



Cómo citar el artículo

Alarcón Dallos, J. R. (2015). Índices de severidad para auditorías de seguridad vial en carreteras colombianas. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 44, 203-221.

Recuperado de <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/625/1160>

## Índices de severidad para auditorías de seguridad vial en carreteras colombianas

Severity Indexes for Road Safety Audits on Colombian Roads

Indices de sévérité pour des audits de sécurité routière dans routes colombiens



## José Rodrigo Alarcón Dallos

Ingeniero en Transporte y Vías

Especialista en Ingeniería de Vías Terrestres

Especialista en Gerencia de Empresas Constructoras

Magíster en Ingeniería con Énfasis en Infraestructura Vial

Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

joserodrigo.alarcon@uptc.edu.co

**Recibido:** 26 de marzo de 2014

**Evaluated:** 11 de septiembre de 2014

**Aprobado:** 19 de septiembre de 2014

**Tipo de artículo:** reporte de caso

### Resumen

En el *Estudio Piloto para la Aplicación de las Auditorías de Seguridad Vial en Carreteras Colombianas* se proponen índices con tres niveles de severidad como resultado de una revisión del tratamiento y normatividad existente a nivel internacional de los diferentes elementos de la seguridad vial y teniendo en cuenta las condiciones particulares de las carreteras colombianas. Estos índices sirven al auditor en la priorización de los aspectos de la seguridad vial que se deben intervenir con medidas de corrección o mitigación, para lograr una disminución significativa de la accidentalidad y su gravedad. En la vía Chiquinquirá-Tunja (Colombia) tienen mayor potencial en la ocurrencia y severidad de los accidentes, aspectos como inclinación de taludes, distancia al borde de la calzada de señales, objetos fijos y barreras; es decir los problemas están en la zona aledaña a la carretera, la que se debe rediseñar para reducir la ocurrencia y peligrosidad de la accidentalidad.

### Palabras clave

Accidentalidad, Auditorías de Seguridad Vial, Índices de severidad.

### Abstract

In the *Pilot Study for the implementation of the Road Safety Audits in Colombian roads*, rates with three levels of severity are proposed as a result of the revision of the treatment and existing norms at the international level of the different elements of road safety and considering the particular conditions of the Colombian roads. These rates help the auditor to prioritize the aspects of road safety that must be changed with corrective or mitigation measures in order to achieve a significant reduc-

tion in accident rate and accident severity. In the road from Chiquinquirá to Tunja (Colombia), aspects such as tilt of slopes, distance to the edge of the roadway signs, fixed objects and barriers have the highest influence in the occurrence and severity of accidents; which means that the problems are located in the adjacent zone of the road, which must be redesigned in order to reduce the occurrence and the danger of accidents.

### Keywords

Accidents, Road Safety Audits, Severity Indexes.

### Résumé

Dans une étude pilote pour l'application des audits de sécurité routière dans routes colombiennes sont proposés des indices avec trois niveaux de sévérité comme le résultat d'une révision du traitement et des normes internationales des différents éléments de la sécurité routière et en considérant les conditions particuliers des routes colombiennes. Ces indices sont utiles pour l'auditeur pour donner priorité aux facteurs de la sécurité routier qui doivent être intervenus avec des mesures de correction ou mitigation, pour réussir une réduction significative des accidents et ses conséquences. Dans la route Chiquinquirá-Tunja (Colombie) il y a un plus grande influence dans la périodicité et la sévérité des accidents les facteurs comme les pentes des talus, la distance jusqu'à bord de la route des signaux, objets fixes et barrières ; c'est-à-dire les problèmes sont dans la zone voisine aux routes qui doit être redessiné pour réduire la périodicité et sévérité des accidents.

### Mots-clés

Accidents, Audits de sécurité routière, Indices de sévérité.

---

# Introducción

La accidentalidad vial constituye un grave problema a nivel mundial por las pérdidas humanas, sociales y económicas que causa, razón por la cual las diferentes entidades viales del mundo han planteado diversas técnicas para reducirla. A partir de la década de los años noventa diversos países como Australia, Dinamarca, Nueva Zelanda y el Reino Unido están aplicando las Auditorías de Seguridad Vial (ASV) como una medida complementaria a las existentes y como una herramienta para comprobar la gestión de la seguridad vial. En la actualidad son muchos los países que las aplican, entre ellos Estados Unidos, Canadá, Alemania, Chile y México.

Si bien la filosofía y la metodología general de las Auditorías de Seguridad Vial son universales, su aplicación requiere una adaptación a las condiciones específicas de cada país. Se pretende con esta investigación comenzar por analizar el conocimiento y las experiencias en otros países, para plantear una propuesta sobre la forma de la implementación de esta técnica a las condiciones colombianas, teniendo en cuenta la topografía, los criterios de diseño, los volúmenes vehiculares y su composición, y en general las normas existentes. Es decir se pretende que el estado del conocimiento en nuestro medio sobre las ASV alcance una perspectiva práctica sobre su aplicación, que permita promover su implementación como un proceso indispensable y convencional en la ingeniería de carreteras y tránsito en Colombia, en aras de disponer de infraestructuras viales más seguras.

El estudio se desarrolló tomando como referencia el estado del arte de las ASV, las experiencias vividas en otros países y las normas de diseño utilizadas en Colombia; el procedimiento se validó realizando una ASV en la carretera Chiquinquirá-Tunja, mediante la aplicación de las listas de chequeo, previamente adaptadas a las condiciones colombianas.

