

9º CONGRESO DE LA VIALIDAD URUGUAYA

Presentación de Trabajo Técnico

“Aplicación del Módulo de Accidentes del Manual de Seguridad (HSM 2010) a un tramo de Ruta Nacional N° 36 en Córdoba, Argentina.”

Seguridad Vial

Autores

*Ings. BERARDO, María G.; FREIRE, Rodolfo G.; MARCHESINI Paula;
TARTABINI, Mauro I.; VANOLI, Gustavo D*

Cátedra Transporte II - F.C.E.F. y N. - Universidad Nacional de Córdoba.

e-mail: teteberardo@gmail.com

APLICACIÓN DEL MÓDULO DE ACCIDENTES DEL MANUAL DE SEGURIDAD (HSM 2010) A UN TRAMO DE RUTA NACIONAL N°36 EN CÓR DOBA, ARGENTINA.

RESUMEN

La infraestructura juega un papel fundamental en la seguridad vial puesto que el buen diseño de las vías es crucial para que los usuarios las utilicen correctamente y en forma segura.

Históricamente, los recursos económicos que se han destinado a la seguridad vial han sido limitados y escasos.

Es necesario entonces, realizar inversiones inteligentes en infraestructura vial, estudiadas en profundidad, puesto que los beneficios económicos derivados alcanzan a todos los estratos y actores de la sociedad.

En Argentina, actualmente no se dispone de herramientas sólidas que permitan una fácil y correcta toma de decisiones en aspectos vinculados con la seguridad vial. En el año 2010, la AASHTO lanzó la primera edición de un Manual de Seguridad Vial (HSM: Highway Safety Manual) el cual presenta herramientas de análisis basadas en una compilación de los mejores y más recientes estudios que establecen relaciones entre variables de infraestructura y la ocurrencia de accidentes.

En el Volumen 2 – Parte C del Manual de Seguridad Vial (AASHTO, 2010) se establecen varios modelos para predecir la frecuencia y distribución de accidentes en carreteras rurales de dos carriles, rurales multicarril y en arteriales urbanas y suburbanas.

La estimación de accidentes según el Manual de Seguridad Vial (HSM) se basa en el promedio de accidentes previstos para las condiciones de base, afectado por los factores de modificación de accidentes (CMFi) y por un factor de calibración para condiciones locales y geográficas (Cr). Todas las estadísticas empleadas para desarrollar esos modelos provienen principalmente de los Estados Unidos, cuyas condiciones locales y geográficas son muy distintas a las nuestras.

El objetivo del presente trabajo es obtener un modelo de predicción de accidentes para rutas de dos trochas indivisas (tipología generalmente predominante en Argentina y en la mayoría de los países de Latinoamérica) mediante el ajuste del modelo desarrollado en el HSM.

La ecuación genérica de estos modelos de predicción tiene la siguiente forma:

$$N_{\text{predicted rs}} = N_{\text{spf rs}} \cdot Cr \cdot (CMF_{1r} \cdot CMF_{2r} \cdot CMF_{3r} \cdot \dots \cdot CMF_{12r})$$

donde:

$N_{\text{predicted rs}}$: predicción de frecuencia promedio de accidentes para un segmento individual de camino en un año específico.

N_{spfrs} : predicción de frecuencia promedio de accidentes para condiciones “base” de un segmento individual de camino.

Cr: factor de calibración para segmentos de camino de un tipo específico en una jurisdicción o área geográfica particular (considera clima, características de población de conductores, sistema de registro de accidentes y confiabilidad de los datos). Se calcula como el cociente entre el total de accidentes observados y el total de accidentes estimado.

$CMF_{1r} \times CMF_{2r}$: factores de modificación de accidentes para caminos bidireccionales de dos trochas indivisas (considera diferencias entre condición “base” y del sitio analizado).

Las variables a tener en cuenta en este estudio son los volúmenes de tránsito, las características geométricas de la vía y los datos de accidentes ocurridos en los segmentos bajo análisis.

Dada la dificultad para conseguir datos completos de accidentes en un período representativo, se trabajó solamente sobre un tramo de 14 Km de la Ruta Nacional N°36, en el acceso Norte a la ciudad de Río Cuarto, Provincia de Córdoba (Argentina), con la intención de emplear en el futuro, el procedimiento utilizado con datos de otros lugares, para extender su aplicación.

1. INTRODUCCION

Si bien los usos y costumbres postulan que si se respetan las normas de diseño geométrico, los proyectos resultan seguros, la sola aplicación de las normas no produce caminos seguros (Hauer, 1999).

El análisis de la seguridad sustantiva, aquella definida por la frecuencia y gravedad de los accidente esperados, es la que nos va a indicar el nivel de seguridad de una determinada vía.

Desde esta concepción, el Volumen 2 – Parte C del Manual de Seguridad Vial (AASHTO, 2010) propone modelos para predecir la frecuencia y distribución de accidentes en carreteras rurales de dos carriles, rurales multicarril y en arteriales urbanas y suburbanas; los mismos que han sido incluidos en el Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM, FHWA, 2012).

La estimación de accidentes según el Manual de Seguridad Vial (HSM) se basa en el promedio de accidentes previstos para las condiciones base afectados por los factores de modificación de accidentes (CMF) y por un factor de calibración (Cr) para condiciones locales y geográficas.

Estos modelos se desarrollaron con estadísticas de accidentes de tránsito de los Estados Unidos principalmente, y en menor proporción en Noruega y Suiza con condiciones locales y geográficas propias del lugar, por lo que resulta necesaria la calibración de los modelos para determinar los accidentes esperados en un camino bajo cualquier otra condición diferente.

El presente trabajo muestra un procedimiento para calibrar el módulo de predicción de accidentes (frecuencia y gravedad) del HSM (2010) utilizando datos estadísticos de accidentes observados durante los años 1998, 2000 y 2005, en un camino rural de dos carriles de Jurisdicción Nacional (Ruta Nacional N°36), a lo largo de 14 km ubicados al Norte de la ciudad de Río Cuarto, Provincia de Córdoba (República Argentina).

