

# USO DEL MÓDULO DE PREDICCIÓN DE ACCIDENTES (CPM) DEL IHSDM PARA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD EN SEGMENTOS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES

## USING CRASH PREDICTION MODULE (CPM) OF IHSDM FOR SAFETY ASSESSMENT SEGMENT TWO LANE HIGHWAY

Yasmín Andrea Pérez-Rojas<sup>1</sup>

**Forma de citar:** PÉREZ-ROJAS Yasmín. Uso del módulo de predicción de accidentes (CPM) del IHSDM para evaluación de seguridad en segmentos de carreteras de dos carriles. Respuestas. 2013; 18(2): 87-95.

Recibido:  
Abril 24 de 2013

Aceptado:  
Septiembre 26 de 2013

### RESUMEN

El presente documento plantea una alternativa para la evaluación de la seguridad en carreteras rurales de dos carriles en Colombia, dada la ausencia de este tipo de prácticas en la ingeniería de vías Colombianas. Por lo anterior, se aborda a profundidad el Módulo de Predicción de Accidentes (CPM CrashPrediction Module) del programa IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model) de FHWA (Federal Highway Administration, agencia del departamento de transporte de Estados Unidos), adoptado ampliamente en otros países para evaluar la seguridad vial. De este modo, se presenta la descripción de las principales características del módulo CPM para el pronóstico de accidentes en segmentos de carreteras sin considerar los ocurridos o relacionados a las intersecciones, los algoritmos del modelo de predicción, la información que se requiere para el uso del módulo y la propuesta metodológica para lograr que Colombia consolide una base de datos suficiente para el uso y aplicación del módulo. Por último, se analizan los resultados obtenidos por el módulo CPM.

**Palabras clave:** CPM, IHSDM, Modelo Predictivo de accidentes viales, seguridad vial.

### ABSTRACT

The document presents an alternative for the safety evaluation in the segments of highways in Colombia, given the absence of this type of practical in the engineering of Colombian highways. Therefore, it is approached CPM (Crash Prediction Module) of the program IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model) of FHWA (Federal Highway Administration), adopted thoroughly in other countries to assess safety in highways. This way, the description of the main characteristics of the module CPM is presented for the prediction of accidents in segments of highways without considering those happened or related to the intersections. This way, the description of the main characteristics of the module CPM is presented for the prediction of accidents in segments of highways

<sup>1</sup> Especialista en Geotecnia Vial  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia  
ing.yasminandrea@gmail.com  
Tunja - Colombia

without considering those happened or related to the intersections. Finally, the results obtained by analyzing the CPM module, the algorithms of the prediction pattern, and the methodological proposal will permit obtain an enough database for the use and application of the module in Colombia.

**Keywords:** CPM, IHSDM, Crash Prediction Module, road safety.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia de las carreteras rurales y al papel que ellas juegan en las redes de carreteras, monitorear su seguridad y reducir su accidentalidad se debe convertir en una tarea importante para los ingenieros de transportes y vías en Colombia; sin importar si se encuentran en proceso de planificación, diseño, construcción o mantenimiento. Dado el crecimiento de la población, el auge del comercio y de los tratados comerciales internacionales, se han incrementado los viajes sobre las carreteras rurales, requiriéndose avances en los métodos sistemáticos de monitoreo de seguridad en carreteras. La FHWA reconoce esta necesidad y desarrolla un software llamado IHSDM para brindar una asistencia en el análisis de los problemas de seguridad de carreteras rurales de dos carriles existentes o proyectadas, y al que se puede tener acceso gratuitamente a través de su página en internet [www.ihsdm.org/wiki](http://www.ihsdm.org/wiki).

Proporcionar un ambiente seguro es de hecho no sólo una responsabilidad sino la prioridad más alta para todos los proyectos de la carretera.

El uso de modelos de predicción de accidentes es una práctica que se ha incorporado en el diseño de carreteras rurales. Para su desarrollo se requiere de amplia organización, recursos y consistentes bases de datos, por lo que en procura de optimizar tiempo y recursos, se vienen ajustando los modelos desarrollados a nivel mundial a las características locales, regionales y nacionales en varios países, que aunque difieren en proporciones de acciden-

tes, presentan similitud en cuanto a factores contribuyentes y al mecanismo del accidente.

Los modelos de predicción de accidentes varían de acuerdo al terreno por el cambio en el alineamiento vertical, por lo que la calibración establece proporciones relativas en terreno llano, ondulado y montañoso, pero las condiciones cuantitativas no están claramente definidas. Una medida puede ser la pendiente definida como la proporción entre la diferencia de nivel entre dos puntos y su distancia horizontal.