En este documento se presenta el planteamiento y definición de tres niveles de severidad para algunos elementos viales que influyen en la seguridad vial, con el objeto de brindar una herramienta de apoyo para el auditor en la toma de decisiones referente a priorizar los aspectos o características de una carretera que se deben atender o intervenir para lograr el mayor impacto positivo en la disminución de la accidentalidad y su gravedad. Igualmente se propone un procedimiento para establecer prioridades y criterios generales de actuación y se plantean algunas recomendaciones o medidas de corrección o mitigación para disminuir la accidentalidad vial o atenuar su gravedad.

## Metodología

La metodología utilizada comprende básicamente cuatro etapas principales, cada etapa desarrollada mediante varias actividades complementarias.

### Revisión bibliográfica

En esta etapa se realizó una exhaustiva revisión del estado del arte referente a las auditorías de seguridad vial, enfocada a la normatividad y a los tratamientos que a nivel internacional, las diferentes entidades viales, realizan o aplican a los elementos de una vía que tienen influencia en la seguridad vial.

## Condiciones colombianas

En la segunda etapa se determinaron las condiciones particulares imperantes en las carreteras colombianas y la forma de actuación respecto a la seguridad vial, se confrontó con lo encontrado en la etapa anterior.

## Definición de los niveles de severidad

En la etapa tres se definieron y propusieron tres niveles de severidad para algunos elementos de una carretera que influyen en la seguridad vial. El contraste en campo, de los índices de severidad, se realizó mediante la aplicación de una ASV en la vía Chiquinquirá-Tunja; la identificación de las inconsistencias y la determinación de la severidad de las mismas. Cabe resaltar que los índices propuestos fueron determinados teniendo en cuenta una carretera primaria de una calzada, con énfasis en una velocidad de diseño de 80 km/h.

### Priorización y medidas de actuación

Se planteó un procedimiento para priorizar los elementos de una carretera sobre los cuales actuar para mejorar en mayor grado la seguridad vial, se proponen algunas medidas de mitigación o de corrección al respecto.

## Desarrollo del trabajo

Según Austroads (2002), una auditoría de seguridad vial es un examen formal de un proyecto vial o de tránsito, existente o futuro, o de cualquier proyecto que tenga influencia sobre una vía, en donde un equipo de profesionales calificado e independiente informa sobre el riesgo de ocurrencia de accidentes y del comportamiento del proyecto desde la perspectiva de la seguridad vial. El proceso de las ASV se caracteriza por identificar los potenciales focos de accidentes de tránsito antes que ocurran y son un procedimiento mucho más amplio que los tratamientos de puntos negros o áreas problemáticas donde se concentra la ocurrencia de accidentes (p. 9).

## Desarrollo y propuesta de índices para definir severidad de elementos viales

Los niveles de severidad propuestos satisfacen en general el siguiente concepto:

- **Elementos calificados con severidad alta.** Son los que influyen en mayor grado en la accidentalidad o su gravedad y por ende requieren atención urgente, a su vez su intervención produce reducciones significativas en la seguridad vial, puede decirse que son las más efectivas desde este punto de vista.
- **Elementos calificados con severidad media.** Influyen negativamente en la seguridad vial pero pueden esperar un tiempo más para su intervención y su implementación genera resultados menos favorables que el nivel anterior, pero significativos e importantes.
- **Elementos calificados con severidad baja.** Son susceptibles de mejorar pero su influencia en la seguridad vial es baja aunque puede ser perceptible.

Acorde con lo anterior, se definió y propuso índices de severidad para 27 elementos viales que influyen en la seguridad vial, a continuación se presenta el análisis y planteamiento de algunos de ellos.

**Ancho de carril (Ac).** Es uno de los elementos de la carretera que en el país presenta grandes deficiencias y que puede ser causa de accidentes, tanto por defecto como por exceso en su ancho; para Colombia el caso crítico es por defecto.

Leclair manifiesta que la capacidad ideal de una carretera se da cuando el ancho de los carriles es de 3.6 m con obstrucciones laterales a más de 1.8 m. Propone anchos de carril de 3.0 m para velocidades de 50 km/h y de 3.6 m para 80 km/h (2004, p.15). Estos anchos están en concordancia con el manual de diseño geométrico de la AASTHO (2011, p.4-7). En el Manual de Diseño Geométrico para Carreteras del Perú se indica que los anchos de carril deben estar entre 3.0 y 3.6 m de acuerdo a la velocidad de diseño (2001, p.67).

En México, Garvey apunta que el ancho de los carriles está limitado por las dimensiones físicas de los vehículos a un rango entre 2.7 y 3.6 m (2005, p.57). El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) indica que anchos de carril entre 3.4 a 3.7 m generan las menores frecuencias de accidentes en carreteras y representan el balance más apropiado entre seguridad y eficiencia del flujo vehicular (2002, p.32).

En España el Ministerio de Fomento estipula anchos de carril de 3.0 y 3.5 m para velocidades de diseño de 40 y 80 km/h respectivamente (1999, p.26). Intersafe reseña que el ancho de carril varía entre 3.1 m para Países Bajos y 3.75 m para Australia y Suecia (1996, p.63).

En Colombia el INVIAS establece el ancho de la calzada en función de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la velocidad de diseño. Indica que en carreteras de una sola calzada el ancho mínimo debe ser de 6.0 m, con el propósito de permitir el cruce de dos vehículos que viajen en sentido contrario (2008, p.151).

## Planteamiento de índices de severidad

Según el TRB la reducción de accidentes por la ampliación del carril y berma son los que se muestran en la tabla 1 (2005).

