.

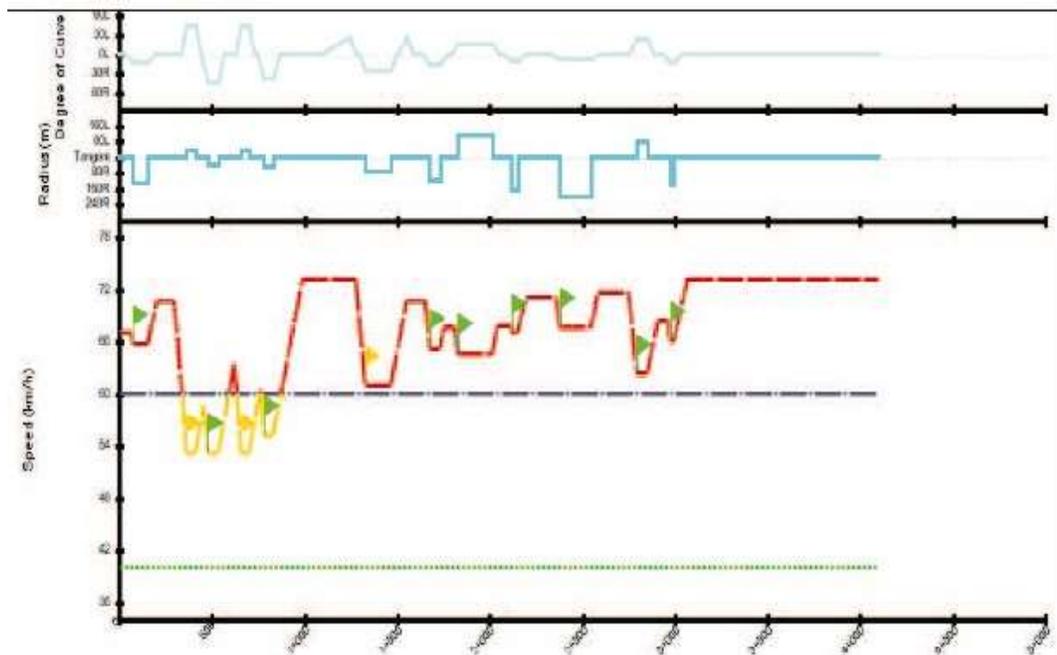
Junto con lo anterior debe ir un cronograma de actividades para que permita el fácil desarrollo de las actividades o acciones a realizar.

1.3.3. Procedimiento para el Análisis y la Interpretación de la Información

Una vez realizada la evaluación de la consistencia y la determinación de los puntos críticos del tramo se procederá al análisis de los resultados obtenidos por el software IHSDM.

El software nos brinda la posibilidad de mostrar los resultados en formato PDF, HTML o .txt, con los cuales se realiza una posterior tabulación, asimismo para un análisis más didáctico, elabora reportes gráficos que facilitan el análisis.

Figura 1.2 Reporte Gráfico del módulo DCM



Fuente: Design Consistence Module, engineers manual (página 8)

Las banderas que se observan en esta figura señalan los puntos críticos donde se presentan inconsistencias en el diseño, el color de la bandera indica la importancia de la disminución de la velocidad.

1.3.4. Alcance

El alcance que se quiere lograr con el presente trabajo es evaluar la consistencia del diseño geométrico de las progresivas 38+000 a 45+501.98 del proyecto “CONSTRUCCIÓN ASFALTADO RUTA TIMBOY – TENTAGUAZÚ –

KUMANDAROTI PROVINCIA O'CONNOR", y de esta manera mejorar la seguridad en el tramo carretero y garantizar la correcta operación de la vía, para la evaluación de la consistencia se aplica el software IHSDM, para lo cual se realiza una adaptación previa de la Norma de la Administradora Boliviana de Carreteras para poderla introducir en el software.

Posteriormente se deben considerar los fines que se persiguen con la elaboración del proyecto, por medio de la definición de los objetivos generales y específicos, que deberán cumplirse a cabalidad.

Consecutivamente, se presenta una introducción sobre La consistencia del diseño geométrico y las metodologías usadas para su evaluación; las diferentes velocidades que se presentan a lo largo de la vía y aspectos que influyen en la seguridad de la vía, asimismo se realiza una introducción y aspectos básicos del software IHSDM que será la herramienta a utilizar para la evaluación de la consistencia del tramo, también se realiza la adaptación de la normativa de la Administradora Boliviana de Carreteras, ya que el software trabaja por defecto con las normativas AASHTO, para su posterior implementación en el software.

Posteriormente, se hace un relevamiento de la información del diseño geométrico como ser el alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal de la vía, también se realiza una recopilación de información del estudio de tráfico y se realizan aforos de velocidades en diferentes sectores de la vía con diferentes características geométricas, y de esta manera se determinan los puntos críticos de la vía que no cumplen con la normativa de la ABC y el análisis de la consistencia del diseño utilizando los módulos PRM y DCM del software IHSDM respectivamente.

Finalmente se analiza el cumplimiento de los intereses formulados inicialmente en el proyecto, tanto en los objetivos generales y objetivos específicos del proyecto contemplados en el primer capítulo y se plantean alternativas de solución para mejorar la consistencia del tramo y algunas recomendaciones.

CAPÍTULO II.

CONSISTENCIA DEL DISEÑO, FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA CONSISTENCIA, IHS DM Y ADAPTACIÓN DE LA NORMATIVA

3.1. ANTECEDENTES

La consistencia del trazado se puede definir como la relación entre las características geométricas de una carretera y las que espera encontrar el conductor de un vehículo que circula por ella. Cuando el trazado corresponde a lo que el conductor espera encontrar, la vía es consistente, lo que minimiza la posibilidad que cometa errores y efectúe maniobras inseguras. Si la vía no responde a las expectativas del conductor, su trazado es inconsistente, pudiéndose generar maniobras como frenadas o cambios de trayectoria bruscos.

Los procedimientos de evaluación de la consistencia del trazado se agrupan atendiendo:

- ✓ Circulación vehicular, dada por la velocidad de operación (V85).
- ✓ Características geométricas de la carretera: índices de alineamiento.
- ✓ Comportamiento del conductor, carga de trabajo y demanda visual.

Hasta ahora, los métodos más empleados han sido los basados en análisis de perfiles de velocidades. A la hora de utilizar un método de evaluación de la consistencia basado en el perfil de velocidades es de particular importancia el modelo de velocidades empleado. A continuación se presentan los métodos de evaluación basados en velocidades, así como los modelos de velocidades.

Leisch y Leisch (1977) desarrollaron un procedimiento para evaluar la consistencia del trazado en carreteras de los Estados Unidos. Su procedimiento se basa en la determinación de la velocidad de operación, considerando la velocidad de vehículos de carga y de pasajeros y tiene en cuenta diferentes tasas de aceleración y deceleración ocasionadas por 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/hora” (aproximadamente 16 km/h). Se basa en los siguientes supuestos:

- ✓ En una carretera con una velocidad de proyecto dada, la velocidad media de los vehículos de pasajeros no debe variar más de 10 millas/hora.
- ✓ La reducción en la velocidad de proyecto entre dos tramos consecutivos no debe superar las 10 millas/hora.
- ✓ En los carriles normales la velocidad media de los vehículos pesados no debe ser inferior en más de 10 millas/hora a la de los vehículos de pasajeros.

La comparación de la velocidad de operación con la velocidad de diseño y la comparación de la velocidad de operación entre elementos consecutivos permite determinar si una vía tiene o no problemas de consistencia del trazado, de acuerdo con los criterios indicados en la Tabla 2.1, propuestos por Lamm (1987) y que mantienen su vigencia en la actualidad.

Tabla 2.1 Calificación de consistencia según velocidad.

Intervalo	Clasificación de la consistencia
Comparando velocidad de operación con la velocidad de diseño (Vd)	
$V_{operación} - V_d \leq 10 \text{ km/h}$	Buena
$10 \text{ km/h} < V_{operación} - V_d \leq 20 \text{ km/h}$	Regular
$20 \text{ km/h} > V_{operación} - V_d$	Mala
Comparando velocidad entre elementos consecutivos	
$\Delta V_{operación} \leq 10 \text{ km/h}$	Buena
$10 \text{ km/h} > \Delta V_{operación} \leq 20 \text{ km/h}$	Regular
$\Delta V_{operación} > 20 \text{ km/h}$	Mala

Fuente: Lamm et al.

Diversos autores (Krammes et al., 1995; Lamm y Choueiri, 1987; Ottesen y Krammes, 2000; Castro y Sánchez, 2008) han propuesto modelos que permiten determinar el perfil de velocidades de operación de los vehículos a flujo libre en carreteras de dos carriles (Tabla 2.2).

En dicha tabla se observa que una gran parte de los investigadores proponen determinar el perfil de velocidades de operación basándose en el radio de las curvas o en el grado de curvatura (GC). Algunos utilizan otros parámetros como la tasa de cambio de curvatura (CCR), que tiene en cuenta la relación entre la longitud de la curva y su radio de curvatura, o el ángulo total girado (Ω).

Tabla 2.2 Expresiones para estimar la velocidad de operación.

Autor (es)	Expresión	Año	País
Lamm y Choueiri.	$V_{85} = 95,78 - 0,076 \text{ CCR}$ $V_{85} = 96,152 - 0,302 \text{ GC}$	1987	EEUU
Lamm et al.	$V_{85} = 94,398 - 3188,656 / R$	1990	EEUU
Kanellaidis et al.	$V_{85} = 129,88 - 623,1 / (\sqrt{R})$	1990	Grecia
Morrall y Talarico	$V_{85} = \exp(4,561 - 0,0058 \text{ GC})$	1994	Canada
Islam y Seneviratne	$V_{85 \text{ PC}} = 95,41 - 0,45 \text{ GC} - 0,001 \text{ GC}^2$ $V_{85 \text{ PR}} = 103,03 - 0,73 \text{ GC} - 0,003 \text{ GC}^2$ $V_{85 \text{ PM}} = 96,11 - 0,32 \text{ GC}$	1994	EEUU
Krammes et al.	$V_{85} = 102,44 - 2471,81 / R + 0,012 \text{ Lc} -$	1995	EEUU
Voigt	$V_{85} = 99,61 - 2951,37/R + 0,014 \text{ Lc} - 0,13\Omega - 71,82e$	1996	EEUU
McFadden y Elefteriadou	$V_{85} = 103,66 - 1,95 \text{ GC}$ $V_{85} = 41,62 - 1,29 \text{ GC} + 0,0049 \text{ Lc} - 0,12\Omega + 0,95 \text{ Vr}$	1997	EEUU
Ottesen y Krammes	$V_{85} = 103,66 - 1,95 \text{ GC}$ $V_{85} = 102,44 - 1,57 \text{ GC} + 0,012 \text{ Lc} - 0,01 \text{ GC Lc}$ $V_{85} = 41,62 - 1,29 \text{ GC} + 0,0049 \text{ Lc} - 0,12 \text{ GC Lc} + 0,95 \text{ Vr}$	2000	EEUU
McFadden y Elefteriadou	$V_{85 \text{ reduc}} = -14,90 + 0,144 * V_{85 @ \text{PC}200} + 0,0153 * \text{Lr} + 954,55 / R$ $V_{85 \text{ reduc}} = -0,812 + 0,0017 * \text{Lr} + 998,19 / R$	2000	EEUU

Autor (es)	Expresión	Año	País
Gibreel et al.	$V_{85} = 102,2 - 0,10 \Omega$	2001	Canadá
Misaghi y Hassan	$V_{85} = 91,85 + 9,81 \times 10^{-3} R$ $V_{85} = 94,30 + 8,67 \times 10^{-6} R^2$	2005	EEUU
Castro	$V_{85} = 120,16 - 5596,72 / R$	2005	España

Fuente: Fitzpatrick y otros (2000).

Muy citados son los modelos de Lamm y Choueiri (1987), desarrollados a partir de velocidades medidas en 261 curvas en Nueva York. Inicialmente, estos autores consideraron que la sección transversal puede afectar la velocidad de operación. Así, las expresiones incluyen el grado de curvatura, ancho de carril, ancho de paseo y tráfico como variables independientes. Finalmente, decidieron eliminar el ancho de carril, el ancho de paseo y el tráfico porque explicaban solamente alrededor del 5,5% de la variación del percentil 85 de la velocidad y desarrollaron las expresiones de la Tabla 2.2.

Según el modelo de Kanellaidis (1990), la velocidad de operación en curva depende de la raíz cuadrada del radio de curvatura. El trabajo se llevó a cabo en Grecia sobre una muestra de 58 curvas.

También ha sido muy difundido el modelo de Krammes et al. (1995) que está basado en una muestra de 138 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 inflexión tiene un efecto significativo sobre la velocidad de operación. Es importante destacar que el ángulo de inflexión está relacionado con otras dos variables independientes.

Voigt (1998) amplió la ecuación de velocidades planteada por Krammes (1995) incluyendo el peralte. En este modelo es importante destacar la colinealidad entre las variables independientes; el radio y el peralte están altamente correlacionados. Posteriormente, Ottesen y Krammes (2000) proponen una nueva formulación del modelo basado en la misma muestra de velocidades.

Islam y Seneviratne (1994) desarrollan varios modelos de predicción de velocidades sobre una muestra de 8 curvas (en Utah), distinguen la velocidad al principio de la curva (PC), a mitad (PM) o al final de ella (PT). La variable independiente es el grado de curvatura.

En Canadá, Morrall y Talarico (1994) proponen un modelo exponencial para la velocidad en función del grado de curvatura. Está basado en una muestra de 9 curvas.

McFadden y Elefteriadou (1997) establecen modelos de velocidades basados en variables como el grado de curvatura (GC), la longitud de la curva circular (L_c), el ángulo total girado (Ω) y la velocidad en la recta de aproximación. Emplearon datos de velocidades tomados en 78 curvas de Estados Unidos.

Posteriormente, McFadden y Elefteriadou (2000) retomaron la hipótesis planteada por Hirshe (1987) según la cual el uso del percentil 85 de la velocidad para evaluar la consistencia del trazado tiende a subestimar la reducción de velocidad experimentada por los conductores. Para desarrollarla, estudiaron 21 curvas en carreteras de Pensilvania y Texas, donde toman 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 la velocidad y la máxima reducción de la misma. El estudio confirmó la hipótesis y se encontró que realmente los conductores deben disminuir la velocidad en casi el doble de lo que indicaban los estudios anteriores.

Gibreel (2001), en Ontario (Canadá), desarrolla modelos para predecir la velocidad en alineaciones en tres dimensiones, así como un modelo de predicción de velocidades considerando sólo el trazado en planta. La muestra utilizada para el modelo de predicción de velocidades en planta fue de 32 curvas. Misaghi y Hassan (2005) han desarrollado dos modelos de predicción de velocidades en Canadá. Los modelos están basados en una muestra de velocidades tomadas en el centro de 16 curvas.

Hasta el año 2000 no se presenta ningún modelo de predicción de velocidades que considerara el trazado en planta y en perfil. Fitzpatrick y otros (2000), después de estudiar 176 lugares ubicados en carreteras de seis regiones de los Estados Unidos con

diferentes combinaciones de alineaciones horizontal y vertical propone los modelos de velocidad de operación mostrados en la Tabla 2.3. Todas las expresiones propuestas utilizan como única variable independiente el radio de curvatura y la tasa de curvatura vertical.

Tabla 2.3 Modelos de velocidad de operación desarrollados por Fitzpatrick (2000).

	Condiciones de alineamiento	Expresión
1	Curva horizontal sobre pendiente (-9 % < i < -4 %)	$V_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R}$
2	Curva horizontal sobre pendiente (-4 % < i < 0 %)	$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R}$
3	Curva horizontal sobre pendiente (0 % < i < 4 %)	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$
4	Curva horizontal sobre pendiente (4 % < i < 9 %)	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$
5	Curva horizontal combinada con curvas cóncavas	$V_{85} = 105.32 - \frac{3438.19}{R}$
6	Curva horizontal combinada con curva convexas sin limitación de visibilidad	Ver nota 1
7	Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad ($K \leq 43$ m/%)	$V_{85} = 105.32 - \frac{3438.19}{R}$ Ver nota 2
8	Curva vertical cóncava sobre recta horizontal	V_{85} se asume como la velocidad deseada
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada ($K > 43$ m/%) sobre recta horizontal	V_{85} se asume como la velocidad deseada
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada ($K \leq 43$ m/%) sobre recta horizontal	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{K}$

V85: percentil 85 de velocidad de vehículos ligeros (km/h). R: radio de la curva (m).

K: tasa de curvatura vertical Longitud/diferencia de pendiente (m/%). I: pendiente (%).

Nota 1: usar la menor velocidad estimada con las ecuaciones 1 ó 2 (para pendientes descendentes) y 3 ó 4 (para pendientes ascendentes)

Nota 2: comparar la velocidad estimada con las ecuaciones 1 ó 2 (para pendientes descendentes) y 3 ó 4 (para pendientes ascendentes) y usar la menor. Esto asegurará que la velocidad estimada a lo largo de las curvas combinadas no será mejor que si solo la curva horizontal está presente (es decir, la inclusión de una curva convexa con visibilidad limitada resulta en una mayor velocidad).

Fuente: Fitzpatrick y otros (2000).

Estos métodos de evaluación de la consistencia presentan ciertos inconvenientes, entre los que puede destacarse el hecho de que se trata de estimaciones puntuales y también ofrecen una medida cualitativa discretizada (clasifican la consistencia como buena, aceptable o mala, sin entrar a analizarlas cuantitativamente).

En el año 2004, el profesor A. Polus desarrolló el Modelo Global de Consistencia (Polus, 2004). Este modelo también se basa en el empleo de las velocidades de operación para el cálculo de la consistencia. Sin embargo, presenta como ventaja principal el hecho de que no evalúa la consistencia en un punto localizado del trazado, sino que ofrece un valor de la consistencia extendido a todo el tramo de estudio. De igual modo, también ofrece un valor cuantitativo, frente a los rangos que ofrecen los modelos tradicionales.

La aplicabilidad de este criterio de consistencia es muy amplia, ya que como requisito únicamente es necesario que la longitud del tramo esté entre 1 y 10 km, con una pendiente aproximadamente llana (en valor absoluto menor del 5%), volumen de tráfico aproximadamente constante y sin elementos intermedios que coarten la velocidad de operación, tales como elementos moderadores de tráfico o rotondas intermedias.

La práctica demuestra que la relación exacta entre las características geométricas

y la seguridad no se conoce con la precisión acostumbrada en las ciencias físicas o en las disciplinas de ingeniería que permiten la experimentación. En consecuencia, se deja lugar a la experiencia y el buen juicio del proyectista y a las legítimas diferencias de opinión. Lo ideal es que la experiencia acumulada y el juicio mayoritario de los especialistas acerca de la seguridad, economía y otros aspectos se reflejen en las normas de diseño geométrico y las prácticas usadas en la ingeniería vial.

Pero sí existe consenso general que las normas de diseño geométrico no son la línea de demarcación entre seguro e inseguro, y el cumplimiento de los valores mínimos no garantiza que una vía sea suficientemente segura.

Se piensa que muchos de los problemas de diseño relacionados con la seguridad se deben a la incapacidad del proyectista para imaginar la vía y verla desde el punto de vista del conductor, al estar limitado a trabajar en un ambiente de dos dimensiones que no se presta por sí mismo a una visualización dinámica y en perspectiva del trazado final, o cómo operará la vía con vehículos y conductores reales. Actualmente con el desarrollo de la computación, es posible disponer de potentes herramientas para predecir los efectos del diseño geométrico sobre la seguridad.

3.2. LA VELOCIDAD EN EL DISEÑO VIAL

3.2.1. Velocidad de Proyecto

Es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos que sólo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado.

En consecuencia, el concepto Velocidad de Proyecto se usará para efectos del Sistema de Clasificación Funcional para Diseño, a fin de indicar el estándar global asociado a la carretera y para definir los parámetros mínimos aceptables bajo

condiciones bien definidas.

3.2.2. Velocidad Percentil 85 (V85%)

Es aquella velocidad no superada por el 85% de los usuarios en un tramo de características homogéneas, bajo las condiciones de tránsito prevalecientes, estado del pavimento, meteorológica y grado de relación de éste con otras vías y con la propiedad adyacente. Cuando dichas condiciones no imponen restricciones, la V85% suele ser mayor que la Velocidad de Proyecto, independientemente de si la Velocidad de Proyecto está señalizada, corresponde a la máxima legal, etc. (Ello siempre que el tramo no tenga control policial habitual) En consecuencia, el 85% de los usuarios circula a la V85% o menos y un 15% de los usuarios supera dicha velocidad.

3.2.3. Velocidad de Operación

La Velocidad de Operación es la velocidad media de desplazamiento que pueden lograr los usuarios en un tramo Carretera de una Velocidad de Proyecto dada, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, del estado del pavimento, meteorológicas y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente.

Si el tránsito y la interferencia son bajos, la Velocidad de Operación del usuario medio es del orden de la Velocidad de Proyecto y para un cierto grupo de usuarios superior a ésta. A medida que el tránsito crece, la interferencia entre vehículos aumenta tendiendo a bajar la Velocidad de Operación del conjunto.

3.2.4. Velocidad Deseada

Se entiende como velocidad deseada la velocidad a la que los conductores desean circular por cierta vía, cuando no existen coacciones de ningún tipo (geométricas, de tráfico, meteorológicas u otras). Tal y como está definida la variable (de carácter totalmente operacional) no puede ser directamente medida, sino que debe ser estimada basándose en otras variables.

La velocidad deseada es una variable auxiliar y no directamente medible empleada por algunos modelos para la predicción de velocidades de operación locales. Es por

ello que suele estimarse como la velocidad que presenta el vehículo en rectas largas (entendidas estas como rectas durante las cuales el conductor alcanza y posteriormente mantiene la velocidad), ya que no existen variables que permitan directamente su cálculo.

El Highway Capacity Manual (2000) sugiere ajustes a la velocidad de flujo libre basada en el ancho del carril, visibilidad lateral, número de carriles y número de intercambios, es decir, parámetros que tienen influencia sobre la velocidad de operación pero que difícilmente son medibles y/o cuantificables.

Entre las variables de las que dependía dicha velocidad también estaban otras de índole geométrica, tales como la curvatura media.

Crisman et al. (2005) analizaron la velocidad deseada calibrando diversa relaciones, siendo las mejores las que dependen del ancho de la calzada y del radio mínimo de curvatura.

$$V_{des} = 70.18 - 0.0176R_m + 2.88L_p$$

Dónde: R_m : Radio mínimo de curvatura (m)

L_p : Ancho de calzada (m)

3.3. EXPECTATIVAS DEL CONDUCTOR

La consistencia de un diseño de carreteras está directamente ligada al concepto de expectativa del conductor, que fue identificado por los psicólogos hace medio siglo y se aplicó por primera vez en estudios relacionados con el tráfico en los años 60.

Las expectativas del conductor pueden definirse como un conjunto de opciones de acción respecto a una situación dada y que puedan responder a situaciones, sucesos e información en forma predecible y exitosa. Las opciones son subjetivas y se basan en sucesos aprendidos y experimentados. Están asociadas a todos los aspectos de la tarea de conducción: configuración geométrica, operación y reglas del tránsito que son obedecidas y/o violadas que llevan al aumento del tiempo de reacción, crean confusión, respuestas inapropiadas y errores de conducción. Los conductores tienden a anticipar situaciones inmediatas y eventos que son comunes a la vía por

donde circulan, en ausencia de avisos asumen que sólo tienen que reaccionar a situaciones estándar y experimentan problemas en áreas de transición o en lugares con inconsistencias de diseño u operación. Mientras más predecible son las características de la vía, menos probabilidad de que ocurra un error de conducción².

