

Estimación de accidentes en carreteras convencionales de dos carriles según el Manual de Seguridad Vial norteamericano

Antonio Baamonde Roca; Ignacio Pérez Pérez
Universidade da Coruña. E. T. S. I. Caminos, Campus de Elviña, s/n, 15071 A Coruña, Spain

Resumen

En este artículo se describe la aplicación del procedimiento predictivo de la seguridad vial, planteado en el "Highway Safety Manual" (Manual de Seguridad Vial) norteamericano, para carreteras convencionales de dos carriles.

Inicialmente se desarrolla una breve presentación general de la metodología de predicción para pasar a describir la estructura del procedimiento predictivo para el caso de carreteras rurales de dos carriles. A continuación se explicita parte de la formulación concreta para este caso incorporando diversos ejemplos ilustrativos y se explica el sistema de distribución de accidentes por su nivel de gravedad o por su tipo. Por último se plantean las conclusiones.

Palabras clave: *Seguridad Vial, "Highway Safety Manual", HSM, Modelo de seguridad vial, diseño geométrico, predicción accidentes tráfico, accidente, tráfico, carreteras convencionales de dos carriles.*

Abstract

This paper describes the application of the road safety predictive method raised in the US "Highway Safety Manual" to rural two – lane roads.

Initially, a brief presentation of the general prediction methodology is developed and goes on to describe the predictive procedure structure for the case of rural two – lane roads. Afterwards part of the specific formulation for this case is presented incorporating some illustrative examples and the system of accident distribution by severity level or by type is explained. Finally, conclusions are raised.

Keywords: *Road Safety, "Highway Safety Manual", HSM, Model of road safety, geometric design, traffic accident prediction, accident, traffic, rural two – lane highways*

1. Introducción

El documento denominado “**Highway Safety Manual**” (Manual de Seguridad Vial) [I], en adelante HSM, se ha venido desarrollando durante los últimos años por la “Transportation Research Board” (Comisión de Investigación de Transportes de Estados Unidos de Norteamérica) como una herramienta que “cuantifique” la seguridad vial de tal forma que los responsables en la materia puedan utilizarla en el momento de tomar decisiones relativas a la planificación, el diseño, la construcción, la explotación y el mantenimiento de las infraestructuras del transporte por carretera. Para ello, en el HSM, se desarrolla una metodología predictiva general de la Seguridad Vial y se aplica a tres casos concretos: carreteras rurales de dos carriles, carreteras rurales multicarril y arterias urbanas y suburbanas.

Este artículo tiene por objeto hacer una aproximación general a este **método predictivo de la seguridad vial aplicado para carreteras rurales de dos carriles**, lo que nos parece interesante al permitirnos acercarnos a la utilización de la metodología predictiva del HSM y a su sistemática de aplicación a la vez que nos proporcionará una imagen global del avance conceptual que supone el propio desarrollo de esta herramienta.

Se debe destacar, de todas formas, que esta metodología está pensada para su aplicación en las redes de carretera de Estados Unidos, partiendo y utilizando los estándares de diseño, datos y conocimientos propios de la bibliografía y la técnica norteamericana. Pero pensamos que su interés trasciende a su aplicación para los casos norteamericanos puesto que podría ser muy interesante prestarle atención como una herramienta que, una vez repasada y adaptada, podría utilizarse para otras redes de carreteras teniendo en cuenta que la metodología proporciona una nueva perspectiva para afrontar los problemas de seguridad vial al facilitar criterios objetivos para la toma de decisiones, es decir, cuantifica la seguridad vial.

2. Breve resumen de la metodología general de predicción de la seguridad del HSM

El HSM plantea una metodología para predecir la seguridad de una determinada infraestructura de carretera combinando el uso de los datos históricos de accidentes, análisis de modelos de regresión de accidentes, estudios “antes – después” y dictámenes de expertos en la materia. La medida de la seguridad se establece por la frecuencia anual esperada de accidentes que puede ser calculada para un determinado elemento de la carretera o para la infraestructura completa y que se calcula teniendo en cuenta dos variables fundamentales: por un lado, el efecto del volumen de tráfico que se incorpora a través de los modelos base, y, por otro lado, los efectos de la geometría y elementos de control del tráfico que se incorporan a la predicción mediante los Factores de Modificación de Accidentes; a estas dos variables se añade una calibración para tener en cuenta también las condiciones locales.