Tabla 1. Reducción de accidentes por ampliación de carril y berma

CARRIL (m)		BERMA (m)		REDUCCIÓN ACCIDENTES (%)
ACTUAL	MEJORA	ACTUAL	MEJORA	
2.7	3.7	-	NO	32
-	-	NO	0.9 no pavimentada	19
-	NO	0	0.9 pavimentada	22
2.7	3.7	0	1.8	60

Fuente: TRB 2005

De las reseñas se concluye:

- Los anchos de carril varían entre 3.4 y 3.7 m para velocidades de diseño superiores a 50 km/h y entre 3.0 m y 3.4 m para velocidades de diseño inferiores a 50 km/h.
- Carriles entre 3.4 y 3.7 m tienen la menor accidentalidad en carreteras y constituyen un equilibrio entre la seguridad y el flujo vehicular.
- Anchos de carril menores de 3.0 m contribuyen a accidentes de múltiples vehículos.
- En vías con carriles de 3.0 m, ampliaciones superiores a 3.7 m no producen efectos significativos, excepto cuando el volumen de camiones es alto.

- Experiencias estadounidenses con ampliaciones de carril de 2.7 a 3.4 m y de 3.0 a 3.7 m, generaron reducciones de accidentes con heridos graves de 22%.
- Carriles anchos pueden ser contraproducentes por causar indecisión y generar maniobras inseguras, como adelantamientos a lo largo de la línea central.

Por lo anterior se proponen los siguientes índices de severidad:

**Severidad baja.** Anchos de carril entre 3.50 y 3.70 m. ( $3.70\text{m} \geq A_c \geq 3.50\text{m}$ )

**Severidad media.** Anchos de carril entre 3.30 y 3.50 m. ( $3.50\text{m} > A_c \geq 3.30\text{m}$ )

**Severidad alta.** Anchos de carril inferiores a 3.30 m. ( $A_c < 3.30\text{m}$ ).

**Ancho de bermas (Ab).** Elemento de la sección transversal al cual se le ha dado poca importancia en el país, de gran influencia en la seguridad vial por aspectos como visibilidad, salida de emergencia, estacionamiento temporal y separación de obstáculos laterales.

En México el IMT propone un ancho de berma de 2.5 m a cada lado, para las carreteras más importantes de dos carriles, y un ancho mínimo de 1.0 m a cada lado para todas las vías de menor importancia (2004, p.19). Garvey indica que típicamente los anchos de bermas varían desde 0.6 m en vías rurales menores sin pavimentar, hasta 3.6 m a lo largo de carreteras donde toda la berma este pavimentada (2005, P.58). En Perú, el Manual de Diseño Geométrico para Carreteras define el ancho de berma para cada velocidad de diseño, y lo hace teniendo en cuenta los volúmenes de tránsito y el costo de construcción. Los anchos usados están entre 1.20 y 2.50 m para velocidades de diseño de 40 y 80 km/h respectivamente (2001, P.67).

Según la AASTHO, es deseable bermas de 3.0 m para que un vehículo pueda estacionarse sin interferir en los vehículos que están en circulación, es ideal que estén separados entre 0.3 y 0.60 m. En terrenos difíciles y en las carreteras de bajo volumen, las bermas pueden estar entre 1.8 y 2.4 m (2011, p.4-9. Intersafe enuncia que el ancho de las bermas depende del uso que se les dé y varían entre 0.25 m para Alemania y Francia y 2.75 m para Suecia, España maneja anchos entre 1.0 m y 2.5 m (1996, P.65).

En Colombia el INVIAS expresa que el ancho de las bermas depende de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la velocidad de diseño. Los anchos están entre 1.50 y 2.50 m para velocidades de diseño de 60 y 80 km/h respectivamente (2008, P.153).

Al respecto de los anchos de berma el TRB manifiesta:

- Se reducen los accidentes si se construye una berma de 1.80 m.
- Incrementar el ancho de berma hasta 3.0 m tiene beneficios.
- Para carreteras sin berma, el ancho óptimo a proveer es 1.80 m (2005).

## Planteamiento de índices de severidad

De las reseñas se concluye que las bermas funcionales y seguras tienen ancho entre 1.0 y 3.0 m. Anchos de bermas de más de 3.0 m pueden tomarse como un carril de circulación, en detrimento de la seguridad vial.

Por lo anterior se proponen los siguientes índices de severidad.

**Severidad baja.** Anchos de berma entre 1.80 y 3.0m. ( $3.0\text{m} \geq Ab \geq 1.80\text{m}$ )

**Severidad media.** Anchos de berma entre 1.0 y 1.80m. ( $1.80\text{m} > Ab \geq 1.0\text{m}$ )

**Severidad alta.** Anchos de berma inferior a 1.0 m. ( $Ab < 1.0\text{ m}$ )

**Geometría de las cunetas.** Desde la perspectiva de la seguridad vial, conviene que las cunetas permitan la recuperación de un vehículo cuando este sufre una salida de la calzada.

Llamas indica que las cunetas son un obstáculo lateral si su profundidad está entre 30 y 50 cm por debajo de la rasante. Lo ideal es cunetas de menos de 20 cm de profundidad con talud inferior a 6:1 (2002, p.4). En Europa, Intersafe reseña que se prefieren cunetas anchas y poco profundas; por ejemplo en Alemania el ancho debe estar entre 1.0 y 1.25 m y la profundidad entre 0.2 m y un quinto del ancho (1996, p.66). Leclair recomienda la cuneta trapezoidal con un ancho de fondo entre 2.0 y 3.0 m, poco profundas y con taludes del lado de la calzada, no superiores de 4:1 (2004, p.4-13). Según la PIARC la gravedad de los accidentes de un sólo vehículo se acentúa por la presencia de cunetas abiertas profundas y características de seguridad pasiva insuficientes (2007, p.19). Speier menciona que las cunetas trapezoidales son preferibles a las triangulares, por ser transitables por vehículos que se salgan de la vía (2009, p.29).