Se reconocen tres niveles de expectativas: a largo plazo que son las adquiridas durante la vida y comunes a toda la población, como por ejemplo el color y significado de las luces del semáforo. A corto plazo, que son las adquiridas durante un viaje en particular por una determinada ruta y están relacionadas con la categoría de la vía, sus características geométricas y la alineación, las características del tráfico, la señalización y el uso de suelo. Por último la relativa a eventos especiales, ya que los conductores esperan que un evento que nunca sucede, no sucederá.

Entonces los ingenieros tienen la obligación de diseñar una vía en la que el conductor pueda recorrerla sin enfrentarse a situaciones anómalas o incómodas y donde sus maniobras puedan ser anticipadas con el suficiente tiempo para ser ejecutadas en forma segura, con el menor riesgo posible, logrando una relación armónica entre el conjunto conductor/vehículo, la vía y el entorno inmediato a ella.

3.4. NORMAS DE PROYECTO Y SEGURIDAD VIAL

Las normas de ingeniería son importantes herramientas para ayudar a generar diseños superiores, pero no determinan las dimensiones de cualquier elemento dado; sólo proveen información y antecedentes para ayudar a seleccionarlo. Las normas influyen, pero el diseño final es la suma de las decisiones tomadas en todo el proceso³.

La velocidad de diseño es la seleccionada para proyectar y relacionar entre sí las características físicas de una vía que influyen en el movimiento de los vehículos. Pero en la práctica, con la excepción de un flujo forzado, normalmente existe una diferencia significativa entre las velocidades a que viajan los diferentes vehículos

² World Road Association, 2003

³ Sierra, F. (2003).

dentro de la corriente del tránsito. Ello es el resultado de numerosos factores entre los cuales se pueden mencionar: limitaciones del conductor, características del trazado, características de operación del vehículo, interacción vehicular, condiciones ambientales y limitaciones de velocidad establecidas por los dispositivos de control⁴.

Teniendo en cuenta que los conductores optan por un determinado nivel de velocidad en función de la carretera por la cual circulan y las características geométricas de un tramo en cuestión, denominada velocidad de operación, se producen velocidades de operación en algunas partes de la vía superiores a la velocidad de proyecto, debido a que los conductores observan un trazado de condiciones más suaves que las mínimas o estrictas, por lo que se les incita a circular a una mayor velocidad. De esta forma se consumen los márgenes de seguridad disponibles, pudiendo llegarse a agotar, con la peligrosidad que ello supone.

Las investigaciones en varios países han probado que diseñar la geometría solamente en función de la velocidad de diseño puede resultar entonces, en violaciones de las expectativas del conductor⁵. La condición de que todos los elementos del trazado deban satisfacer una misma velocidad es buena, en tanto refleje las expectativas y deseos de los conductores. Una debilidad del concepto, es que se usa como velocidad máxima segura de todo un tramo la del elemento geométrico más restrictivo, usualmente una curva horizontal o vertical, y que no se consideran explícitamente las velocidades reales en rectas o curvas más suaves. Así, una sola curva cerrada puede resultar en una velocidad relativamente baja, cuando en realidad los conductores serán capaces de viajar en las alineaciones rectas del resto de la vía a velocidades más altas, sin violar ningún criterio de diseño. Además, la adecuada coordinación planta perfil a veces se tiene en cuenta de una forma muy limitada. Por lo que diseñar sólo según los valores de la velocidad de diseño no asegura necesariamente un diseño seguro.

En la actualidad, se ha introducido el concepto de velocidad directriz. En teoría, es

⁴ Cal y Mayor, 2007

⁵ Federal Highway Administration (FHWA), 2000

la máxima velocidad a la cual un conductor puede operar uniformemente a través de todos los elementos del diseño geométrico cuando las condiciones de tránsito y calzada son favorables. En general, la velocidad directriz y de operación deberían ser razonablemente similares, y las de operación entre sucesivos elementos de la vía no deberían variar ampliamente⁶.

Si se supone que la velocidad directriz es en realidad la apropiada de alcanzar considerando la función de la vía, el proyectista debería comenzar a buscar modificaciones que influyan sobre los conductores para operar más uniformemente y con mayor seguridad.

3.5. CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO.

La consistencia de diseño es la conformidad o armonía de la geometría de la vía con las expectativas del conductor, y con sus aptitudes para guiar y controlar un vehículo. Un trazado consistente asegurará que los conductores circulen con seguridad a la velocidad deseada a lo largo de todo el trazado, y así cometan menos errores, en términos generales se podría esperar que la frecuencia de accidentes disminuya a medida que aumenta la consistencia de diseño⁷.

Las inconsistencias quedan definidas entonces por las diferencias entre el trazado que proporciona el diseño y lo deseado por el conjunto conductor/vehículo. Las fuentes específicas de inconsistencia se deben a las siguientes causas: cambios sucesivos en las dimensiones de los elementos del diseño, amplios rangos para elegir en los valores empleados en el diseño, arbitrariedad en la disposición de algunos elementos y vías heredadas de principios del siglo XX con diseños no adaptados a ningún criterio de seguridad.

Los métodos utilizados para evaluar la consistencia son los siguientes: los basados en la circulación vehicular: evalúan aspectos como la velocidad de operación (V85), la estabilidad del vehículo en las curvas y la accidentalidad, los basados en las

⁶ Harkey, USA 2006

⁷ Federal Highway Administration (FHWA), 2000

características geométricas de la carretera mediante índices de alineamiento, y los métodos basados en el comportamiento del conductor: la carga de trabajo y la demanda visual.

En la figura 2.1 se muestra una fuente de inconsistencia del trazado en perfil, las curvas en planta ocultas detrás de las curvas verticales en cima o depresión sorprenden al conductor.

En la figura 2.2 se muestra una fuente de inconsistencia del trazado en planta cuando se combinan curvas horizontales de radios grandes y pequeños, el conductor puede sorprenderse.

Figura 2.1 Fuentes de inconsistencia del trazado en perfil.

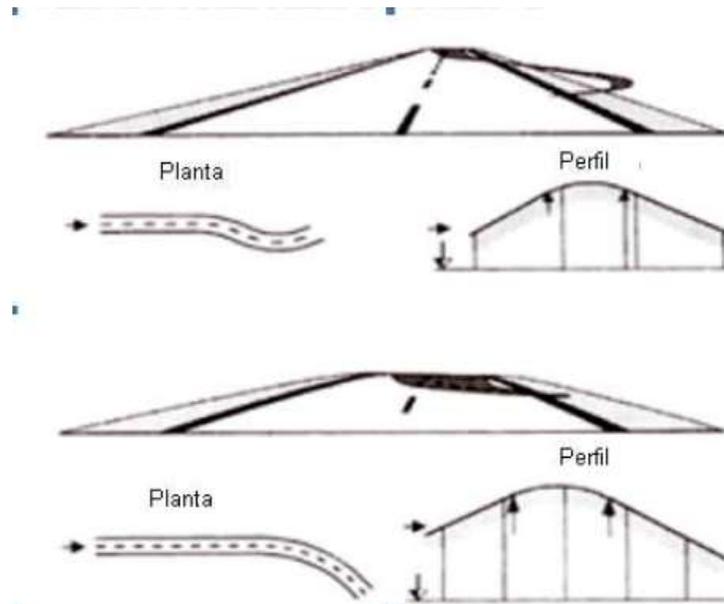
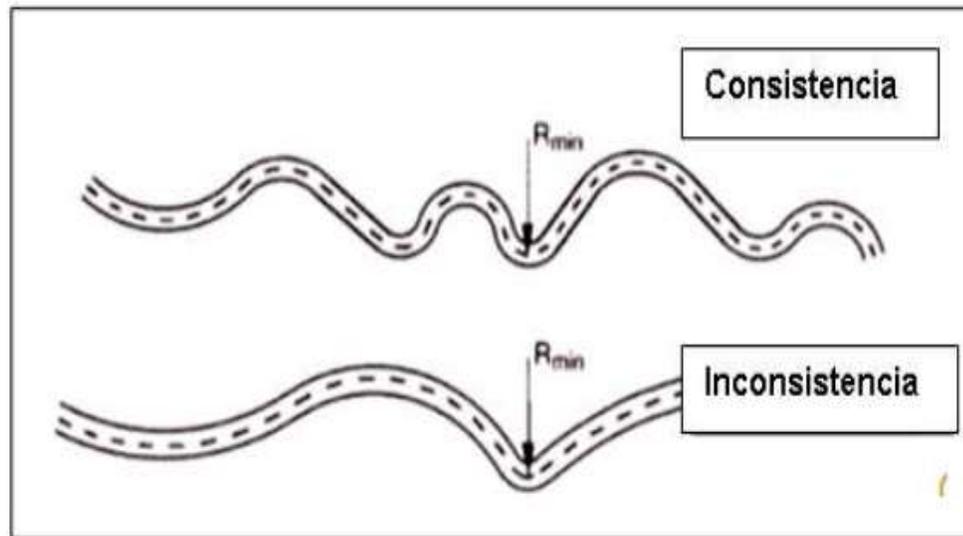


Figura 2.2

Fuentes de inconsistencia del trazado en planta.



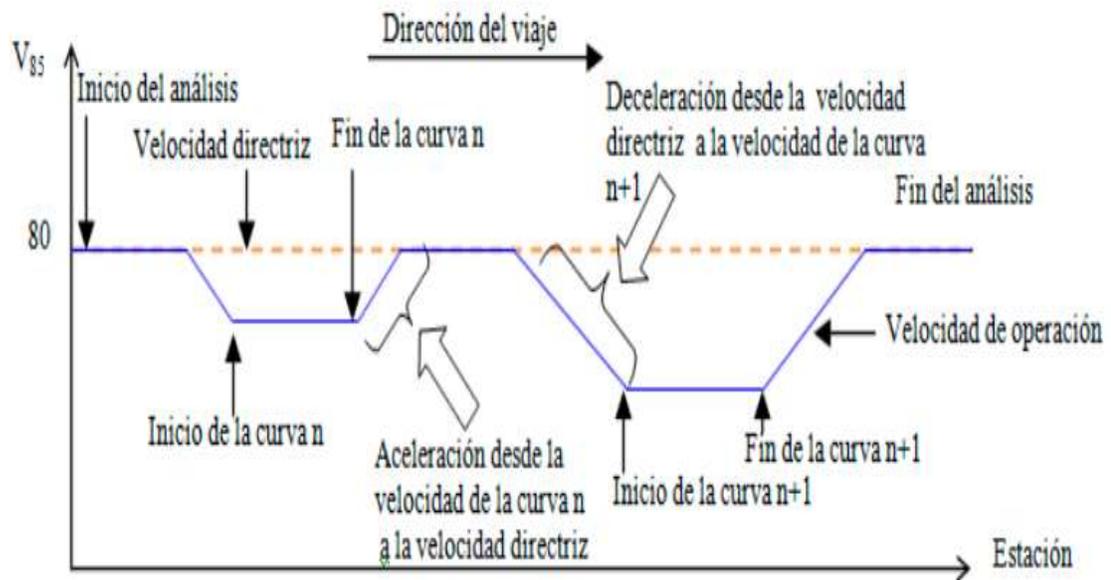
3.5.1. Determinación de la Consistencia Basada en la Velocidad de Operación.

La medida más común para analizar la consistencia se basa en la comparación de las velocidades de operación con la de diseño o con la de elementos geométricos sucesivos, ya que esta velocidad es la que mejor refleja las expectativas de los conductores. Su uso requiere la habilidad de predecir las velocidades en función de diferentes elementos de la geometría del camino. La mayoría de los conductores viajan tan rápido como se sienten cómodos y sólo aminoran donde les parece necesario; consecuentemente, las carreteras rurales con velocidades directrices bajas muestran velocidades de operación disparejas: los conductores aceleran a su velocidad deseada en las rectas y curvas suaves, y desaceleran sólo en las curvas más cerradas⁸.

Un método para usar la velocidad de operación como una verificación de la consistencia es construir el perfil de velocidad que es esencialmente una representación gráfica de las velocidades de operación (real o prevista) en el eje vertical, en función de las estaciones progresivas en el eje horizontal, como se observa en la figura 2.3.

Figura 2.3 Perfil de velocidades.

⁸ Federal Highway Administration (FHWA), 2000



Fuente: Design consistence module, engineers manual

Para trazar el perfil de velocidad de operación de una carretera existente el procedimiento más preciso es medir regularmente las velocidades de operación en los sucesivos elementos geométricos de las alineaciones horizontal y vertical. Para trazar el perfil de velocidad probable de una vía en proyecto partiendo de las bases de datos obtenidas en las mediciones de las carreteras existentes, se obtienen ecuaciones para correlacionar por métodos estadísticos de regresión, mediante modelos matemáticos, las velocidades de operación para el percentil 85 (V_{85}) y las distintas características del diseño geométrico, particularmente en las curvas horizontales y la alineación vertical en pendiente, como se discutió en el epígrafe 2.1.

Las incoherencias se identifican sobre el perfil de velocidad cuando hay grandes diferencias en las V_{85} de sucesivas características del alineamiento (ΔV_{85}) o comparadas con la velocidad de diseño (VD), llegándose a plantear los rangos de calidad del diseño mostrados en la Tabla 2.1, que son los de más amplia utilización⁹.

3.6. MEDIDAS CORRECTORAS

⁹ Harkey, 2006

Para lograr una disminución en la probabilidad de ocurrencia de accidentes debemos obtener un diseño más armónico, lo que se puede lograr evaluando la consistencia del diseño, detectando aquellas situaciones inconsistentes susceptibles de intervención.

Una vez definido los puntos con inconsistencia se debe mejorar el trazado, ya sea en la etapa de proyecto o en vías construidas, identificando los factores de riesgo en la alineación horizontal, la vertical o en la combinación de elementos, donde prevalezcan la homogeneidad, sencillez, funcionalidad y legibilidad, adaptándose a las expectativas del conductor. Actualmente a los problemas de seguridad vial se le buscan soluciones de costo mínimo/efectividad máxima con mejoras conocidas como de bajo costo.

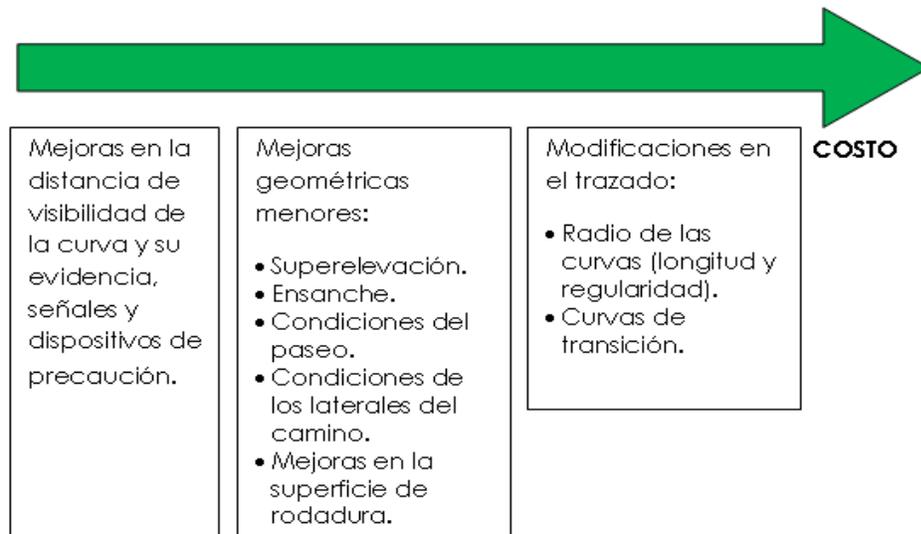
Las medidas de bajo costo se pueden considerar aquellas que cumplan los siguientes requisitos: tienen un bajo costo económico generalmente entre unos cientos a pocos miles de pesos, menores a los que se alcanzarían aplicando otro tipo de medidas, pueden ser implantadas rápidamente en días o semanas debido a su pequeña escala, ya que se pueden implementar dentro de los límites de la vía y no requieren la elaboración de un proyecto. Presentan una alta eficiencia beneficio-costo referida a la reducción de accidentes de tránsito y a su durabilidad.

En el diseño de nuevas carreteras debe darse particular atención a la seguridad vial como un criterio principal de proyecto aunque los costos también deben considerarse, pero en esta etapa es mucho más fácil cambiar el diseño en los lugares donde se detecten inconsistencias, sin incrementar consecuentemente los costos. Por otra parte, la reconstrucción de carreteras actuales debe poseer un componente de seguridad; de hecho, tal reconstrucción es a menudo una forma importante de ir actualizando progresivamente la seguridad de la red de carreteras. La ventaja precisa en seguridad no puede establecerse de forma general, porque hay una amplia variación dentro de los tipos de carretera, en las diferencias entre las velocidades de operación de los conductores y las velocidades de proyecto de las mismas; no obstante, se ha llegado a establecer claramente el vínculo entre esas diferencias y la ocurrencia de accidentes, a

partir del cual se generen las recomendaciones de proyecto geométrico pertinentes. Y aquí sí pueden incrementarse los costos dependiendo del tipo de intervención¹⁰.

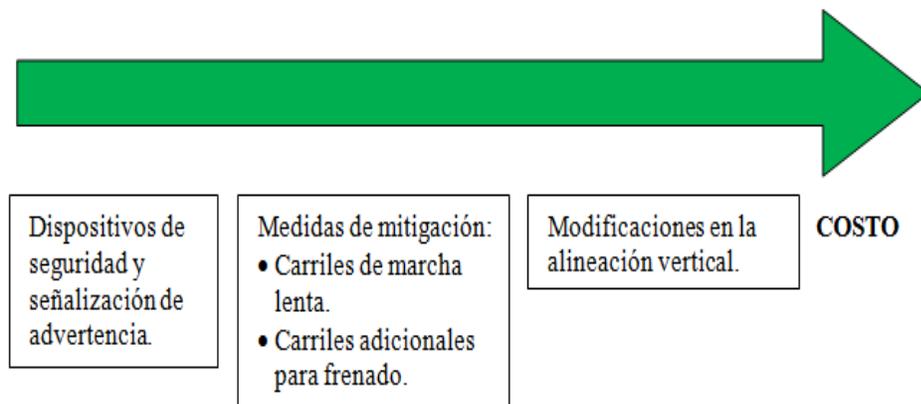
En la figura 2.4 y 2.5 se muestran algunos tipos de intervenciones para mejorar la alineación en planta y perfil respectivamente, dependiendo del costo¹¹.

Figura 2.4 Relación entre las mejoras de la alineación en planta y el costo.



Fuente: World Road Association 2003

Figura 2.5 Relación entre las mejoras de la alineación en perfil y el costo.



Fuente: World Road Association 2003

¹⁰ World Road Association, 2009

¹¹ World Road Association, 2003

La comprobación de la efectividad de estas medidas está basada en la comparación entre el costo de implementación y los beneficios aportados, tanto por reducción de la frecuencia de accidentes como de su severidad, y puede enunciarse en términos financieros o mediante parámetros cualitativos a partir de beneficios sociales obtenidos. Algunos países que llevan años monitoreando el comportamiento de estas intervenciones, han podido evaluarlas detalladamente utilizando diferentes técnicas, y otros, con menos años de experiencia, han reportado impactos generales o el resultado de planes evaluados aisladamente, ya que cuando varias son aplicadas simultáneamente, es bastante complicado asociar un beneficio a una medida específica. En la Tabla 2.4 se exponen algunos de los resultados más relevantes obtenidos internacionalmente¹².

Tabla 2.4 Porcentaje de reducción de accidentes

Elemento de la vía	Tipo de accidente	Porcentaje de reducción de accidentes
Alineación horizontal		
Mejorar el trazado	todos	20 - 80
Aumentar radios de curvatura	lesionados	33 – 50
Alineación vertical		
Disminuir pendientes y curvas en cima	todos	12 - 56
Mejorar o introducir superelevación	todos	50
Carril de adelantamiento	lesionados	11 – 43
Carril de marcha lenta	todos	10 – 40
Dispositivos de control del tránsito		
Marcas delimitadoras de carril	todos	19 - 24

¹² World Road Association, 2007

Aumentar la reflectividad	todos	24 – 92
Marcar el pavimento	todos	29 – 37
Señalización de velocidad disminuida	lesionados	16 – 19
Visibilidad		
Marcar carriles	todos	14 – 19
Postes delimitadores	todos	2 – 47
Mejorar la distancia de visibilidad	todos	28
Amortiguación de accidentes		
Barreras o defensas laterales	todos	14 – 27

Fuente: World Road Association 2007

3.7. MODELO INTERACTIVO PARA DISEÑO SEGURO DE CARRETERAS (IHSDM).

Generalmente, los procedimientos actuales de muchos países para diseñar el trazado sólo confían en el cumplimiento de las normas; la selección y aplicación de la velocidad de diseño para proveer un aceptable, aunque no mensurable nivel de seguridad, lo que se considera simplista para el desarrollo vial actual, en el que se demandan carreteras más seguras. Actualmente los investigadores y proyectistas viales reconocen la necesidad de suplementar los procedimientos basados en la velocidad de diseño con métodos y herramientas más confiables para evaluar cuantitativamente la seguridad.

En un esfuerzo para ordenar el conocimiento disponible sobre la seguridad de las vías de dos carriles en una forma más útil, y ayudar a los proyectistas viales a detectar rápidamente las faltas de coherencia, desde 1990 la Federal Highway Administration de los Estados Unidos investiga técnicas y desarrolla un programa de alta prioridad para poner en práctica un sistema integrado de módulos con la finalidad de evaluar cuantitativamente las relaciones entre la seguridad y el diseño geométrico, aspecto que

no estaba bien definido en investigaciones anteriores realizadas por un amplio conjunto de países con desarrollo en este campo. Desde las tempranas etapas de planeamiento del modelo, se reconoció que la consideración de la seguridad requería que operara dentro del proceso de diseño y las decisiones que se toman, y no como una actividad separada a evaluar solamente en la etapa de explotación.

El objetivo fue desarrollar un programa de investigación destinado a desarrollar un sistema totalmente funcional llamado Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) traducido al español como Modelo Interactivo para Diseñar la Seguridad Vial. Su propósito práctico es dotar a los proyectistas viales con una herramienta de computación para considerar explícitamente las implicaciones sobre la seguridad de las decisiones de diseño geométrico durante las fases de planeamiento, diseño final y revisión de construcciones o reconstrucciones viales. Está basado en la evaluación a partir de la consistencia del diseño¹³.

La capacidad de evaluación del IHSDM ayuda a los proyectistas a maximizar los beneficios de la seguridad vial dentro de las restricciones de costo, ambientales y otras consideraciones. Se estima que un pequeño incremento en la efectividad del costo de la seguridad de los proyectos contribuirá significativamente al objetivo de reducir hasta un 20% en diez años, el número de muertos y heridos relacionados con accidentes de tránsito¹⁴.

Para vías existentes es también una herramienta que permite evaluar su estado con respecto a la seguridad y la influencia de diferentes mejoras que podrían ser introducidas en el trazado, y utilizarse como una alternativa que complemente las Auditorías de Seguridad Vial.

El modelo como tal consta de cinco módulos interrelacionados que pueden operar independientemente. Los cinco módulos de evaluación son los siguientes¹⁵:

¹³ Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM), 2011

¹⁴ Harkey, 2006

¹⁵ Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM), 2010

- ✓ **Policy Review Module (PRM):** El módulo de revisión de la norma: se enfoca en la búsqueda de elementos críticos del diseño, realizando una comparación con la normativa vigente y los elementos geométricos de la vía en estudio; se debe tener en cuenta que es posible realizar este análisis para la normativa de cualquier país, siempre y cuando se adapten los parámetros de la normativa particular de la región con respecto a los parámetros y variables estipulados en el software correspondiente y enfocados a la normativa AASHTO¹⁶.

