
ESTUDIO DE APLICACIÓN DEL PROGRAMA IHSDM, PARA LA VERIFICACIÓN DE LA CONSISTENCIA EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE UN CAMINO DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO (BVT)

Guillermo Thenoux Z.

Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Vicuña Mackenna 4860. Edificio San Agustín 3º Piso. Fono: 02-3564245, Fax: 02-3544806.

gthenoux@ing.puc.cl

Marcelo González H.

Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Vicuña Mackenna 4860. Edificio San Agustín 3º Piso. Fono: 02-3564245, Fax: 02-3544806.

mgonzalh@ing.puc.cl

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es proponer un nuevo protocolo para el desarrollo del proyecto de ingeniería de mejoramiento de estándar de caminos de Bajo Volumen de Tránsito (BVT). Junto con proponer nuevos criterios para incorporar estándares de diseño geométrico especiales para caminos de BVT, se propone evaluar la consistencia del diseño geométrico en la etapa de proyecto, utilizando el programa IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model) desarrollado por la Federal Highway Administration (FHWA). El programa permite identificar a priori los puntos del trazado de mayor inconsistencia y de este modo se puede incorporar como una herramienta que permita priorizar los sectores de mejoramiento. Además de esta aplicación el programa puede ser utilizado en evaluar la inconsistencia de proyectos nuevos y de proyectos en operación.

Para verificar la efectividad del IHSDM se realizó la simulación de un proyecto en operación de aproximadamente 9 km., demostrando a través de un panel de expertos, que el modelo de predicción de puntos de inconsistencia en el diseño se realiza de forma muy precisa. Por esto, se considera recomendable proponer el uso de la herramienta IHSDM en el protocolo de diseño de pavimentos para caminos BVT como una herramienta complementaria al diseño geométrico. El estudio recomienda que no solo es necesario estudiar y crear normativas específicas de diseño geométrico si no que además se recomienda producir una metodología consolidada que tome en consideración los requerimientos de diseño de pavimentos y toda la infraestructura complementaria de un camino de BVT.

1. INTRODUCCIÓN

Las normativas, estándares de diseño y gestión de operación de caminos de Bajo Volumen de Tránsito (BVT) en países en vías de desarrollo, por lo general tienen un relativo bajo nivel de atención. Los avances más significativos en la Ingeniería Vial se han traspasado principalmente a la planificación, diseño, construcción, mantenimiento y administración de las redes de caminos principales. Esto se debe fundamentalmente a que estos caminos tienen una mayor influencia geopolítica y que absorben una proporción mayor del tráfico de un país. Debido a la problemática particular de países en vías de desarrollo, resulta fundamental otorgarles igual importancia relativa a los caminos de BVT. Las redes de caminos de BVT en países en vías de desarrollo, y en particular Chile, presentan una diferencia substancial respecto de la concepción que se tiene de este tipo de caminos en países desarrollados. Los caminos secundarios en Chile componen casi el 80% de la red vial nacional y una proporción importante de estos tienen una alta probabilidad de incrementar su flujo vehicular toda vez que su estándar sea mejorado, situación que no ocurre necesariamente en las redes secundarias de BVT de países desarrollados.

En general, los mejoramientos de estándar de caminos de BVT, en Chile, consideran soluciones a nivel de carpeta de rodado pero no del diseño geométrico. Cuando se incluye el mejoramiento del diseño geométrico, se considera la velocidad como la variable que permite determinar los parámetros geométricos que definen el alineamiento tanto vertical como horizontal, en donde la velocidad de diseño se define como “la máxima velocidad uniforme y razonable que puede ser adoptada por un conjunto de conductores rápidos, en zonas externas a las urbanas” Barnett (1936). En su origen, la velocidad de diseño tiene dos principios fundamentales:

- Todas las curvas a lo largo del alineamiento deberían ser diseñadas para la misma velocidad.
- La velocidad de diseño debería reflejar la velocidad uniforme a la cual desearía circular un alto porcentaje de conductores.

El concepto de velocidad de diseño presume que el diseño será consistente si las características de los distintos alineamientos individuales comparten la misma (o similar) velocidad de diseño. El concepto de “consistencia en el diseño” se refiere a la relación existente entre la geometría del camino y las expectativas de los conductores, en términos simples es el estándar geométrico que el conductor espera que le entregue la carretera de forma consistente. En la práctica esta presunción no se da necesariamente y muchos proyectos de diseño geométrico cumplen con los diseños de curvas de forma individual pero en su conjunto resultan proyectos inconsistentes.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es proponer un nuevo protocolo para el desarrollo del proyecto de ingeniería definitiva de un camino. Se propone evaluar la inconsistencia del diseño en la etapa de proyecto utilizando el programa IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model).