Una tarea compleja es la clasificación de accidentes por severidad de la lesión y tipo de accidente, pues las definiciones difieren de un país a otro, y este es solo un problema de comparación en el uso de modelos. La severidad del accidente es afectada por el tipo de accidente y el entorno circundante; mientras que los tipos de accidentes varían bajo consideraciones de volúmenes de tránsito, número de carriles y curvatura de la carretera.

Por esta razón se adelantó la presente investigación, con el ánimo de dar a conocer el uso del CPM de IHSDM, como herramienta de seguridad en el diseño de carreteras rurales colombianas.

Se da a conocer los parámetros usados por el módulo CPM para estimar la frecuencia promedio de accidentes esperada en un segmento de carretera de dos carriles y se desarrolla una guía metodológica para la recolección de información útil al IHSDM, de tal manera que se pueda en algún momento, lograr la calibración y adopción del módulo CPM como

práctica habitual de la ingeniería de diseño de carreteras rurales de dos carriles.

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo de esta investigación se planteó en tres etapas: La primera consistió en la revisión bibliográfica de artículos, tesis doctorales, tesis magistrales, HSM 2010 (Highway Safety Manual), tutoriales de IHSDM y demás bibliografía relevante a los modelos de predicción de accidentes; la segunda fue el análisis y afianzamiento del algoritmo de predicción dentro del módulo CPM, así como la investigación y síntesis de la forma en que se levanta y registra en la actualidad la información de accidentes mediante el Informe Policial de Accidentes de Tránsito (IPAT), y la tercera, el planteamiento de una metodología para la recolección y registro de información para lograr una base de datos suficiente que permita la calibración, aplicación y uso del módulo CPM para mitigar la accidentalidad en carreteras rurales de dos carriles en Colombia.

### 1.1 IHSDM 2012

IHSDM es una herramienta de evaluación de los impactos de seguridad y la valoración operacional de alineamientos de carreteras nuevos o existentes, útil en la toma de decisiones de diseño geométrico, aumentando al máximo los beneficios de seguridad de proyectos de carreteras dentro de las limitaciones de costo y consideraciones medioambientales entre otras.

IHSDM puede ayudar a proyectistas y diseñadores a identificar y evaluar tratamientos para los problemas potenciales de seguridad en alineamientos existentes o proponer nuevas secciones de la carretera [17].

IHSDM cuenta con 6 módulos, de los cuales se profundizó en el de predicción de accidentes denominado CPM, que estima el número y severidad de accidentes en segmentos de carreteras e intersecciones, en carreteras rurales

de dos carriles, carreteras multicarril y arterias urbanas, limitándose la investigación a segmentos de carreteras rurales de dos carriles.

IHSDM viene siendo desarrollado por la FHWA desde 1993 y tiene diferentes versiones puestas a disposición gratuitamente para todos los usuarios, en años como 2004, 2007, 2008, 2010, 2012 pero las diferencias de una versión a otra son naturalmente acordes con desarrollos y transferencias tecnológicas, pues los modelos para la predicción de los accidentes y la estimación de velocidad siguen siendo los mismos. La versión de 2004 permitió trabajar no solo carreteras rurales de dos carriles sino adicionalmente carreteras multicarril y arterias urbanas; la versión de junio del 2009 ha equiparado el CPM con los modelos de predicción de accidentes del HSM y permite personalizar las hojas de trabajo. La presente investigación se desarrolló siguiendo los parámetros de la versión IHSDM 2012.

IHSDM ayuda a los ingenieros de transporte y vías a localizar los segmentos de carreteras con altas frecuencias de accidentes para diseñar alternativas de mejora en su diseño geométrico.

“IHSDM es una colección de herramientas de análisis para evaluar la seguridad y los efectos operacionales de decisiones del diseño geométrico en las carreteras rurales de dos carriles.” [5].

Ya otros países (Canadá, España, Nueva Zelanda, Estados Unidos) han reconocido el desempeño de IHSDM al personalizarlo a las características propias de sus jurisdicciones [20]. Por consiguiente, IHSDM parece ser una herramienta conveniente para el análisis de seguridad en carreteras de Colombia, en lugar de desarrollar un modelo totalmente nuevo.