## Planteamiento de índices de severidad

De las reseñas se concluye:

- Las cunetas trapezoidales son de más fácil transitabilidad que cunetas con otra sección transversal.
- La profundidad de las cunetas debe ser la menor posible, preferiblemente inferior a 20 cm o un quinto del ancho.
- Es recomendable que los taludes sean inferiores de 6.1, en ningún caso superar 4:1.
- El ancho de las cunetas, en lo posible debe ser superior a 1.25 m.

Por lo anterior, los índices de severidad se proponen teniendo en cuenta la sección transversal, el ancho (a), la profundidad (p) y el talud del lado de la calzada (t), así:

**Severidad baja.** Cuneta trapezoidal o con ( $a > 1.25\text{ m}$ ,  $p <$ , y  $t < 6:1$ ).

**Severidad media.** ( $1.25\text{m} \geq a > 1.0\text{ m}$ ,  $p <$  y  $t < 4:1$ ).

**Severidad alta.** ( $a < 1.0\text{ m}$ ,  $p >$  y  $t > 4:1$ ).

**Distancia de la señalización vertical desde el borde de la calzada (Dsv).** La señalización vertical ayuda a los usuarios de una carretera a prevenir accidentes o atenuar su gravedad; por esto se debe instalar la adecuada y en los sitios estratégicos para que cumpla la función prevista.

En Chile, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones recomienda para una velocidad de diseño de 80 km/h colocar la señalización a distancias superiores a 1.5 m (2003, p.14). En España el manual de señalización vertical del Ministerio de Fomento establece que las señales se colocarán en el margen derecho de la vía, a una distancia superior a 2,5 m del borde exterior de la calzada, o 1,5 m donde no exista berma. Indica que estas distancias se pueden reducir a 1.0 m previa justifica-

ción (1999, p.23). En Portugal, Intersafe indica que todas las señales verticales deben colocarse en el margen derecho (1996, p.102). Las normativas europeas dan los siguientes valores:

En carreteras sin bermas:  $\geq 1.5$  m desde el borde de la calzada

En carreteras con bermas  $\leq 2.1$  m:  $\geq 2.6$  m desde el borde de la calzada

En carreteras con bermas  $\geq 2.1$  m:  $\geq 0.5$  m desde el borde de la berma

En Colombia el Manual de señalización establece que las señales se deben colocar entre 1.80 m y 3.60 m del borde del pavimento (2004, p.12).

## Planteamiento de índices de severidad

De las reseñas revisadas se concluye que las distancias mínimas desde el borde de la calzada, para instalar la señalización vertical, fluctúan entre 1.5 m y 3.6 m, para velocidades de diseño de 80 km/h. Estas distancias pueden reducirse a 1.0 m en casos especiales, previa justificación y con poste flexible. Por esto, los índices de severidad propuestos son:

**Severidad baja.**  $(3.60 \text{ m} \geq Dsv \geq 2.5 \text{ m}).$

**Severidad media.**  $(2.5 \text{ m} > Dsv \geq 1.80 \text{ m}).$

**Severidad alta.**  $(Dsv < 1.80 \text{ m}).$

**Zona lateral despejada (Zld).** En la orilla de las carreteras colombianas es típico encontrar objetos fijos como postes, árboles, señales, entre otros; estos obstáculos pueden causar accidentes o aumentar su gravedad si no son protegidos o relocalizados adecuadamente.

La Roadside Design Guide de la AASHTO sugiere proveer un ancho mínimo de zona despejada de 3.0 m. Un análisis de accidentes mostró que a velocidades de 70/75 km/h se requiere una zona despejada de 6.0 m para seguridad. Igualmente enuncia que si se respetan 9.0 m a cada lado de la calzada y pendiente transversal poco pronunciada se permitiría la recuperación del 80% de los vehículos que sufren salidas de la vía (2002, p.10). Según Intersafe, en Francia es obligatoria una zona libre de obstáculos de 7.0 m en todas las carreteras nuevas; para las carreteras en servicio el ancho requerido es de 4.0 m, estos mismos valores se estipulan en Suecia. En España y países Bajos se requiere una zona libre de obstáculos de 4.5 m para velocidades de 80 km/h. En Noruega para velocidades entre 70 y 80 km/h y un TPD mayor o igual a 10.000, se requiere un ancho de 5.0 m. En condiciones desfavorables, el ancho debe ser de 10 m. (1996, p.66).

## Planteamiento de índices de severidad

Es variado el criterio de zona lateral despejada a nivel internacional, y depende de la velocidad, el tránsito y la inclinación de los taludes. Los anchos de zona lateral despejada varían entre 3.0 y 9.0 m en promedio, para los diferentes países reseñados. Dado lo anterior, se propone los siguientes índices de severidad.

**Severidad baja.**  $(Zld > 6\text{m}).$

**Severidad media.**  $(6\text{m} \geq Zld \geq 3\text{m}).$

**Severidad alta.**  $(Zld < 3 \text{ m}).$

**Taludes (T).** Los taludes de corte y terraplén deben ser construidos para que un vehículo pueda recuperarse una vez se salga de la vía, para ello deben tener inclinaciones apropiadas.