El objetivo específico es incorporar la herramienta computacional IHSDM en la etapa de proyecto obteniendo 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 del diseño.
 - Técnico: Es posible chequear el diseño geométrico antes de la construcción y operación, por lo que se mejora la calidad y la seguridad del proyecto.

3. ANÁLISIS CONCEPTUAL

AASHTO define caminos de BVT como: “Es un camino local cuya principal misión es proveer acceso a residencias, predios agrícolas, empresas, fábricas o cualquier otro tipo de propiedad, donde el TMAD no debe exceder los 400 vehículos diarios” (FHWA(1), 2001). Posiblemente, esta definición se debería aplicar únicamente a países desarrollados. La diferencia fundamental está en que en países en vías de desarrollo todos los caminos de BVT que se someten a algún tipo de mejoramiento de estándar experimentan un alza significativa en su tasa de crecimiento debido a que rápidamente se integran a la economía de la región incorporando nuevas áreas de producción las cuales por lo general se encontraban estancadas en su crecimiento. Este fenómeno que se repite con frecuencia en vías secundarias de países en vías de desarrollo, produce un aumento del flujo vehicular tal, que en un período menor al período definido para el diseño, pueden superar los flujos vehiculares que internacionalmente se manejan para la definición de camino de BVT.

Otro aspecto importante identificado en países en vías de desarrollo se refiere a las políticas empleadas para realizar el mejoramiento de estándar de caminos de BVT. Las condiciones de un camino de BVT, previo a su mejoramiento de estándar, son por lo general malas. No cuentan con una adecuada superficie de rodado, sus sistemas de drenaje son deficientes, el trazado geométrico es muy básico (sección transversal y alineamiento longitudinal), la señalización es pobre y se encuentra en mal estado, los diseños de intersecciones no se encuentran adecuadamente resueltos y presentan un control de accesos deficientes, los puentes y obras de artes se encuentran subdimensionados. Cuando se realiza una evaluación de proyecto para invertir en el mejoramiento de estándar de un camino de BVT, aquellos proyectos que presenten mayores índices de rentabilidad social, serán sometidos a un proceso de mejoramiento de estándar, el cual puede realizarse a varios niveles:

- Solo pavimentación o estabilización de la carpeta de rodado.
- Pavimentación o estabilización de la carpeta de rodado, junto con un mejoramiento de la sección transversal y un rediseño parcial del alineamiento geométrico, mejoramiento parcial de obras e infraestructuras complementarias. (drenajes, puentes, intersecciones, iluminación, etc.).
- Pavimentación o estabilización de la carpeta de rodado, rediseño más completo del alineamiento geométrico y mejoramiento mayor de obras e infraestructura complementaria.

Por lo general cuando se plantea un mejoramiento de estándar, la prioridad se centra principalmente en la superficie de rodado, destinando una parte importante de los recursos en la estabilización de la capa de rodado ya sea a través del uso de un diseño económico de pavimento o a través del empleo de estabilizadores químicos. El hecho de priorizar el mejoramiento de

estándar en la carpeta de rodado tiene una justificación relativamente obvia. Al mejorar la calidad de la estructura de pavimento se resuelven varios objetivos prioritarios. Entre estos los más importantes son:

- Se reducen los costos de operación de los vehículos.
- Se garantiza movilidad y accesibilidad del camino para todas las estaciones del año.
- Se reducen los costos asociados a las faenas de mantenimiento periódico.
- Se minimiza el deterioro por efectos ambientales (lluvia) y emisión de polvo.
- Se mejora la plusvalía de las tierras. Se incorporan más fácilmente a la economía de la región.
- Se otorga mayor bienestar social y se ganan votos políticos.

Cuando se realiza un mejoramiento solo de la carpeta de rodado de un camino la velocidad de conducción aumenta significativamente con respecto a la velocidad original. En muchos casos la velocidad nueva de circulación será aún mayor a la velocidad de diseño debido principalmente a tres factores: mejor calidad de la superficie de rodado, poco tránsito y poca fiscalización policial. Bajo estas circunstancias los conductores quedarán más expuestos a riesgos de accidente y parte de los beneficios que se obtienen con la pavimentación de un camino se pierden por un aumento de la probabilidad de accidentes.