Los datos de la geometría de la carretera pueden incorporarse manualmente o importarse de archivos LandXML. En los nuevos alineamientos es relativamente fácil obtener los datos de los elementos geométricos (curvas,

tangentes, pendiente, secciones transversales) pues esta información es definida con algún programa de diseño geométrico; mientras que evaluar alineamientos existentes requiere de gran trabajo; la información de la geometría de la carretera para cada elemento debe ser generada o recolectada en campo y agregada al registro en IHSDM [13].

Para la validación del IHSDM con datos locales se deben emprender varias pruebas en diferentes sitios, entre las que se encuentra el test de consistencia de diseño, revisión de la política y predicción de accidentes con el reemplazo de puentes, rectificaciones y ampliaciones de la carretera; efectos comparativos del antes y después del tratamiento, comparación de los resultados arrojados por los módulos de consistencia de diseño y predicción de accidentes y el chequeo del número de accidentes pronosticados frente al número de accidentes actuales en el segmento en estudio.

IHSDM no toma en cuenta las características de los puentes lo que conlleva a la subestimación de la seguridad en estos sitios.

### 1.2 CPM

El CPM es una herramienta de gran ayuda en la evaluación de la seguridad y puede ser la base del conocimiento de ingenieros diseñadores de carreteras seguras. El CPM cumple lo establecido en la parte C “Métodos de Predicción” del Manual de Seguridad de Carretera de Estados Unidos (HSM) [9].

El CPM está basado en aproximaciones muy conocidas del pasado, e inevitablemente heredó las fortalezas y debilidades de esos métodos [11].

CPM Es útil para el proceso de auditorías de seguridad vial, las cuales son “el examen formal del desempeño de la seguridad en una carretera existente o futura” [5].

Para la aplicación del CPM, se requiere información del diseño geométrico básico e información geográfica del sitio, el tipo de obra de infraestructura vial y la disponibilidad de

la función de desempeño de seguridad (SPF Safety Performance Function) para el tipo de sitio; los Tránsitos Promedios Diarios Anuales (TPDAs) de períodos pasados, y las proyecciones para períodos futuros; diseño geométrico detallado del sitio y condiciones base para determinar si las condiciones del sitio varían de las condiciones base y por consiguiente aplicarlos factores de modificación de accidente (CMF Crash Modification Factors); y los datos de la historia de accidentes del sitio en estudio si están disponibles.

El bosquejo general de los modelos base del CPM y los CMFs están basados en la versión HSM 2010.

El algoritmo de CPM para la predicción de accidentes en un segmento de carreteras consiste en un modelo base o función de desempeño de seguridad (SPF), factores de modificación de accidente (CMF) y un factor de calibración ( $C_r$ ) [8].

La fórmula general para la estimación de la frecuencia de accidentes promedio es:

$$N_{\text{pronósticos}} = N_{\text{spfrs}} * (CMF_{1r} * CMF_{2r} * \dots * CMF_{12r}) * C_r$$

Donde:

$N_{\text{pronósticos}}$  = Frecuencia de accidentes promedio pronosticada para un año específico para un tipo de sitio x;

$N_{\text{spfrs}}$  = Frecuencia de accidente promedio pronosticada determinada para condiciones base para un segmento de carretera individual;

$C_r$  = Factor de calibración para segmentos de carreteras de un tipo específico desarrollado para una jurisdicción particular o área geográfica;

$CMF_{1r} \dots CMF_{12r}$  = Factores de modificación para carreteras rurales de dos carriles en dos sentidos.

La frecuencia de accidentes promedio pronosticada para este modelo relaciona los accidentes que podrían ocurrir independiente de la presencia de una intersección.

El modelo base o función de desempeño de seguridad (SPF) es un modelo de regresión estadístico que estima la frecuencia de accidentes para condiciones base y proporciona la actuación de seguridad de un segmento de carreteras bajo condiciones nominales supuestas, representada por la ecuación:

$$N_{spf\ rs} = TPDA * L * 365 * 10^{-6} * e^{(-0.312)}$$

Donde:

$N_{spf\ rs}$  = Frecuencia de accidentes total pronosticada para el segmento de carretera en condiciones base;

TPDA = Volumen de tránsito promedio anual diario (vehículos por día) y;

L = Longitud del segmento de carreteras (millas).

El modelo de predicción de accidente usado en CPM está basado en un análisis de la regresión binomial negativa que asegura la sensibilidad al diseño geométrico y las características de control de tránsito de un sitio específico.