El proceso de predicción de la seguridad se puede resumir en los siguientes puntos:

- 1) Seleccionar el elemento que se pretende evaluar
- 2) Aplicar un Modelo Base, que se tratará en general de una distribución binomial negativa. Estas funciones se denominan en el HSM Funciones de Predicción de Accidentes (en inglés: Safety Performance Functions; abreviado SPFs)
(La elección de distribuciones binomiales negativas en general como modelos base se debe a que la experiencia americana indica que este tipo de distribuciones son las que se adaptan mejor a la alta variabilidad de los datos de accidentes)
- 3) Sobre el Modelo Base aplicar un factor de calibración para adaptarlo a las condiciones locales
- 4) Ajustar el modelo calibrado mediante Factores de Modificación de Accidentes (en inglés: Accident Modification Factors; abreviado AMFs) que representan los efectos en la seguridad de cada elemento de diseño geométrico y cada elemento de control de tráfico característicos del elemento evaluado
- 5) Determinar la frecuencia de accidentes y su distribución por gravedad y tipo de colisión
- 6) Obtener los valores finales de la predicción

Este proceso se traduce en la siguiente ecuación general de estimación de la **Frecuencia prevista de accidentes** [I]:

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{spf } x} (AMF_{1x}) (AMF_{2x}) \dots (AMF_{yx}) C_x \quad (1)$$

Donde:

$N_{\text{predicted}}$ = número total previsto de accidentes por año en el elemento que se pretende evaluar después de aplicar los Factores de Modificación de Accidentes

$N_{\text{spf } x}$ = número total previsto de accidentes por año en el elemento a evaluar para las condiciones base o nominales

$AMF_{1x} AMF_{2x} \dots AMF_{yx}$ = Factores de Modificación de Accidentes para el elemento a evaluar

C_x = factor de calibración para el elemento a evaluar desarrollado para usarse en su área geográfica teniendo en cuenta las condiciones locales

El método sirve para estimar la seguridad de una determinada carretera existente o en fase de estudio y bajo las condiciones de tráfico existentes o su demanda esperada en el futuro y, como ya hemos señalado, en el HSM se aplica para tres casos concretos: carreteras rurales de dos carriles, carreteras rurales multicarril y arterias urbanas y suburbanas.

Una descripción general de este método predictivo junto con la explicación de su estructura conceptual, de los pasos básicos para su aplicación y de su interés a nivel global se desarrolla en otro artículo anteriormente publicado al que nos remitimos como consulta. [II]

3. Estructura del Procedimiento Predictivo de la Seguridad para carreteras rurales de dos carriles

El procedimiento predictivo para carreteras rurales de dos carriles tiene en cuenta tanto el caso de los segmentos de carretera como el de tres tipos distintos de intersecciones al mismo nivel a los que se añade un método para combinar los resultados de los dos casos anteriores y obtener una predicción de la seguridad para un tramo completo de la infraestructura estudiada.

De acuerdo con el planteamiento general del procedimiento de predicción de la seguridad, tanto la formulación para segmentos de carretera como la de intersecciones a nivel están compuestas por dos componentes, modelos base y factores de modificación de accidentes, a los que adicionalmente se debe añadir un factor de calibración que adapte el modelo a las condiciones locales.

3.1 Modelos base

Se utiliza un modelo de regresión cuya variable dependiente estimada es la frecuencia anual de accidentes en un determinado segmento de carretera o intersección y las variables independientes son el volumen de tráfico y el diseño geométrico o las medidas de control de tráfico del segmento de carretera o intersección estudiado.

Estos modelos solamente estiman la frecuencia esperada de accidentes para unas condiciones base generales (tales como 3,66 m de ancho de carril y 1,83 m de ancho de arcén, 12 ft de ancho de carril y 6 ft de ancho de arcén en la bibliografía norteamericana) por lo que deben ajustarse con Factores de Modificación de Accidentes (AMFs) que tengan en cuenta los efectos en la seguridad del diseño geométrico y los elementos de control de tráfico específicos del elemento particular considerado.

3.2 Factores de Modificación de Accidentes (AMFs)

Los AMFs son factores multiplicativos usados para ajustar la frecuencia de accidentes del modelo base a las condiciones específicas de diseño geométrico y control de tráfico.

Lógicamente el valor nominal de un AMF si las condiciones específicas coinciden con las generales del modelo base será 1,00; si la experiencia demuestra que la condición específica considerada genera más accidentes el AMF tendrá un valor mayor a 1,00 y si la experiencia demuestra que las condición específica supone un decremento de accidentes el AMF será menor que 1,00.

Los valores de los AMFs considerados en el HSM fueron determinados a partir de la revisión de toda la literatura al respecto analizada por un amplio abanico de expertos.

Para profundizar respecto al desarrollo de los AMFs se puede consultar diversa bibliografía puesto que es uno de los aspectos sobre el que los expertos están investigando más en los últimos años. Destacamos los estudios desarrollados en Texas [III] y Oregon [III] o, incluso, en las páginas Web de las organizaciones: Crash Modification Factors Clearing House [IV] y Safety Analyst [V].

3.3 Calibración de la metodología a las condiciones locales

Toda la metodología planteada es genérica para cualquier carretera, sin embargo, es de sobra conocido que la frecuencia de accidentes, incluso para segmentos e intersecciones de carretera similares, es muy variable entre una zona y otra. Este hecho es debido a diferentes causas: desde las acusadas diferencias climáticas, la población animal que puede interferir el tráfico, los tipos de población de conductores, las formas de contabilizar los accidentes, etc.

Por ello el HSM justifica la necesidad de la calibración de los modelos base que se plantean y se recoge el método para realizar esta calibración para los Estados Norteamericanos. También se pueden consultar para profundizar en este aspecto los estudios publicados con las calibraciones del método para los Estados de Texas [VI] y Louisiana [VII].