Si en un proyecto de mejoramiento de estándar solo se incluye la carpeta de rodado y no se realizan mejoras al trazado geométrico el camino queda por lo general condicionado principalmente a la topografía del lugar. Esto último, permite reducir costos por efecto de cortes, terraplenes expropiaciones y modificaciones mayores y de este modo aumentar la rentabilidad social del proyecto. Empleando estos criterios que responden a una necesidad social, se obtienen caminos con geometría variable y abrupta produciéndose inconsistencia en el diseño geométrico. La falta de homogeneidad e inconsistencia en el diseño, son la causa principal del aumento de la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito (Krammes, 1997).

Una importante razón de no incluir en una primera instancia de inversión un mejoramiento en el diseño geométrico, se relaciona con los estándares mínimos normados en los diferentes países. En muchos países, no se cuenta con normativas de diseño específicas para caminos de BVT generando dos problemas importantes:

- Primero, el diseño es normado básicamente a través de la limitación de la velocidad en donde los criterios de selección de velocidades se basan sobre hipótesis elaboradas para normar el diseño de caminos de mayor volumen de tránsito.
- Segundo, los estándares de las normativas para caminos de mayor volumen de tránsito pueden ser mayores a los requeridos por caminos de menor volumen de tránsito. Esto, conlleva en muchos a incrementar innecesariamente los costos de un proyecto de mejoramiento geométrico.

En Chile, al igual que un importante número de países en vías de desarrollo no cuenta con normativas específicas para caminos de BVT y tampoco se incluye en etapa alguna de los estudios, un análisis de consistencia del diseño que permita verificar la homogeneidad del proyecto. Esto último es válido también en la evaluación de la consistencia de proyectos nuevos y/o de proyectos que están actualmente en operación.

4. METODOLOGÍA

La metodología utilizada consideró tres etapas.

- Propuesta de protocolo de diseño para un camino de BVT.
- Propuesta de normativas especiales de diseño geométrico para caminos de VBT.
- Evaluación de un camino con el programa ISHDM para ser incorporado en protocolo de diseño de caminos de BVT.

El proyecto vial evaluado con el IHSDM se ubica en la Región Metropolitana y une el sector de los Trapenses en La Dehesa con el sector de Chicureo en Colina (Oriente-Poniente). Este corresponde al camino Juan Pablo II (ex-Pie Andino) el cual está ubicado en un sector montañoso y presenta un importante número de curvas así como pendientes relativamente pronunciadas en extensiones largas. La sección transversal del camino está compuesta en casi todo su trazado por tres pistas de pavimento asfáltico con un ancho de 3.5 m sin berma. La tercera pista en todos los casos, está diseñada como pista de tránsito lento con preferencia en dirección de pendiente positiva. El alineamiento planimétrico fue diseñado sin curvas de transición (clotoídes) por lo cual está esencialmente compuesto por rectas y curvas circulares de variados radios de curvatura. Las pendientes en el alineamiento vertical varían entre un 10% y -10%.

Dado las condiciones singulares de geometría del proyecto (pendiente y radios de curvatura variados sin curvas de transición) se considera este camino poco seguro, lo que se ha evidenciado con la ocurrencia de accidentes de mediana gravedad. El camino actualmente está señalizado con una velocidad límite de 50 (km/h) sin embargo, debido a que existen sectores de mucha pendiente y tramos rectos, las velocidades de operación observada sobrepasan ampliamente la velocidad límite señalizada.

4.1 Propuesta Protocolo

La Figura 1, presenta una propuesta del protocolo para llevar a cabo el proceso de diseño de mejoramiento de estándar de un camino de BVT. Básicamente se propone incluir normativas específicas para caminos de bajo volumen de tránsito e incluir el uso del programa ISHDM como una herramienta para identificar los segmentos de caminos que deben ser priorizados en el diseño. Eventualmente al generar esta propuesta específica para caminos de BVT se concluye que el problema no queda completamente resuelto. El protocolo completo de diseño de un camino de BVT requerirá de una normativa que considere los siguientes aspectos además de estándares de diseño geométrico específicos:

- Normativa especial de diseño de intersecciones, pistas de adelantamiento, paradas de buses, cruces peatonales, utilización de ciclo vías, manejo del cruce de ganado, etc.
- Normativa de estudio y diseño de pavimento de BVT. En Chile se cuenta con un documento de estas características (Thenoux, 2003).
- Normativa de diseño de drenaje que además incluya criterios y propuestas especiales para tratar segmentos con problemas de drenaje.
- Normativa de señalización: Por ejemplo, existe señalización específica aplicada únicamente a autopistas por los requerimientos especiales que estas requieren respecto de una vía

tradicional. Se estima que los caminos de BVT también requieren de una normativa que utilice criterios especiales de señalización e iluminación y no necesariamente una extensión de la aplicación de la señalización de vías principales. Una señalización específica para caminos de BVT permitiría acentuar la información a los conductores que la vía tiene un estándar menor de diseño.