Leclair menciona que se debe incorporar taludes 4:1 o más extendidos que eviten el vuelco de los vehículos errantes, preferiblemente de 6:1 (2004, p.8-3). En México Garvey indica que taludes con inclinaciones superiores a 3:1 no son traspasables por un vehículo; taludes entre 3:1 y 4:1 son traspasables si son uniformes y taludes de 4:1 o menores son traspasables y recuperables (2005, p.55). Llamas considera como obstáculo el talud con pendiente superior a 6:1 (2002, p.2). En Europa, Intersafe señala que existen diferencias de esta especificación entre los países europeos, y si se trata de terraplén o corte. Por ejemplo en Suecia se menciona que para que un talud no sea considerado como obstáculo, debe tener pendiente muy suave hasta 6:1 (1996, p.66). Según Speier los taludes deben construirse paralelos a la calzada y con las inclinaciones mencionadas por Garvey (2009, p.18).

## Planteamiento de índices de severidad

Los índices de severidad de taludes complementan a los propuestos para anchos de zonas laterales despejadas, pues es deseable zonas despejadas pero transitables y en lo posible recuperables. En general las referencias coinciden en que taludes con pendientes superiores de 3:1 no son transitables, y que es deseable taludes con inclinaciones 4:1 o inferiores. Por esto se proponen los siguientes índices de severidad.

<b>Severidad baja.</b>	Taludes 4:1 o más planos.	( $T \leq 4:1$ ).
<b>Severidad media.</b>	Taludes entre 3:1 y 4:1.	( $4:1 < T \leq 3:1$ ).
<b>Severidad alta.</b>	Taludes superiores a 3:1.	( $T > 3:1$ ).

## Resultados

### Determinación de los índices de severidad en la carretera Chiquinquirá-Tunja

A partir de los índices de severidad (I.S.) definidos anteriormente, se determinaron los mismos para el caso en estudio, vía Chiquinquirá-Tunja, algunos ejemplos se presentan a continuación.

**Sección transversal.** La severidad de la sección transversal se definió para elementos como ancho de carril, ancho de bermas, cunetas y taludes.

Ancho de carril y berma

Ancho de calzada entre 6.60 m y 7.00 m: Severidad media

Ancho promedio de bermas = 0.3 m: Severidad alta

**Taludes.** La severidad de los taludes se definió teniendo en cuenta el tipo y su inclinación, los índices de severidad se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Índices de severidad para taludes

Taludes					
PRI	PRF	C/T	Lado	H:V	I.S.
41+718	41+800	T	I	1,3:1	A
41+718	41+750	C	D	2:1	A
41+750	41+910	T	D	0,5:1	A
42+200	42+500	T	I	0,3:1	A

Fuente: El autor

Un ejemplo de severidad alta para taludes se presenta en la figura 1, en la cual se observa taludes muy inclinados que no permiten la recuperación de los vehículos que se salgan de la vía y muy pegados a la calzada por la ausencia de bermas.

**3.1.2. Curvas horizontales.** La severidad de las curvas horizontales se definió teniendo en cuenta elementos propios de la curva y su relación con las curvas adyacentes; se consideraron: longitud de la curva, peraltes, radios de curvatura y entretangencias. Estos índices se presentan en la tabla 3.



Figura 1. Ausencia de bermas, taludes muy inclinados y pegados a la calzada

Fuente: El autor

Tabla 3. Índices de severidad para elementos de las curvas horizontales

CURVAS HORIZONTALES											
Longitud curva		Sent.	Deflex. (°)	Long.		Entretang.		Peralte		Radio	
PRI	PRF			(m)	I.S.	(m)	I.S.	(%)	I.S.	(m)	I.S.
41+425	41+850	I	88	425	B			4	B	276,7	B
42+200	42+450	D	58	250	B	350	B	4	M	247,0	B

Fuente: El autor

Un ejemplo de severidad alta para curvas horizontales se muestra en la Figura 2, en la cual se evidencia falta de entretangencia horizontal.



Figura 2. Curvas sin suficiente entretangencia horizontal

Fuente: El autor

**Barreras.** La severidad de las barreras se definió teniendo en cuenta la localización transversal a partir del borde del pavimento y su estado de mantenimiento. Los índices de severidad se presentan en la tabla 4.

- S/M = Semirrígida metálica.
- Db = Distancia desde el borde del pavimento.
- %Da = Porcentaje de daño.

**Tabla 4. Índices de severidad para barreras**

BARRERAS								
PRI	PRF	L	Tipo	Db(m)	I.S.	% Da	I.S.	Longitud
42+200	42+415	I	S/M	0,5	A	18%	M	215

Fuente: El autor

Las barreras son un elemento útil para mitigar la gravedad de los accidentes, sin embargo mal instaladas, como es el caso de las existentes en la vía Chiquinquirá – Tunja, se convierten en obstáculos que afectan la accidentalidad y su gravedad. Existen barreras metálicas instaladas a menos de 0.40 m del borde del pavimento, distancia inferior a 2.0 m que es la mínima recomendada; tienen longitud insuficiente con terminales enfrentados en la dirección del tránsito y sin amortiguador de impacto; están golpeadas, sin reparar, aspectos que se observan en la Figura 3.