3.4 Subdivisión de una carretera rural de dos carriles

Antes de aplicar el método predictivo a una infraestructura de carretera de dos carriles existente o en fase de estudio, ésta debe ser dividida en unidades individuales de análisis que deben ser cada segmento de carretera homogéneo y sus intersecciones.

Cada segmento de carretera comienza cuando cambie una de las siguientes variables:

- Porcentaje diario de volumen de tráfico
- Ancho de carril
- Ancho de arcén
- Tipo de arcén
- Densidad de accesos
- Peligrosidad de los laterales de la carretera

También empezará un nuevo segmento en las siguientes zonas:

- Intersecciones
- Inicio o final de una curva horizontal
- Acuerdo vertical cóncavo o convexo
- Inicio o final de un carril de incorporación o de una sección corta de cuatro carriles situada con el propósito de facilitar las incorporaciones
- Inicio o final de un carril central de incorporación

Adicionalmente, cada intersección al mismo nivel deberá ser tratada como una unidad aparte.

4. Formulación del procedimiento predictivo de la seguridad vial para carreteras rurales de dos carriles

4.1 Segmentos de carretera

El procedimiento predictivo de la seguridad para segmentos de carretera estima la frecuencia total anual de accidentes esperados no relacionados con las intersecciones.

La fórmula general para predecir la seguridad y que combina los modelos base, AMFs y el factor de calibración es el siguiente [1]:

$$N_{rs} = N_{br} C_r (AMF_{1r} \cdot AMF_{2r} \dots AMF_{nr}) \quad (2)$$

Donde:

N_{rs} = número total previsto de accidentes por año en el segmento de carretera después de aplicar los Factores de Modificación de Accidentes

N_{br} = número total previsto de accidentes por año en el segmento de carretera para las condiciones base o nominales

$AMF_{1r} AMF_{2r} \dots AMF_{nr}$ = Factores de Modificación de Accidentes para segmentos de carretera

C_r = factor de calibración para segmentos de carretera desarrollado para usarse en una determinada área geográfica

Con el fin de aportar un ejemplo ilustrativo recogemos a continuación la formulación del modelo base para segmentos de carretera simplificado para las condiciones nominales consideradas en el HSM [1]:

$$N_{br} = (AADT)(L)(365)(10^{-6})(e^{-0.312}) \quad (3)$$

Donde:

N_{br} = número total de accidentes previstos al año en un segmento de carretera concreto;

AADT = promedio de volumen de tráfico diario (veh/día) en el segmento de carretera, sería lo que en la bibliografía española llamamos IMD, Intensidad Media Diaria, que lógicamente tiene como unidades (veh/día);

L = longitud del segmento de carretera en millas. Para pasar el modelo a kilómetros habría simplemente que introducir los datos en esta unidad, respetando en toda los conceptos la conversión: 1 milla = 1,61 Km

Siendo las condiciones nominales consideradas en el HSM las siguientes:

Ancho de carril: 12 ft (1 pie = 30,48 cm)

Ancho de arcen: 6 ft (1 pie = 30,48 cm)

Nivel de peligrosidad al borde de la carretera: 3 (clasificación recogida en el HSM [1] que otorga un valor entre 1 y 7 para representar el nivel medio de esta variable en función de las características generales de todo el segmento.

Densidad de accesos: 5 accesos por milla, (1 milla = 1,61 Km)

Curva horizontal: No

Acuerdo vertical: No

Inclinación: 0 %

Como ejemplos de Factores de Modificación de Accidentes (AMFs) para segmentos de carretera, a título ilustrativo y sin ánimo de ser exhaustivos, presentamos a continuación los recogidos en el HSM para el ancho de carril, tipo de arcén, curva horizontal, pendiente y densidad de accesos a la carretera:

- Ancho de carril

El valor nominal o base para el ancho de carril es de 12 ft (3,66 m). Por lo tanto para carriles con este ancho el AMF correspondiente es 1,00.

El valor del AMF para anchos de carril entre 9 y 12 ft (2,74 y 3,66 m) se puede interpolar del gráfico de la **Figura 3**:

Para anchos de carril menores a 9 ft se tomará el valor del AMF igual a los de 9 ft y para anchos mayores a 12 ft se tomará el valor del AMF igual a los de 12 ft.

Los AMFs para el ancho del carril que se presentan están basados en los resultados de Zegeer et al. **[VIII]** y Griffin y Mark **[IX]**.

- Tipo y ancho de arcén

El valor nominal o base para el tipo y ancho de arcén corresponde con un arcén pavimentado de 6 ft (1,83 m), al cual se le asigna un valor de AMF de 1,00. La **Figura 4** presenta los valores recomendados de AMF para los arcones pavimentados que difieran de 6 ft y en la **Figura 5** se presentan los valores de AMF en el caso de arcones no pavimentados.

Los AMFs para el tipo y ancho del arcén que se presentan están basados en los resultados de Zegeer et al. **[VIII]** y **[X]**.