- Normativa de diseño de puentes, obras de arte y otros tipos de infraestructura complementaria.

4.2 Estudio propuesta para incluir normativa especial de diseño geométrico

El desarrollo de una propuesta de normativas para caminos de BVT se realizó principalmente a través de un estudio bibliográfico y encuestas a ingenieros expertos. Esta etapa del estudio aún se encuentra en desarrollo y no se incluye en el presente trabajo. Básicamente el estudio se basa en el manual de caminos de BVT desarrollado en Estados Unidos (AASHTO, 2001) y el Reino Unido (TRRL, 1988). También, se estudio el nuevo Manual de Carreteras Chileno (MOP, 2003) el cual incluye un importante número de consideraciones de diseño para caminos de BVT.

Se utilizó el criterio basado en “tradeoff” (AASHTO, 2001) entre los siguientes dos factores: diferencias demostrables en costos de construcción y mantención versus impactos estimados en la frecuencia y severidad de accidentes de tránsito. En resumen se proponen nuevos criterios para definir estándares de diseño geométrico tales como:

- Nuevos criterios para la selección de la velocidad de diseño.
- Cálculo de distancia de visibilidad de maniobra.
- Radios de curvatura en planta, distancia de visibilidad, peralte y transición de peralte.
- Parámetro “k” para curvas verticales (convexas y cóncavas).
- Ancho de faja en función de velocidad y tipo de uso del camino.
- Sobre anchos para diferentes radios y ángulo de giro.
- Visibilidad en intersecciones. Otros.

4.3 Estudio propuesta para evaluar consistencia del diseño a través de ISHDM

Para el desarrollo del estudio se planteó una metodología de integración del software IHSDM para incluir la homogeneidad en el proceso de mejoramiento de estándar de un camino de BVT. Se aplicó el modelo ISHDM a un proyecto en operación que presenta problemas de seguridad. Para determinar si el modelo entrega buenas estimaciones respecto a la consistencia en el diseño, un panel experto circuló por el tramo de prueba. El panel de experto se conformó por dos personas; conductor y acompañante. El conductor viajaba a la velocidad de diseño e indicaba al acompañante el grado de dificultad que experimentaba en las curvas verticales y horizontales, todas previamente balizadas. El acompañante se remite solo a llenar un formulario simple, Cuyo resumen de resultados se presenta en la Tabla 1, marcando lo que el conductor indica considerando las alternativas: regular, malo, muy malo. También, el acompañante debe identificar singularidades especiales que pueden afectar la conducción tales como: pavimento en mal estado, obstáculos laterales, etc. El recorrido se realiza en ambas direcciones en donde ambos evaluadores del panel actuaran como conductores en las dos direcciones pero alternándose. En el caso del proyecto en estudio se conformaron tres paneles de dos evaluadores quienes llevaron a

cabo la evaluación en tres días diferentes y en horas de muy bajo tránsito. Posteriormente se realizó la modelación completa del proyecto y los resultados obtenidos fueron contrastados con la evaluación realizada por el panel de experto.

5. PROGRAMA IHSDM

Para tener un diagnóstico de la consistencia del camino a diferentes velocidades de operación, se empleó el programa IHSDM que utiliza modelos de predicción de velocidades en base a parámetros geométricos del camino. Mediante este software es posible evaluar cuantitativamente la consistencia del trazado a partir del alineamiento horizontal y vertical del camino. El análisis considera dos criterios:

Criterio 1: Análisis de diferencias significativas entre la velocidad de diseño del camino (V_{dis}) y la velocidad de operación de los usuarios (V_{85}).

Criterio 2: Análisis de reducciones significativas de velocidad entre segmentos adyacentes del alineamiento.