La calibración se realizó para una ruta rural de dos carriles indivisos, por ser las que producen la mayor cantidad y severidad de accidentes en la red vial mundial (Lamm et al., 2007).

Este procedimiento fue validado para la provincia de Córdoba, pero puede ser aplicado a cualquier otra región.

2. SITIO DE ANALISIS

Una de las principales dificultades en la aplicación del método del HSM para calibrar su aplicación a condiciones locales, es contar con datos geométricos fiables y detallados de los tramos de ruta que se desee analizar, además de datos completos de accidentes durante un período de tiempo representativo.

Se ha seleccionado como objeto del presente trabajo el tramo de RN N°36, entre progresivas 605 y 619, ubicado al Norte de la ciudad de Río Cuarto, Provincia de Córdoba (Argentina), tal como se indica en la Figura 1, con la intención de emplear a futuro el procedimiento aquí desarrollado, pero con datos de otros sitios y extender su aplicación.

Motiva la selección del mismo el hecho de contar con un relevamiento topográfico detallado, que se origina como consecuencia de un proyecto de rectificación de traza en el sector. Contando con esta información de base (geometría de la vía), se procedió luego a verificar los antecedentes de datos de accidentes disponibles en el mismo.

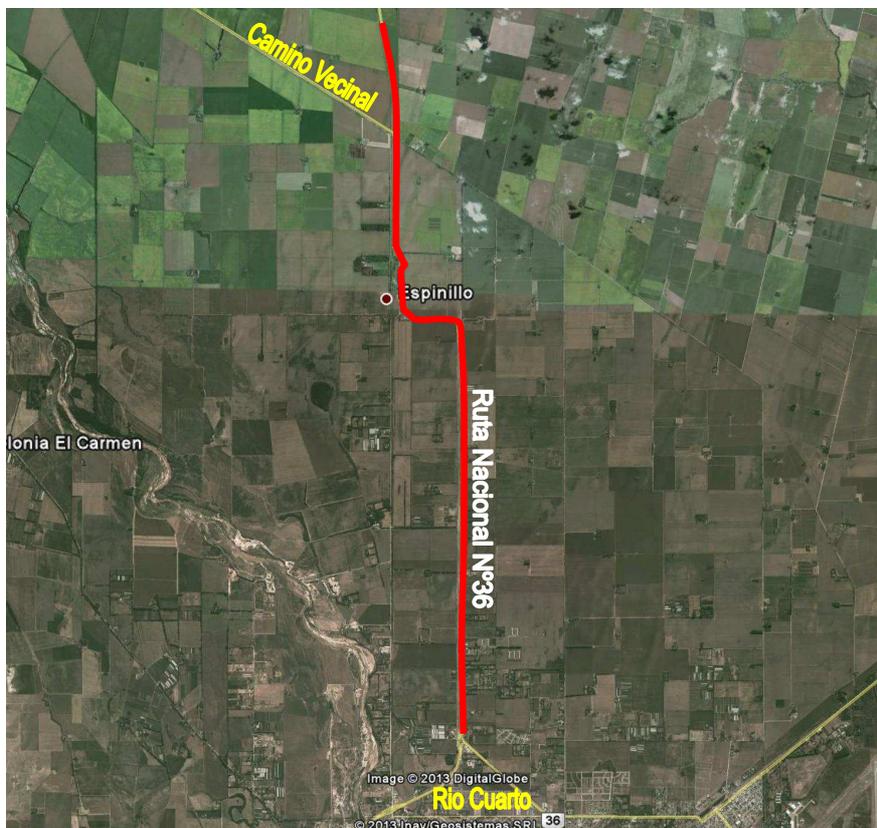
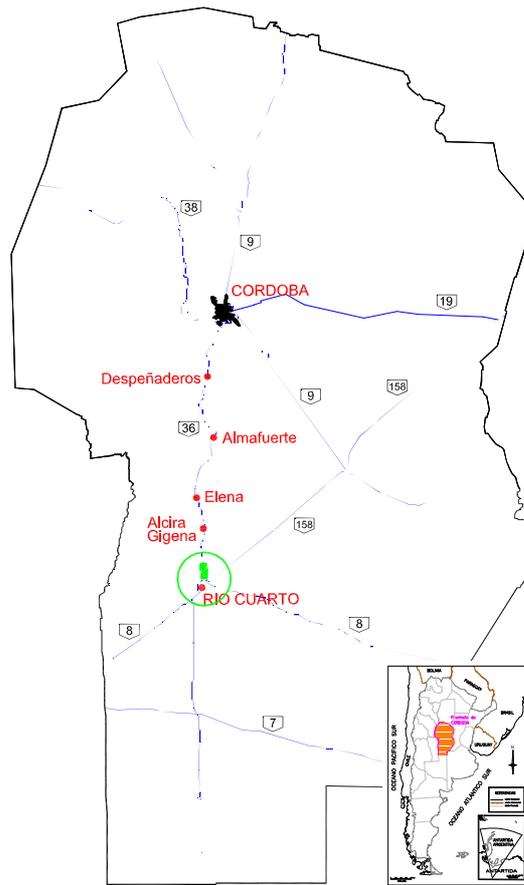


Figura 1. Ubicación tramo bajo análisis RN N°36 (Prog. 605 a 619)

3. MODELO PREDICTIVO DE ACCIDENTES EN RUTA BIDIRECCIONAL DE DOS TROCHAS INDIVISAS

El método predictivo consta de un procedimiento para obtener la frecuencia media esperada de accidentes en una red vial. En este método, la vía se divide en sitios individuales, los cuales son segmentos homogéneos o intersecciones.

Los métodos predictivos para segmentos de caminos estiman la frecuencia de accidentes que ocurrirían en el camino si no hubiera intersecciones presentes. Los modelos predictivos para intersecciones estiman la frecuencia de accidentes adicionales que ocurrirían por la presencia de la intersección.