Este módulo tiene incorporadas las normas especificadas por la AASHTO en los años 1990, 1994, 2001 y 2004; es importante aclarar que el software permite la entrada de normativas para diferentes Entidades. En el módulo PRM se organizan datos como: sección transversal, alineamiento horizontal, alineamiento vertical y distancias de visibilidad¹⁷.

- ✓ **Crash Prediction Module (CPM):** módulo de predicción de accidentes: realiza una predicción de la probabilidad de ocurrencia de los accidentes así como también de la severidad de los mismos en los puntos críticos. El software define algunas acciones correctivas para la deficiencia que se presenta en los puntos críticos.
- ✓ **Design Consistency Module (DCM):** módulo de consistencia del diseño: este módulo calcula velocidades de operación esperadas y medidas de consistencia operación – velocidad. El módulo evalúa la regularidad de la velocidad a lo largo de la vía, teniendo en cuenta elementos consecutivos de curva – tangente – curva, modelos de perfil de velocidades, velocidad a flujo libre y pendientes longitudinales de la vía en estudio
- ✓ **Traffic Analysis Module (TAM):** Módulo de análisis de tránsito: Estima los efectos operacionales de los diseños viales bajo las demandas actuales y proyectadas.

¹⁶ American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO, 2004

¹⁷ AEPO S.A. Análisis de la carretera AV-502 con el programa IHSDM , 2002

- ✓ **Intersection Review Module (IRM):** Módulo de revisión de intersecciones: guía a los usuarios a través de una evaluación sistemática de los elementos de diseño de una intersección en relación con su seguridad probable y rendimiento operacional.
- ✓ **Driver/Vehicle Module (DVM):** Módulo Conductor/vehículo: Estima la velocidad del conductor y la elección de la trayectoria a lo largo de la carretera, teniendo en cuenta aceleración lateral, requerimientos de fricción y momento de vuelco.

3.7.1. Descripción Módulo de Revisión de la Política (PRM)

El objetivo del módulo PRM es automatizar el proceso de revisión de los elementos de diseño geométrico contrastado con las políticas de diseño establecidas para cada país.

El PRM incluye dos componentes básicos para realizar esta revisión:

- ✓ Una versión electrónica de las variables de la política establecida; en donde se establecen tablas que recomiendan límites críticos para los valores relevantes de la norma AASHTO y donde se comparan los valores equivalentes que utiliza la normativa de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).
- ✓ Un proceso de comparación de los valores geométricos de la carretera en estudio, frente a todos los valores de la política de diseño.

Los valores y el proceso automatizado del PRM están basados en los siguientes documentos de la AASHTO.

- ✓ A policy on Geometric Design of Highways and Streets (Ediciones 1990 – 2004)
- ✓ Roadside Design Guide (Edición 1996).
- ✓ Guide for development of bicycle facilities (Edición 1999).

El objetivo del PRM es ser fiel a los documentos de la política que aplique para cada país, en este caso la normativa establecida por la Administradora Boliviana de

Carreteras (ABC), y realizar una buena comparación entre los valores de la vía y los valores de la política. Para una buena implementación de este módulo se debe tener en cuenta que el programa está basado en la terminología definida por la AASHTO, razón por la cual es necesario correlacionar la normativa del país donde se implemente el programa con la normativa AASHTO.

Los usuarios tiene la posibilidad de editar las tablas de la política AASHTO para que estas puedan ser utilizadas por una agencia o país en particular; esta labor se puede desarrollar en la aplicación ADMINISTRATION TOOL, que se encuentra localizado en la carpeta donde queda instalado el programa por defecto:

C:\Program Files\IHSDM2014 o en la carpeta elegida por el usuario para instalar el programa. No obstante la habilidad de editar las tablas presenta dos limitaciones:

- ✓ No es posible crear tablas adicionales a las existentes
- ✓ No es posible adicionar columnas a las tablas, ni modificar los parámetros establecidos en cada columna.

Para utilizar este módulo se debe aplicar la siguiente metodología:

- ✓ Elección del tipo de proyecto (nueva construcción o reconstrucción)
- ✓ Elección de la política de diseño y con esto se podrá elegir el vehículo de diseño (vehículos livianos o vehículos pesados), que deben ser representativos del parque automotor del país o de la carretera en estudio
- ✓ Elegir los elementos que se desean verificar. El usuario puede elegir todas las categorías o determinadas categorías como las siguientes: sección transversal, alineación horizontal, alineación vertical o distancias de visibilidad, en concordancia con los datos geométricos que se posean de la carretera en estudio y del criterio para seleccionar los que se consideren más importantes en la evaluación que se esté desarrollando.
- ✓ El PRM inicia por determinar si todos los datos de diseño y de control necesarios se encuentran introducidos para completar la revisión de las

categorías escogidas anteriormente, cuando todos los datos necesarios se encuentren introducidos el PRM compara los valores de la Vía con los valores pertinentes de la política.

Los resultados del PRM se presentan en un informe de análisis que se pueden ver en un navegador de HTML, el cual es ejecutado automáticamente al terminar la evaluación. Además de las tablas de resultados, el programa suministra dos salidas gráficas correspondientes a la distancia de visibilidad de parada y a la distancia de visibilidad de adelantamiento.

Las salidas gráficas representan la variación de la distancia de visibilidad adelantamiento y de parada a lo largo de la carretera en estudio, contrastada con la mínima especificada en la política de diseño, es así como se puede ver más fácilmente las zonas donde estos parámetros se salen de la política y se logran contrastar con puntos de accidentalidad, para tomar medidas correctivas en estos tramos.

Las tablas de resultados presentan además de la especificación del punto o abscisa analizada, un comentario y descripción de la situación que se presenta en dicho punto, dependiendo del chequeo que se esté realizando. De forma general, éstas son las posibles salidas que puede proporcionar el módulo:

Tabla2.5. Descripción de las salidas del módulo PRM.

Comentario	Descripción de la situación
El valor está dentro de los criterios de control	El criterio analizado es mayor o igual a la política de diseño
El valor varía de los criterios de control	El criterio analizado es menor al mínimo recomendado por la política de diseño
El valor está cerca de los criterios de control	El criterio analizado difiere en 0.1 – 0.3 % del mínimo especificado en la política de diseño
No datos	Los valores requeridos para este chequeo no se encuentran introducidos
No política	El criterio analizado se encuentra fuera de los rangos de la política

Fuente: Elaboración propia

No obstante para cada variable de chequeo, existen más comentarios y situaciones específicas para los criterios de evaluación.

Algunas aplicaciones para este módulo son:

- ✓ Análisis de las carreteras existentes para apoyar las investigaciones de diseño y desarrollo de alternativas en proyectos de reconstrucción.
- ✓ El control de calidad preliminar para los estudios de ingeniería en donde se tengan en cuenta las variables asociadas con este módulo.
- ✓ Documentación de alternativas para apoyar estudios ambientales.

3.7.2. Descripción del Módulo de Consistencia de Diseño (DCM)

La consistencia de diseño se refiere a la conformidad del diseño geométrico con las expectativas de los conductores. En términos generales se podría esperar que la frecuencia de accidentes disminuya a medida que aumenta la consistencia de diseño.

Una de las expectativas de los conductores transitando sobre una vía es mantener la velocidad constante y uniforme a lo largo de la carretera; no obstante, no es común que esto se presente. Si bien ha sido objeto de investigación durante varias décadas, los procedimientos para la evaluación de la consistencia de diseño no han sido bien acogidos. El módulo de consistencia de diseño representa un hito importante en los procedimientos para estimar dicho procedimiento.

El módulo de consistencia de diseño evalúa la consistencia de operación a través de un modelo de perfil de velocidades que estima condiciones esperadas de percentil 85, velocidad a flujo libre y velocidad de vehículos de pasajeros a lo largo de la vía. El modelo de perfil de velocidades combina estimativos del percentil 85 de velocidad en curvas (combinaciones de curvas horizontal, vertical y horizontal-vertical), las velocidades deseadas en tangentes largas, tasas de aceleración y desaceleración saliendo y entrando a curvas y un algoritmo para estimar velocidades en tangentes verticales.

El módulo estima dos medidas:

- ✓ La diferencia esperada entre el percentil 85 de velocidades a lo largo de la carretera y la velocidad de diseño de la carretera.
- ✓ La reducción esperada en el percentil 85 de velocidades cuando una tangente es precedida por una curva horizontal.

Con respecto a la segunda medida, lugares donde la reducción de velocidad es grande, puede justificar evaluaciones adicionales, por ejemplo, si la rectificación del alineamiento sería rentable. Por otra parte, cuando las reducciones grandes en la velocidad no puedan ser corregidas o tratadas, se debe por lo menos advertir a los conductores y considerar posibles mejoras a través de sección transversal y diseño geométrico.

Aunque el módulo ha sido considerado una medida cuantitativa para estimar la consistencia de diseño, se deben tener las siguientes precauciones:

- ✓ La salida es un código de colores que ayuda a los usuarios del módulo a distinguir entre un valor más alto de otro más bajo, por esto el sólo código de colores no se destina para categorizar la carretera como aceptable o inaceptable.
- ✓ El algoritmo de consistencia de diseño no considera la presencia de intersecciones, al igual que el tipo de conductor que se escoja para la evaluación.

3.7.2.1. Algoritmo de perfil de velocidades.

El primer paso en el proceso de evaluar la consistencia de diseño es la estimación del percentil 85 de velocidades, analizando las secciones de la carretera para un vehículo de diseño.

- ✓ Paso 1: se debe seleccionar la velocidad deseada que el conductor quiere mantener durante todo el viaje, para un tipo de vehículo dado. A partir de este valor se calculan las distintas disminuciones. De no especificar ningún valor, el modelo toma por defecto una velocidad de 100 km/h.

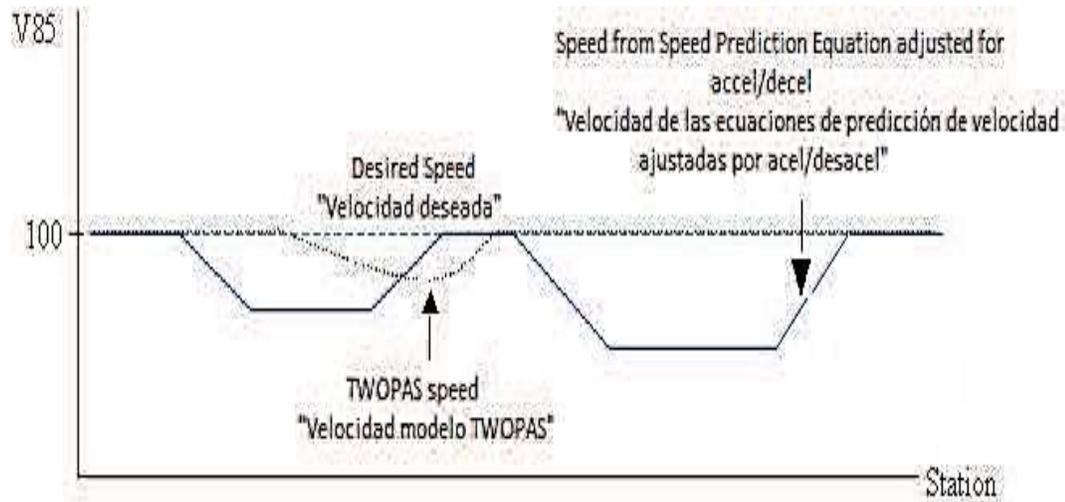
- ✓ Paso 2: Predecir la velocidad para cada curva horizontal utilizando ecuaciones empíricas para predecir velocidades. La velocidad de la curva es función del radio de curvatura y es afectada por el alineamiento vertical.
- ✓ Paso 3: La distancia disponible para acelerar o desacelerar entre curvas, es decir la longitud de la entre tangencia, se compara con la longitud necesaria para acelerar desde una velocidad estimada en la curva n hasta la velocidad deseada, más la longitud necesaria para desacelerar desde la velocidad deseada hasta la velocidad estimada de la curva (n+1)

La longitud de entre tangencia disponible versus la requerida para aceleración/desaceleración, en relación con la velocidad estimada en la curva “n” versus la velocidad estimada en la curva (n+1), determina la condición de aceleración/desaceleración para una determinada sección de curva-tangente-curva. Las tasas de aceleración/desaceleración están basadas en los radios de curva.

Para una combinación curva-tangente-curva, la aceleración es función del radio de la primera curva (curva n), mientras que la desaceleración es función del radio de la segunda curva (curva n+1), si la tangente no es lo suficientemente larga el vehículo no podría alcanzar la velocidad deseada.

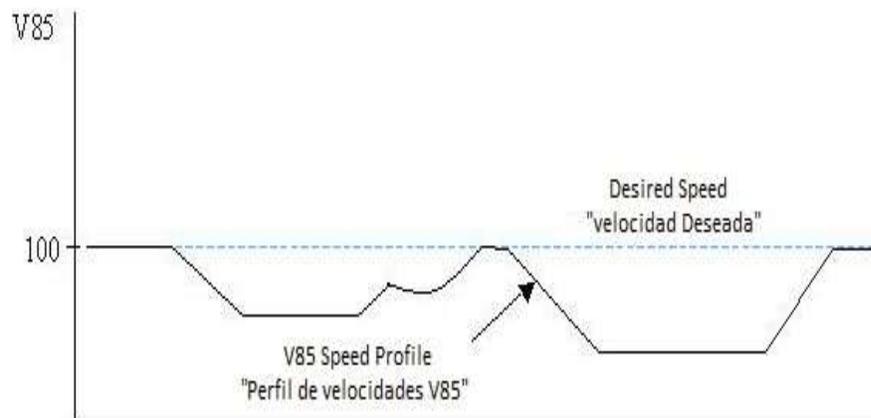
- ✓ Paso 4: La predicción del segundo perfil de velocidad usando las ecuaciones del TWOPAS está basado en el alineamiento vertical y el vehículo elegido en el análisis de consistencia de diseño.
- ✓ Paso 5: Se comparan los perfiles de velocidad de los pasos 3 y 4 y se selecciona la velocidad más baja de cada punto para crear el perfil final de velocidades, tal como se muestra en la figura 2.6. Perfil de velocidades de los pasos 1 a 4 y la figura 2.7 correspondientes al perfil final estimado para percentil 85 de velocidades.

Figura 2.6. Perfil de velocidades obtenido de los pasos 1 a 4 del modelo del DCM



Fuente: Design Consistence Module, engineers manual, página 8

Figura 2.7. Perfil final estimado para percentil 85 de velocidades



Fuente: Design Consistence Module, engineers manual, página 8

3.7.2.2. Evaluación de la consistencia de diseño mediante el módulo DCM.

Para ayudar a los usuarios en la inspección visual de los resultados, los rangos de valores para esta medida se agrupan en un código de colores gráficos y se tabulan de la siguiente manera¹⁸:

¹⁸ Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM), 2010

Tabla 2.6 Código de colores utilizado por el modelo IHSDM

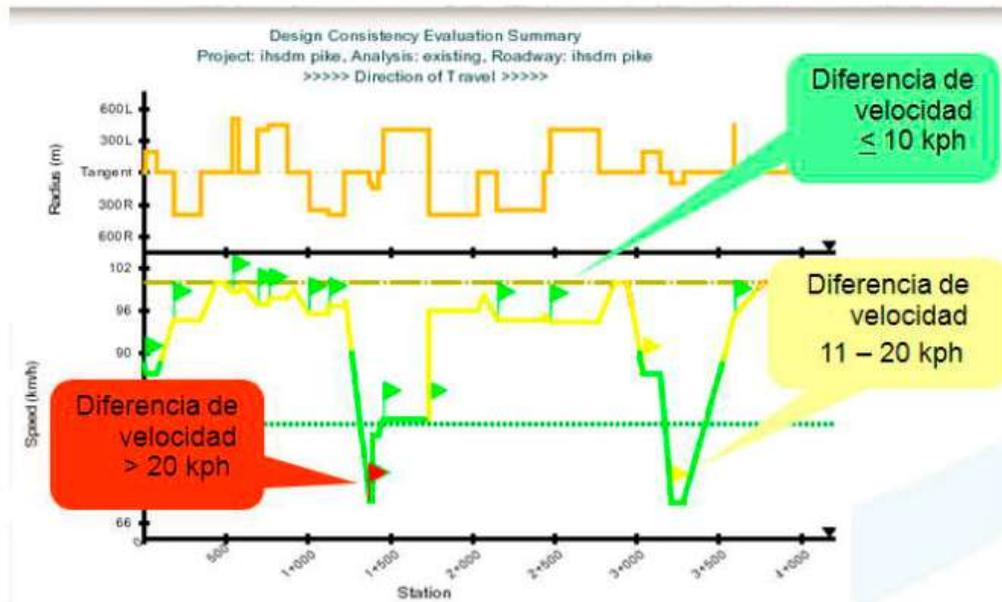
V85 – Vdesign	Condición	Color
≤ 10 Km/h	Bueno	Verde
10 km/h - 20 Km/h	Regular	Amarillo
≥ 20 km/h	Pobre	Rojo

Fuente: Design Consistence Module, engineers manual

La intención es ayudar a priorizar donde la atención adicional puede ser necesaria, en este sentido la prioridad debe estar en las secciones de color rojo y en menor medida a las de color amarillo, en estas secciones se debería en primer lugar prestar atención a las consideraciones realizadas (estimación del percentil 85, selección de la velocidad de diseño inapropiada, registros históricos de accidentalidad inusuales o elementos de diseño están cerca o por debajo de las políticas revisadas en el módulo PRM).

Figura 2.8 Salida gráfica del módulo DCM

Fuente: Design consistence module, engineers manual

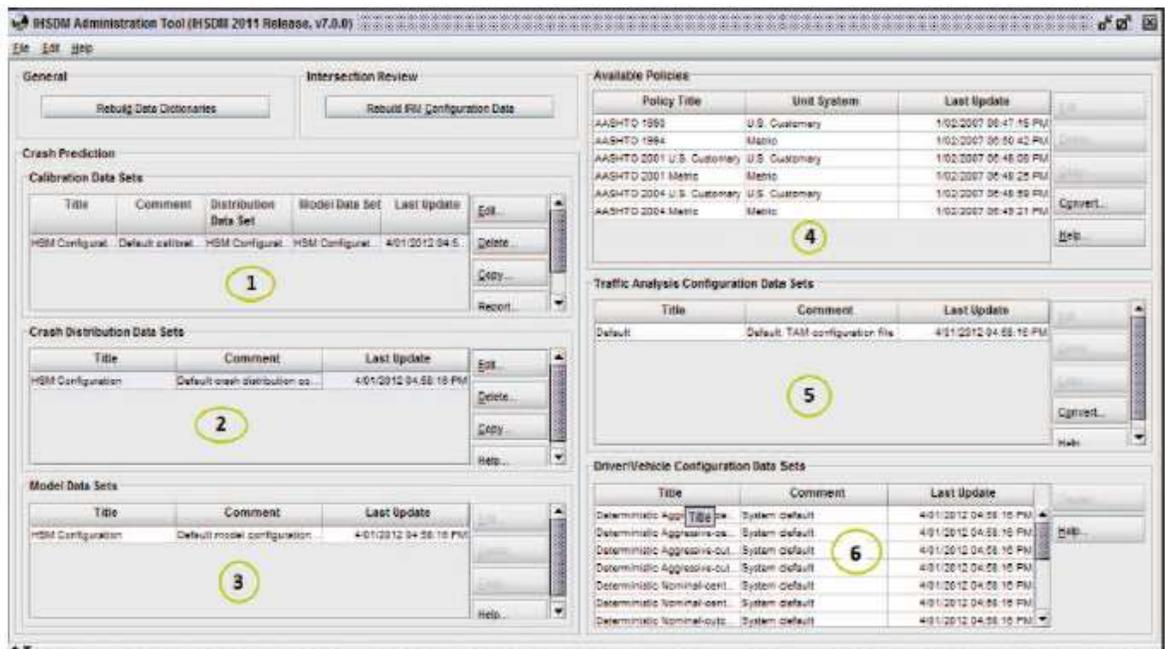


3.7.3. Aplicación Herramientas de Administración

La aplicación Administration Tool o herramientas de administración, permite introducir la política de diseño respectiva a la normatividad vigente de un país o institución; por defecto el programa trae las políticas AASHTO (1990-2004) las cuales se pueden apreciar en esta aplicación, pero con la limitante que no se pueden modificar directamente los parámetros y valores estipulados en ellas. El objetivo de esta aplicación es la de introducir la política de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) a la interfaz del software y así permita trabajar cada uno de los módulos en esta investigación y en futuras investigaciones relacionadas con el software a nivel nacional.

La interfaz de la aplicación Administration Tool, posee seis secciones en las que se debe calibrar el software IHSDM Predictive Method dependiendo del país, región o institución que desee utilizar el software. En la Figura 3 se muestran las secciones por las cuales está compuesta la aplicación Administration Tool.

Figura 2.9. Interfaz Administration Tool



Fuente: Elaboración propia

Las secciones 1,2 y 3 contienen los factores de calibración para el módulo Crash

Prediction, las secciones 4, 5 y 6 contienen la calibración para los módulos Policy Review, Traffic Analysis y Driver/Vehicle respectivamente.

En la sección 1 (Calibration Data Sets) conjunto de datos de calibración el usuario encuentra los valores correspondientes a los factores de modificación de accidentes AMFs para condiciones base. Las condiciones base representan la sección típica con: ancho de carril de 3,6 m y bermas de 1,80 m, además de condiciones climáticas normales y un diseño geométrico adecuado; el valor correspondiente de AMFs para estas condiciones es de 1.0 y se recomienda no ser modificado debido a que los distintos factores de modificación toman como referencia las condiciones base para ser calibrados.

En la sección 2 y 3 (Crash Distribution Data Sets) el usuario debe realizar una calibración particular para el tramo de estudio dependiendo de los factores de calibración que sean pertinentes. Los factores de calibración dependen de geometría de la vía, las condiciones del vehículo operando sobre la vía y la distribución de accidentes, según su tipología y severidad.

En la sección 4 (Available Policies), el usuario encuentra una de las aplicaciones más importantes del software IHSDM, ya que en esta sección el programa trae incorporadas las políticas con las que realiza la evaluación, el IHSDM utiliza por defecto la normativa AASHTO en las siguientes versiones:

- ✓ AASHTO 1990, utilizando el sistema inglés de unidades.
- ✓ AASHTO 1994, utilizando el sistema métrico de unidades.
- ✓ AASHTO 2001, utilizando el sistema inglés de unidades.
- ✓ AASHTO 2001, utilizando el sistema métrico de unidades.
- ✓ AASHTO 2004, utilizando el sistema inglés de unidades.
- ✓ AASHTO 2004, utilizando el sistema métrico de unidades.

El usuario, país o entidad puede utilizar la normativa que le resulte más conveniente,

pero es posible que el usuario utilice la normativa de su región o país, ya que ésta puede ser incorporada en el software, la descripción de cada uno de los parámetros, así como el procedimiento de incorporación de una normativa diferente a la establecida por AASHTO será objeto de estudio del siguiente capítulo de este proyecto de investigación.

Es importante resaltar que para poder incorporar otro tipo de normativa, ésta debe tener un alto grado de similitud con la normativa AASHTO, debido a que la incorporación de esta nueva normativa se realiza en base a la que el programa tiene calibrada por defecto.

Los parámetros evaluados en la normativa son: valores escalares de la normativa, ancho de la vía, ancho de bermas, tipología de las bermas, bombeo, pendiente de las bermas, radios de curvatura, peraltado, deflexiones entre curvas, información de curvas verticales, distancias de visibilidad de parada, distancias de adelantamiento. Cada uno de estos ítems está compuesto por otro tipo de información, que puede ser clasificada por el tipo de vía, el volumen de tránsito promedio diario (TPD), velocidad de operación en los tramos y algunos límites que la normativa establece como mínimos y máximos para algunos parámetros, como ya se mencionó, cada uno de estos parámetros será evaluado en el siguiente capítulo de este proyecto de investigación.