La magnitud de la diferencia de velocidad para ambos criterios conforma la unidad de medida para cuantificar los niveles de inconsistencia en el trazado, por lo que éste puede clasificarse de acuerdo a tres condiciones:

- **Buen diseño** (Condición 1): La magnitud de la diferencia de velocidad para el tramo o sección en estudio no supera los 10 km/h. En las Figuras 2 y 3 este criterio se representa por una bandera verde.
- **Diseño medio** (Condición 2): La magnitud de la diferencia de velocidad para el tramo o sección en estudio se encuentra entre los 10 y 20 km/h. En las Figuras 2 y 3 este criterio se representa por una bandera amarilla.
- **Mal diseño** (Condición 3): La magnitud de la diferencia de velocidad para el tramo o sección en estudio supera los 20 km/h. En las Figuras 2 y 3 este criterio se representa por una bandera roja.

Los resultados presentados en este trabajo corresponden a la evaluación del tramo principal del proyecto estudiado el cual tiene una longitud de aproximadamente 9 km. Este tramo está definido por dos casetas de control existentes en el proyecto. La metodología utilizada para evaluar ambos comportamientos queda constituida de la siguiente forma:

- Conductor no habitual: De acuerdo a las recomendaciones del programa, se asume que este tipo de conductor realizará la circulación a una velocidad moderada a alta, por lo que se evalúa asumiendo una velocidad libre en rectas de 80 y 100 km/h.
- Conductor habitual: De acuerdo a las recomendaciones del programa se asume que un conductor pendular realizará la circulación a una velocidad alta, por lo que se evalúa asumiendo una velocidad libre en rectas de 100 y 120 km/h.

Los conductores del primer grupo son los que poseen mayor vulnerabilidad al circular por este camino, ya que se enfrentarán a sectores que presentan diversas inconsistencias debidas a una mala combinación del alineamiento planimétrico y/o altimétrico. Los conductores habituales

también se verán enfrentados es este efecto adverso, pero circularán a mayores velocidades ya que se encuentran familiarizados con el camino y a su vez, van transgredir sistemáticamente el alineamiento aumentando las probabilidades de accidente cuando se encuentren con un conductor no habitual o un vehículo detenido.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados del modelo se presentan de forma gráfica en las **Figuras 2 y 3**. Los mismos resultados se encuentran resumidos también en las **Tablas 2 y 3**. Estos corresponden a los “out puts” típicos del programa. Los resultados para las velocidades de 100 y 120 (km/h) resultaron iguales en términos de inconsistencia y son más desfavorables que para 80 (km/h). Por eso sólo se presenta los resultados para la velocidad de 100 (km/h). El proyecto estudiado, presentó tres sectores singulares de inconsistencia en el sentido creciente y dos en sentido decreciente de circulación, los que se pueden distinguir en las **Figuras 2 y 3** respectivamente en bandera roja. Puede resultar que una curva tenga inconsistencia en un solo sentido de circulación. Esto sucede por que el elemento adyacente antes de la curva está en bajada alcanzando mayor velocidad antes de la curva que el otro elemento que esté en subida. Al contrastar los resultados obtenidos en la modelación con las respuestas realizadas por el panel de experto resumido en la **Tabla 1**, se observa un buen nivel de concordancia en el caso de producirse niveles severos de inconsistencia. Cuando son niveles leves o moderados, el panel no fue capaz de evidenciarlos claramente durante la conducción esto último debido principalmente a que no se establecieron en la metodología criterios más específicos para distinguir situaciones intermedias. De la **Tabla 1** se puede observar también que existe una heterogeneidad de la velocidad de diseño de las curvas horizontales lo que sumado a las extensiones largas en pendiente antes de cada curva agrava el problema de inconsistencia del diseño.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La idea de generar un protocolo especial para llevar a cabo los proyectos de ingeniería para el mejoramiento de estándar de caminos de BVT, es justificable y necesaria para países en vías de desarrollo. El estudio y la experiencia indica que no solo es necesario estudiar y crear normativas específicas de diseño geométrico si no que además se recomienda producir una metodología consolidada que tome en consideración los requerimientos de diseño de pavimentos y en general de toda la infraestructura complementaria de un camino de BVT. Desde este punto de vista, los objetivos del trabajo inicialmente propuesto para este estudio son ahora considerados incompletos y se propone extender el estudio para incluir otras materias consideradas en la sección 2.1.