- Curvas horizontales

- *Longitud, radio y presencia o ausencia de curvas de transición*

La condición base o nominal para alineaciones curvas es una sección de carretera recta. El AMF desarrollado para alineaciones curvas viene dado por la siguiente ecuación **[I]**:

$$AMF = \frac{1,55 L_C + \left(\frac{80,2}{12}\right) - 0,012 S}{1,55 L_C} \quad (4)$$

Donde:

L_c = longitud de curva horizontal (millas), (1 milla = 1,61 Km)

R = radio de curvatura (ft), (1 ft = 30,48 cm)

S = 1 si existe curva de transición, ó

0 si no existe curva de transición

Este modelo de regresión para el AMF de alineaciones curvas fue determinada por Zegeer et al. **[XI]**.

- *Peralte*

La condición base o nominal para el AMF del peralte de una alineación curva en planta es la distribución de peralte recomendada por la AASHTO Green Book (Libro Verde) **[XII]**.

Cuando el peralte es igual o superior al recomendado por la AASHTO, el valor del AMF de peralte será 1,00. En el caso de que haya una deficiencia de peralte respecto al recomendado superior a 0,01 (m/m) es cuando el AMF irá tomando valores mayores a 1,00, siguiendo en general la distribución representada en la **Figura 6** que está basada en los trabajos de Zegeer et al. **[XI]** y **[XIII]**.

- Pendiente

La condición base o nominal para la pendiente es una carretera horizontal (0 % de pendiente). En la **Figura 7** se presenta el AMF para pendientes basado en un análisis que para carreteras de dos carriles de Utah dirigió Miaou [XIV].

Los AMFs presentados en la tabla deben ser aplicados a cada sección de carretera independientemente del signo de la pendiente pues, al tratarse de carreteras convencionales de dos carriles, un sentido de la misma estará en subida o rampa y el otro en bajada.

- Densidad de accesos a la carretera

La condición base o nominal para la densidad de accesos es de 5 accesos por milla. El AMF para la densidad de accesos viene dado por la siguiente ecuación derivada del trabajo de Muskaug [XV]:

$$AMF = \frac{0,322 + DD [0,05 - 0,005 \ln(AADT)]}{0,322 + 5 - 0,05 \ln(AADT)} \quad (5)$$

Donde:

AADT = promedio anual de volumen de tráfico diario de la carretera evaluada (vehículos / día)

DD = densidad de accesos a ambos lados de la carretera combinados (accesos por milla)

Esta formulación puede ser aplicada para el total de accidentes de la carretera de todos los niveles de gravedad.

4.2 Intersecciones al mismo nivel

El procedimiento predictivo de la seguridad para intersecciones al mismo nivel estima la frecuencia total anual de accidentes esperados relacionados con las intersecciones.

La fórmula general para predecir la seguridad es la siguiente [I]:

$$N_{int} = N_{bi} C_i (AMF_{1i} \cdot AMF_{2i} \dots AMF_{ni}) \quad (6)$$

Donde:

N_{int} = número total previsto de accidentes por año relacionados con la intersección después de aplicar los Factores de Modificación de Accidentes

N_{bi} = número total previsto de accidentes por año relacionados con la intersección para las condiciones base o nominales

$AMF_{1i} AMF_{2i} \dots AMF_{ni}$ = Factores de Modificación de Accidentes para intersecciones

C_i = factor de calibración para intersecciones al mismo nivel desarrollado para usarse en una determinada área geográfica

Como ejemplo representativo de modelo base para intersecciones al mismo nivel recogemos el de intersecciones en T de tres ramas con STOP en el acceso secundario (rama principal con preferencia de paso siempre) simplificado para las condiciones nominales consideradas en el HSM, que es el siguiente [I]:

$$N_{bi} = e^{(-9,86 + 0,79 \ln AADT_1 + 0,46 \ln ADDT_2)} \quad (7)$$

Donde:

$AADT_1$ = promedio de volumen de tráfico diario (veh/día) en la carretera principal

AA_{DT}₂ = promedio de volumen de tráfico diario (veh/día) en la carretera secundaria

Como ejemplos ilustrativos de AMFs para intersecciones al mismo nivel, a título ilustrativo, presentamos a continuación los recogidos en el HSM para esviaje de la intersección, tipo de control de tráfico en la misma, existencia de carril de giro a la izquierda y existencia de carril de giro a la derecha:

- Esviaje de la intersección

La condición nominal o base para intersecciones con esviaje es 0 grados de esviaje (para el caso de una intersección en ángulo de 90°). El ángulo de esviaje para una intersección viene dado por la desviación respecto a la intersección en 90° y su signo, positivo o negativo, indica que la carretera secundaria interseca a la principal en ángulo agudo u obtuso. Este signo fue introducido debido a un estudio al respecto realizado en Finlandia por Kulmala [XVI] que demostró que los ángulos agudos u obtusos afectan de diferente manera a la seguridad.