En la sección 5 (Traffic Analysis Configuration Data Sets) se encuentra la información que se debe calibrar para utilizar el módulo de análisis de tráfico; aquí el usuario encuentra los parámetros que son evaluados según la normativa AASHTO para la simulación del comportamiento del conductor y el vehículo a largo de una carretera.

En la sección 6 el usuario encuentra la actitud del conductor (normal o agresivo) con respecto a su localización en la vía (recta o en curva), aquí se tiene en cuenta el tipo y características del vehículo en el cual se desplaza el conductor, estos valores no podrán ser modificados ya que algunos de éstos fueron establecidos en la sección anterior y otros son correspondientes a la normativa preestablecida.

3.8. ADAPTACIÓN DE LA NORMATIVA DE LA ABC

El programa IHSDM, al ser americano, utiliza como normas por defecto la AASHTO 1990, 2001 y 2004 con unidades en sistema inglés y AASHTO 1994, 2001 y 2004 con unidades en sistema métrico. Contiene el módulo Administration Tool con el cual visualiza los diferentes parámetros y variables consideradas en la norma mediante tablas. Con ella, además, se pueden introducir nuevas normativas o modificar las existentes, adaptando el programa a las especificaciones de cada país.

Lo que se pretende con este estudio es precisamente eso, introducir en el IHSDM la normativa de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC). Esta labor está expuesta a las limitaciones ya comentadas en los capítulos anteriores.

3.8.1. Metodología

Era necesario relacionar la normativa americana con la de la Administradora Boliviana de Carreteras. Para ello se creó un formato de ficha-resumen que contuviera, para cada una de las fichas en las que el IHSDM se basa, lo siguiente.

- ✓ Número de tabla, nombre traducido al castellano y nombre original
- ✓ Referencia en la norma americana, generalmente de la AASHTO 2004, indicando la página correspondiente del manual
- ✓ Referencia en la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras, generalmente el Manual de Diseño Geométrico, indicando la página y/o referencia del manual
- ✓ Parámetros que intervienen en esta tabla
- ✓ Traducción de estos elementos
- ✓ Rango de valores entre los que oscilan los elementos estudiados, en la norma americana
- ✓ Rango de valores entre los que oscilan los elementos estudiados, en la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras
- ✓ Notas y limitaciones

El proceso de adaptación del IHSDM a la Norma Boliviana tuvo tres fases:

- ✓ Inicialmente se rellenaron los datos extraídos de las tablas de la AASHTO, y se tradujeron los parámetros y variables contenidos en las mismas.
- ✓ Teniendo este material como soporte, la siguiente fase consistió en buscar la especificación equivalente en la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras, recogiendo la referencia, los valores y las limitaciones presentadas, y generando las fichas de adaptación de ambas normas (americana y boliviana).
- ✓ Los valores de los parámetros de cada tabla analizada para la legislación boliviana, se recogieron en un fichero Excel y se introdujeron en el IHSDM a través de la herramienta AdministrationTool.

Tabla 2.7. Ejemplo ficha resumen Scalar Values “Valores escalares”

SCALAR VALUES (VALORES ESCALARES)					
TRAVELED WAY WIDTH					
ANCHO DE CALZADA					
PARÁMETRO	TRADUCCIÓN	UNIDAD	VALOR SEGÚN AASHTO	VALOR SEGÚN ABC	ECUACIÓN Y/O REFERENCIA
Min TWW cutoff for reconstruction projects (AASHTO 2004, exhibit 7 - 3)	Límite inferior del ancho de calzada, en carreteras de 2 sentidos para proyectos de reconstrucción	m	6.6	6	Manual de carreteras volumen 1: Diseño geométrico, tabla 3.1-1

Fuente: Elaboración propia

3.8.2. Valores Escalares

Los valores escalares hacen referencia únicamente a límites, tanto inferiores como superiores, que determinan los umbrales en que los elementos de las carreteras pueden encontrarse. Estos valores también determinan los límites de las demás tablas de calibración. Un ejemplo muy claro es la aplicación de la tabla de pendiente longitudinal, en esta tabla se tiene el valor escalar para la mínima pendiente longitudinal es 0.5%, lo cual determina para la tabla de pendiente longitudinal, que el terreno plano se encuentra entre los rangos de pendiente longitudinal de 0.5% - 3%, referente a la normativa Boliviana.

La adaptación a la normativa Boliviana de los valores escalares (scalar values) se muestra en el Anexo 1.1.

3.8.3. Ancho de Calzada por Sentido

Este grupo incluye dos ítems para la realización de la normativa “ancho de carril por sentido”. AASHTO define el camino recorrido como “La parte de la carretera para la circulación de vehículos, excluyendo la berma”. La revisión de la normativa se realiza a través del ancho de calzada y la ampliación “sobre ancho” del carril en curvas horizontales.

Bolivia no utiliza el mismo sistema de clasificación para vías que la AASHTO, ya que Bolivia realiza una clasificación con definiciones como: autopista, autorruta, primario, colector, local, desarrollo, por su parte la AASHTO clasifica las carreteras en: arterias, colectoras y locales, de esta forma se realiza la correlación entre ambas normativas como se muestra en la Tabla 2.8. Clasificación funcional de las carreteras.

Tabla 2.8. Clasificación funcional de las carreteras

Se tendrá en cuenta las siguientes similitudes para la adaptación de la normativa de la ABC para caminos rurales	
Clasificación AASHTO	Clasificación ABC
Arterial	Primario
Colectora	Colector
Local	Local
	Desarrollo

Fuente: Elaboración Propia, basados en el Manual de Diseño Geométrico de la ABC.

Igualmente el ancho de carril y berma para la normativa de la ABC se encuentra definido por parámetros como categoría de la carretera, velocidad de diseño y tipo de terreno, mientras que la AASHTO clasifica el ancho del carril y berma según tránsito promedio diario ADT y por volumen horario DVH. Por esta razón se debe correlacionar el volumen horario con la clasificación funcional de la vía para la normativa boliviana tal como se muestra en la Tabla 2.9.

Categorías de carretas según su TPD, y así tener un punto de referencia para realizar las comparaciones con la norma americana.

Tabla 2.9. Categorías de carreteras según su tránsito promedio diario

Categorías según su tránsito promedio diario		
AASHTO	ABC	TPD (ABC)*
Arterial	Primario	1500
Colectora	Colector	500
Local	Local	0 – 500 ⁽¹⁾
	Desarrollo	0 – 500 ⁽¹⁾

Fuente: Elaboración Propia, basados en el Manual de Diseño Geométrico de la ABC.

*Nota: La clasificación del TPD fue extraída de la Tabla 1.3-3 del Manual de Diseño Geométrico de la Administradora Boliviana de Carreteras.

(1) Transito y composición variable que depende del tipo de actividad, Agrícola, minera, turística.

La adaptación a la normativa boliviana del ancho de carril se realiza a través de dos ítems, así:

- ✓ Travel way width by design speed and ADT “Ancho de la vía teniendo en cuenta la velocidad de diseño y el TPDA” (ver Anexo 1.2)
- ✓ Curve widening “Sobrecancho en curvas” (ver Anexo 1.3)

Los valores de categoría, velocidad de diseño, tipo de terreno y tránsito promedio diario para la elaboración de la adaptación de los dos ítems fueron extraídos de las Tablas 1.3-3. Características típicas de las carreteras y caminos según la clasificación funcional, mientras que los valores de ancho de la vía se obtuvieron de la Tabla 3.1-1. Cuadro resumen de los anchos de plataforma en terraplén y de sus elementos a nivel de rasante del manual de diseño geométrico de la Administradora Boliviana de Carreteras.

Para la adaptación del sobrecancho en curvas se realizó tomando en cuenta lo establecido por la normativa donde se limita el sobre ancho a un mínimo de 0.35 m y un máximo 3.20 m para calzadas de 6.0 m y un mínimo de 0.5m y un máximo 3.0m para calzadas de 7.0 m de ancho.

3.8.4. Ancho de Berma

El ancho de la berma se define como la porción de la carretera contigua a la calzada para el alojamiento de vehículos detenidos, en caso de emergencia, y para el apoyo lateral de la sub-base, base, y las capas superficiales. Este grupo incluye un ítem en donde se comprobará el ancho de la berma según la normativa preestablecida, así:

- ✓ Shoulder width by ADT “Ancho de bermas según TPD” (ver Anexo 1.4)

Los valores para el ancho de berma fueron obtenidos de la Tabla 3.1-1 del Manual de Diseño Geométrico de la ABC, el cual está en función de la clasificación funcional y la velocidad del proyecto.

3.8.5. Tipo de Berma

Según el Green Book AASHTO y la guía AASHTO la construcción de bermas adecuadas para bicicletas posee dos tipologías, pavimentadas y no pavimentadas.

La normativa de la ABC establece que las bermas para las vías primarias deben ser pavimentadas, las ciclo vías podrán ser construidas en caminos Colectores y Locales con $VP \leq 70$ Km/h y podrán ser pavimentadas o de tratamiento superficial.

Los tipos de berma según la normativa de la ABC se muestran a continuación:

Tabla 2.10. Tipos de Berma

Entorno IHSDM	Normativa ABC
Paved	Pavimento
Composite	Tratamiento Superficial
Gravel	Grava, tierra

Fuente: Elaboración Propia, basados en el Manual de Diseño Geométrico de la ABC

La adaptación a la normativa de la ABC del tipo de berma (Shoulder type) se muestra en el Anexo 1.5.

3.8.6. Pendiente de la Sección Transversal

La pendiente transversal es el grado de inclinación lateral o de la calzada perpendicular al eje de la vía. La pendiente transversal puede tener una sección plana, redondeada o una combinación de ambas. Con la sección plana, hay una inclinación constante desde el centro de la corona hacia los extremos de la calzada. Para comprobar la "pendiente transversal" a través del software solo se puede comprobar secciones planas.

La normativa de la ABC indica que las calzadas deberán tener una inclinación mínima o bombeo con el propósito de evacuar las aguas superficiales, que dependen del tipo de superficie de rodadura.

Tabla 2.11. Bombeos de la calzada

Tipo de Superficie	Pendiente Transversal
Pav. De Hormigón o Asfalto	2.0
Tratamiento Superficial	3.0
Tierra, Grava, Chancado	3.0 – 3.5

Fuente: Manuales Técnicos ABC, Volumen 1 Diseño geométrico Tabla 3.2-4

La adaptación a la normativa de la ABC de la pendiente de la sección transversal “Normal cross slope” será mostrada en el Anexo 1.6.

La tabla fue extraída de la Tabla 3.2-4 del Manual de Diseño Geométrico de la ABC. Contiene valores negativos debido a que la pendiente del bombeo es tomada desde el centro de la calzada hacia el extremo de la misma, lo cual implica la presencia de una pendiente negativa.

3.8.7. Pendiente Normal de la Berma

La pendiente de la berma se define como la pendiente de la sección fuera de la calzada. La berma debe tener una pendiente suficiente para evacuar el agua de la superficie, pero no excederse en la medida que los vehículos puedan alojarse en ella sin ningún peligro de volcamiento. Los valores de la pendiente de la berma varían según el tipo de material con el que esté construida.

La normativa de la ABC establece que para caminos y carreteras con calzada pavimentada, ya sea con Hormigón, Asfalto o Tratamiento Superficial, las bermas tendrán la misma pendiente transversal que la calzada. En Caminos sin pavimento, de las Categorías Locales y de Desarrollo, a los que se asocian bermas de un ancho máximo de 1,5 m y menores, en la práctica, no se distingue la zona correspondiente a la calzada de las bermas, consecuentemente, en ellas se mantendrá la pendiente transversal de la calzada, con los mínimos indicados en la Tabla 3.2-4 para tramos en recta.

Tabla 2.12. Bombeos de la calzada

Tipo de Superficie	Pendiente Transversal
Pav. De Hormigón o Asfalto	2.0
Tratamiento Superficial	3.0
Tierra, Grava, Chancado	3.0 – 3.5

Fuente: Manuales Técnicos ABC, Volumen 1 Diseño Geométrico Tabla 3.2-4

Debido a que la norma de la ABC especifica que las bermas deberán tener la misma pendiente que la calzada, se tomó como límite inferior el bombeo de la calzada y límite superior el peralte máximo.

La adaptación a la normativa boliviana de la pendiente de la berma “Normal shoulder slope” se muestra en el Anexo 1.7.

3.8.8. Radios de Curvas Horizontales

Aquí se referencia el radio mínimo de curvatura recomendado, el cual depende de la velocidad, el peralte máximo y la fricción lateral máxima. Este factor de fricción lateral está en función de la velocidad de diseño.

La adaptación a la norma de la ABC del radio de curvatura “Radius of curve” se realiza a través de 2 ítems, así:

- Allowed Emax “peralte máximo permitido” (ver Anexo 1.8)

Estos valores son sustraídos de la Tabla 2.3-3 del Manual de Diseño Geométrico de la ABC.

- Minimum radius “Radios de curvatura mínimos” (ver Anexo 1.9)

Los valores del peralte máximo (e_{max}) y del factor de fricción se los obtuvo de la Tabla 2.3-3 Valores Máximos para el Peralte y la Fricción Transversal.

Tabla 2.13. Valores máximos para el peralte y la fricción transversal

	$e_{máx}$	F
Caminos Vp 30 a 80 km/h	7%	0.265 - V/602.4
Carreteras Vp 80 a 120 km/h	8%	0.193 - V/1134

Fuente: Manuales Técnicos ABC, Volumen 1 Diseño geométrico Tabla 2.3-3

La normativa de la Administradora Boliviana de Carreteras emplea la siguiente expresión para el cálculo de los radios mínimos absolutos:

$$R_{min} = \frac{Vp^2}{127 * (e_{max} + f)}$$

Dónde: Rmín: Radio Mínimo Absoluto (m)

Vp: Velocidad Proyecto (km/h)

$e_{máx}$: Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

f: Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a Vp.

Los valores de radios mínimos absolutos se los obtuvo de la Tabla 2.3-4 del Manual de Diseño Geométrico de la Administradora Boliviana de Carreteras.

Tabla 2.14. Radios mínimos absolutos en curvas horizontales

Caminos Colectores – Locales – Desarrollo			
Vp (km/h)	E _{max} (%)	f	Rmín (m)

30	7	0.215	25
40	7	0.198	50
50	7	0.182	80
60	7	0.165	120
70	7	0.149	180
80	7	0.132	250
Carreteras – Autopistas Autorrutas – Primarios			
80	8	0.122	250
90	8	0.114	300
100	8	0.105	425
110	8	0.096	540
120	8	0.087	700

Fuente: Manuales Técnicos ABC, Volumen 1 Diseño Geométrico Tabla 2.3-4

3.8.9. Peralte

Se refiere al plano inclinado presente en las curvas que contrarresta las fuerzas centrífugas laterales desarrolladas por el vehículo a medida que avanza a una velocidad determinada. Sin esta inclinación los vehículos perderían su trayectoria, lo que tendría consecuencias negativas para sus ocupantes.

La adaptación de este parámetro se realiza a través del ítem mostrado a continuación.

- Horizontal table curve “radios de curvatura” (ver Anexo 1.10) los parámetros para la adaptación de este parámetro se extrajo de la figura 2.3-3 del manual de diseño geométrico de la ABC.

Para entrar a la tabla se debe tener en cuenta la siguiente definición:

VALUE (Valor) se adoptará para especificar algún valor de peralte. Estos valores son calculados de acuerdo a lo que se expone en el párrafo 2.3.3.3 inciso b del Manual de Diseño Geométrico de la ABC.

3.8.10. Pendiente longitudinal

Pendiente longitudinal se define como la diferencia de nivel por cada 100 m horizontales, expresada en porcentaje.

La normativa AASHTO por medio del programa da como referencia tres tipo de terreno, dependiendo de la pendiente longitudinal de la carretera (level “a nivel”, rolling “ondulado” y mountainous “montañoso”), adicionalmente el software IHSDM nos permite la introducción de la variante N/A (Not applicable, no aplica), por lo cual se realizó el ajuste a la normativa boliviana como se muestra en la Tabla 2.15. Clasificación del terreno según la pendiente longitudinal.

Tabla 2.15. Clasificación del terreno según la pendiente longitudinal.

Clasificación del terreno según la pendiente longitudinal		
AASHTO	ABC	Límite de pendiente
Level	Plano	<3 %
Rolling	Ondulado	3 % - 6%
Mountainous	Montañoso	6% - 9 %
N/A*	-	-

Fuente: Elaboración propia, basados en el Manual de diseño geométrico de la ABC

- La normativa de la ABC no considera otro tipo de terreno además de los mencionados anteriormente.

La adaptación a la normativa boliviana del tangent grade “pendiente longitudinal” se realiza a través de un ítem, así:

- Maximum grade “Máxima pendiente longitudinal” (ver Anexo 1.11)

La tabla está basada en la Tabla 2.4-1 (Pendientes máximas admisibles) del Manual de Diseño Geométrico de la ABC.

3.8.11. Curvas Verticales

La curva vertical es usada para transitar de una pendiente longitudinal a otra. Para el diseño de curvas parabólicas usualmente se utilizan las mismas tangentes de salida y entrada. La curva está definida por la pendiente de entrada, la longitud de la curva y la pendiente de salida. El diseño de las curvas verticales se basa en los requerimientos de la distancia de visibilidad de parada.

La adaptación de las curvas verticales “Vertical curve” se muestra en el Anexo 1.12, tomado de la Tabla 2.4-4 del Manual de Diseño Geométrico de la ABC. Para la interpretación de la tabla se debe tener en cuenta que el término “crest” hace referencia a curvas verticales convexas y el término “sag” a curvas verticales cóncavas.

3.8.12. Distancia de Visibilidad de Parada

La distancia de visibilidad de parada (DVP) o sus siglas en inglés (SSD), es la distancia requerida para que un vehículo que se desplaza con una velocidad específica, se detenga antes de llegar a un objeto inmóvil que se cruce en su trayectoria. La distancia de visibilidad de parada es la suma de dos distancias: primero la distancia de reacción, que se refiere a la distancia en que el conductor observa un objeto y el momento en que aplica los frenos, y segunda la distancia de frenado, la cual se refiere a la distancia necesaria para detener el vehículo desde el momento en que se aplican los frenos.

Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor que 0,20 m, estando situados los ojos del conductor a 1,10 m, sobre la rasante del eje de su carril de circulación.

Los valores adaptados para la normativa boliviana en base al Manual de Diseño Geométrico de la ABC, Tabla 2.2-1 se encuentran en el Anexo 1.13.

Tabla 2.16. Distancia mínima de frenado en horizontal

V	t	f1	dt	Df	Df (m)		V
Km/h	s	-	m	M	dt+df	Adopt.	Km/h
30	2	0.420	16.7	8.4	25.1	25	30

40	2	0.415	22.2	15.2	37.4	38	40
50	2	0.410	27.8	24.0	51.8	52	50
60	2	0.400	33.3	35.5	68.8	70	60
70	2	0.380	38.9	50.8	89.7	90	70
80	2	0.360	44.4	70.0	114.4	115	80
90	2	0.340	50.0	93.9	143.8	145	90
100	2	0.330	55.5	119.4	174.9	175	100
110	2	0.320	61.1	149.0	210.0	210	110
120	2	0.310	66.6	183.0	249.6	250	120
130	2	0.295	72.2	225.7	297.9	300	130

Fuente: Manuales Técnicos ABC, Volumen 1 Diseño Geométrico Tabla 2.2-1

3.8.13. Distancia de Visibilidad de Adelantamiento

La normativa ASSHTO define a la distancia de velocidad de adelantamiento como la longitud visible para completar, de forma segura, las maniobras de adelantamiento de un vehículo que posee una velocidad superior a la del vehículo que intenta sobrepasar. Usualmente, el vehículo rápido en esta maniobra invade el carril del sentido contrario, lo que se traduce en mayores posibilidades de choque.

La línea visual considerada en este caso será aquella determinada por la altura de los ojos de uno de los conductores ($h_1 = 1,10$ m) en un extremo y la altura de un vehículo ($h_2 = 1,20$ m) en el otro.

Los valores adecuados para distancia de visibilidad de parada para Bolivia se encuentran en el Anexo 1.14, los cuales se obtuvieron de la Tabla 2.2-2 del Manual de Diseño Geométrico de la Administradora Boliviana de Carreteras.

Tabla 2.17. Distancia mínima de adelantamiento

Velocidad de proyecto (km/h)	Distancia mínima de adelantamiento (m)
------------------------------	--

30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Manuales Técnicos ABC, Volumen 1 Diseño Geométrico Tabla 2.2-2

3.8.14. Vehículo de Diseño

Los vehículos que circulan por las carreteras influyen en el diseño fundamentalmente desde dos puntos de vista: velocidad que son capaces de desarrollar y dimensiones que le son propias.

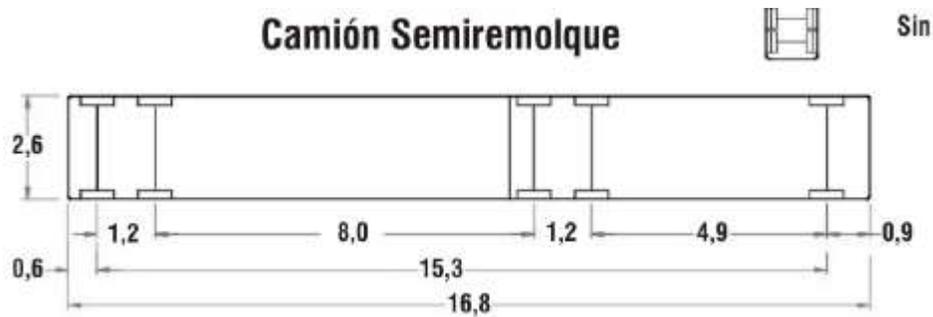
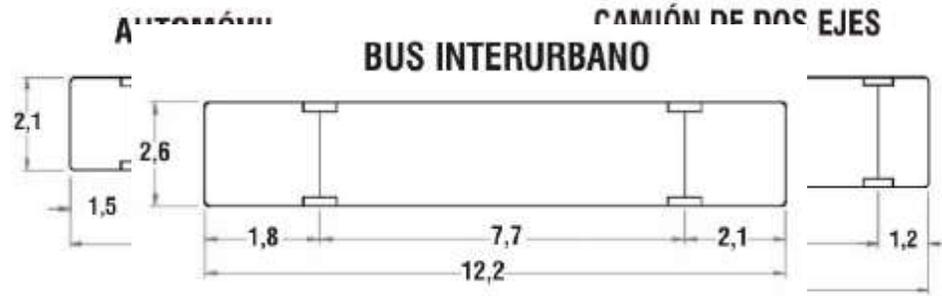
Los vehículos livianos: automóviles y similares, determinan las velocidades máximas a considerar en el diseño, así como las dimensiones mínimas, ellas participan en la determinación de las distancias de visibilidad de frenado y adelantamiento.

Los vehículos pesados: camiones de diversos tipos, y en menor medida los buses, experimentan reducciones importantes en su Velocidad de Operación cuando existen tramos en pendiente.

Las dimensiones de estos vehículos: largo, ancho y alto, influyen en gran medida diversos elementos de la sección transversal y determinan los radios mínimos de giro, los ensanches de la calzada en curva y el gálibo vertical bajo estructuras.

Las dimensiones tipo de automóviles y camiones de dos ejes se presentan a continuación:

Figura 2.10. Dimensiones de los vehículos



Fuente: Manual de Diseño Geométrico ABC, figura 1.2-3 y 1.2-4

La adaptación a la normativa de la ABC del tipo de vehículo de diseño “Vehicle table” se muestra en el Anexo 1.15

CAPÍTULO III.

IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN DEL MÓDULO POLICY REVIEW

MODULE (PRM) Y DESIGN CONSISTENCY MODULE (DCM)

6.1. GENERALIDADES

El módulo PRM se utiliza para comprobar que el diseño geométrico de una vía cumple con la normativa de un país o entidad. El software IHSDM, posee incorporadas por defecto las normativas AASHTO en sus versiones 1996 -2004, no obstante siguiendo las instrucciones y procedimientos descritos en el capítulo anterior, se puede incluir la normativa de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) para la implementación de los módulos PRM y DCM en el tramo de estudio, en cada uno de sus procedimientos se puede identificar los elementos de diseño que no alcanzan los niveles mínimos exigidos en la norma boliviana.

El módulo Design Consistency Module “Módulo de Diseño de la Consistencia”, simula el comportamiento de un vehículo a lo largo de un tramo. Para esta evaluación se tienen cinco categorías de vehículo que se encuentran definidos por características como velocidad máxima (165 km/h) y aceleración máxima (3,6 m/s²)

Los datos necesarios se obtuvieron de dos fuentes de información, la primera corresponde a información proporcionada por la empresa consultora que elaboró el estudio TESA para la vía en estudio, donde se extrajo la geometría del tramo en estudio; la segunda fuente corresponde a información tomada en campo como: velocidades de la vía.

6.2. INFORMACIÓN GEOMÉTRICA Y DE TRÁNSITO DE LA VÍA

6.2.1. Información General de la vía.

La información general de la carretera corresponde a datos puntuales acerca del diseño de la carretera, necesarios para la creación inicial del proyecto en el software y datos de información secundaria como percentiles de velocidades. En la Tabla 3.1 se especifica la información general necesaria para la implementación de los módulos PRM y DCM del tramo de estudio.

Tabla 3.1 Información general de la vía

Información general de la vía Timboy - Tentaguazú - Kumandaroti		
	AASHTO	ABC
Clasificación Funcional	Local	Local
Tipo de Superficie	Paved	Pavimento
Tipo de pavimento	High - type	Flexible
Terreno	Rolling	Ondulado
Tipo de área	Rural	Rural*
Longitud de la vía	45+501,98 km	
Longitud del tramo de estudio	7 +501,98 km	
Bombeo	2%	
Ancho de berma	1m	
Velocidad de diseño	60 km/h	
Velocidad deseada	78 km/h	
Velocidad sentido Tentaguazú - Timboy	58 km/h	
Velocidad sentido Timboy - Tentaguazú	50 km/h	

Fuente: Elaboración Propia

(*) Es necesario definir el tipo de área del proyecto como “rural” ya que el software solo realiza todos los análisis (módulos) para este tipo de áreas, de lo contrario, si se especifica otro tipo de área no podrán ejecutar todos los módulos del software.

6.2.2. Información de Tránsito.

En la Tabla 3.2, se presentan los valores de tránsito promedio diario anual (TPDA), presente en la vía que se analiza. Esta información hace referencia a volúmenes de TPDA proyectado para los años 2017 a 2035, a partir de los aforos realizados el año 2014.

Tabla 3.2 Trafico Promedio Diario Anual

Trafico Promedio Diario Anual			
Año	TPDA	Año	TPDA
2014	80	2025	124
2015	83	2026	129
2016	87	2027	134
2017	90	2028	140
2018	94	2029	145
2019	98	2030	152
2020	101	2031	158
2021	106	2032	165
2022	110	2033	172
2023	114	2034	179
2024	119	2035	186

Fuente: Elaboración Propia, basado en estudio de tráfico de estudio TESA “Construcción Asfaltado Ruta Timboy – Tentaguazú – Kumandaroti Provincia O’Connor”

6.2.3. Información Geométrica.

A continuación se describe la información geométrica que se introdujo en el software IHSDM, esta información puede ser llevada al software desde hojas de cálculo del programa Excel, pero se advierte que estos parámetros, así como cualquiera que sea introducida en el programa, deberá tener el mismo formato de columnas, en cuanto a separación de miles y decimales, variables de la columna y en lo posible el tipo de escritura que plantea el software en cada uno de sus columnas.

6.2.3.1. Alineamiento Horizontal “Horizontal alignment”.

En la Tabla 3.3, se describen los elementos horizontales introducidos en el software para realizar la evaluación con el módulo PRM y DCM. La información se clasifica como: tipo de curva o tangencia, abscisa inicial, abscisa final, radio de curvatura, dirección de la curva.

Tabla 3.3 Alineamiento Horizontal

Type	Star Station	End Station	Curve Radius	Direction of Curve
Tipo	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Radio de Curvatura (m)	Dirección de la curva
Tangente	38+000.00	38+120.45		
Curva	38+120.45	38+163.12	120	Izquierda
Tangente	38+163.12	38+308.58		
Curva	38+308.58	38+352.87	120	Derecha
Tangente	38+352.87	38+443.37		
Curva	38+443.37	38+520.27	150	Derecha
Tangente	38+520.27	38+633.60		
Curva	38+633.60	38+750.78	120	Izquierda
Tangente	38+750.78	38+844.99		
Curva	38+844.99	38+865.40	120	Derecha
Tangente	38+865.4	38+991.63		
Espiral	38+991.63	39+033.63	120	Derecha
Curva	39+033.63	39+103.17	120	Derecha
Espiral	39+103.17	39+145.17	120	Derecha
Tangente	39+145.17	39+331.46		
Curva	39+331.46	39+351.23	120	Izquierda
Tangente	39+351.23	39+442.67		
Espiral	39+442.67	39+484.67	120	Izquierda
Curva	39+484.67	39+496.77	120	Izquierda
Espiral	39+496.77	39+538.77	120	Izquierda
Tangente	39+538.77	39+538.77		
Curva	39+538.77	39+639.20	121,891	Derecha
Tangente	39+639.2	39+693.16		
Curva	39+693.16	39+784.65	46,53	Derecha

Type	Star Station	End Station	Curve Radius	Direction of Curve
Tipo	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Radio de Curvatura (m)	Dirección de la curva
Tangente	39+784.65	39+784.65		
Curva	39+784.65	39+927.32	55	Izquierda
Tangente	39+927.32	40+061.56		
Espiral	40+061.56	40+103.56	120	Derecha
Curva	40+103.56	40+108.68	120	Derecha
Espiral	40+108.68	40+150.68	120	Derecha
Tangente	40+150.68	40+290.40		
Curva	40+290.4	40+312.23	200	Derecha
Tangente	40+312.23	40+502.04		
Curva	40+502.04	40+552.26	200	Izquierda
Tangente	40+552.26	40+832.24		
Curva	40+832.24	40+877.84	180	Izquierda
Tangente	40+877.84	40+966.79		
Curva	40+966.79	40+985.84	180	Derecha
Tangente	40+985.84	41+100.00		
Tangente	41+100.00	41+171.09		
Curva	41+171.09	41+184.83	200	Derecha
Tangente	41+184.83	41+370.78		
Espiral	41+370.78	41+412.78	120	Derecha
Curva	41+412.78	41+424.43	120	Derecha
Espiral	41+424.43	41+466.43	120	Derecha
Tangente	41+466.43	41+466.43		
Curva	41+466.43	41+542.11	309,416	Izquierda
Tangente	41+542.11	41+619.80		
Curva	41+619.8	41+649.78	120	Izquierda

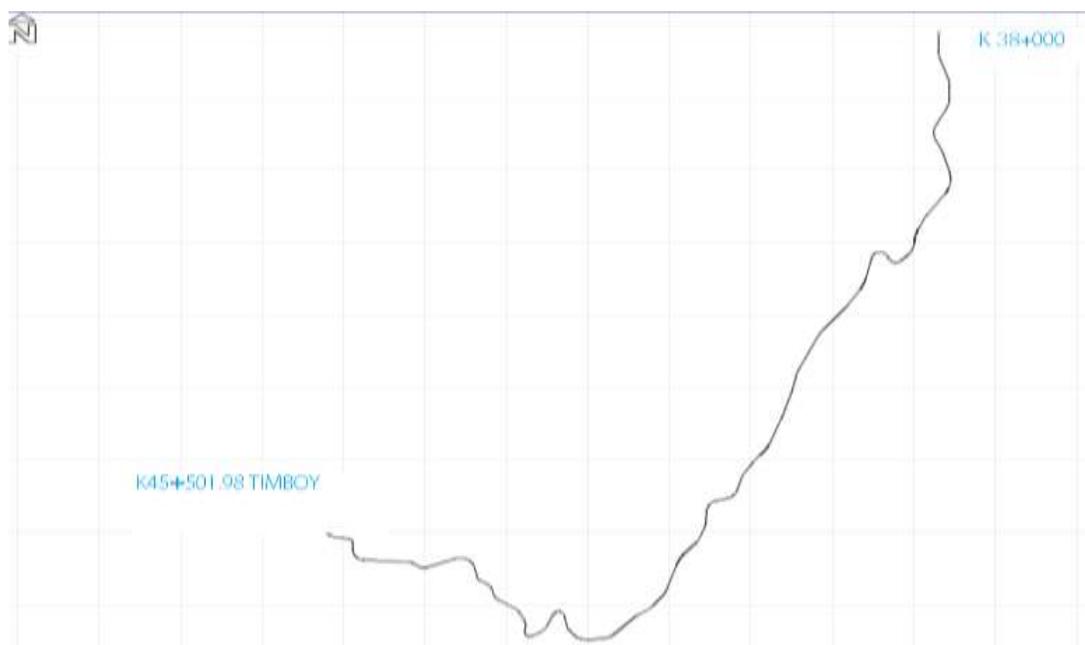
Type	Star Station	End Station	Curve Radius	Direction of Curve
Tipo	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Radio de Curvatura (m)	Dirección de la curva
Tangente	41+649.78	41+756.19		
Curva	41+756.19	41+832.97	80	Derecha
Tangente	41+832.97	41+906.54		
Curva	41+906.54	42+008.81	80	Izquierda
Tangente	42+008.81	42+079.80		
Curva	42+079.8	42+107.00	80	Derecha
Tangente	42+107.00	42+191.53		
Curva	42+191.53	42+236.31	120	Derecha
Tangente	42+236.31	42+346.66		
Espiral	42+346.66	42+388.66	120	Izquierda
Curva	42+388.66	42+395.08	120	Izquierda
Espiral	42+395.08	42+437.08	120	Izquierda
Tangente	42+437.08	42+620.82		
Curva	42+620.82	42+663.23	120	Derecha
Tangente	42+663.23	42+754.86		
Curva	42+754.86	42+792.82	120	Derecha
Tangente	42+792.82	42+880.24		
Curva	42+880.24	42+902.86	120	Izquierda
Tangente	42+902.86	43+062.60		
Curva	43+062.60	43+139.85	120	Derecha
Tangente	43+139.85	43+230.75		
Curva	43+230.75	43+321.28	100	Derecha
Tangente	43+321.28	43+369.78		
Curva	43+369.78	43+398.77	50	Derecha
Tangente	43+398.77	43+470.10		

Type	Star Station	End Station	Curve Radius	Direction of Curve
Tipo	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Radio de Curvatura (m)	Dirección de la curva
Curva	43+470.1	43+571.41	40	Izquierda
Tangente	43+571.41	43+639.81		
Curva	43+639.81	43+720.45	120	Derecha
Tangente	43+720.45	43+770.26		
Curva	43+770.26	43+834.79	30	Derecha
Tangente	43+834.79	43+877.06		
Curva	43+877.06	43+906.88	50	Izquierda
Tangente	43+906.88	43+976.45		
Curva	43+976.45	44+002.99	50	Izquierda
Tangente	44+002.99	44+130.62		
Curva	44+130.62	44+194.87	73,207	Derecha
Tangente	44+194.87	44+194.87		
Curva	44+194.87	44+264.06	80	Izquierda
Tangente	44+264.06	44+321.85		
Curva	44+321.85	44+345.77	30	Derecha
Tangente	44+345.77	44+407.30		
Curva	44+407.3	44+559.20	90	Izquierda
Tangente	44+559.2	44+748.45		
Curva	44+748.45	44+792.03	50	Derecha
Tangente	44+792.03	44+843.66		
Curva	44+843.66	44+868.00	50	Izquierda
Tangente	44+868.00	45+145.35		
Curva	45+145.35	45+252.49	70	Derecha
Tangente	45+252.49	45+295.01		
Curva	45+295.01	45+338.09	30	Izquierda

Type	Star Station	End Station	Curve Radius	Direction of Curve
Tipo	Abcisa Inicial	Abcisa Final	Radio de Curvatura (m)	Dirección de la curva
Tangente	45+338.09	45+418.46		
Curva	45+418.46	45+459.70	80	Derecha
Tangente	45+459.7	45+501.98		

Fuente: Elaboración Propia, basado en Diseño Geométrico de estudio TESA “Construcción Asfaltado Ruta Timboy – Tentaguazú – Kumandaroti Provincia O’Connor”

Figura 3.1 Alineamiento Horizontal



Fuente: Elaboración propia, IHSDM – view highway

6.2.3.2. Alineamiento Vertical “Vertical Alignment”.

En la Tabla 3.4, se describen los elementos verticales introducidos en el software para realizar la evaluación con el módulo PRM y DCM. La información vertical así como la información horizontal son vitales para poder realizar la evaluación de una forma íntegra, la información incorporada en el software se clasifica así: tipo y abcisa inicial

de VPI o tangente, abscisa final, pendiente entrada y salida y distancia de entrada y salida.

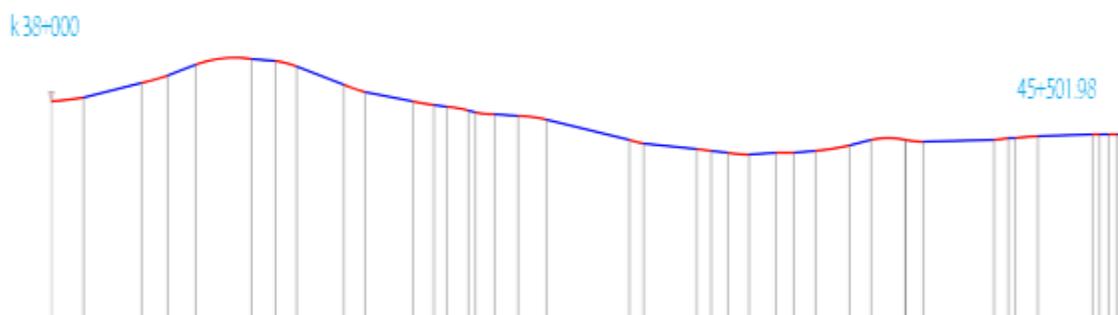
Tabla 3.4 Alineamiento Vertical

Type	VPI start station	end station	Back Grade (%)	Forward grade (%)	Back length (m)	Forward length (m)
Tipo	Abscisa inicial VPI	Abscisa final	Pendiente de entrada (%)	Pendiente de salida (%)	Tangente de entrada	Tangente de salida
VPI	38+055,35		0,80%	8,05%	115,00	115,00
Tangente	38+170,35	38+580,45	8,05%		0,00	0,00
VPI	38+670,45		8,05%	12,00%	90,00	90,00
Tangente	38+760,45	38+966,94	12,00%		0,00	0,00
VPI	39+161,94		12,00%	-4,65%	195,00	195,00
Tangente	39+356,94	39+524,27	-4,65%		0,00	0,00
VPI	39+599,27		-4,65%	-12,00%	75,00	75,00
Tangente	39+674,27	40+011,23	-12,00%		0,00	0,00
VPI	40+086,23		-12,00%	-7,20%	75,00	75,00
Tangente	40+161,23	40+493,44	-7,20%		0,00	0,00
VPI	40+568,44		-7,20%	-2,70%	75,00	75,00
Tangente	40+643,44	40+733,41	-2,70%		0,00	0,00
VPI	40+808,41		-2,70%	-9,00%	75,00	75,00
Tangente	40+883,41	40+932,70	-9,00%		0,00	0,00
VPI	41+002,70		-9,00%	-0,50%	70,00	70,00
Tangente	41+072,70	41+234,52	-0,50%		0,00	0,00
VPI	41+334,52		-0,50%	-8,35%	100,00	100,00
Tangente	41+434,52	42+021,33	-8,35%		0,00	0,00
VPI	42+071,33		-8,35%	-3,35%	50,00	50,00
Tangente	42+121,33	42+494,96	-3,35%		0,00	0,00
VPI	42+544,96		-3,35%	-4,70%	50,00	50,00

Type	VPI start station	end station	Back Grade (%)	Forward grade (%)	Back length (m)	Forward length (m)
Tipo	Abscisa inicial VPI	Abscisa final	Pendiente de entrada (%)	Pendiente de salida (%)	Tangente de entrada	Tangente de salida
Tangente	42+594,96	42+719,01	-4,70%		0,00	0,00
VPI	42+794,01		-4,70%	1,05%	75,00	75,00
Tangente	42+869,01	43+059,75	1,05%		0,00	0,00
VPI	43+119,75		1,05%	3,10%	60,00	60,00
Tangente	43+179,75	43+334,56	3,10%		0,00	0,00
VPI	43+454,56		3,10%	7,35%	120,00	274,81
Tangente	43+574,56	43+723,40	7,35%		0,00	0,00
VPI	43+845,90		7,35%	-6,20%	122,50	122,50
Tangente	43+968,40	43+972,12	-6,20%		0,00	0,00
VPI	44+032,12		-6,20%	0,50%	60,00	60,00
Tangente	44+092,12	44+598,06	0,50%		0,00	0,00
VPI	44+648,06		0,50%	4,00%	50,00	50,00
Tangente	44+698,06	44+746,43	4,00%		0,00	0,00
VPI	44+826,43		4,00%	1,20%	80,00	80,00
Tangente	44+906,43	45+290,49	1,20%		0,00	0,00
VPI	45+315,49		1,20%	0,00%	25,00	25,00
Tangente	45+340,49	45+407,43	0,00%		0,00	0,00
VPI	45+437,43		0,00%	-2,50%	30,00	30,00
Tangente	45+467,43	45+501,98	-2,50%		0,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia, basado en Diseño Geométrico de estudio TESA “Construcción Asfaltado Ruta Timboy – Tentaguazú – Kumandaroti Provincia O’Connor”

Figura 3.2. Alineamiento Vertical



Fuente: Elaboración propia, IHSDM – view highway

6.2.3.3. Sección Transversal de la vía “Road cross section”

✓ Ancho de Carril.

En la Tabla 3.5, se identifican los valores de las secciones transversales incorporados en el software en base a la información obtenida. La información necesaria es: abscisa inicial y final, carril en el que se mide el ancho (pueden ser ambos carriles “Both”, izquierda “Left” o derecha “Right”), prioridad (este ítem hace referencia a la ubicación que tiene el carril con respecto al centro de la vía), ancho inicial y ancho final del carril (hace referencia a la longitud transversal que presenta una sección a través de un tramo) y posibilidad de adelantamiento

Tabla 3.5 Ancho de carril

Start Station	End Station	Side of Road	Priority	Start Width	End Width	Passed prohibited on opposing
Abscisa Inicial	Abscisa Final	Carril en el que se mide	Prioridad	Ancho inicial (m)	Ancho final (m)	Prohibición de adelantamiento
38+000	38+090	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+090	38+120	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+090	38+120	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+120	38+160	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+160	38+190	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+160	38+190	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar

Start Station	End Station	Side of Road	Priority	Start Width	End Width	Passed prohibited on opposing
Abscisa Inicial	Abscisa Final	Carril en el que se mide	Prioridad	Ancho inicial (m)	Ancho final (m)	Prohibición de adelantamiento
38+190	38+280	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+280	38+310	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+280	38+310	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+310	38+350	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+350	38+380	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+350	38+380	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+380	38+420	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+420	38+450	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+420	38+450	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+450	38+520	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+520	38+550	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+520	38+550	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+550	38+610	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+610	38+640	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+610	38+640	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
38+640	38+780	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
38+780	38+790	Derecha	1	3,5	3,62	No Adelantar
38+780	38+790	Izquierda	1	3,5	3,65	No Adelantar
38+790	38+800	Derecha	1	3,62	4	No Adelantar
38+790	38+800	Izquierda	1	3,65	3,8	No Adelantar
38+800	38+810	Derecha	1	4	4,7	No Adelantar
38+800	38+810	Izquierda	1	3,8	4	No Adelantar
38+810	38+820	Derecha	1	4,7	5,4	No Adelantar
38+810	38+820	Izquierda	1	4	4,15	No Adelantar
38+820	38+830	Derecha	1	5,4	5,83	No Adelantar

Start Station	End Station	Side of Road	Priority	Start Width	End Width	Passed prohibited on opposing
Abscisa Inicial	Abscisa Final	Carril en el que se mide	Prioridad	Ancho inicial (m)	Ancho final (m)	Prohibición de adelantamiento
38+820	38+830	Izquierda	1	4,15	4,32	No Adelantar
38+830	38+840	Derecha	1	5,83	6	No Adelantar
38+830	38+840	Izquierda	1	4,32	4,5	No Adelantar
38+840	38+850	Derecha	1	6	6	No Adelantar
38+840	38+850	Izquierda	1	4,5	4,6	No Adelantar
38+850	38+860	Derecha	1	6	6	No Adelantar
38+850	38+860	Izquierda	1	4,6	4,8	No Adelantar
38+860	38+870	Derecha	1	6	6	No Adelantar
38+860	38+870	Izquierda	1	4,8	5	No Adelantar
38+870	38+880	Derecha	1	6	6	Si Adelantar
38+870	38+880	Izquierda	1	5	5,15	No Adelantar
38+880	38+890	Derecha	1	6	6	Si Adelantar
38+880	38+890	Izquierda	1	5,15	5,3	No Adelantar
38+890	38+900	Derecha	1	6	6	Si Adelantar
38+890	38+900	Izquierda	1	5,3	5,5	No Adelantar
38+900	38+910	Derecha	1	6	6	Si Adelantar
38+900	38+910	Izquierda	1	5,5	5,65	Si Adelantar
38+910	38+920	Derecha	1	6	6	Si Adelantar
38+910	38+920	Izquierda	1	5,65	5,8	Si Adelantar
38+920	38+930	Derecha	1	6	6	Si Adelantar
38+920	38+930	Izquierda	1	5,8	6	Si Adelantar
38+930	38+970	Ambos carriles	1	6	6	Si Adelantar
38+970	39+000	Derecha	1	6	6	No Adelantar
38+970	39+000	Izquierda	1	6	6	Si Adelantar
39+000	39+140	Ambos carriles	1	6	6	No Adelantar

Start Station	End Station	Side of Road	Priority	Start Width	End Width	Passed prohibited on opposing
Abscisa Inicial	Abscisa Final	Carril en el que se mide	Prioridad	Ancho inicial (m)	Ancho final (m)	Prohibición de adelantamiento
39+140	39+170	Derecha	1	6	6	Si Adelantar
39+140	39+170	Izquierda	1	6	6	No Adelantar
39+170	39+410	Ambos carriles	1	6	6	Si Adelantar
39+410	39+440	Derecha	1	6	6	No Adelantar
39+410	39+440	Izquierda	1	6	6	Si Adelantar
39+440	39+930	Ambos carriles	1	6	6	No Adelantar
39+930	39+960	Derecha	1	6	6	Si Adelantar
39+930	39+960	Izquierda	1	6	6	No Adelantar
39+960	40+040	Ambos carriles	1	6	6	Si Adelantar
40+040	40+070	Derecha	1	6	6	No Adelantar
40+040	40+070	Izquierda	1	6	6	Si Adelantar
40+070	40+120	Ambos carriles	1	6	6	No Adelantar
40+120	40+140	Derecha	1	6	5,3	No Adelantar
40+120	40+140	Izquierda	1	6	5,8	No Adelantar
40+140	40+150	Derecha	1	5,3	5,05	No Adelantar
40+140	40+150	Izquierda	1	5,8	5,3	No Adelantar
40+150	40+160	Derecha	1	5,05	4,8	Si Adelantar
40+150	40+160	Izquierda	1	5,3	4,4	No Adelantar
40+160	40+170	Derecha	1	4,8	4,6	Si Adelantar
40+160	40+170	Izquierda	1	4,4	3,7	No Adelantar
40+170	40+180	Derecha	1	4,6	4,4	Si Adelantar
40+170	40+180	Izquierda	1	3,7	3,5	No Adelantar
40+180	40+190	Derecha	1	4,4	4,15	Si Adelantar
40+180	40+190	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+190	40+200	Derecha	1	4,15	3,9	Si Adelantar