La idea de considerar el uso del modelo ISHDM dentro de la metodología del diseño geométrico de un proyecto de mejoramiento de estándar de un camino de BVT se considera muy apropiada debido a que se puede utilizar como una herramienta objetiva que permita identificar aquellos sectores del camino que deben ser considerados prioritarios en el proyecto de mejoramiento y asegurar una distribución de recursos de acuerdo a un criterio técnico de seguridad. La simulación realizada en el camino Juan Pablo II demuestra que la predicción de puntos de inconsistencia en el diseño es realizada de forma bastante precisa, destacando los puntos que

fueron señalados como inconsistentes por parte de un grupo de evaluación previa a la modelación.

REFERENCIAS

- AASHTO (2001) **Guidelines for geometric design of very low-volume local roads**, FHWA.
- Barnett J. (1936) **Safe friction factors and superelevation design**. Sixteenth Annual Meeting Highway Research Board. National Research Council, Washington D. C. 69-80.
- FHWA (2000a) **Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways**. Final Report. Report RD-99-172. FHWA, Washington D.C.
- FHWA (2000b) **Evaluation of Design Consistency Methods for Two-Lane Rural Highways**. Executive Summary. Report No. FHWA-RD-99-173. FHWA, Washington D.C.
- Krammes, R. (1997) **Interactive Highway Safety Design Model: Design Consistence Module**. Public Roads No. 2 Septiembre/Octubre, Federal Highways Reseach Center. Washington D.C.
- MOP (2003) **Manual de Carreteras, Volumen III**, Dirección de Vialidad MOP, Chile,
- Thenoux, G., et. al., (2003) Chilean Structural Design Guide for Low Volume Roads. Eighth International Conference on Low Volume Roads, TRB Records 2, 306-313.
- TRRL (1998) **A review of geometric design and standards for rural roads in developing countries**. Reino Unido.