Los segmentos comienzan en una intersección y terminan en la próxima intersección o donde hay un cambio en la homogeneidad del segmento (características geométricas o de control de tránsito).

El método estima la frecuencia media esperada de accidentes para un sitio particular, y la suma de todos los sitios conforma la estimación de la frecuencia para la red vial.

La estimación se realiza para un periodo de tiempo de interés durante el cual las condiciones de diseño geométrico y control del tránsito no cambian y los volúmenes son conocidos o se pueden estimar.

El modelo predictivo para un segmento en particular de camino combina la función de performance de seguridad base ($N_{spf\ rs}$) con Factores de Modificación de Accidentes (CMF_{1r}) y un factor de calibración (Cr).

Cada uno de los CFM está en función de variables tales como: ancho de carril, ancho y tipo de banquina, densidad de accesos, pendiente, índice de peligrosidad, etc.

$$N_{predicted\ rs} = N_{spf\ rs} \cdot Cr \cdot (CMF_{1r} \cdot CMF_{2r} \cdot CMF_{3r} \cdot \dots \cdot CMF_{12r}) \quad [1]$$

donde:

$N_{predicted\ rs}$: predicción de frecuencia promedio de accidentes para un segmento individual de camino en un año específico.

$N_{spf\ rs}$: predicción de frecuencia promedio de accidentes para condiciones "base" de un segmento individual de camino.

Cr : factor de calibración para segmentos de camino de un tipo específico en una jurisdicción o área geográfica particular.

$CMF_{1r} \times CMF_{2r}$: factores de modificación de accidentes para caminos bidireccionales de dos trochas indivisas (considera diferencias entre condición "base" y del sitio analizado).

La función predicción de la frecuencia promedio de accidentes de tránsito en un segmento de camino rural bidireccional de dos carriles ($N_{spf\ rs}$), como todo método de regresión, estima el valor de una variable dependiente en función de una serie de variables independientes. En este caso, la variable dependiente estimada es la "predicción de la frecuencia promedio

de accidentes” para un segmento de camino bajo “condiciones base” y las variables independientes son el TMDA y la longitud del tramo de camino en cuestión.

La ecuación [1] representa el modelo de predicción de frecuencia media de accidentes esperada para las “condiciones base”, donde el efecto del TMDA en la frecuencia de accidentes se incorpora a través de la función ($N_{spf\ rs}$), mientras que los efectos de las cuestiones de diseño geométrico y control de tránsito se incorporan a través de los factores de modificación de accidentes (CMF_{ir}).

La frecuencia promedio de accidentes de tránsito esperados para las condiciones locales en una carretera rural de dos carriles, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N_{spf\ rs} = TMDA \cdot L \cdot 365 \cdot 10^{-6} \cdot e^{(-0,312)} \quad [2]$$

donde:

$N_{spf\ rs}$: predicción de frecuencia total de accidentes para segmentos en "condiciones locales"

TMDA: tránsito medio diario anual (veh/día)

L: longitud del segmento de camino (millas)

La ecuación [2] para vías rurales de dos trochas indivisas corresponde a un rango de TMDA entre 0 y 17.800 veh/día (HSM 2010). Las “condiciones base” para un camino bidireccional de dos trochas indivisas, se detallan en la siguiente Tabla:

Tabla 1. Condiciones base para camino bidireccional de dos trochas indivisas

Fuente: Highway Safety Manual 2010. 1st Edition. Vol 2. Cap 10.

Ancho de carril	3,65 m
Ancho de banquina	1,80 m
Tipo de banquina	pavimentada
Índice de peligrosidad del costado del camino	3
Densidad de accesos	5/mi
Curvatura horizontal	No
Curvatura vertical	No
Banda central sonora	No
Carriles de sobrepaso	No
Carriles de giro izquierda bidireccionales	No
Iluminación	No
Regulación de velocidad automatizada	No
Pendiente longitudinal	0%

La metodología propuesta por el HSM (2010), en la Parte C, Capítulo 10, Sección 10.4, consiste en:

1. Definir los límites de la vía a considerar en la estimación.
El tramo en estudio corresponde a RN N° 36, entre progresivas 605 y 619.
2. Definir el período de interés.

Dado que se trata de una infraestructura existente, el modelo propone que se adopte el período para el cual hay datos de accidentes disponibles. Se trabajó entonces con datos de accidentes de los años 1998, 2000 y 2005 (únicos años con datos "completos" que se obtuvieron)

3. Obtener TMDA (datos oficiales de la Dirección Nacional de Vialidad)
TMDA año 1998 = 7.000 veh/día
TMDA año 2000 = 6.925 veh/día
TMDA año 2005 = 7.350 veh/día
4. Determinar características geométricas y de control para todos los sitios en estudio.
 - a. Longitud del segmento
 - b. TMDA
 - c. Ancho de calzada
 - d. Ancho de banquina
 - e. Tipo de banquina
 - f. Presencia o ausencia de curva
 - i. Longitud de la curva horizontal, incluyendo espiral
 - ii. Radio
 - iii. Presencia o ausencia de espiral
 - iv. Peralte
 - g. Pendiente (en %)
 - h. Densidad de accesos/entradas en ambos lados de calzada (Nº por milla)
 - i. Presencia o ausencia de bandas sonoras centrales
 - j. Presencia o ausencia de carril de sobrepaso
 - k. Presencia o ausencia de sección corta de 4 carriles
 - l. Presencia o ausencia de un carril de giro (para ambos sentidos) a la izquierda
 - m. Índice de peligrosidad
 - n. Presencia o ausencia de iluminación
 - o. Presencia o ausencia de control automático de velocidad
5. Dividir la vía en sitios (segmentos homogéneos e intersecciones)

Para realizar la segmentación del tramo en estudio se consideraron cuatro opciones a los fines de evaluar la incidencia en los resultados.