Start Station	End Station	Side of Road	Priority	Start Width	End Width	Passed prohibited on opposing
Abscisa Inicial	Abscisa Final	Carril en el que se mide	Prioridad	Ancho inicial (m)	Ancho final (m)	Prohibición de adelantamiento
40+190	40+200	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+200	40+210	Derecha	1	3,9	3,7	Si Adelantar
40+200	40+210	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+210	40+220	Derecha	1	3,7	3,5	Si Adelantar
40+210	40+220	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+220	40+260	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+260	40+290	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
40+260	40+290	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+290	40+310	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
40+310	40+340	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+310	40+340	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
40+340	40+470	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+470	40+500	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
40+470	40+500	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+500	40+560	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
40+560	40+590	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+560	40+590	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
40+590	40+800	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+800	40+830	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
40+800	40+830	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+830	40+990	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
40+990	41+020	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
40+990	41+020	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
41+020	41+340	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
41+340	41+370	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar

Start Station	End Station	Side of Road	Priority	Start Width	End Width	Passed prohibited on opposing
Abscisa Inicial	Abscisa Final	Carril en el que se mide	Prioridad	Ancho inicial (m)	Ancho final (m)	Prohibición de adelantamiento
41+340	41+370	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
41+370	41+650	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
41+650	41+680	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
41+650	41+680	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
41+680	41+730	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
41+730	41+760	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
41+730	41+760	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
41+760	42+230	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
42+230	42+260	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
42+230	42+260	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
42+260	42+320	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
42+320	42+350	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
42+320	42+350	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
42+350	42+440	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
42+440	42+470	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
42+440	42+470	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
42+470	42+590	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
42+590	42+620	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
42+590	42+620	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
42+620	42+900	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
42+900	42+930	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
42+900	42+930	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
42+930	43+030	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
43+030	43+060	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
43+030	43+060	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar

Start Station	End Station	Side of Road	Priority	Start Width	End Width	Passed prohibited on opposing
Abscisa Inicial	Abscisa Final	Carril en el que se mide	Prioridad	Ancho inicial (m)	Ancho final (m)	Prohibición de adelantamiento
43+060	44+000	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
44+000	44+030	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
44+000	44+030	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
44+030	44+100	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
44+100	44+130	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
44+100	44+130	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
44+130	44+560	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
44+560	44+590	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
44+560	44+590	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
44+590	44+720	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
44+720	44+750	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
44+720	44+750	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
44+750	44+870	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar
44+870	44+900	Derecha	1	3,5	3,5	Si Adelantar
44+870	44+900	Izquierda	1	3,5	3,5	No Adelantar
44+900	45+110	Ambos carriles	1	3,5	3,5	Si Adelantar
45+110	45+140	Derecha	1	3,5	3,5	No Adelantar
45+110	45+140	Izquierda	1	3,5	3,5	Si Adelantar
45+140	45+501.981	Ambos carriles	1	3,5	3,5	No Adelantar

Fuente: Elaboración Propia, basado en Diseño Geométrico de estudio TESA “Construcción Asfaltado Ruta Timboy – Tentaguazú – Kumandaroti Provincia O’Connor”

✓ **Sección Transversal.**

El parámetro referenciado en este apartado es la tabla de peraltado y bombeo presentes en la vía, se aprecia que el peralte máximo en curva es del 8% y bombeo normal del 2% en tangente. La tabla de peraltado es consistente al perfil horizontal de la vía. Los parámetros se referencian en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Sección transversal

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
38+000	Ambos carriles	-2	41+742	Derecha	-2
38+080	Ambos carriles	-2	41+742	Izquierda	2
38+092	Derecha	0	41+767	Derecha	-7
38+092	Izquierda	-2	41+767	Izquierda	7
38+103	Derecha	2	41+822	Derecha	-7
38+103	Izquierda	-2	41+822	Izquierda	7
38+133	Derecha	7	41+847	Derecha	-2
38+133	Izquierda	-7	41+847	Izquierda	2
38+151	Derecha	7	41+857	Derecha	-2
38+151	Izquierda	-7	41+857	Izquierda	0
38+180	Derecha	2	41+867	Ambos carriles	-2
38+180	Izquierda	-2	41+872	Ambos carriles	-2
38+192	Derecha	0	41+882	Derecha	0
38+192	Izquierda	-2	41+882	Izquierda	-2
38+204	Ambos carriles	-2	41+892	Derecha	2
38+268	Ambos carriles	-2	41+892	Izquierda	-2
38+280	Derecha	-2	41+917	Derecha	7
38+280	Izquierda	0	41+917	Izquierda	-7
38+292	Derecha	-2	41+998	Derecha	7
38+292	Izquierda	2	41+998	Izquierda	-7

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
38+321	Derecha	-7	42+023	Derecha	2
38+321	Izquierda	7	42+023	Izquierda	-2
38+341	Derecha	-7	42+033	Derecha	0
38+341	Izquierda	7	42+033	Izquierda	-2
38+370	Derecha	-2	42+043	Ambos carriles	-2
38+370	Izquierda	2	42+045	Ambos carriles	-2
38+382	Derecha	-2	42+055	Derecha	-2
38+382	Izquierda	0	42+055	Izquierda	0
38+393	Ambos carriles	-2	42+065	Derecha	-2
38+403	Ambos carriles	-2	42+065	Izquierda	2
38+415	Derecha	-2	42+090	Derecha	-7
38+415	Izquierda	0	42+090	Izquierda	7
38+426	Derecha	-2	42+097	Derecha	-7
38+426	Izquierda	2	42+097	Izquierda	7
38+456	Derecha	-7	42+122	Derecha	-2
38+456	Izquierda	7	42+122	Izquierda	2
38+508	Derecha	-7	42+132	Derecha	-2
38+508	Izquierda	7	42+132	Izquierda	0
38+537	Derecha	-2	42+142	Ambos carriles	-2
38+537	Izquierda	2	42+157	Ambos carriles	-2
38+549	Derecha	-2	42+167	Derecha	-2
38+549	Izquierda	0	42+167	Izquierda	0
38+561	Ambos carriles	-2	42+177	Derecha	-2
38+599	Ambos carriles	-2	42+177	Izquierda	2
38+609	Derecha	0	42+202	Derecha	-7

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
38+609	Izquierda	-2	42+202	Izquierda	7
38+619	Derecha	2	42+226	Derecha	-7
38+619	Izquierda	-2	42+226	Izquierda	7
38+644	Derecha	7	42+251	Derecha	-2
38+644	Izquierda	-7	42+251	Izquierda	2
38+740	Derecha	7	42+261	Derecha	-2
38+740	Izquierda	-7	42+261	Izquierda	0
38+765	Derecha	2	42+271	Ambos carriles	-2
38+765	Izquierda	-2	42+344	Ambos carriles	-2
38+775	Derecha	0	42+354	Derecha	0
38+775	Izquierda	-2	42+354	Izquierda	-2
38+785	Ambos carriles	-2	42+364	Derecha	2
38+810	Ambos carriles	-2	42+364	Izquierda	-2
38+820	Derecha	-2	42+389	Derecha	7
38+820	Izquierda	0	42+389	Izquierda	-7
38+830	Derecha	-2	42+395	Derecha	7
38+830	Izquierda	2	42+395	Izquierda	-7
38+855	Derecha	-7	42+420	Derecha	2
38+855	Izquierda	7	42+420	Izquierda	-2
38+880	Derecha	-2	42+430	Derecha	0
38+880	Izquierda	2	42+430	Izquierda	-2
38+890	Derecha	-2	42+440	Ambos carriles	-2
38+890	Izquierda	0	42+586	Ambos carriles	-2
38+900	Ambos carriles	-2	42+596	Derecha	-2
38+989	Ambos carriles	-2	42+596	Izquierda	0

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
38+999	Derecha	-2	42+606	Derecha	-2
38+999	Izquierda	0	42+606	Izquierda	2
39+009	Derecha	-2	42+631	Derecha	-7
39+009	Izquierda	2	42+631	Izquierda	7
39+034	Derecha	-7	42+653	Derecha	-7
39+034	Izquierda	7	42+653	Izquierda	7
39+103	Derecha	-7	42+678	Derecha	-2
39+103	Izquierda	7	42+678	Izquierda	2
39+128	Derecha	-2	42+688	Derecha	-2
39+128	Izquierda	2	42+688	Izquierda	0
39+138	Derecha	-2	42+698	Ambos carriles	-2
39+138	Izquierda	0	42+720	Ambos carriles	-2
39+148	Ambos carriles	-2	42+730	Derecha	-2
39+297	Ambos carriles	-2	42+730	Izquierda	0
39+307	Derecha	0	42+740	Derecha	-2
39+307	Izquierda	-2	42+740	Izquierda	2
39+317	Derecha	2	42+765	Derecha	-7
39+317	Izquierda	-2	42+765	Izquierda	7
39+341	Derecha	7	42+782	Derecha	-7
39+341	Izquierda	-7	42+782	Izquierda	7
39+342	Derecha	7	42+807	Derecha	-2
39+342	Izquierda	-7	42+807	Izquierda	2
39+351	Derecha	7	42+817	Derecha	-2
39+351	Izquierda	-7	42+817	Izquierda	0
39+366	Derecha	2	42+827	Ambos carriles	-2

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
39+366	Izquierda	-2	42+846	Ambos carriles	-2
39+376	Derecha	0	42+856	Derecha	0
39+376	Izquierda	-2	42+856	Izquierda	-2
39+386	Ambos carriles	-2	42+866	Derecha	2
39+440	Ambos carriles	-2	42+866	Izquierda	-2
39+450	Derecha	0	42+891	Derecha	7
39+450	Izquierda	-2	42+891	Izquierda	-7
39+460	Derecha	2	42+892	Derecha	7
39+460	Izquierda	-2	42+892	Izquierda	-7
39+485	Derecha	7	42+917	Derecha	2
39+485	Izquierda	-7	42+917	Izquierda	-2
39+497	Derecha	7	42+927	Derecha	0
39+497	Izquierda	-7	42+927	Izquierda	-2
39+549	Derecha	-7	42+937	Ambos carriles	-2
39+549	Izquierda	7	43+028	Ambos carriles	-2
39+629	Derecha	-7	43+038	Derecha	-2
39+629	Izquierda	7	43+038	Izquierda	0
39+704	Derecha	-7	43+048	Derecha	-2
39+774	Izquierda	7	43+048	Izquierda	2
39+795	Derecha	7	43+073	Derecha	-7
39+795	Izquierda	-7	43+073	Izquierda	7
39+917	Derecha	7	43+129	Derecha	-7
39+917	Izquierda	-7	43+129	Izquierda	7
39+942	Derecha	2	43+154	Derecha	-2
39+942	Izquierda	-2	43+154	Izquierda	2

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
39+952	Derecha	0	43+164	Derecha	-2
39+952	Izquierda	-2	43+164	Izquierda	0
39+962	Ambos carriles	-2	43+174	Ambos carriles	-2
40+059	Ambos carriles	-2	43+196	Ambos carriles	-2
40+069	Derecha	-2	43+206	Derecha	-2
40+069	Izquierda	0	43+206	Izquierda	0
40+079	Derecha	-2	43+216	Derecha	-2
40+079	Izquierda	2	43+216	Izquierda	2
40+104	Derecha	-7	43+241	Derecha	-7
40+104	Izquierda	7	43+241	Izquierda	7
40+109	Derecha	-7	43+311	Derecha	-7
40+109	Izquierda	7	43+311	Izquierda	7
40+134	Derecha	-2	43+380	Derecha	-7
40+134	Izquierda	2	43+380	Izquierda	7
40+144	Derecha	-2	43+388	Derecha	-7
40+144	Izquierda	0	43+388	Izquierda	7
40+154	Ambos carriles	-2	43+481	Derecha	7
40+250	Ambos carriles	-2	43+481	Izquierda	-7
40+262	Derecha	-2	43+561	Derecha	7
40+262	Izquierda	0	43+561	Izquierda	-7
40+273	Derecha	-2	43+586	Derecha	2
40+273	Izquierda	2	43+586	Izquierda	-2
40+300	Derecha	-7	43+596	Derecha	0
40+300	Izquierda	7	43+596	Izquierda	-2
40+303	Derecha	-7	43+606	Ambos carriles	-2

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
40+303	Izquierda	7	43+615	Derecha	-2
40+329	Derecha	-2	43+615	Izquierda	0
40+329	Izquierda	2	43+625	Derecha	-2
40+341	Derecha	-2	43+625	Izquierda	2
40+341	Izquierda	0	43+650	Derecha	-7
40+353	Ambos carriles	-2	43+650	Izquierda	7
40+462	Ambos carriles	-2	43+710	Derecha	-7
40+473	Derecha	0	43+710	Izquierda	7
40+473	Izquierda	-2	43+781	Derecha	-7
40+485	Derecha	2	43+781	Izquierda	7
40+485	Izquierda	-2	43+824	Derecha	-7
40+514	Derecha	7	43+824	Izquierda	7
40+514	Izquierda	-7	43+888	Derecha	7
40+540	Derecha	7	43+888	Izquierda	-7
40+540	Izquierda	-7	43+896	Derecha	7
40+569	Derecha	2	43+896	Izquierda	-7
40+569	Izquierda	-2	43+987	Derecha	7
40+581	Derecha	0	43+987	Izquierda	-7
40+581	Izquierda	-2	43+992	Derecha	7
40+593	Ambos carriles	-2	43+992	Izquierda	-7
40+792	Ambos carriles	-2	44+017	Derecha	2
40+804	Derecha	0	44+017	Izquierda	-2
40+804	Izquierda	-2	44+027	Derecha	0
40+815	Derecha	2	44+027	Izquierda	-2
40+815	Izquierda	-2	44+037	Ambos carriles	-2

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
40+845	Derecha	7	44+096	Ambos carriles	-2
40+845	Izquierda	-7	44+106	Derecha	-2
40+866	Derecha	7	44+106	Izquierda	0
40+866	Izquierda	-7	44+116	Derecha	-2
40+895	Derecha	2	44+116	Izquierda	2
40+895	Izquierda	-2	44+141	Derecha	-7
40+907	Derecha	0	44+141	Izquierda	7
40+907	Izquierda	-2	44+184	Derecha	-7
40+918	Ambos carriles	-2	44+184	Izquierda	7
40+926	Ambos carriles	-2	44+205	Derecha	7
40+938	Derecha	-2	44+205	Izquierda	-7
40+938	Izquierda	0	44+254	Derecha	7
40+950	Derecha	-2	44+254	Izquierda	-7
40+950	Izquierda	2	44+332	Derecha	-7
40+974	Derecha	-7	44+332	Izquierda	7
40+974	Izquierda	7	44+335	Derecha	-7
40+979	Derecha	-7	44+335	Izquierda	7
40+979	Izquierda	7	44+418	Derecha	7
41+003	Derecha	-2	44+418	Izquierda	-7
41+003	Izquierda	2	44+549	Derecha	7
41+015	Derecha	-2	44+549	Izquierda	-7
41+015	Izquierda	0	44+574	Derecha	2
41+026	Ambos carriles	-2	44+574	Izquierda	-2
41+100	Ambos carriles	-2	44+584	Derecha	0
41+137	Ambos carriles	-2	44+584	Izquierda	-2

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
41+147	Derecha	-2	44+594	Ambos carriles	-2
41+147	Izquierda	0	44+714	Ambos carriles	-2
41+157	Derecha	-2	44+724	Derecha	-2
41+157	Izquierda	2	44+724	Izquierda	0
41+174	Derecha	-7	44+734	Derecha	-2
41+174	Izquierda	7	44+734	Izquierda	2
41+182	Derecha	-7	44+759	Derecha	-7
41+182	Izquierda	7	44+759	Izquierda	7
41+199	Derecha	-2	44+782	Derecha	-7
41+199	Izquierda	2	44+782	Izquierda	7
41+209	Derecha	-2	44+854	Derecha	7
41+209	Izquierda	0	44+854	Izquierda	-7
41+219	Ambos carriles	-2	44+858	Derecha	7
41+368	Ambos carriles	-2	44+858	Izquierda	-7
41+378	Derecha	-2	44+883	Derecha	2
41+378	Izquierda	0	44+883	Izquierda	-2
41+388	Derecha	-2	44+893	Derecha	0
41+388	Izquierda	2	44+893	Izquierda	-2
41+413	Derecha	-7	44+903	Ambos carriles	-2
41+413	Izquierda	7	45+111	Ambos carriles	-2
41+424	Derecha	-7	45+121	Derecha	-2
41+424	Izquierda	7	45+121	Izquierda	0
41+477	Derecha	7	45+131	Derecha	-2
41+477	Izquierda	-7	45+131	Izquierda	2
41+532	Derecha	7	45+156	Derecha	-7

Station	Side of Road	Cross slope	Station	Side of Road	Cross slope
Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal	Prog.	Lado de la calzada	Pendiente transversal
41+532	Izquierda	-7	45+156	Izquierda	7
41+557	Derecha	2	45+242	Derecha	-7
41+557	Izquierda	-2	45+242	Izquierda	7
41+567	Derecha	0	45+267	Derecha	-2
41+567	Izquierda	-2	45+267	Izquierda	2
41+577	Ambos carriles	-2	45+277	Derecha	-2
41+585	Ambos carriles	-2	45+277	Izquierda	0
41+595	Derecha	0	45+287	Ambos carriles	-2
41+595	Izquierda	-2	45+261	Ambos carriles	-2
41+605	Derecha	2	45+271	Derecha	0
41+605	Izquierda	-2	45+271	Izquierda	-2
41+630	Derecha	7	45+281	Derecha	2
41+630	Izquierda	-7	45+281	Izquierda	-2
41+639	Derecha	7	45+306	Derecha	7
41+639	Izquierda	-7	45+306	Izquierda	-7
41+664	Derecha	2	45+328	Derecha	7
41+664	Izquierda	-2	45+328	Izquierda	-7
41+674	Derecha	0	45+353	Derecha	2
41+674	Izquierda	-2	45+353	Izquierda	-2
41+684	Ambos carriles	-2	45+363	Derecha	0
41+722	Ambos carriles	-2	45+363	Izquierda	-2
41+732	Derecha	-2	45+373	Ambos carriles	-2
41+732	Izquierda	0	45+501.98	Ambos carriles	-2

Fuente: Elaboración Propia, basado en Diseño Geométrico de estudio TESA “Construcción Asfaltado Ruta Timboy – Tentaguazú – Kumandaroti Provincia O’Connor”

6.3. ANÁLISIS DE LAS SALIDAS DEL MÓDULO DCM “REPORTE DE EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA DE DISEÑO”

6.3.1. Percentil 85 de velocidades “V85 speed profile coordinates”

La Tabla 3.7 da una idea de los parámetros establecidos en este reporte (ver Anexos 2.1 y 2.4), aquí el software realiza un análisis en donde se determina el percentil 85 de velocidades en los diferentes segmentos de la vía, los cuales pueden ser curvas o tangentes, este análisis el software lo realiza en ambos sentidos.

Tabla 3.7. Percentil 85 de velocidades, sentido Tentaguazú – Timboy

Station	Segment Type	V85 Speed (km/h)
Progresivas	Tipo de Segmento	Percentil 85 de velocidades (km/h)
38+113.743	No Curva	67
38+120.450	Curva	65
38+163.120	No Curva	65
38+184.987	Non-Curve	68
38+299.134	Non-Curve	68
38+308.580	Curve	65
38+352.870	Non-Curve	65
38+364.111	Non-Curve	66
38+443.370	Curve	66

Fuente: Elaboración Propia

Igualmente, el software establece la relación entre la velocidad de operación con respecto a la velocidad de diseño estimada en los puntos donde existen cambios en dicha velocidad, como se muestra en la Tabla 3.8 (ver Anexo 2.2 y 2.5), con los valores obtenidos en la Tabla 3.8 el software grafica el perfil de velocidades.

Tabla 3.8 Diferencia entre velocidad de operación y velocidad de diseño

From Station	To Station	Min (km/h)	Max (km/h)	Condition
Prog. Inicial	Prog. Final	Mínimo valor de ΔV (km/h)	Máximo valor de ΔV (km/h)	Condición
38+000.000	38+016.869	-2	0	4
38+016.869	39+676.603	0	10	1
39+676.603	39+943.830	-4	0	4
39+943.830	40+575.798	0	10	1
40+575.798	40+819.420	10	11	2
40+819.420	43+358.009	0	10	1
43+358.009	43+425.295	-3	0	4
43+425.295	43+446.260	0	2	1
43+446.260	43+609.846	-7	0	4
43+609.846	43+734.997	0	5	1

Fuente: Elaboración Propia

Condición 1: $0 \text{ km/h} \leq (V_{85} - V_{\text{design}}) \leq 10 \text{ km/h}$

Condición 2: $10 \text{ km/h} < (V_{85} - V_{\text{design}}) \leq 20 \text{ km/h}$

Condición 3: $20 \text{ km/h} < (V_{85} - V_{\text{design}})$

Condición 4: $(V_{85} - V_{\text{design}}) < 0 \text{ km/h}$

donde:

V_{85} : Percentil 85 de velocidad de operación

V_{design} : Velocidad de diseño

6.3.2. Diferencia de Velocidades en Elementos Adyacentes “Speed differential of adjacent design elements”.

El reporte relaciona la diferencia de velocidades de elementos consecutivos tangente – curva – tangente. De acuerdo a la Tabla 3.9 donde se muestran las condiciones y parámetros relacionados a este ítem; se establecen las siguientes condiciones:

Tabla 3.9. Diferencia de velocidades entre elementos consecutivos.