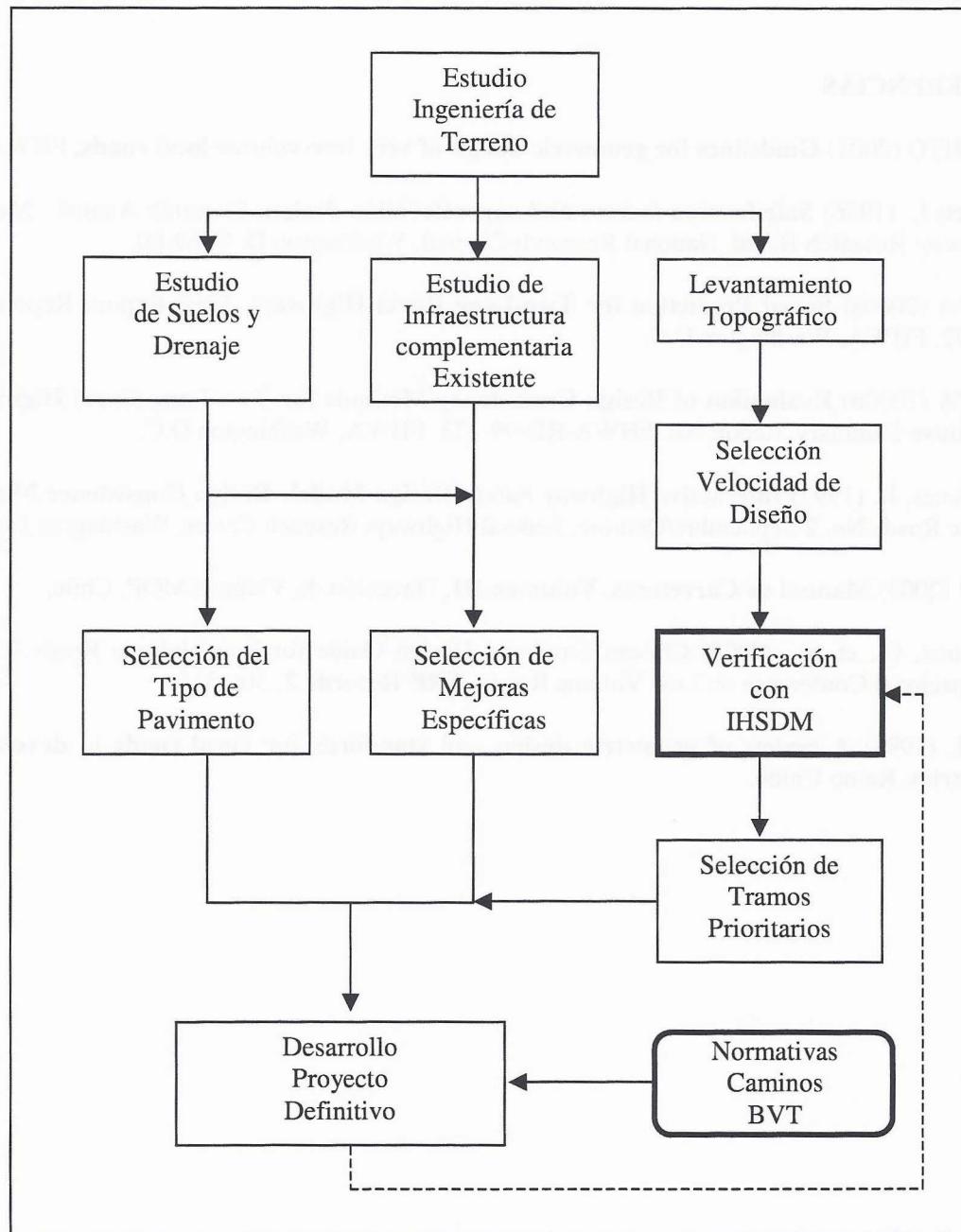


Figura 1: Metodología propuesta en el mejoramiento de estándar de caminos de bajo tránsito

Tabla 1: Resumen resultados evaluación panel de expertos tramo en estudio

Curva Nº	PC(km)	FC(km)	Radio R(m)	Peralte(%)	V _{diseño} (km/h)	Grado de confort horizontal	
						Creciente	Decreciente
3	610.97	677.15	137.500	5.0	61	**	*
9	2,020.32	2,136.46	160.000	4.0	64	**	*
11	2,543.01	2,649.67	112.750	6.0	57	**	**
12	2,764.69	2,890.83	200.000	4.0	69	*	*
18	4,047.33	4,193.81	92.750	0.6	52	***	**
25	4,879.78	4,979.80	97.500	6.0	54	**	**
32	5,542.80	5,596.57	100.050	6.0	54	***	**
33	5,723.53	5,760.61	50.110	3.5	39	**	**
35	5,944.29	6,042.76	93.950	6.0	53	**	**
42	6,981.45	7,130.85	85.640	6.0	50	***	**
43	7,130.85	7,280.28	85.640	6.0	50	**	***
47	7,915.12	7,985.22	148.201	2.5	60	**	**
48	8,002.56	8,121.28	79.019	6.0	50	**	**
49	8,121.28	8,240.02	79.019	6.0	50	**	***

*: Regular; **: Malo; ***: Muy Malo.

Tabla 2: Resumen resultados para velocidad libre 100 km/h sentido creciente

Station of max speed on preceding element	Max speed on preceding element (km/h)	Start Station of curve	Speed on curve (km/h)	Speed Differential (km/h)	Condition
307,255	93.9	390,600	78.3	15.7	2
1,976,590	91.5	2,020,320	79.4	12.1	2
2,448,369	91.7	2,543,010	73.1	18.6	2
3,947,400	96.2	4,047,330	70.0	26.2	3
4,841,110	81.3	4,879,780	70.5	10.8	2
5,514,590	94.6	5,542,800	71.3	23.2	3
5,653,115	76.7	5,723,530	60.0	16.7	2
6,911,800	92.9	6,981,450	66.2	26.8	3
7,758,600	94.5	7,915,120	81.3	13.1	2
7,985,220	81.3	8,002,560	63.2	18.2	2

Tabla 3: Resumen resultados para velocidad libre 100 km/h sentido decreciente

Station of max speed on preceding element	Max speed on preceding element (km/h)	Start Station of curve	Speed on curve (km/h)	Speed Differential (km/h)	Condition
8,326,840	86.9	8,240,020	61.8	25.1	3
7,356,497	93.9	7,280,280	63.1	30.8	3
6,124,170	84.9	6,042,760	70.0	14.9	2
4,248,718	78.6	4,193,810	66.3	12.3	2
2,982,709	99.4	2,890,830	87.4	11.9	2
2,728,505	90.3	2,649,670	74.8	15.5	2
996,513	100.0	895,690	88.5	11.5	2
759,466	94.4	677,150	79.0	15.4	2