 - A) La primera alternativa consistió en dividir el tramo bajo estudio en segmentos de igual longitud (1km).
 - B) La segunda alternativa consistió en considerar los segmentos rectos y los segmentos con curvas por separado, atendiendo a que las características geométricas y de tránsito fueran similares.
 - C) Como tercera alternativa se consideraron los segmentos rectos por un lado y los segmentos con curvas consecutivos por otro.
 - D) La cuarta alternativa consistió en considerar la totalidad del tramo como un segmento, quedando así un solo segmento de 14 km con valores promedio de radio y longitud de curva, pendientes, etc.
6. Asignar los accidentes a cada sitio. En este caso, se han asignado los accidentes a cada sitio, en las cuatro situaciones planteadas.

Una vez definidos los sitios, determinadas las características geométricas y de control de cada segmento, asignados el TMDA y los accidentes, la metodología aplica el modelo donde calcula el número total estimado de accidentes, evalúa y compara los resultados.

En síntesis, en la calibración del modelo de predicción de accidentes existen 3 conjuntos de datos a analizar y/o ingresar, para una adecuada calibración:

- Para la distribución de accidentes (3.1)
- Para la obtención de los factores de modificación de accidentes (CMFs) (3.2)
- Para el factor de calibración de accidentes (Cr) (3.3)

La distribución de accidentes afecta los CMFs y éste, en conjunto con la información de los sitios de interés, al Cr.

3.1. Distribución de Accidentes

La base de datos de accidentes registrados en Ruta Nacional N°36 se encuentra comprendida entre los años 1996 a 2005, la cual fue facilitada por el OCCOVI (Órgano de Control de Concesiones Viales).

En Tabla 2 se indica el total de accidentes registrados durante los años 1998, 2000 y 2005 en el tramo de ruta bajo análisis (progresivas 605 a 619). Se decidió trabajar con los datos de estos tres años en particular por ser aquellos en los cuales se disponía de mayor continuidad en el registro.

Los años restantes registraban muy pocos meses del año con información relevada, como por ejemplo en el caso de 1996 y 1997 faltaban 8 meses de datos, en 1999 faltaban 3 meses, en 2004 5 meses y en 2006 donde faltaban 11 meses de registros.

Tabla 2. Total de accidentes en RN N°36 (1998, 2000 y 2005).

Fuente: OCCOVI. Base de Datos de Accidentes Registrados

Progresivas	Total Accid./Año			Nº Total Accidentes
	1998	2000	2005	
605-606	2	3	0	5
606-607	1	1	3	5
607-608	0	2	0	2
608-609	0	1	1	2
609-610	1	2	0	3
610-611	1	0	2	3
611-612	0	2	2	4
612-613	1	1	0	2
613-614	4	0	3	7
614-615	0	0	1	1
615-616	0	0	2	2
616-617	0	2	1	3
617-618	2	1	0	3
618-619	2	1	0	3
TOTAL	14	16	15	45

El HSM recomienda que los sitios para utilizarse en la calibración tengan por lo menos 100 accidentes por año; cabe acotar que los accidentes reales observados en el sitio bajo estudio son considerablemente menores a dicho valor.

3.2. Factores de Modificación de Accidentes (CMFs)

Los CMFs son los factores de modificación de accidentes que permiten ajustar el promedio de accidentes de tránsito estimado para las condiciones base, a las características del diseño geométrico y control de tránsito de un sitio específico. Cualquier característica asociada a una mayor frecuencia de accidentes tendrá un valor superior a 1.

Los Factores de Modificación de Accidentes que valora el HMS, se listan a continuación:

CMF₁= Por ancho de carril

CMF₂= Por ancho y tipo de banquina

CMF₃= Curvas horizontales (longitud, radio, transición)

CMF₄= Curvas horizontales (peralte)

CMF₅= Pendiente

CMF₆= Densidad de Accesos

CMF₇= Existencia de Banda Sonora

CMF₈= Existencia de Carril de Adelantamiento

CMF₉= Existencia de carril para giro a la izquierda

CMF₁₀= Costados del Camino (Indices de Peligrosidad)

CMF₁₁= Iluminación

CMF₁₂= Existencia de Control de Velocidad Automático

3.3. Factor de Calibración de Accidentes (Cr)

El factor de calibración de accidentes (Cr) considera condiciones locales y/o geográficas. Este factor pretende compensar diferencias en clima, población de conductores, distintos umbrales de registro de accidentes y prácticas de registro de accidentes.

El HSM (2010) sugiere que para obtener un valor adecuado de Cr se utilice una muestra de 30 a 50 sitios, los cuales deben sumar 100 accidentes (independientemente de la severidad) por año como mínimo (total de todos los sitios) y tener una longitud mínima recomendada de cada sitio de 160 metros (0,1 millas), suficiente para representar adecuadamente las condiciones físicas y de seguridad del lugar en proceso de calibración. El HSM (2010) también recomienda que para aquellas regiones donde se observan diferencias topográficas

y climáticas apreciables, se determine un factor de para cada tipo de terreno o región geográfica.

Los sitios de calibración utilizados para obtener el factor de calibración (Cr) son los comprendidos entre Progresivas 605 a 619 de RN N° 36, en el ingreso a la ciudad de Río Cuarto (Provincia de Córdoba), planteados de cuatro modos:

- A) Definiendo segmentos de igual longitud, resultando 14 segmentos.
- B) Considerando los segmentos rectos y los segmentos con curva por separado; de este modo, el tramo resultó en 3 segmentos rectos y 4 segmentos curvos. Se tomó el promedio de los valores de datos geométricos de los segmentos de 1 Km para cada nuevo segmento.
- C) Considerando los segmentos rectos por un lado y los segmentos con curvas consecutivas por otro, resultando 3 segmentos rectos y 2 segmentos con curvas. Para el cálculo de los CMF en los segmentos con curvas, se tomó el valor promedio del radio y longitud de la curva, pendiente y el valor máximo de las variaciones de peralte.
- D) Analizando el tramo completo, como un único segmento

Para cada modo, se ha ingresado la siguiente información:

- Datos geométricos (3.3.1)
- Datos de tránsito y accidentes (3.3.2) y
- Datos deseables (3.3.3)

3.3.1. Datos Geométricos

Los datos de diseño geométrico requeridos para la calibración, se resumen en la Tabla 3 (3.A, 3.B, 3.C y 3.D.)