Los factores de modificación ajustan las predicciones a los efectos en la seguridad producidos por las condiciones específicas del sitio considerando el diseño geométrico y las características de control de tránsito, estableciéndose en el modelo 12 factores de modificación correspondientes al ancho del carril; ancho de la berma; curvas horizontales: longitud, radio, presencia o ausencia de curvas espirales de transición; peralte; pendiente; densidad de entradas de vehículos; resonadores; carril de adelantamiento; carril de giro a la izquierda; diseño de las zonas laterales de la carretera; iluminación; controles automatizados de velocidad.

La ecuación para el cambio en la frecuencia

de accidentes promedio esperada bajo condiciones base “a” y condiciones específicas del sitio “b” es:

$$CMF = \frac{\text{frecuencia de accidentes promedio esperada con la condición "b"}}{\text{frecuencia de accidentes promedio esperada con la condición "a"}}$$

El método puede calibrarse para adaptar los resultados de las predicciones a las condiciones de seguridad propias de una jurisdicción, y se pueden utilizar los datos reales de historia de accidentes, si están disponibles, incorporando el método Empírico de Bayes.

El uso de datos de la historia de accidentes locales en IHSDM ayuda a depurar la estimación de accidentes y se convierte en un importante factor de calibración local. Sin los datos de historia de accidentes, CPM subestima el número real de accidentes en aproximadamente un 30%. Al usar la historia de accidentes se puede tener mayor certeza de los sitios elegidos para realizar rectificaciones y ampliaciones al experimentar un número superior de accidentes a los esperados. La historia de accidentes aproxima la predicción de la frecuencia promedio de accidentes esperados, en un 10% menos del número de accidentes observados.

El CPM es más útil identificando sitios específicos de alta accidentalidad que estimando frecuencia de accidentes. La habilidad del CPM para pronosticar los incrementos en las frecuencias de accidente con datos históricos de accidentes en el sitio en estudio es satisfactoria si los datos del diseño geométricos de la sección de la carretera permanecen inalterados en el futuro [4].

Para el uso, adaptación y calibración de CPM se requiere una buena práctica en el reporte de accidentes donde se consigne adecuadamente la información de entrada al módulo.

El módulo CPM no logra una buena verificación con alineamientos existentes debido a que típicamente los elementos de diseño están en condiciones por fuera de la normatividad y la entrada de los datos en el software

no se detalla suficientemente; evalúa mejor la seguridad en los alineamientos para diseños propuestos, debido a que las características geométricas presentan una mejor consistencia en el diseño.

El factor de calibración  $C_r$ , ajusta el número de accidentes totales y modifica las proporciones relativas de accidentes por severidad y tipo. El factor de calibración se usa para escalar el modelo de predicción y ajustarlo mejor a los datos observados. Los factores de calibración deben obtenerse separadamente en función del tipo de carretera, región, terreno y categorías de volúmenes de tránsito. En esta investigación se utilizó el valor predeterminado para  $C_r$  del software sin abordar el tema de calibración del modelo debido a la falta de información suficiente y de calidad del diseño geométrico detallado de las carreteras rurales de dos carriles en Colombia, pero se propone como resultado de la misma la obtención de una metodología para lograr la recolección de esta información y consolidar una base de datos que permita en el futuro lograr la calibración del modelo y adoptarlo como práctica frecuente en el diseño de carreteras.

Los factores de calibración más anómalos son para las secciones de tres carriles; IHSDM aplica un 25% de reducción de accidentes, asumiendo que ellos garantizan operacionalmente la seguridad con longitudes adecuadas para las condiciones operacionales propias de la carretera [8].

En resultados de estudios previos en otros países, se experimentó que el uso de factores específicos de calibración por región o tipos de terreno depende de la representatividad del tramo en estudio frente a los datos usados en el proceso de calibración.

Los factores de calibración no siguen una distribución normal, se consideran variedad de pruebas como Chi-cuadrado, de Pearson, prueba T-Welch y Mann-Whitney, aunque se requiere otro tratamiento para volúmenes de tránsito  $< 1000$  vpd o para volúmenes  $> 10.000$  vpd; aún no está suficientemente claro si las pruebas estadísticas que combinan el

número de accidentes con el conjunto completo de datos son realmente útiles.

No hay una tendencia clara en términos del cambio en el volumen de tránsito, aunque los factores de calibración para carreteras con volúmenes altos ( $> 10\ 000$  vpd) son bajos al requerir para su servicio carreteras de 3 o 4 carriles; la única categoría que demanda un reflexivo análisis es la del grupo de  $< 1000$  vpd, donde por los bajos estándares de diseño se producen factores de calibración más altos [15].