**Figura 3. Barreras pegadas a la calzada, sin mantenimiento y longitud insuficiente**

Fuente: El autor

**Zonas despejadas.** En la tabla 5 se presentan los índices de severidad para zonas despejadas.

**Tabla 5. Índices de severidad para zonas laterales despejadas**

Zonas despejadas					
PRI	PRF	L	Ach.(m)	I.S.	Long.(m)
41+400	43+000	D	1,5	A	1+600
41+400	43+000	I	1,5	A	1+600

Fuente: El autor

Este es uno de los aspectos crítico en la vía Chiquinquirá-Tunja; la zona lateral, en la mayoría de los casos, se encuentra saturada por la presencia de restaurantes, cafeterías, suministro de combustibles. Igualmente se localizan postes de iluminación a menos de 2.0 m del borde del pavimento, árboles y avisos, aspectos que se pueden observar en la figura 4.

**Figura 4. Invasión de la zona lateral por postes, avisos, señales**



Fuente: El autor

## Procedimiento para establecer prioridades y criterios generales de actuación

Algunos de los problemas de seguridad identificados son más importantes o graves que otros, por lo que es conveniente señalar esta diferencia en las recomendaciones planteadas por el auditor, con el propósito de resaltar aquellas que requieran de mayor atención. Son variadas las formas usadas para priorizar dichas inconsistencias. En este orden de ideas las medidas se pueden clasificar según el plazo para su implementación en:

- **Medidas a corto plazo.** Son aquellas que pueden ser implantadas en un período de tiempo de seis meses. Ejemplo de estas medidas son la instalación de tachas reflectivas, barreras de seguridad y señales verticales, entre otras.
- **Medidas a mediano plazo.** Son aquellas que se realizan en un período de tiempo de seis a dieciocho meses. Estas medidas contemplan diseños más detallados que los realizados en el corto plazo, como por ejemplo cambios geométricos localizados.
- **Medidas a largo plazo.** Son aquellas a ser implantadas luego de dieciocho meses. Estas medidas requieren de un diseño elaborado de los componentes de la carretera y pueden representar cambios significativos en la geometría existente, se incluyen rectificaciones y ampliaciones.

Otras categorías que se pueden utilizar para clasificar los problemas de seguridad vial, son:

- **Atención inmediata.** Se incluyen aquellos aspectos que se consideran de suficiente peligrosidad y que requieren remoción, protección o señalización inmediata, como por ejemplo el hundimiento de la calzada.
- **Importante.** Se incluyen los problemas de seguridad que el auditor considera que constituyen un peligro potencial importante, como es el caso curvas de bajo radio.

El IMT señala que las recomendaciones del auditor deben ser estructuradas en dos niveles (2001, p.73):

- **Problemas.** Se incluyen aquellas condiciones en las que es posible documentar su relación con el incremento en el riesgo de ocurrencia de accidentes, como curvas pronunciadas con bajo peralte, cruce de peatones.
- **Observaciones.** Aquí se hace referencia a aquellas condiciones que la experiencia demuestra que requieren un seguimiento riguroso pero que no es posible documentar su relación con el incremento de riesgo en la ocurrencia de accidentes, como la falta de una señal preventiva.

En el presente estudio se hace una propuesta para priorizar las inconsistencias a intervenir, la cual está soportada en los índices de severidad. En primera instancia se propone intervenir las inconsistencias calificadas con severidad alta. Sin embargo, se pueden seguir los siguientes pasos para tener un mayor apoyo en la toma de decisiones al respecto.

- Paso 1. Recopilar información sobre estadísticas de accidentalidad en el tramo en estudio en los últimos años y realizar un análisis de causas probables, tipo de accidente y elementos involucrados.
- Paso 2. Identificar las causas de accidentalidad de mayor frecuencia o más comunes y ordenarlas por su gravedad, con base en la ocurrencia de víctimas con muertos o heridos y por tipo de accidente.
- Paso 3. Aplicar las listas de chequeo a la vía o tramo en estudio, identificar las inconsistencias y determinarles los índices de severidad; se seleccionan las calificadas con severidad alta.
- Paso 4. Relacionar el análisis de accidentalidad realizado en el paso 1, con las consecuencias de los accidentes y con las inconsistencias detectadas en el paso 3.
- Paso 5. Según el resultado del paso anterior, proponer las estrategias de actuación para las inconsistencias de la vía en estudio.
- Paso 6. A juicio del auditor se puede proceder de igual forma para las inconsistencias calificadas con nivel de severidad media y baja.

## Priorización de actuaciones en la vía Chiquinquirá-Tunja

A continuación se desarrolla la metodología propuesta para priorizar las actuaciones en la vía Chiquinquirá-Tunja y se proponen algunas medidas de corrección o mitigación para las inconsistencias encontradas y que afectan en mayor grado la seguridad vial.

**Análisis de accidentes.** El análisis de las estadísticas de accidentalidad de los años 2006 a 2010 se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Análisis de accidentalidad en la vía Chiquinquirá-Tunja

Clase de accidente	Involucrados	Causas probables
Choque	Vehículos bicicleta motocicleta poste, defensa	1. Girar bruscamente
		2. Exceso de velocidad
		3. No respetar prelación
		4. Imprudencia conductor
Volcamiento	Vehículos	1. Adelantar invadiendo vía
		2. Fallas mecánicas
Atropello	Vehículos, peatón	1. Imprudencia peatón

Fuente: El autor

**Inconsistencias calificadas con severidad alta.** Del análisis conjunto de la aplicación de las listas de chequeo y la determinación de los índices de severidad, se definen las siguientes inconsistencias que se presentan en la vía Chiquinquirá-Tunja y que se califican con severidad alta.

- Ancho de bermas.
- Distancia de la señalización vertical desde el borde de la calzada.