Tabla 3.A. Datos geométricos para segmentos de igual longitud (1 km)

Fuente: elaboración propia

N°Tr.	Long [km]	Long [mi]	Progresivas		Carril [m]		Banq.grav.[m]		Curvatura		Pend [%]	TWLT
			desde	hasta	Izq.	Der.	Izq.	Der.	R [m]	L [m]		
1	1	0.62137	605	606	3,4	3,4	3,5	3,5	---	---	0,33	No
2	1	0.62137	606	607	3,4	3,4	3,2	3,5	---	---	0,37	No
3	1	0.62137	607	608	3,4	3,4	3,5	3,3	---	---	0,21	No
4	1	0.62137	608	609	3,4	3,4	3	3,5	---	---	0,12	No
5	1	0.62137	609	610	3,4	3,4	3,5	3,5	---	---	0,15	No
6	1	0.62137	610	611	3,4	3,4	3,2	3,4	---	---	1,28	No
7	1	0.62137	611	612	3,4	3,4	3,5	3,5	---	---	0,93	No
8	1	0.62137	612	613	3,4	3,4	3,5	3,5	210	316	0,13	No
9	1	0.62137	613	614	3,4	3,4	3,5	3,4	300	474	sin dato	No
10	1	0.62137	614		3,4	3,4	3,5	3,2	154	113	sin dato	No
				615					254	181		
11	1	0.62137	615	616	3,4	3,4	3,4	3,5	---	---	sin dato	No
12	1	0.62137	616	617	3,4	3,4	3,3	3,5	---	---	sin dato	No
13	1	0.62137	617	618	3,4	3,4	3,5	3,4	935	151	sin dato	No
14	1	0.62137	618	619	3,4	3,4	3,5	3,5	---	---	0,15	No

Tabla 3B. Datos geométricos discriminando segmentos rectos y curvos por separado

Fuente: elaboración propia

N°Tr.	Long [km]	Long [mi]	Progresivas		Carril [m]		Banq.grav[m]		Curvatura		Pend [%]	TWLT
			desde	hasta	Izq.	Der.	Izq.	Der.	R [m]	L [m]		
1-7	7	4,34959	605	612	3,4	3,4	3,34	3,46	-	-	0,484	No
8	1	0,62137	612	613	3,4	3,4	3,5	3,5	210	316	0,13	No
9	1	0,62137	613	614	3,4	3,4	3,5	3,4	300	474	sin dato	No
10	1	0,62137	614		3,4	3,4	3,5	3,2	154	113	sin dato	No
				615					254	181		
11-12	2	1,24274	615	617	3,4	3,4	3,35	3,5	---	---	sin dato	
13	1	0,62137	617	618	3,4	3,4	3,5	3,4	935	151	sin dato	No
14	1	0,62137	618	619	3,4	3,4	3,5	3,5	---	---	0,15	No

Resultan 3 segmentos rectos (resaltados en la Tabla) y 4 segmentos curvos

Tabla 3C. Datos geométricos discriminando segmentos rectos y segmentos con curvas consecutivas

Fuente: elaboración propia

N°Tr.	Long [km]	Long [mi]	Progresivas		Carril [m]		Banq.grav[m]		Curvatura		Pend [%]	TWLT
			desde	hasta	Izq.	Der.	Izq.	Der.	R [m]	L [m]		
1-7	7	4,34959	605	612	3,4	3,4	3,34	3,457	-	-	0,4843	No
8-10	3	1,86411	612	615	3,4	3,4	3,5	3,367	230	271	sin dato	
11-12	2	1,24274	615	617	3,4	3,4	3,35	3,5			sin dato	
13	1	0,62137	617	618	3,4	3,4	3,5	3,4	935	151	sin dato	No
14	1	0,62137	618	619	3,4	3,4	3,5	3,5	---	---	0,15	No

Resultan 3 segmentos rectos (resaltados) y 2 segmentos con curvas

Tabla 3D. Datos geométricos del tramo completo (14 km)

Fuente: elaboración propia

N°Tr.	Long [km]	Long [mi]	Progresivas		Carril [m]		Banq.grav[m]		Curvatura		Pend [%]	TWLT
			desde	hasta	Izq.	Der.	Izq.	Der.	R [m]	L [m]		
1-14	14	8,69918	605	612	3,4	3,4	3,4	3,443	371	247	0,4078	No

Nota: En los modos A y B, donde las curvas se toman por separado, hay un segmento (entre Progr. 614 y 615) donde hay dos curvas.

3.3.2. Datos de Tránsito y Accidentes

Una vez definidos los datos requeridos para cada uno de los sitios, se deben agregar los datos de tránsito medio diario anual (TMDA) y del número de accidentes observado.

El HSM (2010) sugiere usar períodos de 3 años como máximo para la calibración. En este trabajo se usaron los accidentes relevados en los años 1998, 2000 y 2005, en función de la calidad y cantidad de datos disponibles.

Tabla 4. Datos de tránsito y accidentes.