- *Intersecciones controladas con STOP (con rama preferente)*

El AMF para intersecciones en ángulo de tres ramales controladas con STOP sería [I]:

$$AMF = e^{0,0040SKEW_3} \quad (8)$$

Donde:

SKEW₃ = ángulo de la intersección (grados sexagesimales), 90 menos el ángulo de la intersección (grados) para el ángulo entre la carretera principal y la rama de la secundaria a la izquierda de la misma.

El AMF para intersecciones en ángulo de 4 ramales controladas por STOP sería [I]:

$$AMF = e^{0,0054SKEW_4} \quad (9)$$

Donde:

SKEW₄ = ángulo de la intersección (grados sexagesimales) expresado como la mitad del ángulo a la derecha menos la mitad del ángulo a la izquierda para los ángulos entre la carretera principal y los ramales derecho e izquierdo de la secundaria, respectivamente.

Estos AMFs se aplicarán al número total de accidentes en la intersección.

- Tipo de control de tráfico de la intersección

Normalmente la diferencia en seguridad vial entre las intersecciones con rama preferente y las intersecciones sin rama preferente se tiene en cuenta utilizando dos modelos base distintos para cada caso. Sin embargo, también, se puede utilizar un mismo modelo base. En este caso, basándose en los estudios al respecto de Lovell y Hauer [XVII], para el paso de una intersección con preferencia de dos ramales a una intersección sin ramales preferentes se emplea un AMF de 0,53. Este AMF es aplicable al número total de accidentes relacionados con la intersección e implica que las intersecciones sin ramales preferentes tienen un 47 % menos de accidentes que las que tienen ramales preferentes.

- Carriles de giro a la izquierda

La condición base o nominal para carriles de giro a la izquierda en intersecciones es la ausencia del mismo para las aproximaciones de la carretera principal. Los AMFs para la presencia de carril de giro a la izquierda se presentan en la **Figura 8**. Estos AMFs son aplicables al total de los accidentes relacionados con la intersección.

- Carriles de giro a la derecha

La condición base o nominal para carriles de giro a la derecha es la ausencia del mismo para las aproximaciones de la carretera principal. El AMF para la presencia de carril de giro a la derecha en intersecciones controladas por STOP es 0,86 para un carril de giro a la derecha en la aproximación de la carretera principal y 0,74 para la presencia de carriles de giro a la derecha en las aproximaciones de la carretera principal y secundaria. Estos AMFs son aplicables al total de accidentes relacionados con la intersección.

El AMF para la presencia de carril de giro a la derecha en intersecciones señalizadas sin rama preferente es de 0,93 para un carril de giro a la derecha en la aproximación de la carretera principal y 0,87 para la presencia de carriles de giro a la derecha en las aproximaciones de la carretera principal y secundaria. Estos AMFs son aplicables al total de accidentes relacionados con la intersección.

4.3 Combinación de las predicciones de seguridad para un tramo completo de carretera existente o en proyecto

La frecuencia total de accidentes previstos para un tramo completo de carretera de dos carriles existente o en proyecto puede estimarse como la suma de la frecuencia prevista de los accidentes no relacionados con intersecciones de cada uno de los segmentos de carretera que lo componen y la frecuencia prevista en accidentes relacionados con las intersecciones en cada una de las que forman parte del tramo analizado.

La fórmula general para el tramo completo es [1]:

$$N_t = \sum N_{rs} + \sum N_{int} \quad (10)$$

Donde:

N_{rs} = número total previsto de accidentes por año cada segmento de carretera después de aplicar los Factores de Modificación de Accidentes

N_{int} = número total previsto de accidentes por año relacionados con cada intersección después de aplicar los Factores de Modificación de Accidentes

N_t = frecuencia prevista de accidentes para un tramo de carretera en proyecto o existente

5. Distribución de accidentes por su nivel de gravedad o por su tipo

Además de la predicción de la frecuencia de accidentes basada en la **ECUACIÓN 1**, el procedimiento predictivo propone la clasificación de accidentes bien por el nivel de gravedad de los daños (humanos o materiales) o bien por su tipo (cuando hablamos de tipo de accidente nos referimos en este caso al número de vehículos implicados en el accidente y la forma de colisión).

En el HSM, esta clasificación se propone que se realice según los porcentajes estimados de cada tipo de accidente que se presentan en unas tablas basadas en datos de la *Federal Highway Administration (FHWA) Highway Safety Information System (HSIS)*. Estas distribuciones por defecto para el nivel de gravedad y el tipo de accidentes deberían

reemplazarse en cada caso con datos específicos para carreteras de dos carriles de la zona donde se desarrolle el estudio como una parte más del ya comentado proceso de calibración de la metodología. Para ello, lógicamente, deberá disponerse de datos lo suficientemente fiables y contrastados de la distribución de accidentes en la zona de estudio.