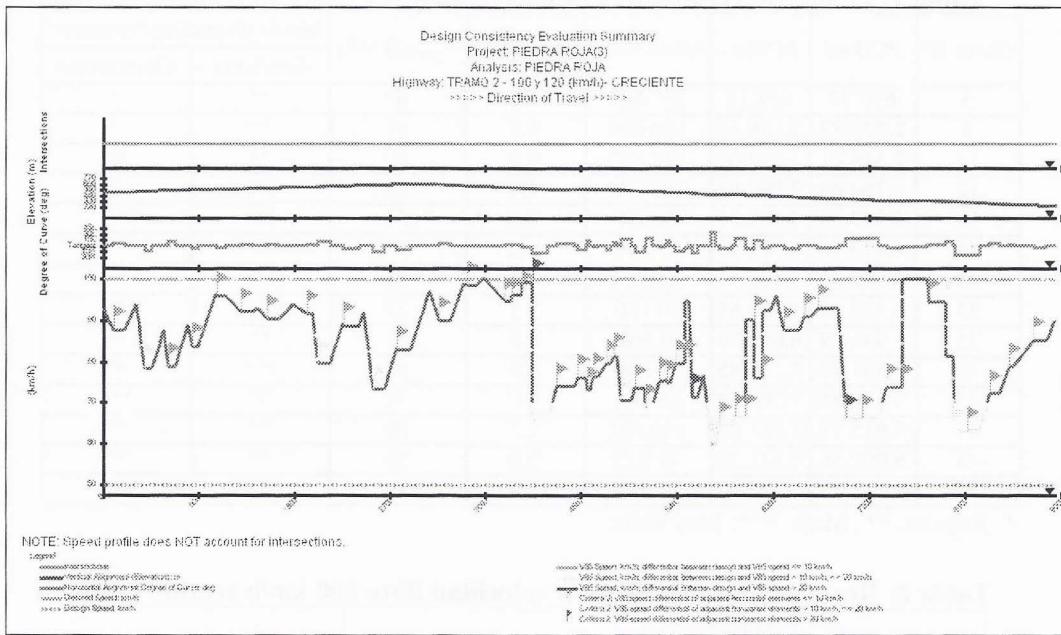


Figura 2: Resultado gráfico, análisis en sentido creciente para velocidad de 100 (km/h)

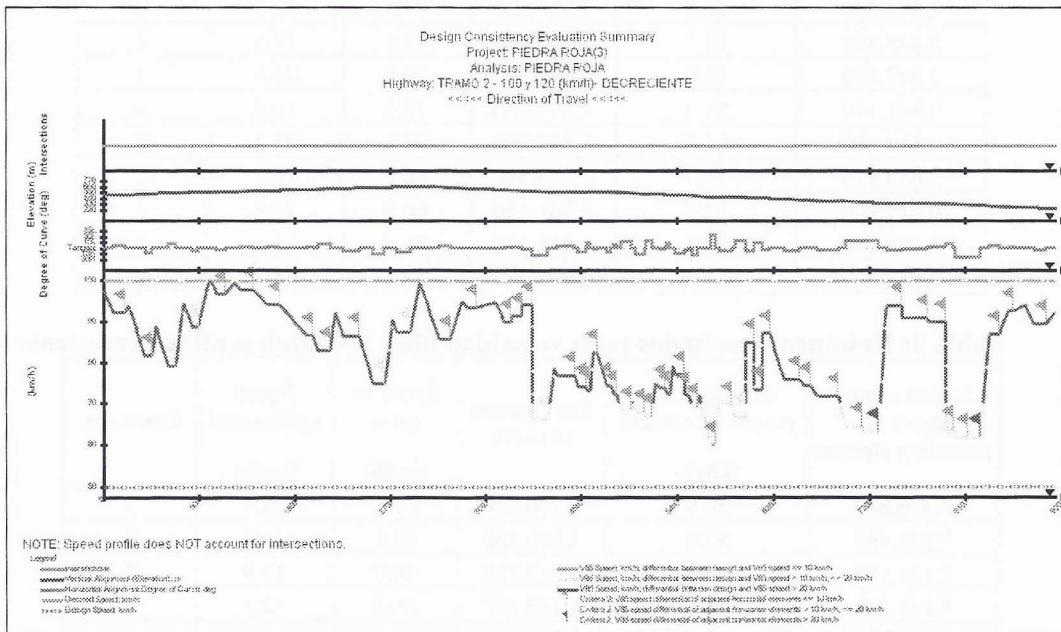


Figura 3: Resultado gráfico, análisis en sentido decreciente para velocidad de 100 (km/h)