Fuente: elaboración propia

Ruta	Nº años c/datos	Progresivas			TMDA			Nº Accid. Observados			
		desde	hasta	Km	1998	2000	2005	1998	2000	2005	Total
RN 36	3	606	607	1	7000	6925	7350	2	3	0	5
RN 36	3	607	608	1	7000	6925	7350	1	1	3	5
RN 36	3	608	609	1	7000	6925	7350	0	2	0	2
RN 36	3	609	610	1	7000	6925	7350	0	1	1	2
RN 36	3	610	611	1	7000	6925	7350	1	2	0	3
RN 36	3	611	612	1	7000	6925	7350	1	0	2	3
RN 36	3	612	613	1	7000	6925	7350	0	2	2	4
RN 36	3	613	614	1	7000	6925	7350	1	1	0	2
RN 36	3	614	615	1	7000	6925	7350	4	0	3	7
RN 36	3	615	616	1	7000	6925	7350	0	0	1	1
RN 36	3	616	617	1	7000	6925	7350	0	0	2	2
RN 36	3	617	618	1	7000	6925	7350	0	2	1	3
RN 36	3	618	619	1	7000	6925	7350	2	1	0	3
RN 36	3	619	620	1	7000	6925	7350	2	1	0	3
								14	16	15	45

3.3.3. Datos Deseables

Para asegurar un mejor resultado del factor de calibración es deseable poseer información más específica para cada uno de los sitios, tal como se muestra en la Tabla 5.

Cabe acotar que estos datos se obtuvieron del relevamiento topográfico detallado, elaborado como consecuencia de un proyecto de rectificación de traza en el sector. Para determinar la tasa de peligrosidad de bordes laterales se efectuó un reconocimiento de campo y se asignó un valor IP=3 para todo el tramo.

Toda esta información puede ser ingresada en el IHSDM versión 7.0.1 y obtenerse de forma automática el factor de calibración Cr.

Tabla 5. Datos deseables para calibración.

Fuente: elaboración propia

Ruta	N°Tr.	Progresivas		Espirales	Peralte[%]	Acc[un/mi]	Franja sonora	Carril Adelant.	Ind.Peligr.	Ilumin.	Sist.Autom.Vel.
		desde	hasta								
RN 36	1	605	606	---	---	3	No	No	3	No	No
RN 36	2	606	607	---	---	7	No	No	3	No	No
RN 36	3	607	608	---	---	3	No	No	3	No	No
RN 36	4	608	609	---	---	2	No	No	3	No	No
RN 36	5	609	610	---	---	5	No	No	3	No	No
RN 36	6	610	611	---	---	4	No	No	3	No	No
RN 36	7	611	612	---	---	2	No	No	3	No	No
RN 36	8	612	613	both ends	8,5	3	No	No	3	No	No
RN 36	9	613	614	both ends	4	2	No	No	3	No	No
RN 36	10	614		both ends	6	3	No	No	3	No	No
			615	both ends	6						
RN 36	11	615	616	---	---	1	No	No	3	No	No
RN 36	12	616	617	---	---	1	No	No	3	No	No
RN 36	13	617	618	both ends	2	1	No	No	3	No	No
RN 36	14	618	619	---	---	0	No	No	3	No	No

4. RESULTADOS

Con los datos de las Tablas 3, 4 y 5, se definen los Factores de Modificación de Accidentes (CMFn) y utilizando un factor de calibración Cr=1, se calcula la frecuencia de accidentes esperada Np, para los años 1998, 2000 y 2005, en los cuatro modos analizados.

Para una correcta utilización de los Factores de Modificación de Accidentes del HSM Parte C Cap.10, se efectuaron las siguientes consideraciones:

-Las condiciones base para camino bidireccional de dos trochas indivisas, son las mostradas en la Tabla 1 de este informe.

-Con respecto al CMF1, factor de modificación de accidentes por ancho de carril, dado que el ancho de carril es igual en ambos sentidos, se toma ese único valor; en caso de anchos diferentes se toman 2 CMF1 y se los promedia.

-Con respecto al CMF4, relativo a la variación del peralte, se obtiene considerando la diferencia entre el peralte recomendado por el Libro Verde *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (AASHTO) y el peralte real de la curva.

En este trabajo se evaluaron dos posibilidades. Para la primera se consideró el peralte recomendado para una velocidad de 80 Km/h que es la correspondiente al tipo de ruta en cuestión y señalizada en los tramos rectos. La segunda se obtuvo con la velocidad señalizada en cada curva, si la había.

En los modos de análisis A y B, hay un segmento (entre Progr. 614 y 615) donde hay dos curvas. En este caso, se calcularon dos CMF4, en los cuales L es la suma de las longitudes

de las curvas y R es el radio de cada curva. El HMS no indica cómo considerar el valor de peralte en caso de varias curvas en un mismo segmento con variaciones de peralte distintas de 0, por lo que se adoptó la mayor variación de peralte.

-Con respecto al CMF6, factor de modificación por densidad de accesos, para cantidad de accesos inferior a 5 acc/mi, se toma CMF=1. Los accesos se cuentan a ambos lados de la ruta.

En la Tabla 6, se muestran los valores obtenidos para la frecuencia de accidentes esperada (Np) para los TMDA de los tres años de los que se obtuvo datos de accidentes (1998, 2000 y 2005), para los cuatro Modos analizados, tomando el CMF4 para V= 80 Km/h y para la velocidad señalizada en cada curva. (Tabla 6A, 6B, 6C y 6D)

Tabla 6A. Frecuencia de accidentes esperada, Modo A.