6. Conclusiones

- El *Highway Safety Manual* desarrolla una metodología predictiva general que permite en la práctica la cuantificación de la Seguridad Vial.
- Esta metodología predictiva se aplica en el propio HSM a tres casos concretos: carreteras rurales de dos carriles, carreteras rurales multicarril y arterias urbanas y suburbanas.
- El proceso predictivo de la seguridad vial se resume conceptualmente en los siguientes pasos: la selección del elemento a evaluar, y, partiendo de un Modelo Base (a través del que se incorpora el efecto del volumen del tráfico), aplicarle unos Factores de Modificación de Accidentes (que se encargan de incorporar los efectos de la geometría y el control del tráfico); a estas dos variables se añade su Calibración (para tener en cuenta las condiciones locales).
- Para la aplicación del método en carreteras convencionales de dos carriles se debe comenzar por dividir el elemento de la infraestructura en estudio en unidades individuales de análisis: cada segmento de carretera homogéneo y sus intersecciones.
- El método permite la integración de predicciones de varias unidades de análisis y también la distribución de accidentes por su nivel de gravedad y por su tipo.
- La descripción del método predictivo de la seguridad vial para carreteras convencionales de dos carriles nos permite acercarnos a la sistemática de aplicación del método predictivo y comprender la potencia conceptual de esta herramienta para su aplicación a otros casos y para su extrapolación a otras redes carreteras diferentes de las norteamericanas.
- Una prueba del interés científico que lleva aparejado el desarrollo de la metodología predictiva del HSM la podemos observar en la descripción realizada en este artículo para carreteras rurales de dos carriles en la que se van incorporando múltiples referencias de investigaciones tanto de procedencia norteamericana como de otros países lo que nos demuestra que el HSM ha tratado de englobar todos conocimientos y los últimos avances en materia de seguridad vial.

7. Referencias

[I]: American Association of State Highway and Transportation Officials. *Highway Safety Manual (HSM)*, 1st Edition, AASHTO, 2010.

[II]: A. Baamonde, I. Pérez. *Predicción de la seguridad vial en el Manual de Seguridad Vial norteamericano*. Universidade da Coruña. Revista Carreteras, 2012.

[III]: J. Bonneson, D. Lord (2005). *Role and application of Accident Modification Factors in the Highway design process*. Texas Transportation Institute.

[IV]: C. Monsere et al. (2006) *Update and Enhancement of ODOT's Crash Reduction Factors*. Oregon Department of Transportation.

[V]: <http://www.cmfclearinghouse.org>. Crash Modification Factors Clearing House. Federal Highway Administration. U.S. Department of transportation.

- [VI]: <http://www.safetyanalyst.org>. Safety Analyst. Federal Highway Administration. U.S. Department of transportation.
- [VII]: W. Schneider, K. Fitzpatrick. (2005) *The Development and Evaluation of Calibration Factors For The Rural Two – Lane Highway Draft Prototype Chapter*. Texas Transportation Institute. Prepared For Transportation Research Board.
- [VIII]: X. Sun, Y. Li, D. Magri, H. Shirazi. (2005). *Application of Highway Safety Manual Draftchapter: Lousiana experience*. Univesity of Lousiana, Lousiana Department of Transportation and Development. Submitted to the 85th Transportation Research Board.
- [IX]: Zegeer, C.V., W. Reinfurt, J. Hummer, L. Herf y W. Hunter, “Safety Effects of Cross – Sections Design for Two-Lane Roads”, Transportation Research Record 1195, Transportation Research Board, 1988
- [X]: Griffin, L. I., y K. K. Mark, “The Benefits to Be Achieved from Widening Rural Two-Lane Farm-to-Market Roads in Texas, Report No. IAC (86-87) – 1039, Texas Transportation Institute, Colleague Station, TX, Abril 1987.
- [XI]: Zegeer, C.V., R.C. Deen, y J.G. Mayes, “Effect of Lane and Shoulder Width on Accident Reduction on Rural, Two-Lane Roads”, Transportation Research Record 806, Transportation Research Board, 1981.
- [XII]: Zegeer, C.V., J.R. Stewart, F.M. Council, D. W. Reinfurt, y E. Hamilton, Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves, Transportation Research Record 1356, Transportation Research Board, 1992.
- [XIII]: American Association of State Highway and Transportation Officials, Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, DC, 2001.
- [XIV]: Zegeer, C., R. Stewart, D. Reinfurt, F. Council, T. Neuman, E. Hamilton, T. Miller, y W. Hunter, Cost – Effective Geometric Improvements for Safety Upgrading of Horizontal Curves, Report No. FHWA-R0-90-021, Federal Higway Administration, October 1991.
- [XV]: Miaou, S-P., “Vertical Grade Analysis Summary”, sin publicar, Mayo 1998.
- [XVI]: Muskaug, R., Accident Rates on National Roads, Institute of Transport Economics, Oslo, Noruega, 1985.
- [XVII]: Kulmala, R., *Safety at Three and Four Arm Junctions: Development and Application of Accident Prediction Models*, VTT Publication 233, Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1995.
- [XVIII]: Lovell, J., Hauer, E., *The Safety Effect of Conversion to All-Way STOP Control*, *Transportation Research Record 1068*, Transportation Research Board, 1986.
- [XIX]: <http://www.accidentestrafico.es>. *Accidentes de tráfico, cinturón y opinión de un abogado*. Vazquezabogados.es, 2008.