- Ubicación longitudinal de la señalización preventiva y reglamentaria.
- Distancia de instalación de las barreras a partir del borde de la calzada.
- Zona lateral despejada.
- Taludes.

**Relación accidentalidad, consecuencias e inconsistencias.** Se puede establecer varias relaciones entre el tipo de accidente, los actores involucrados, las causas aparentes y las consecuencias de los accidentes, con las inconsistencias detectadas y que se calificaron con severidad alta.

Las causas y consecuencias de los choques presentados en la vía en estudio, se pueden relacionar con:

- Señalización deficiente ya sea por cantidad, localización, mensaje inadecuado.
- Instalación incorrecta de defensas por estar muy pegadas al borde de la calzada.
- Ausencia de bermas que impide maniobrar antes de colisionar.
- Presencia de objetos fijos laterales muy cerca del borde del pavimento, como el caso de los postes.
- Falta de infraestructura para peatones, ciclistas y motociclistas.
- Comportamiento inadecuado de usuarios.

Los volcamientos pueden estar asociados a:

- Deficiente señalización.
- Taludes no transitables.
- Ausencia de bermas.
- Falta de barreras de seguridad.
- Comportamiento inadecuado de usuarios.

Los atropellos pueden estar relacionados con la falta de infraestructura para los peatones o inadecuado comportamiento de usuarios.

**Priorización de actuaciones.** Dado lo anterior, en la vía en estudio sería conveniente intervenir aspectos como:

- Zona lateral.
- Anchos de bermas.
- Señalización.
- Taludes.
- Barreras.

**Estrategias de actuación.** Las medidas de intervención deben estar orientadas a:

- Gestión en la zona lateral:
  - Retiro o reubicación de postes y demás objetos fijos.
  - Rediseño de taludes.
  - Instalación y reubicación de barreras de seguridad.
- Construcción o reconstrucción de bermas.
- Señalización en cuanto a:
  - Instalación.
  - Reubicación.
  - Retiro.
  - Mantenimiento.
- Proveer infraestructura para usuarios vulnerables.
- Control policial.
- Campañas de educación vial.

**Medidas generales de actuación.** Algunas medidas que se pueden implementar en las carreteras colombianas y que ayudan a mejorar la seguridad vial, para reducir el número de accidentes y su gravedad, son las presentadas a continuación.

**Taludes paralelos.** Ejemplos de transición de talud transitable son los mostrados en la figura 5.



Figura 5. Inclínación y transición aceptable de taludes para recuperación de vehículos que se salgan de la vía

Fuente: Speier, 2002

**3.2.2.2. Alcantarillas.** Se pueden implementar algunas modificaciones para la entrada y salida de obras de drenaje que las hacen más seguras como las mostradas en las figuras 6 y 7.



Figura 6. Modificación de la salida de obras de arte, diseño traspasable  
Fuente. Asociación Española de Carreteras.



Figura 7. Diseño traspasable de entrada y salida de obras de arte  
Fuente: Speier, 2009.

**Barreras.** Para que las barreras cumplan la función de mitigar la severidad de los accidentes deben ser de alta deflexión para redireccionar el vehículo suavemente; para esto el sistema de sujeción entre la viga y el poste debe ser colapsable, que permita el desenganche de los postes durante la colisión, aspecto que se observa en la figura 8.

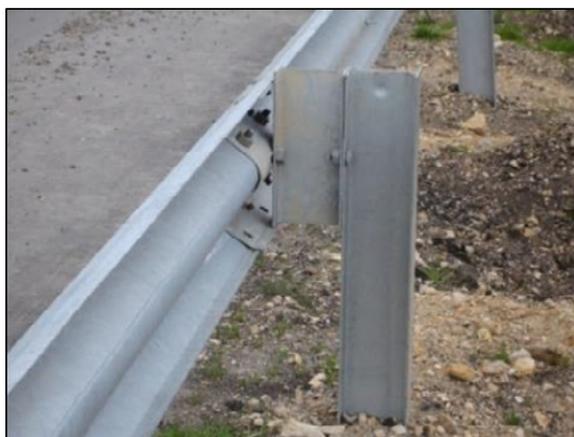
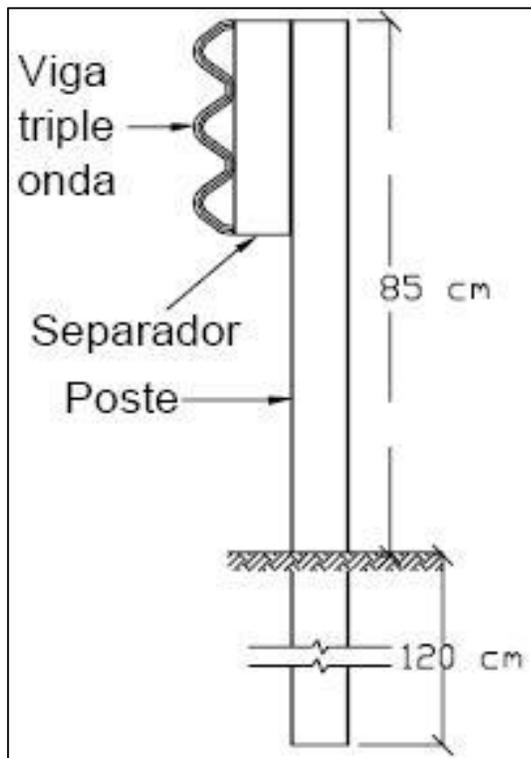


Figura 8. Sistema de amarre colapsable entre la viga y el poste de la barrera.  
Fuente. Asociación Española de Carreteras

El sistema de barrera más comúnmente usado es el de triple onda con poste débil y separación entre postes de 4.0 m, la figura 9 muestra un ejemplo de este tipo de barrera.