Fuente: elaboración propia

NºTramo	Velocidad 80 Km/h				Velocidad señalizada en curva			
	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL
1	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
2	1,15	1,14	1,21	3,51	1,15	1,14	1,21	3,51
3	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
4	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
5	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
6	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
7	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
8	1,50	1,49	1,58	4,57	1,50	1,49	1,58	4,57
9	1,33	1,31	1,39	4,03	1,29	1,27	1,35	3,91
10	3,10	1,79	1,90	6,79	2,87	1,65	1,75	6,27
11	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
12	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
13	1,23	1,21	1,29	3,73	1,23	1,21	1,29	3,73
14	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
TOTAL	18,37	16,90	17,93	53,21	18,10	16,73	17,74	52,57

Tabla 6B. Frecuencia de accidentes esperada, Modo B.*Fuente: elaboración propia*

N°Tramo	Velocidad 80km/h				Velocidad señalizada en curva			
	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL
1-7	7,83	7,74	8,22	23,79	7,83	7,74	8,22	23,79
8	1,50	1,49	1,58	4,57	1,50	1,49	1,58	4,57
9	1,33	1,31	1,39	4,03	1,29	1,27	1,35	3,91
10	2,60	2,58	2,11	7,29	2,41	2,38	1,94	6,73
11-12	2,24	2,21	2,35	6,80	2,24	2,21	2,35	6,80
13	1,23	1,21	1,29	3,73	1,23	1,21	1,29	3,73
14	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
TOTAL	17,84	17,65	18,10	53,60	17,60	17,42	17,90	52,92

Tabla 6C. Frecuencia de accidentes esperada, Modo C.*Fuente: elaboración propia*

N°Tramo	Velocidad 80km/h				Velocidad señalizada en curva			
	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL
1-7	7,83	7,74	8,22	23,79	7,83	7,74	8,22	23,79
8-10	5,39	4,89	5,19	15,48	4,98	4,52	4,80	14,30
11-12	2,24	2,21	2,35	6,80	2,24	2,21	2,35	6,80
13	1,23	1,21	1,29	3,73	1,23	1,21	1,29	3,73
14	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
TOTAL	17,80	17,17	18,22	53,18	17,39	16,79	17,82	52,00

Tabla 6D. Frecuencia de accidentes esperada, Modo D.*Fuente: elaboración propia*

N°Tramo	Velocidad 80km/h				Velocidad señalizada en curva			
	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL
1-14	22,68	22,44	23,82	68,94	20,95	20,73	22,00	63,68

5. RESUMEN

En la Tabla 7 se resumen las diferencias entre accidentes observados, (según accidentes relevados en los años 1998, 2000 y 2005, en función de la calidad y cantidad de datos disponibles) y accidentes esperados (como resultado de la aplicación del modelo del HSM, tomando $Cr=1$), para los cuatro modos analizados. (Tablas 7A, 7B, 7C y 7D)

Tabla 7A. Diferencia entre accidentes observados y esperados, Modo A (por km).

Fuente: elaboración propia

N°Tr.	Nº Accid. Observados				Nº Accid. Esperados (V=80 Km/h)				Nº Accid. Esperados(V. Señaliz.Curva)			
	1998	2000	2005	TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL
1	2	3	0	5	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
2	1	1	3	5	1,15	1,14	1,21	3,51	1,15	1,14	1,21	3,51
3	0	2	0	2	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
4	0	1	1	2	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
5	1	2	0	3	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
6	1	0	2	3	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
7	0	2	2	4	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
8	1	1	0	2	1,50	1,49	1,58	4,57	1,5	1,49	1,58	4,57
9	4	0	3	7	1,33	1,31	1,39	4,03	1,29	1,27	1,35	3,91
10	0	0	1	1	3,10	1,79	1,90	6,79	2,87	1,65	1,75	6,27
11	0	0	2	2	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
12	0	2	1	3	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
13	2	1	0	3	1,23	1,21	1,29	3,73	1,23	1,21	1,29	3,73
14	2	1	0	3	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
				45				53				53

$$C_{\text{vel } 80} = \text{Observados} / \text{Estimados} = 45 / 53 = 0,85$$

$$C_{\text{vel señ}} = \text{Observados} / \text{Estimados} = 45 / 53 = 0,85$$

Tabla 7B. Diferencia entre accidentes observados y esperados, Modo B (segmentos rectos y segmentos curvos separados). Fuente: elaboración propia

N°Tramo	Nº Accid. Observados				Nº Accid. Esperados (V=80 Km/h)				Nº Accid. Esperados(V. Señaliz.Curva)			
	1998	2000	2005	TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL
1-7	5	11	8	24	7,83	7,74	8,22	23,79	7,83	7,74	8,22	23,79
8	1	1	0	2	1,50	1,49	1,58	4,57	1,50	1,49	1,58	4,57
9	4	0	3	7	1,33	1,31	1,39	4,03	1,29	1,27	1,35	3,91
10	0	0	1	1	2,60	2,58	2,11	7,29	2,41	2,38	1,94	6,73
11-12	0	2	3	5	2,24	2,21	2,35	6,80	2,24	2,21	2,35	6,80
13	2	1	0	3	1,23	1,21	1,29	3,73	1,23	1,21	1,29	3,73
14	2	1	0	3	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
				45				54				53

$$C_{\text{vel } 80} = \text{Observados} / \text{Estimados} = 45 / 54 = 0,83$$

$$C_{\text{vel señ}} = \text{Observados} / \text{Estimados} = 45 / 53 = 0,85$$

Tabla 7C. Diferencia entre accidentes observados y esperados, Modo C (segmentos rectos y segmentos con curvas consecutivas). Fuente: elaboración propia

N°Tr.	Nº Accid. Observados				Nº Accid. Esperados (V=80 Km/h)				Nº Accid. Esperados (V. Señaliz. Curva)			
	1998	2000	2005	TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL
1-7	5	11	8	24	7,83	7,74	8,22	23,79	7,83	7,74	8,22	23,79
8-10	5	1	4	10	5,39	4,89	5,19	15,48	4,98	4,52	4,80	14,30
11-12	0	2	3	5	2,24	2,21	2,35	6,80	2,24	2,21	2,35	6,80
13	2	1	0	3	1,23	1,21	1,29	3,73	1,23	1,21	1,29	3,73
14	2	1	0	3	1,12	1,11	1,17	3,40	1,12	1,11	1,17	3,40
				45				53				52

$$C_{\text{vel } 80} = \text{Observados} / \text{Estimados} = 45 / 53 = 0,85$$

$$C_{\text{vel señ}} = \text{Observados} / \text{Estimados} = 45 / 52 = 0,87$$

Tabla 7D. Diferencia entre accidentes observados y esperados, Modo D (tramo completo de 14 km).