La validación del número de accidentes en carreteras rurales de dos carriles pronosticado por IHSDM requiere emprender pruebas usando diferentes factores de calibración para la red completa.

No hay método de predicción de accidente, modelo, sistema, o programa que pueda ser perfecto 100 %. Los usuarios de CPM deben ser capaces de interpretar el resultado de análisis de CPM apropiadamente [4].

## RESULTADOS

Los siguientes pasos han sido la propuesta metodológica para la consolidación de la información necesaria para la calibración, adaptación y uso del módulo CPM a las condiciones de las carreteras colombianas:

- Desagregar la red de carreteras rurales de dos carriles según su topografía, clima, ubicación geográfica, entre otros, y trabajar separadamente factores de calibración para cada sitio (segmentos e intersecciones).
- Seleccionar un conjunto diferente de parámetros de calibración que dependerá de donde se adelante el proyecto y factores que se puedan actualizar regularmente conforme cambie el modelo de accidentes.
- Corregir los sesgos y eliminar secciones problemáticas (áreas urbanas y re-

cientes rectificaciones o ampliaciones de la carretera).

- Recolectar los datos de la geometría de la carretera en el momento de la recolección de datos de accidentes para producir datos útiles de IHSDM y agruparlos en una red consolidada de datos.
- Georreferenciar la información geométrica recolectada con el sistema de coordenadas planas estatales colombianas.
- Desarrollar una rutina de conversión de unidades americanas a internacionales.
- Usar las hojas de cálculo de IHSDM con la información ya obtenida para realizar la calibración y determinar los factores de escala para ajustar el número de accidentes totales para los diferentes períodos de análisis.
- Probar la exactitud relativa de los factores de calibración con una parte más pequeña de la red, subdividiéndola en varias categorías y recalculando los nuevos factores de calibración para cada subconjunto.

## CONCLUSIONES

Es un verdadero desafío calibrar un modelo de predicción de accidente como el CPM, por lo que se sugiere:

Los datos de la historia de accidentes generalmente se necesitan para obtener un nivel razonable de precisión en el CPM, particularmente para las secciones con inconsistencia en el diseño o con elementos del diseño fuera de norma. De hecho, usar los datos de historia de accidente parece proporcionar un nivel bueno en “la calibración local” desarrollada en otros países.

Se ha considerado que la calibración local es apropiada para el modelo y requiere menores esfuerzos que generar parámetros de calibración especializados por región o por categorías.

Para nuevos sitios no hay datos de historia de accidente válidos disponibles, sin embargo, el IHSDM al ser calibrado debe proporcionar una estimación más ajustada del número de accidentes esperados.

Para propósitos de análisis económico, el reporte de los datos de accidentes fatales o con lesiones proporcionan información más consistente para trabajar y estimar el número de accidentes esperados; los vagas proporciones de reportes de accidentes sin lesiones pueden tener efectos considerables en el proceso de predicción ya que esto puede ser significativo al estimar el número de accidentes, dado los costos sociales mucho más altos asociados con accidentes fatales y con lesiones comparados con los accidentes sin lesión.

El nivel de detalle aplicado a la especificación del alineamiento de la carretera es importante para una estimación de accidentes en IHSDM, particularmente para los elementos que están fuera de normativa. Una correcta especificación de los atributos extremos de estos elementos (por ejemplo el radio mínimo, máximo riesgo de las zonas laterales de la carretera) parece ser crucial para conseguir estimaciones de accidentes precisas.

La falta de consideración para los puentes y los elementos adyacentes inconsistentes son las omisiones notables del CPM de IHSDM, y ellos sólo pueden rectificarse parcialmente ajustando otros atributos como ancho de carril y ancho de berma, que limita la habilidad del CPM de IHSDM al ser aplicados en la evaluación de tramos existentes que contienen elementos fuera de norma (aunque el Módulo de Consistencia de Diseño (DCM) de IHSDM resalta bien la inconsistencia de estos elementos, con el perfil de velocidad estimado).

Para simplificar la creación de una base de da-

tos útiles para la calibración, se recomienda a las entidades encargadas del levantamiento de la información generar datos que incluyan rasgos importantes en el alineamiento vertical y horizontal, intersecciones, carriles de adelantamiento y límites de velocidad, información que debe amarrarse al sistema de coordenadas planas de Colombia.

Es poco realista esperar que el CPM tenga la capacidad de predecir el número exacto de accidentes en el futuro. Los usuarios deben utilizar los resultados para leer una tendencia general en el desempeño del módulo y precisar la ubicación probable de un número alto de accidentes, en lugar de usar las predicciones del CPM como el número "real" de accidentes que pueden ocurrir.