Station of Max Speed on Preceding Element	Max Speed on Preceding Element (km/h)	Start of Curve	Speed on Curve (km/h)	Speed Differential (km/h)	Condition
Progresiva de máxima velocidad en el elemento precedente	Máxima Velocidad en el elemento precedente (km/h)	Principio de la curva	Velocidad en la curva (km/h)	Diferencia de Velocidades (km/h)	Condición
45+468.974	54	45+459.700	56	-1	1
45+393.460	63	45+338.090	47	16	2
45+338.090	47	45+252.490	58	-10	1
45+023.624	71	44+868.000	57	14	2
44+807.606	61	44+792.030	57	4	1

Fuente: Elaboración Propia

Condición 1: $0 \text{ km/h} (V_{85Tangente} - V_{85Curva}) \leq 10 \text{ km/h}$

Condición 2: $10 \text{ km/h} < (V_{85Tangente} - V_{85Curva}) \leq 20 \text{ km/h}$

Condición 3: $20 \text{ km/h} < (V_{85Tangente} - V_{85Curva})$

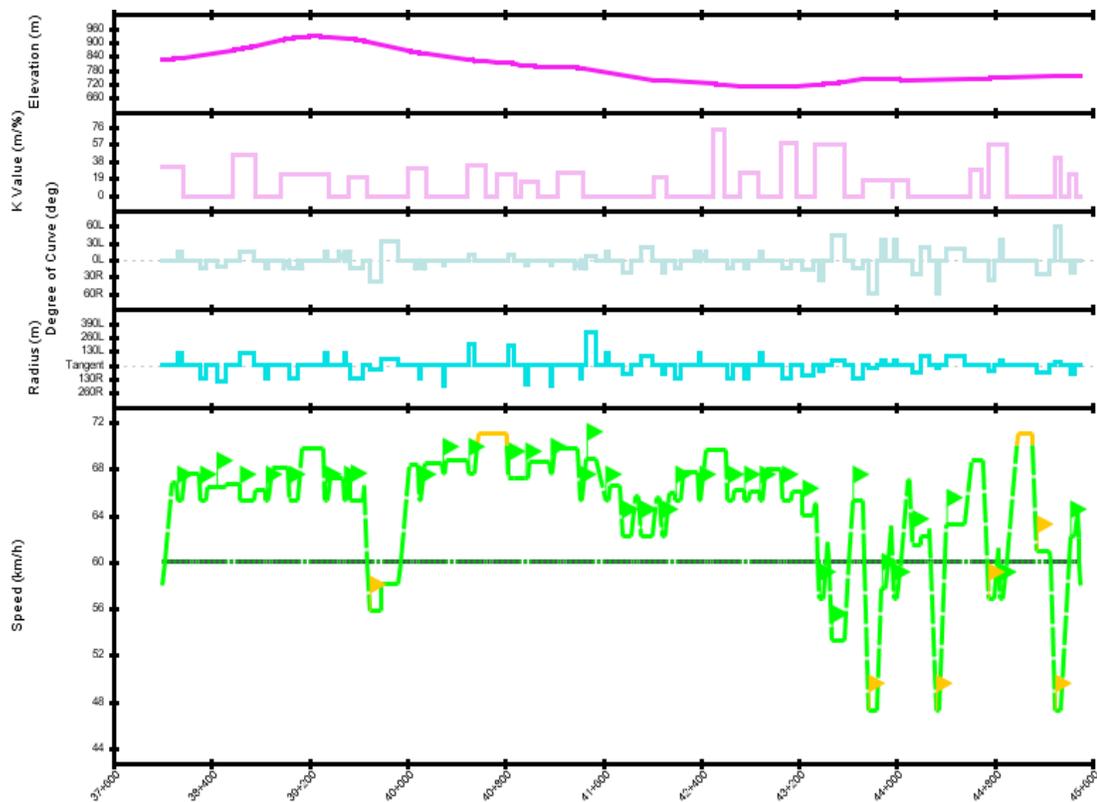
Donde:

$V_{85Tangente}$: Estimación del percentil 85 de las velocidades de operación en Tangente.

$V_{85 curva}$: Estimación del percentil 85 de las velocidades de operación en secciones adyacentes a las curvas.

Para el caso de estudio en el sentido Tentaguazú - Timboy (Anexo 2.3), se estableció que en las curvas presentes en las progresivas (K39+693.160, K43+770.260, K44+321.850, K44+748.450, K45+145.350, K45+295.010) se referenciaron con condición 2, en donde la diferencia de estas velocidades de operación es 11, 13, 16, 12, 10 y 13 km/h respectivamente, debido a los radios de curvatura que presentan estas curvas y esta condición ocasiona que los vehículos reduzcan de forma considerable su velocidad. El resto de secciones no reducen su velocidad de operación en más 10 km/h.

Figura 3.3. Resultado de la evaluación con el módulo DCM, sentido Tentaguazú – Timboy



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3.3, se observa el resultado de la evaluación de consistencia de diseño para el tramo de estudio en el sentido Tentaguazú - Timboy, en el cual se establecen 6 puntos con condición 2, es decir puntos donde la consistencia es regular, las banderas que se observan en esta figura señalan los puntos donde se debe presentar una desaceleración

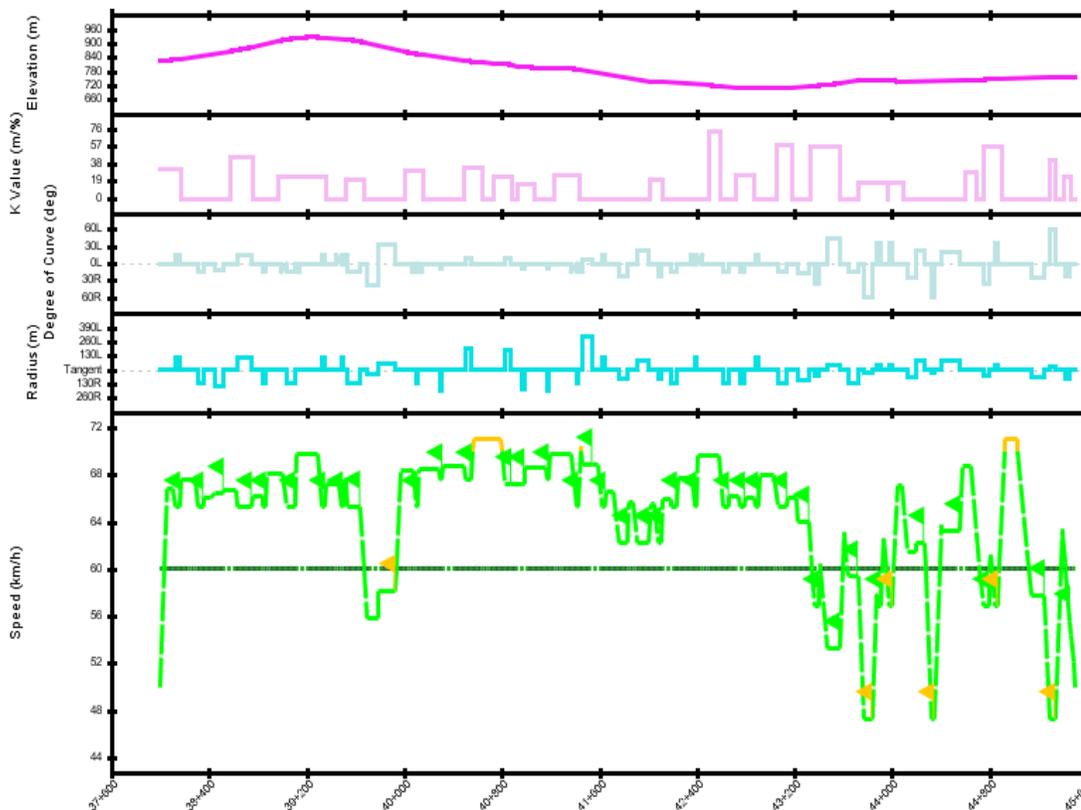
para entrar a una curva sin peligro, el color de la bandera indica la importancia de la disminución de la velocidad.

No obstante el software determina la variación de velocidades en segmentos adyacentes y muestra las condiciones operativas de elementos consecutivos, clasificándolos así: la bandera amarilla indica que existe una disminución de velocidad entre los 10 km/h y 20 km/h, y las banderas verdes indican que la disminución de velocidad para estos puntos no excede los 10 km/h, lo que se puede contrastar con el Anexo 2.3 donde se muestra la condición para cada uno de los elementos de la vía.

De la misma forma para el sentido Timboy - Tentaguazú (Anexo 2.6) se observó que las progresivas (K45+338.090, K44+868.000, K44+345.770, K44+002.990, K43+834.790, K39+927.320) se referencian con condición 2 debido a que la diferencia entre la máxima velocidad estimada en curva y la velocidad de operación estimada es de 16, 14, 16, 10, 11, 10 km/h respectivamente.

En la figura 3.4, se observa el resultado de la evaluación de consistencia de diseño para el tramo de estudio en el sentido Timboy - Tentaguazú, en el cual se establecen 6 puntos con condición 2, es decir puntos donde la consistencia es regular, presentando el mismo número de inconsistencias en el diseño que en el sentido Tentaguazú - Timboy, debido a que la percepción de las distancias de entrada y salida de las curvas es distinta en cada sentido.

Figura 3.4. Resultado de la evaluación con el módulo DCM, sentido Timboy -
Tentaguazú



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en los anteriores gráficos la consistencia de la carretera en su mayor parte es buena, presentando sólo pocos sectores con consistencia regular, donde se deben tomar medidas adecuadas para mejorar la consistencia y seguridad de la misma, estas medidas pueden ser diversas.

6.4. ANÁLISIS DE LAS SALIDAS DEL MÓDULO PRM “REPORTE DE EVALUACIÓN DE LA REVISIÓN DE LA POLÍTICA”

6.4.1. Ancho de Calzada “Traveled way width”.

En esta tabla se realiza la comparación del ancho de la calzada en cada punto con la que debería tener según la norma (ver Anexo 3.1). Esta comparación se realiza en función de elementos como velocidad, clasificación de la carretera, tipo de terreno, volumen de tráfico y radio. La Tabla 3.10 nos permite apreciar las clasificaciones de algunos puntos y los parámetros que en ella intervienen.

Tabla 3.10 Ancho de calzada y sobre ancho en curvas

Start Location	End Location	Road TWW (m)	Road Widening (m)	Policy TWW (m)	Policy Widening (m)	Curve Radius (m)	Speed (km/h)	Terrain	Functional Class	AADT (vpd)
Prog. inicial	Prog. final	Ancho de calzada	Sobre ancho de calzada	Ancho de calzada según Norma	Sobre ancho de calzada	Radio de Curva (m)	Velocidad	Terreno	Clasificación Funcional	TPDA
39+538.77 0	39+639.2 00	12.00	1.40	6.00	0.90	121.89	60	Ondulado	Local	83
39+639.20 0	39+693.1 60	12.00		6.00			60	Ondulado	Local	83
39+693.16 0	39+784.6 50	12.00	2.80	6.00	2.00	46.53	60	Ondulado	Local	83
39+784.65 0	39+927.3 20	12.00	2.80	6.00	1.80	55.00	60	Ondulado	Local	83
39+927.32 0	40+061.5 60	12.00		6.00			60	Ondulado	Local	83
40+061.56 0	40+150.6 80	12.00	0.00	6.00	0.90	120.00	60	Ondulado	Local	83
40+150.68 0	40+290.4 00	11.10		6.00			60	Ondulado	Local	83
40+290.40 0	40+312 230	7.00	0.90	6.00	0.60	200.00	60	Ondulado	Local	83
40+312 230	40+502.0 40	7.00		6.00			60	Ondulado	Local	83
40+502.04 0	40+552.2 60	7.00	0.90	6.00	0.60	200.00	60	Ondulado	Local	83
40+552.26 0	40+832.2 40	7.00		6.00			60	Ondulado	Local	83
40+832.24 0	40+877.8 40	7.00	0.90	6.00	0.65	180.00	60	Ondulado	Local	83

Fuente: Elaboración Propia

Analizando la Tabla anterior, se pueden definir las siguientes clasificaciones:

- ✓ Color blanco: “Road value is within controlling criteria” Valores de la carretera están dentro de los criterios de control
- ✓ Color rojo: “Road value varies from controlling criteria” Valores de la carretera varían según criterios de control

Las filas con rojo hacen referencia a tramos de la vía donde no cumple con los criterios establecidos en la normativa de la ABC, ya sea por el ancho de la vía, sobrecancho

mínimo en curvas horizontales o por radios mínimos establecidos para la velocidad de proyecto.

En la tabla que se muestra en el Anexo 3.1 se observa que todos los puntos de la vía cumplen con el criterio de ancho de calzada, porque es mayor al recomendado por la normativa, asimismo se puede observar que hay tramos en el que el ancho llega hasta 12 m, debido a que en el estudio TESA se establece que se presenta carriles auxiliares entre las progresivas 38+991.630 - 40+150.680 y presentando unas transiciones tanto de entrada como de salida.

Las curvas correspondientes a las progresivas 38+844.990 a 38+865.400, 40+061.560 a 40+150.680, 41+466.430 a 41+542.110, 45+418.460 a 45+459.700, no presentan ningún sobreancho.

Asimismo se puede apreciar que en las curvas mostradas en las Tabla 3.11 sus radios de curvatura se encuentran por debajo del radio mínimo establecido por la normativa de la ABC , que es de 120 m para la velocidad de 60 km/h.

Tabla 3.11 Curvas con radios menores a 120 m

Elemento	Prog. Inicio	Prog. Final	Elemento	Prog. Inicio	Prog. Final
Curva	39+693.160	39+784.650	Curva	43+976.450	44+002.990
Curva	39+784.650	39+927.320	Curva	44+130.620	44+194.870
Curva	41+756.190	41+832.970	Curva	44+194.870	44+264.060
Curva	41+906.540	42+008.810	Curva	44+321.850	44+345.770
Curva	42+079.800	42+107.000	Curva	44+407.300	44+559.200
Curva	43+230.750	43+321.280	Curva	44+748.450	44+792.030
Curva	43+369.780	43+398.770	Curva	44+843.660	44+868.000
Curva	43+470.100	43+571.410	Curva	45+145.350	45+252.490
Curva	43+770.260	43+834.790	Curva	45+295.010	45+338.090
Curva	43+877.060	43+906.880	Curva	45+418.460	45+459.700

Fuente: Elaboración propia

6.4.2. Ancho de Berma “Shoulder width”.

En la Tabla 3.12 se realiza la comparación del ancho de la berma en cada punto con el ancho que debería tener según la norma (ver Anexo 3.2). Esta comparación se realiza en función de elementos como velocidad, clasificación de la carretera, tipo de terreno, volumen de tráfico y material de la berma.

Tabla 3.12 Ancho de berma

Start Location	End Location	Side of Road	Shoulder Width (m)	Policy Width (m)	Shoulder Material	Bicycle Facility	Functional Class	Speed km/h	AADT (vpd)	Terrain
Prog. inicial	Prog. final	Carril en el que se mide	Ancho de berma	Ancho de berma según Norma	Material de la Berma	Ciclovia	Clasificación funcional	Velocidad	TPDA	Terreno
38+000.000	38+785.280	Izquierda	1.00	1.00	Pavimento	No	Local	60	83	Ondulado
38+785.280	38+790.000	Izquierda	1.00	1.00	Pavimento	No	Local	60	83	Ondulado
38+790.000	38+800.000	Izquierda	1.00	1.00	Pavimento	No	Local	60	83	Ondulado
38+800.000	38+810.000	Izquierda	1.00	1.00	Pavimento	No	Local	60	83	Ondulado
38+810.000	38+820.490	Izquierda	1.00	1.00	Pavimento	No	Local	60	83	Ondulado

Fuente: Elaboración Propia

Con base en la tabla anterior, se pueden definir las siguientes clasificaciones:

- ✓ Color blanco: “Road value varies is within controlling criteria” Valores de la carretera están dentro de los criterios de control.

En la Tabla 3.12 se puede observar que todos los puntos de la vía en estudio cumplen con el parámetro establecido por la normativa de la ABC que es de 1m de ancho de berma para un camino local.

6.4.3. Radio de Curvatura “Radius of Curve”.

Aquí se compara el radio de curvatura con el radio mínimo exigido por la norma preestablecida. Las clasificaciones que se muestran en el Anexo 3.3 correspondiente a este parámetro, se resumen en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Radios de Curvatura

Start Location	End Location	Road Radius (m)	Policy Radius (m)	Effective Design Speed (km/h)	Speed (km/h)	Functional Class	Surface Type
Prog. Inicial	Prog. Final	Radio	Radio según norma	Velocidad efectiva de diseño	Velocidad	Clasificación Funcional	Tipo de superficie
38+633.600	38+750.780	120.00	120.00	59.90	60	Local	Pavimento
38+844.990	38+865.400	120.00	120.00	59.90	60	Local	Pavimento
38+991.630	39+145.170	120.00	120.00	59.90	60	Local	Pavimento
39+331.460	39+351.230	120.00	120.00	59.90	60	Local	Pavimento
39+442.670	39+538.770	120.00	120.00	59.90	60	Local	Pavimento
39+538.770	39+639.200	121.89	120.00	60.00	60	Local	Pavimento
39+693.160	39+784.650	46.53	120.00	39.75	60	Local	Pavimento
39+784.650	39+927.320	55.00	120.00	42.85	60	Local	Pavimento
40+061.560	40+150.680	120.00	120.00	59.90	60	Local	Pavimento

Fuente: Elaboración Propia

En base en la tabla anterior se pueden definir las siguientes clasificaciones:

- ✓ Color blanco: “Road value is within controlling criteria” Los valores de la carretera están dentro de los criterios de control.
- ✓ Color rojo: “Road value varies from controlling criteria” Valores de la carretera varían según criterios de control.

Las filas con color rojo hacen referencia aquellas curvas en las que el radio de curvatura es menor al radio mínimo establecido por la normativa de la ABC para la velocidad de

diseño de 60 km/h, estas curvas pueden generar inseguridad y/o incomodidad en la operación de la vía, por lo cual es necesario tomar medidas preventivas como señalización o mejoras en el trazo en estas abscisas, las progresivas de dichas curvas se muestran en la Tabla 3.11 mencionada en el numeral 3.5.1 Ancho de calzada.

6.4.4. Pendiente Longitudinal “Tangent grade”.

En esta tabla se realiza la comparación de la pendiente longitudinal de la vía con la establecida por la normativa de la ABC (ver Anexo 3.4), esta comparación está en función de parámetros como clasificación, velocidad, tipo de terreno y volumen de tráfico, la Tabla 3.14 presenta un resumen de lo expuesto en el Anexo 3.4.

Tabla 3.14 Pendiente Longitudinal

Start Location	End Location	Road Grade (%)	Policy (%)	Tangent Length (m)	Terrain	Speed (km/h)	AAD T (vpd)	Functional Class
Prog. Inicial	Prog. Final	Pendiente longitudinal	Pendiente longitudinal según norma	Longitud de tangente	Terreno	Velocidad	TPDA	Clasificación Funcional
38+170.350	38+580.450	8.05	0.50 a 8.00	410.10	Ondulado	60	83	Local
38+760.450	38+966.940	12.00	0.50 a 8.00	206.49	Ondulado	60	83	Local
39+356.940	39+524.270	4.65	0.50 a 8.00	167.33	Ondulado	60	83	Local
39+674.270	40+011.230	12.00	0.50 a 8.00	336.96	Ondulado	60	83	Local
45+340.490	45+407.430	0.00	0.50 a 8.00	66.94	Ondulado	60	83	Local
45+467.430	45+501.980	2.50	0.50 a 8.00	34.55	Ondulado	60	83	Local

Fuente: Elaboración Propia

En función a la tabla anterior se pueden definir las siguientes clasificaciones:

- ✓ Color blanco: “Road value is within controlling criteria” Valores de la carretera están dentro de los criterios de control.

- ✓ Color rojo: “Road value varies from controlling criteria” Valores de la carretera varían según criterios de control.
- ✓ Color amarillo: “Road value may vary from recommended values” Valores de la carretera pueden variar de los valores recomendados.

Las filas con color rojo hacen referencia a los tramos que tienen pendientes longitudinales superiores a los límites establecidos por la norma para este tipo de camino que es de 8% como máximo, el tramo entre las progresivas 38+170.350 a 38+580.450 presenta un pendiente de 8.05%, los tramos comprendidos entre las progresivas 38+760.450 a 38+966.940 y 39+674.270 a 40+011.230 tienen una pendiente de 12 %; el factor principal por el cual no se cumple con este criterio es la topografía del terreno, ya que al dar una pendiente menor se generaría una mayor cantidad de corte en el terreno afectando con el presupuesto de la obra.

Las filas con color amarillo hacen referencia a aquellos tramos que tienen una pendiente menor a la establecida por la norma que es de 0.5 %, este tramo se encuentra entre las progresivas 45+340.490 a 45+407.430 que presenta una pendiente de 0 %.

6.4.5. Curva Vertical “Vertical Curve”.

Este parámetro se analiza por medio de la variable K que está en función de la velocidad de diseño. De igual manera el software establece la velocidad efectiva, cuyo valor indica la máxima velocidad con la cual el vehículo de diseño puede transitar de forma segura. La Tabla 3.15 nos permite apreciar un resumen de los valores que intervienen en este análisis.

Tabla. 3.15 Curvas Verticales

Start Location	End Location	Road K Value (m/%)	Policy K Value (m/%)	Effective Design Speed (km/h)	Curve Type	Curve Length (m)	Speed (km/h)	Comment
Prog. Inicial	Prog. Final	K evaluado para la carretera	K evaluado según la norma	Velocidad de diseño efectiva	Tipo de curva	Longitud de la curva	Velocidad	Comentario
38+580.45 0	38+760.45 0	45.57	14.00	104	Cóncava	180.00	60	Road value is within controlling criteria
38+966.94 0	39+356.94 0	23.42	12.00	75	Convexa	390.00	60	Road value is within controlling criteria
39+524.27 0	39+674.27 0	20.41	12.00	72	Convexa	150.00	60	Road value is within controlling criteria

Fuente: Elaboración Propia

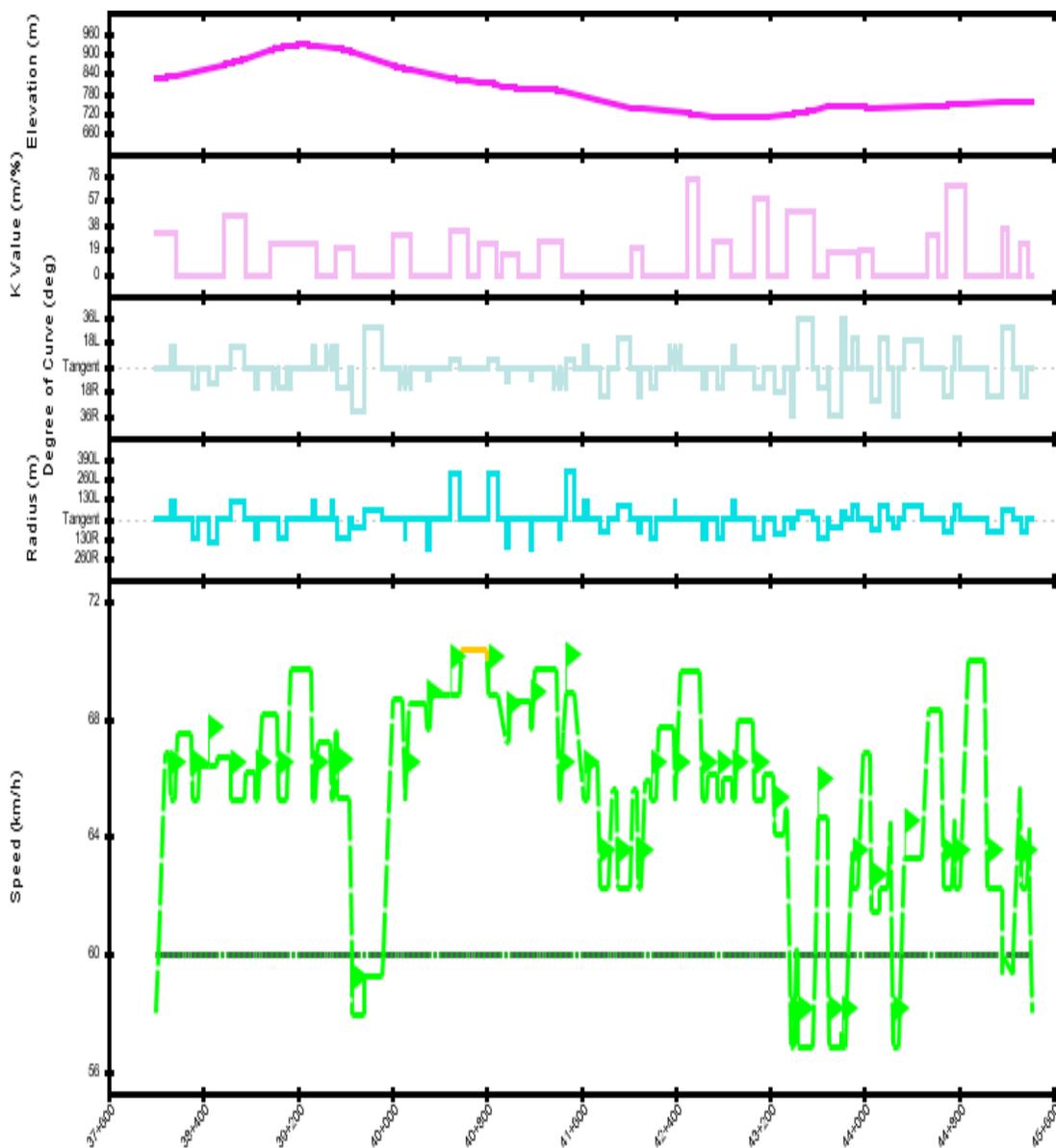
Observando la tabla de valores y el Anexo 3.5 se aprecia que todos los tramos cumplen con la norma, donde el valor de k se encuentra por encima del mínimo establecido por la normativa de la ABC.