**Figura 9. Barrera semirrígida triple onda con separador**  
Fuente: Mayoral Grajeda, IMT.

Un sistema novedoso son las barreras de cable, en el cual se emplean postes en forma de C y cables tensionados, útil para prevenir colisiones de frente capturando y redirigiendo el vehículo errante. El sistema más usado presenta tres cables de alta tensión, sin filos ni ganchos, ranura en forma de onda en el poste para menores deflexiones. Este sistema se puede ver en la Figura 10.



**Figura 10. Barrera de cable**  
Fuente: Asebal, España

## Conclusiones

Los índices de severidad propuestos son el resultado de una revisión exhaustiva de la normatividad y formas de proceder en materia de seguridad vial a nivel mundial; tienen como objetivo ayudar al auditor en la toma de decisiones respecto a que elementos de la vía intervenir para mejorar en mayor grado la seguridad vial, y cooperar a que las medidas implementadas estén acordes con los estándares internacionales.

En el planteamiento de los índices de severidad se evidencia que la carretera Chiquinquirá-Tunja está construida con estándares inferiores a los exigidos a nivel internacional, incluso por debajo de los mismos estándares nacionales, esto provoca accidentalidad y agrava su severidad.

En la carretera Chiquinquirá-Tunja es prioridad implementar algunas medidas de corrección o mitigación que mejoren la seguridad vial; entre ellas se puede mencionar la colocación de barreras, el diseño de taludes traspasables, el despeje de objetos fijos de las zonas laterales, señalización vertical y horizontal.

La señalización y las barreras de contención existentes en la carretera Chiquinquirá-Tunja son aspectos paradójicos, antes que ayudar a la seguridad vial, propician la ocurrencia de accidentes o incrementan su severidad, por su incorrecto diseño y localización; por lo anterior urge un rediseño de estos elementos para su relocalización o en su defecto su retiro, con el ánimo de mejorar en seguridad vial.

El presente trabajo es una buena referencia para que los entes gubernamentales tomen decisiones respecto al permiso de instalación de postes de alumbrado público y demás objetos fijos a la orilla de las carreteras y para legislar en materia de seguridad vial.

## Referencias

- American Association of State Highways and Transportation Officials. (2002). *Roadside Design Guide*. Washington, D.C.
- American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO). (2004). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. (5ta edición). Washington, D.C.
- American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO). (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. (6ta edición). Washington, D.C.
- American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO). (2005). *Transportation Research Board TRB*. Washington, D.C.
- Asebal. (2010). *Elementos de Sustentación, Piezas de Anclaje y Lamas de Acero*. Madrid, España.
- Asociación Española de la Carretera. Intersafe. (1996). *Guía Técnica de Seguridad para el Diseño de Carreteras Interurbanas*. España.
- Austroroads. (2002). *Road Safety Audit*. (2da edición). Sydney, Australia.
- Garvey, J. (2005). *Flexibilidad del Diseño*. México.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá, Colombia.
- Leclair, R. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales*. (2da edición). Guatemala.
- Llamas, R. (2002). *La Seguridad y los Márgenes. Diseño de los Elementos de Contención*. España.

- 
- Mayoral Grajeda, Emilio et al. (2001). *Auditorías en Seguridad Carreteras. Procedimientos y Prácticas*. Sanfandila. México. Recuperado 15 de noviembre de 2008, de <http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt224.pdf>.
- Ministerio de Fomento. (1999). *Orden de 28 de diciembre de 1999 por la que se aprueba la Norma 8.1-IC, Señalización Vertical, de la Instrucción de Carreteras*. Madrid, España.
- Ministerio de Fomento. (1999). *Orden de 27 de diciembre de 1999 por la que se aprueba la Norma 3.1- C. Trazado, de la Instrucción de Carreteras*. Madrid, España.
- Ministerio de Transporte. (2004). *Manual de Señalización. Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles, Carreteras y Ciclorrutas de Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. (2001). *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2003). *Manual de Señalización de Tránsito*. Santiago, Chile.
- Permanent International Association of Road Congresses (PIARC). (2007). *Guía de Auditorías de Seguridad Vial para Comprobaciones de Seguridad de Proyectos de Carreteras Nuevas*.
- Secretaría de comunicaciones y transporte. Instituto mexicano del transporte. (2001). *Auditorías en Seguridad Carretera, Procedimientos y Prácticas*. sanfandila, México. Recuperado 15 de septiembre de 2011, de <http://www.imt.mx>.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Instituto Mexicano del Transporte. (2002). *Algunas Consideraciones de Seguridad para el Proyecto Geométrico de Carreteras*. Sanfandila, México. Recuperado 15 de noviembre de 2009, de <http://www.imt.mx>.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Instituto Mexicano del Transporte. (2004). *Recomendaciones de Actualización de Algunos Elementos del Proyecto Geométrico de Carreteras*. Sanfandila. México. Recuperado 15 de noviembre de 2009, de <http://www.imt.mx>.
- Speier, G. (2002). *Presentación Mejoras en la Infraestructura Vial Mundial*. Primeras Jornadas de Seguridad Vial. Tunja, Boyacá.
- Speier, G. (2009). *Presentación Mejoras en la Infraestructura Vial Mundial*. Segundas Jornadas de Seguridad Vial. Tunja, Boyacá.