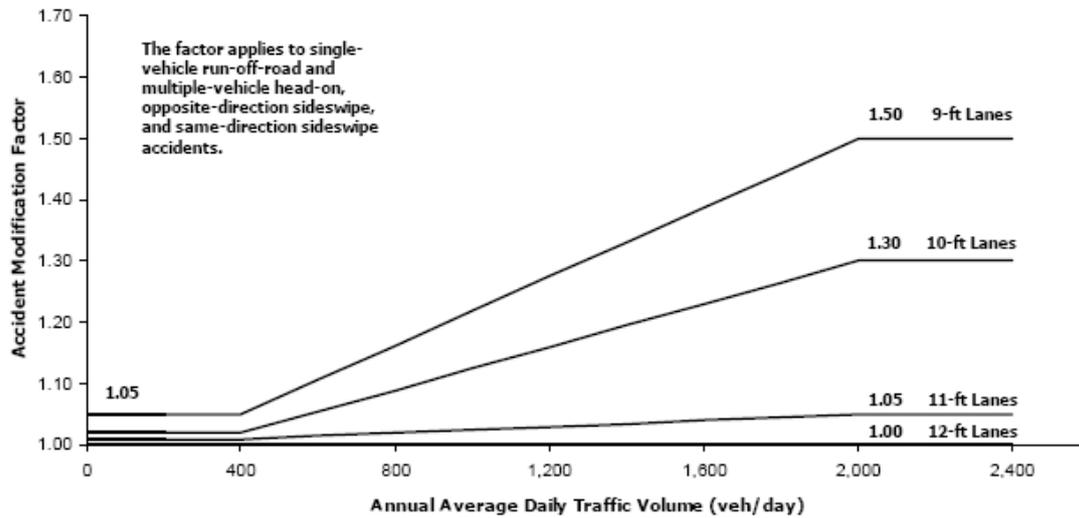
Figura 1. Carretera rural de dos carriles [!]



Figura 2. Segmentos de carretera e intersecciones [I]



Figura 3. Factor de Modificación de Accidentes (AMF) para el ancho del carril [I]



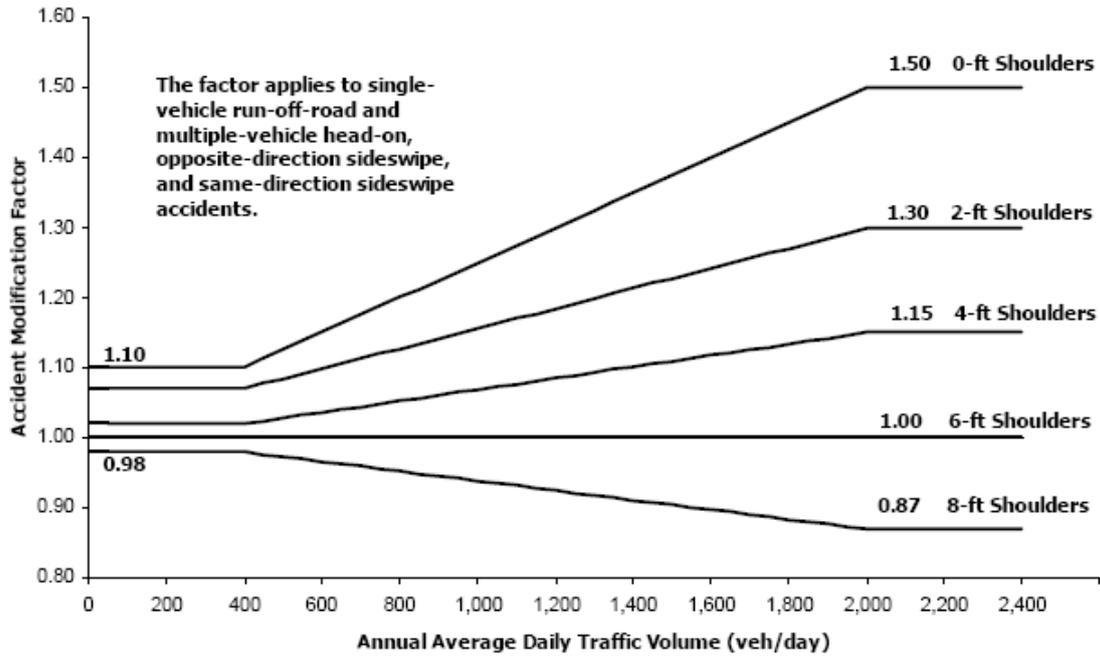
Ordenadas:

Factor de Modificación de Accidentes (AMF)

Abcisas:

Media diaria anual de volumen de tráfico (Vehículo/Día)

Figura 4. Factor de Modificación de Accidentes (AMF) para el ancho de arcén pavimentado [I]



Ordenadas:

Factor de Modificación de Accidentes (AMF)

Abcisas:

Media diaria anual de volumen de tráfico (Vehículos/Día)