6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al análisis previamente realizado, se ha observado que el diseño del tramo presenta varios puntos con una consistencia regular, los cuales el software los identifica de color amarillo. Con el fin de mejorar la consistencia del tramo se realizó un rediseño de la geometría del camino, ya que mediante estudios efectuados, realizar una mejora en el trazo implica una reducción de accidentes entre el 20 % - 80%, los datos del rediseño se presentan en el Anexo 4.

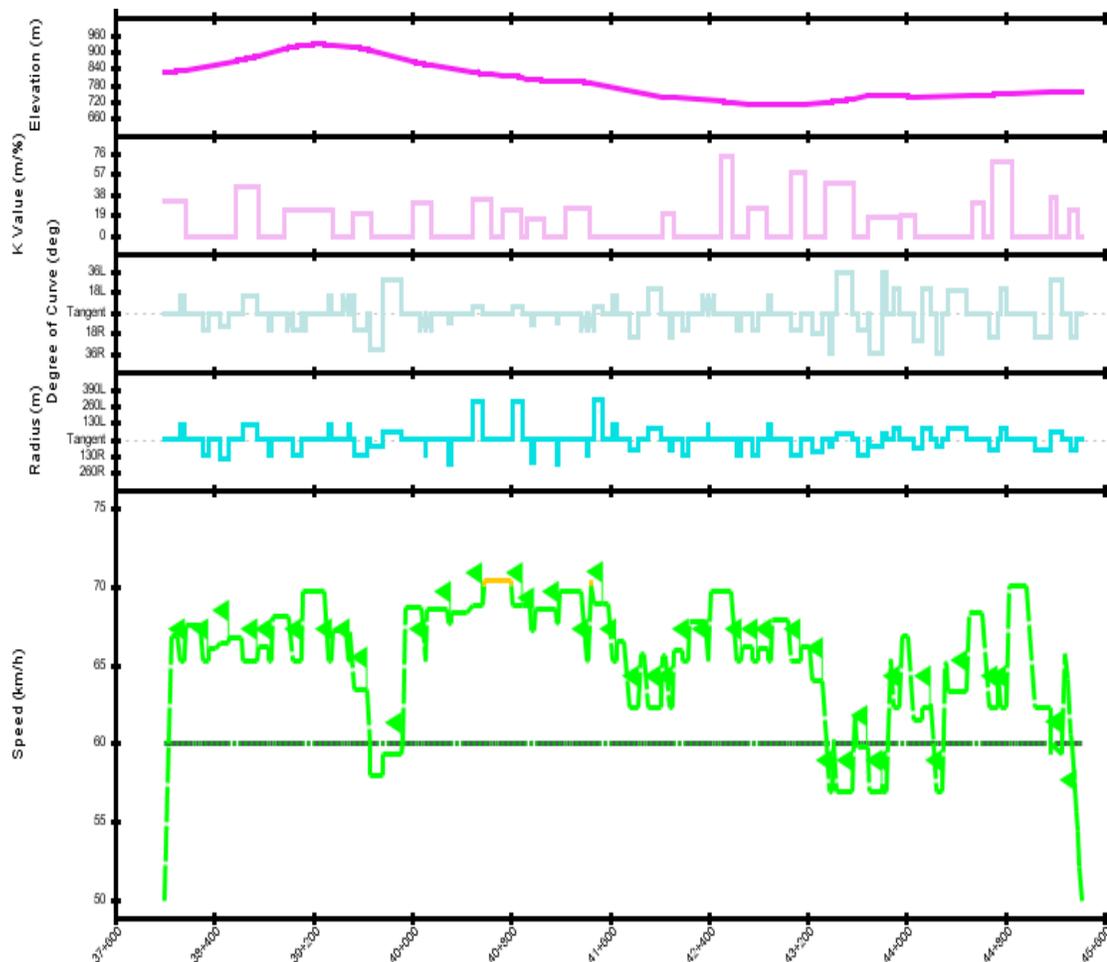
Luego de realizar el rediseño se analizó el mismo en el software IHSDM para comprobar que el rediseño presenta mayor consistencia que el diseño geométrico original, los resultados del análisis se encuentran en el Anexo 5,

Figura 3.5. Resultado de la evaluación con el módulo DCM, sentido Tentaguazú - Timboy para el rediseño



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.6. Resultado de la evaluación con el módulo DCM, sentido Timboy - Tentaguazú para el rediseño



Fuente: Elaboración Propia

Las figuras 3.5 y 3.6 nos muestran los resultados de la evaluación de la consistencia para el rediseño del tramo, en la cual se puede observar que se mejoró de gran manera la consistencia del tramo, debido a que no se presenta ninguna bandera amarilla, lo que implica un nivel de consistencia bueno a lo largo de todo el tramo, presentando únicamente un sector con consistencia regular que corresponde a una tangente, en la cual se implementaran reductores de velocidad.

Los elementos que se modificaron con respecto al diseño original se muestran a continuación tanto en el alineamiento horizontal como en el vertical.

Tabla. 3.16. Elementos alineamiento horizontal rediseñados

Diseño Original				Rediseño			
Tipo	Prog. Inicial	Prog. Final	Radio (m)	Tipo	Prog. Inicial	Prog. Final	Radio (m)
Curva	39+693.160	39+784.650	46.53	Curva	39+664.990	39+766.780	54.02
Curva	39+784.650	39+927.320	55	Curva	39+766.780	39+917.520	60
Curva	43+470.100	43+571.410	40	Curva	43+441.120	43+567.750	50
Curva	43+770.260	43+834.790	30	Curva	43+697.770	43+805.310	50
Curva	43+976.450	44+002.990	50	Curva	43+901.810	43+944.270	80
Curva	44+321.850	44+345.770	30	Curva	44+246.550	44+286.420	50
Curva	44+748.450	44+792.030	50	Curva	44+666.710	44+736.430	80
Curva	44+843.660	44+868.000	50	Curva	44+766.640	44+805.590	80
Curva	45+145.350	45+252.490	70	Curva	45+043.820	45+168.680	80
Curva	45+295.010	45+338.090	30	Curva	45+168.680	45+257.240	60.4

Fuente: Elaboración propia

En el alineamiento horizontal se realizaron modificaciones en los radios de las curvas que se muestran en la Tabla 3.16. En los cuales se presentaban niveles de consistencia regular, así mismo se realizó un rediseño del alineamiento vertical en el que se modificaron las pendientes de los tramos que generaban niveles de consistencia regular, el mismo que se muestra a continuación:

Tabla 3.17. Elementos alineamiento vertical rediseñados

Tipo	Progresiva VPI	Pendiente de entrada (%)	Pendiente de salida (%)	Tipo	Progresiva VPI	Pendiente de entrada (%)	Pendiente de salida (%)
VPI	43+454.560	3.1	7.35	VPI	43+457.400	3.1	8.01
VPI	43+845.900	7.35	-6.2	VPI	43+816.420	8.01	-5.85
VPI	44+032.120	-6.2	0.5	VPI	44+010.800	-5.85	0.51
VPI	44+648.060	0.5	4	VPI	44+580.280	0.51	3.74
VPI	44+826.430	4	1.2	VPI	44+770.830	3.74	1.41
VPI	45+315.490	1.2	0	VPI	45+189.160	1.41	0
VPI	45+437.430	0	-2.5	VPI	45+352.350	0	-2.48

Fuente: Elaboración propia

6.6. ANÁLISIS DE ACCIDENTALIDAD

Para analizar la accidentalidad en los elementos rediseñados se empleó el método propuesto por Lamm, el cual estima el efecto del grado de curvatura sobre la accidentalidad, mediante la siguiente expresión:

$$N = -0,880 + 1,410Gc$$

Donde:

N: Número de accidentes estimados (accidentes/millón de veh)

Gc: Grado de Curvatura (°)

La tabla 3.18 hace referencia a la estimación del número de accidentes para las curvas del diseño original, las mismas presentan grados de consistencia regular.

Tabla 3.18. Estimación del número de accidentes para elementos del diseño

Diseño Original					
Tipo	Prog. Inicial	Prog. Final	Radio (m)	GC (°)	N(acc/millón de veh)
Curva 1	39+693.160	39+784.650	46,53	24,63	34
Curva 2	39+784.650	39+927.320	55	20,84	28
Curva 3	43+470.100	43+571.410	40	28,65	40
Curva 4	43+770.260	43+834.790	30	38,20	53
Curva 5	43+976.450	44+002.990	50	22,92	31
Curva 6	44+321.850	44+345.770	30	38,20	53
Curva 7	44+748.450	44+792.030	50	22,92	31
Curva 8	44+843.660	44+868.000	50	22,92	31
Curva 9	45+145.350	45+252.490	70	16,37	22
Curva 10	45+295.010	45+338.090	30	38,20	53

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.19 hace referencia a la estimación del número de accidentes para las curvas del rediseño, en dichas curvas se realizó mejoras en los radios de curvatura para obtener grados de consistencia buena.

Tabla 3.19. Estimación del número de accidentes para elementos del rediseño

Rediseño					
Tipo	Prog. Inicial	Prog. Final	Radio (m)	GC (°)	N(acc/millon de veh)
Curva 1	39+664.990	39+766.780	54,02	21,21	29
Curva 2	39+766.780	39+917.520	60	19,10	26
Curva 3	43+441.120	43+567.750	50	22,92	31
Curva 4	43+697.770	43+805.310	50	22,92	31
Curva 5	43+901.810	43+944.270	80	14,33	19
Curva 6	44+246.550	44+286.420	50	22,92	31
Curva 7	44+666.710	44+736.430	80	14,325	19
Curva 8	44+766.640	44+805.590	80	14,325	19
Curva 9	45+043.820	45+168.680	80	14,325	19
Curva 10	45+168.680	45+257.240	60,4	18,974	26

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.20. Porcentaje de reducción de accidentes

Diseño Original		Rediseño		Diferencia Número de accidentes	% Reduc. Accidentes
Tipo	N(acc/millón de veh)	Tipo	N(acc/millón de veh)		
Curva 1	34	Curva 1	29	4,82	14,23
Curva 2	28	Curva 2	26	2,45	8,59
Curva 3	40	Curva 3	31	8,08	20,45
Curva 4	53	Curva 4	31	21,54	40,66
Curva 5	31	Curva 5	19	12,12	38,55
Curva 6	53	Curva 6	31	21,54	40,66
Curva 7	31	Curva 7	19	12,12	38,55
Curva 8	31	Curva 8	19	12,12	38,55
Curva 9	22	Curva 9	19	2,89	13,00
Curva 10	53	Curva 10	26	27,11	51,17

Fuente: Elaboración propia

En el análisis se puede observar que el aumento del radio de curvatura nos ayuda a disminuir el número de accidentes de tránsito, los valores con color rojo de la tabla 3.18 hacen referencia a los radios de las curvas correspondientes al diseño original y los números con verde de la tabla 3.19 se refieren a los radios de las curvas que fueron

intervenidas, la última columna de la tabla 2.20 hace referencia al porcentaje de reducción de accidentes que se tiene con el aumento de los radios.

6.7. ANÁLISIS DE VOLÚMENES Y ESTIMACIÓN DE PRESUPUESTO

Para el análisis de los volúmenes se tomaran en cuenta el módulo de movimiento de tierras y el de pavimento porque estos módulos fueron los que sufrieron modificaciones con el rediseño de los elementos.

Tabla 3.21. Presupuesto Diseño Original

Descripción	Unidad	Cantidad	Unitario	Literal	Parcial
M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS					47207122,46
Replanteo general de la obra	km	7,50198	11646,75	Once Mil Seiscientos Cuarenta y Seis 75/100	87373,69
Desbroce, desbosque, destronque y limpieza	ha	11,25297	6193,54	Seis Mil Ciento Noventa y Tres 54/100	69695,72
Excavación no clasificada DM=300 m	m ³	60630,94	30,84	Treinta 84/100	1869858,19
Exc. roca fija con volad contr T<300m	m ³	411882,7	107,05	Ciento Siete 05/100	44092043,04
Sobre acarreo DMT> 0.3 km	m ³ -km	15366,41232	4,94	Cuatro 94/100	75910,08
Conformación de terraplén	m ³	20653,78	49,01	Cuarenta y Nueve 01/100	1012241,76
M03 - PAVIMENTO					21707661,98
Regularización de subrasante	m ²	87773,166	14,79	Catorce 79/100	1298165,13
Conf. capa sub-rasante mejorada	m ³	2700,7128	107,81	Ciento Siete 81/100	291163,85
Transporte de capa sub-base y base y áridos clasif.	m ³ -km	215816,42	4,94	Cuatro 94/100	1066133,11
Conf. capa sub-base (prov, ejec; s/tran)	m ³	17404,55	194,71	Ciento Noventa y Cuatro 71/100	3388839,93
Conf. capa base (prov y ejec; s/transp)	m ³	12305,45	295,84	Doscientos Noventa y Cinco 84/100	3640444,33
transporte de carpeta asfáltica preparada	m ³ -km	32342,4	4,94	Cuatro 94/100	159771,46
Carpeta asfáltica	m ³	3234,24	1051,85	Un Mil Cincuenta y Uno 85/100	3401935,34
Provisión de asfalto para imprimación y carpeta	t	531,10344	12247,09	Doce Mil Doscientos Cuarenta y Siete 09/100	6504471,63
Imprimación bituminosa (ejec.)	m ²	79528,8	11,66	Once 66/100	927305,81
Trat. Superficial bitum. doble (s/trans áridos)	m ²	14844	69,35	Sesenta y Nueve 35/100	1029431,40
TOTAL					68914784,45

Fuente: Estudio TESA “Construcción Asfaltado Ruta Timboy – Tentaguazú – Kumandaroti Provincia O’Connor”

Tabla 3.22. Presupuesto Rediseño

Descripción	Unidad	Cantidad	Unitario	Literal	Parcial
M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS					51782192,84
Replanteo general de la obra	km	7,41689	11646,75	Once Mil Seiscientos Cuarenta y Seis 75/100	86382,66361
Desbroce, desbosque, destronque y limpieza	ha	11,125335	6193,54	Seis Mil Ciento Noventa y Tres 54/100	68905,20734
Excavación no clasificada DM=300 m	m³	107470,44	30,84	Treinta 84/100	3314388,37
Exc. roca fija con volad contr T<300m	m³	442144	107,05	Ciento Siete 05/100	47331515,2
Sobre acarreo DMT> 0.3 km	m³-km	13853,28	4,94	Cuatro 94/100	68435,2032
Conformación de terraplén	m³	18620	49,01	Cuarenta y Nueve 01/100	912566,2
M03 - PAVIMENTO					21623703,42
Regularización de subrasante	m²	86777,613	14,79	Catorce 79/100	1283440,896
Conf. capa sub-rasante mejorada	m³	2670,0804	107,81	Ciento Siete 81/100	287861,3679
Transporte de capa sub-base y base y áridos clasif.	m³-km	215070,56	4,94	Cuatro 94/100	1062448,566
Conf. capa sub-base (prov, ejec; s/tran)	m³	17344,4	194,71	Ciento Noventa y Cuatro 71/100	3377128,124
Conf. capa base (prov y ejec; s/transp)	m³	12261,35745	295,84	Doscientos Noventa y Cinco 84/100	3627399,988
transporte de carpeta asfáltica preparada	m³-km	32329,3245	4,94	Cuatro 94/100	159706,863
Carpeta asfáltica	m³	3232,93245	1051,85	Un Mil Cincuenta y Uno 85/100	3400559,998
Provisión de asfalto para imprimación y carpeta	t	530,6337495	12247,09	Doce Mil Doscientos Cuarenta y Siete 09/100	6498719,287
Imprimación bituminosa (ejec.)	m²	79132,399	11,66	Once 66/100	922683,7723
Trat. Superficial bitum. doble (s/trans áridos)	m²	14473,75	69,35	Sesenta y Nueve 35/100	1003754,563
TOTAL					73405896,27

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.23. Comparación de Presupuestos

	Presupuesto. (BS)	Incremento del Pres. (Bs)	% Incremento pres.
Diseño Presupuesto movimiento de tierras y pavimento	68914784,45	4491111,82	6,52
Rediseño Presupuesto movimiento de tierras y pavimento	73405896,27		

Fuente: Elaboración Propia

Con la implementación de las mejoras se tiene un incremento del presupuesto de 4491111, 82 Bs., equivalente al 6,52%. La implementación de esta alternativa es factible ya que las modificaciones en el presupuesto pueden ser en un máximo de 15% según lo establecido en el Decreto Supremo 181, que corresponden a 5% por orden de cambio y 10% por contrato modificatorio.

6.8. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD FÍSICA

✓ Curva 1 y Curva 2



La implementación de las dos curvas no presenta ninguna dificultad ya que no existe proximidad de viviendas y su emplazamiento no presenta afectaciones, con su implementación no se generan muchas variaciones con el camino existente y no se realizara un aumento considerable de corte ya que su topografía es ondulada suave.

✓ **Curva 3 y Curva 4**



Las curvas no se encuentran próximas a ninguna vivienda, no existe cercos y potreros en las cercanías por lo que no presenta afectaciones, no existe una gran diferencia entre el nivel de las 2 curvas ya que su emplazamiento sigue la trayectoria del camino existente.

✓ **Curva 5**



La implementación de la curva sigue el trazo del camino existente y no se realizara un aumento de corte, así mismo no se presentan viviendas y cercos que pueden ser afectados con su implementación.



Con el aumento del radio en esta curva nos ayuda a alejarse del cerco perimetral existente y de esta manera no se vería afectado, así mismo el rediseño se encuentra emplazado por el camino actual y de esta manera no se aumentan en gran medida los volúmenes de corte.

✓ Curva 9 y Curva 10



En las cercanías de estas dos curvas no se encuentran viviendas que interfieran en su trazado, en estos puntos existe un aumento del corte en relación con el diseño original ya que no sigue el camino actual el cual termina antes del desarrollo de la curva 10.

CAPÍTULO IV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. CONCLUSIONES

Al terminar el presente trabajo se cumplieron los objetivos formulados en la investigación y se llegaron a las siguientes conclusiones:

- ✓ La evaluación de la consistencia del diseño muestra que el tramo presenta en ambos sentidos puntos de consistencia regular, es decir de condición 2 en donde la diferencia de velocidades de operación es mayor a los 10 km/h.

A continuación, se muestran los puntos con consistencia regular.

Tabla 4.1 Curvas con consistencia regular

Sentido Tentaguazú - Timboy			Sentido Timboy – Tentaguazú		
Progresiva	Diferencia de velocidad (km/h)	Condición	Progresiva	Diferencia de velocidad (km/h)	Condición
39+693.160	11	Regular	45+338.090	16	Regular
43+770.260	13	Regular	44+868.000	14	Regular
44+321.850	16	Regular	44+345.770	16	Regular
44+784.450	12	Regular	44+002.990	10	Regular
45+145.350	10	Regular	43+834.790	11	Regular
45+295.010	13	Regular	39+927.320	10	Regular

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.2 Tangentes con consistencia regular

Sentido Tentaguazú - Timboy			Sentido Timboy - Tentaguazú		
Prog. Inicial	Prog. Final	Condición	Prog. Inicial	Prog. Final	Condición
40+575.798	40+819.420	Regular	45+033.030	44+919.828	Regular
44+987.972	45+108.552	Regular	41+452.594	41+446.175	Regular
			40+804.834	40+565.856	Regular

Fuente: Elaboración Propia

- ✓ Con el fin de solucionar los problemas de inconsistencia en el trazo se realizó un rediseño de los elementos que presentan problemas de consistencia, los cuales

consistieron en aumentar los radios de las curvas que presentan dichos problemas, ya que una mejora del trazo ayuda a disminuir entre un 20% a 80% la ocurrencia de accidentes, los datos del rediseño se pueden apreciar en el anexo 5, el análisis de la consistencia del rediseño nos demuestra que se mejoró la consistencia ya que no se presenta ninguna curva inconsistente.

- ✓ La configuración del trazado en planta es la que más influye en los diferenciales de velocidad entre elementos sucesivos, y por tanto en los riesgos de sufrir accidentes.
- ✓ La consistencia del diseño basado en la velocidad de operación constituye en la actualidad el criterio de seguridad manejado para relacionar las características geométricas del diseño con la seguridad vial, partiendo del análisis de los diferenciales de velocidad esperados entre la deseada por el conductor y la de operación que produce la combinación de elementos del trazado.
- ✓ El software IHSDM es una potente herramienta para evaluar la seguridad en vías convencionales a partir del criterio de consistencia en el diseño, combinando los últimos adelantos en seguridad vial con la flexibilidad de los modelos de análisis, por otra parte, optimiza tiempos y brinda resultados confiables.
- ✓ El software IHSDM puede aplicarse como una herramienta para la revisión y la selección de alternativas de mejoras, ya que con cualquier cambio que se introduzca en algún elemento del trazado o de la sección transversal se pueden evaluar la consistencia del diseño.
- ✓ La adaptación de la normativa de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) se realizó satisfactoriamente de acuerdo a los requerimientos del software que se encuentran basados en la normativa AASHTO 2004, de manera que se implementó adecuadamente en el software IHSDM.
- ✓ Se elaboraron los archivos necesarios para introducir la normativa de la ABC en el software IHSDM y con ello se pudo evaluar el módulo PRM con la política del país. Los archivos creados son una hoja de Excel, donde se puede apreciar la adaptación y equivalencia de cada uno de los parámetros, sus referencias AASHTO y ABC y

las consideraciones realizadas en cada uno de sus elementos.

- ✓ El Modulo de Revisión de la Normativa se utilizó como una herramienta que ayudó a detectar posibles puntos de riesgo de la vía, debido a que el diseño geométrico presenta elementos que no se encuentran de acuerdo a los parámetros establecidos en la normativa en los cuales se concentren los esfuerzos necesarios para evitar accidentes en dichos puntos.
- ✓ Los aforos de velocidades se los realizo tomando en cuenta el criterio de la ABC, los cuales fueron sometidos a un análisis estadístico para determinar la velocidad de operación en ambos sentidos (ver Anexo 6), los resultados obtenidos son de 49.99 km/h en el sentido Timboy – Tentaguazú, y de 57.97 km//h en el sentido Tentaguazú – Timboy.

10.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Continuar investigando en las ventajas de la aplicación del Programa para aplicarlo tanto en la fase de proyecto como en la detección de tramos con riesgo de accidente en vías construidas.

- ✓ Se recomienda la implementación del software IHSDM en auditorias viales por parte de entidades como la ABC y Secretarías de Tránsito e infraestructura departamentales, ya que no representa ningún costo de adquisición y la única información requerida es aquella que las entidades deberían tener de las vías a su cargo.
- ✓ Se recomienda continuar con investigaciones del software IHSDM, donde se implementen los módulos, se calibren los parámetros requeridos a las condiciones de nuestro país y se amplíen los conocimientos de todos los módulos que se encuentran en el software. Con el fin de consolidar esta herramienta en proyectos de infraestructura del país y analizarlos desde la perspectiva de seguridad y comodidad.