Fuente: elaboración propia

N°Tr.	Nº Accid. Observados				Nº Accid. Esperados (V=80 Km/h)				Nº Accid. Esperados (V. Señaliz. Curva)			
	1998	2000	2005	TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL	Np1998	Np2000	Np2005	Np TOTAL
1-14	14	16	15	45	22,68	22,44	23,82	68,94	20,95	20,73	22,00	63,68
				45				69				64

$$C_{\text{vel } 80} = \text{Observados} / \text{Estimados} = 45 / 69 = 0,65$$

$$C_{\text{vel señ}} = \text{Observados} / \text{Estimados} = 45 / 64 = 0,71$$

6. CONCLUSIONES

Las cuatro metodologías empleadas para calibrar el modelo de predicción de accidentes mostraron resultados diferentes, como se observa en la Tabla 8.-

Tabla 8. Cr para los 4 Modos, para V=80 Km/h y para V señalizada en curvas

Fuente: elaboración propia

MODO A)	C vel 80	0,85
	C vel señ	0,85
MODO B)	C vel 80	0,83
	C vel señ	0,85
MODO C)	C vel 80	0,85
	C vel señ	0,87
MODO D)	C vel 80	0,65
	C vel señ	0,71

El análisis efectuado discriminando los segmentos rectos por un lado y los segmentos con curvas consecutivas por otro (Modo C) arrojó los valores más consistentes.

En la determinación del factor de modificación de accidentes por peralte de las curvas, se trabajó con dos valores: uno para una velocidad de 80 Km/h, que es la señalizada a lo largo de la ruta y otro para la velocidad señalizada en cada curva. Los resultados en el Modo A no mostraron diferencia, por lo que se podría concluir que cuando se analiza definiendo segmentos de igual longitud (1 Km), el número de accidentes esperado no resulta sensible a la velocidad. Tampoco se registraron diferencias significativas en los dos tratamientos de peraltes, para los modos B o C.-

En el análisis del tramo completo (Modo D), los resultados fueron mucho menos consistentes, probablemente por la propia forma de análisis, en donde los datos se determinaron como promedio de los usados en la segmentación por kilómetro.

En cuanto al Modo A, presenta la gran dificultad de conseguir la cantidad de datos necesarios, tanto de accidentes como de geometría de la vía, detallados por kilómetro (o milla); en este caso los resultados obtenidos fueron bastante consistentes.

El HSM recomienda su uso en sitios donde se dispone de un mínimo de 100 accidentes por año, algo elevado para los accidentes reales observados según los datos recolectados para este trabajo.

Para analizar la influencia del valor de peralte base adoptado para la determinación del Factor de Modificación por Peralte según las dos velocidades consideradas ($V=80$ Km/h y velocidad señalizada en la curva), la Tabla 9 muestra los resultados de los accidentes esperados N_p para los años analizados en ambas situaciones, para los cuatro modos estudiados.

Tabla 9. N_p para los 4 modos, utilizando $V=80$ Km/h y Velocidad señalizada en las curvas.

Fuente: elaboración propia

	1998		Difer. (%)	2000		Difer. (%)	2005		Difer. (%)
	Velocidad 80km/h	Vel. Señaliz. en curva		Velocidad 80km/h	Vel. Señaliz. en curva		Velocidad 80km/h	Vel. Señaliz. en curva	
	N_p	N_p		N_p	N_p		N_p	N_p	
MODO A	1,33	1,29	3,1	1,31	1,27	3,1	1,39	1,35	3,0
MODO B	1,33	1,29	3,0	1,31	1,27	3,0	1,39	1,35	3,0
MODO C	5,39	4,98	8,3	4,89	4,52	8,3	5,19	4,80	8,3
MODO D	22,68	20,95	8,3	22,44	20,73	8,3	23,82	22,00	8,3

Se observa que para los modos A y B, la influencia de la velocidad considerada para la determinación del peralte base es baja, del orden del 3%, mientras que para los modos C y D, esta diferencia asciende a un valor del orden del 8 %. En ambos casos, dichas diferencias no resultan significativas.

Del análisis de los 4 modos utilizados, se puede concluir que el factor de calibración para el tramo estudiado es del orden de 0,85; de tal manera que cualquier predicción en carreteras de similares características podrá ser afectada por este C_r , al igual que la distribución de accidentes.

7. BIBLIOGRAFIA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. **“Highway Safety Manual. 1st Edition. Vol 1, 2 y 3”**. 2010, Washington DC. United States.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. **“A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”**. 5th Edition. 200410, Washington DC. United States.
- OCCOVI (Organo de Control de Concesiones Viales). **“Base de Datos de Accidentes Registrados entre los años 1996 a 2005”**. 2005.
- Dirección Nacional de Vialidad. **“Inventario Vial”**. Gerencia de Planeamiento, Investigación y Control - División Relevamientos. Sección Inventario Vial. 2003.
- Dirección Nacional de Vialidad. Años 1995 a 2005. Gerencia de Planeamiento, Investigación y Control. Subgerencia de Planeamiento y Programación Vial. **“Información del Tránsito en la**

Red Nacional de Caminos". 2007.

- FHWA, **Interactive Highway Safety Design Model**. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC. 2012, Versión 7.0.1.
- XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. **Calibración del Módulo de Accidentes del Highway Safety Manual (HSM)**. Dr. Ing. Aníbal L. Altamira, Ing. Yasmany D. García Ramírez. Escuela de Ingeniería en Caminos de Montaña. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan. 2012.
- Hauer, Ezra. **Two-way left turn lanes: Review and Interpretation of Published Literature, unpolished**. 1999
- Lamm R., Anke Beck, T.s Ruscher, T. Mailaender. **"How to make two-lane rural roads safer"**. Boston, WIT Press, 2007. 1st edition, 118 pages.