## REFERENCIAS

- [1] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. (2010). *HSM Highway Safety Manual, 1<sup>st</sup> Edition*. Washington DC. ISBN: 978-1-56051-477-0.
- [2] Castro M., Pardillo-Mayora J.M. & Sánchez J.F. (2005). *Alignment Indices as a Tool to Evaluate Safety and Design Consistency in Two Lane Rural Roads*. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design. Chicago, USA.
- [3] Chuo K. (2008). *Evaluation of the applicability of the Interactive Highway Safety Design Model to safety audits of two-lane rural highways*. Dept of Civil Engineering of Brigham Young University.
- [4] Dimaiuta, M. (2006). *Program Manager Geometric Design Laboratory*. FHWA. 6300 Georgetown Pike, MS HSR-20, McLean, VA 22101.
- [5] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). (2006). *Interactive Highway Safety Design Model*. U.S. Department of Transportation, Washington, DC. [www.tfhrc.gov/safety/ihsdm/ihsdm.htm](http://www.tfhrc.gov/safety/ihsdm/ihsdm.htm).
- [6] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION FHWA. (2009). *Interactive Highway Safety Design Model*. US Department of Transportation. [www.tfhrc.gov/safety/ihsdm/ihsdm.htm](http://www.tfhrc.gov/safety/ihsdm/ihsdm.htm).
- [7] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION FHWA. (2012). *Interactive Highway Safety Design Model*. US Department of Transportation. [www.tfhrc.gov/safety/ihsdm/ihsdm.htm](http://www.tfhrc.gov/safety/ihsdm/ihsdm.htm).
- [8] Harwood D.W., Council F.M., Hauer E., Hughes W.E. & Vogt A. (2000). *Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways*. Report No. FHWA-RD-99-207, Office of Safety Research and Development, (US) Federal Highway Administration.
- [9] Hughes W., Eccles K., Harwood D., Potts I. & Hauer E. (2004). *Development of a Highway Safety Manual*. NCHRP Web Document 62 (Project 17-18[4]): Contractor's Final Report, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington DC.
- [10] Keyte T. (2006). *Calibration of Interactive Highway Safety Design Model: The Design Consistency Policy Module*. Master of Engineering in Transportation Research Project Report, Dept of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, NZ.
- [11] Kinney, R. (2005). *Experience Using Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) to Evaluate Alternatives for a Rural Mountainous Two-Lane Highway 3R Project*. ITE District 6 Annual Meeting Proceedings. Institute of Transportation Engineers. Kalispell, MT.
- [12] Koorey, G.F. (2009). *Incorporating Safety*

- into *Rural Highway Design*. PhD Thesis in Transportation Engineering, Department of Civil and Natural Resources Engineering, University of Canterbury, Christchurch, NZ.
- [13] Koorey, G.F.(2009). *Road Data Aggregation and Sectioning Considerations for Crash Analysis*, Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board (TRB), No. 2103, Washington DC.
- [14] Koorey, G.F. & Tate, F.N. (1997). *Review of Accident Analysis Procedures for Project Evaluation Manual*. Transfund NZ Research Report No.85. Wellington, NZ.
- [15] Koorey G.F, Farrelly P.M., Mitchell T.J. & Nicholson C.S. (1999). *Assessing Passing Opportunities – Stage 2*. Transfund NZ Research Report No.146. Wellington, NZ.
- [16] Koorey G.F. (2010). *Calibration of overseas highway crash prediction models for New Zealand- a case study with IHSDM*, Wellington, NZ.
- [17] Krammes R. (2000). *Interactive Highway Safety Design Model for Safety Evaluation of Highway Designs*. Proceedings 2nd International Symposium on Highway Geometric Design, Mainz, Germany.
- [18] NATIONAL ROAD SAFETY COMMITTEE (NRSC). (2010). *Road Safety Strategy 2010*. A consultation document. Wellington, NZ.
- [19] Potts I.B., Harwood D.W. & Bauer K.M. (2000). *Effect of Preceding Tangent Length on Safety for Horizontal Curves*. Proceedings 2nd International Symposium on Highway Geometric Design, Mainz, Germany.
- [20] Robinson J.B.L., Morrall J., Smith G. & Biglow B.(2005). *Developments & Emerging Issues in Canadian Geometric*

*Design Practices: Country Report*, 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, USA.