Figura 5. Factor de Modificación de Accidentes (AMF) para el ancho de arcén no pavimentado [I]

Shoulder type	Shoulder width (ft)							
	0	1	2	3	4	6	8	10
Paved	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Gravel	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03
Composite	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07
Turf	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.08	1.11	1.14

Conversion: 1 ft = 0.305 m

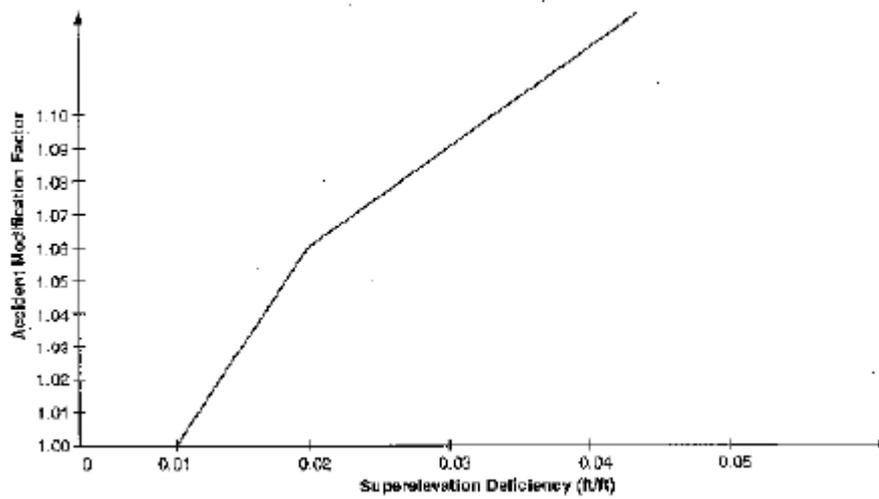
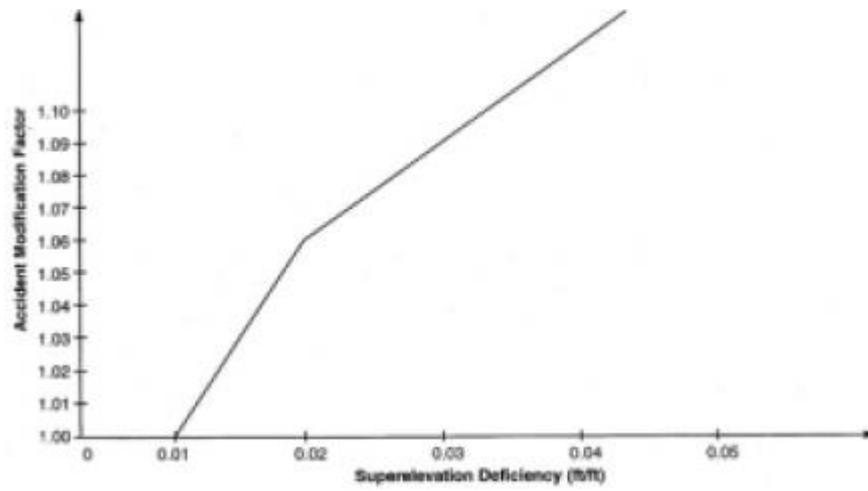
Ordenadas:

Tipo de Arcén: Pavimentado, Grava, Compuesto de geosintéticos, Césped

Abcisas:

Ancho del Arcén

Figura 6. Factor de Modificación de Accidentes (AMF) para la deficiencia de peralte [I]



Ordenadas:
Factor de Modificación de Accidentes (AMF)

Abcisas:
Deficiencia de peralte

Figura 7. Factor de Modificación de Accidentes (AMF) para la pendiente de secciones de carretera [1]

Approximate Grade (%)		
Level Grade ($\leq 3\%$)	Moderate Terrain ($3\% < \text{grade} \leq 6\%$)	Steep Terrain ($> 6\%$)
1.00	1.10	1.16

Pendiente de aproximación (%)

Level Grade = **Pendiente leve**

Moderate Terrain = **Terreno con pendiente moderada**

Steep Terrain = **Terreno empinado**

Figura 8. Factor de Modificación de Accidentes (AMF) para la instalación de carril de giro a la izquierda en la aproximación de la carretera principal a una intersección en carreteras rurales de dos carriles [I]

Intersection type	Intersection traffic control	Number of major-road approaches on which left-turn lanes are installed	
		One approach	Both approaches
Three-leg intersection	STOP sign ^a	0.78	•
	Traffic signal	0.85	•
Four-leg intersection	STOP sign ^a	0.76	0.58
	Traffic signal	0.82	0.67

^a STOP signs on minor-road approach(es).

Tipo de Intersección	Control de Intersección de tráfico	Número de aproximaciones en la carretera principal en la que existe un carril de giro a la izquierda	
		Una aproximación	Ambas Aproximaciones
Intersección de 3 carriles	Señal de Stop Señal de Tráfico		
Intersección de 4 carriles	Señal de Stop Señal de Tráfico		

Figura 9 .Accidente de tráfico [XVIII]

