

ESTIMACION DE UMBRALES DE CONSISTENCIA PARA CAMINOS PAVIMENTADOS BIDIRECCIONALES CHILENOS

Tomás Echaveguren, Universidad de Concepción techaveg@udec.cl
Carlos Reed, Universidad de Concepción

RESUMEN

La seguridad vial tiene por objetivo prevenir los accidentes de tránsito y, en caso de que estos se produzcan, que sus consecuencias sean mínimas para los usuarios. El análisis de consistencia constituye una herramienta para evaluar el riesgo de accidentes de un camino. En particular, el enfoque que compara la velocidad de operación y velocidad de diseño a través del indicador de consistencia para curvas horizontales aisladas. Los umbrales de consistencia son los límites de cada intervalo de nivel de consistencia y se pueden estimar utilizando la tasa de accidentes, la tasa de cambio de curvatura y el nivel de tráfico. Existen pocos estudios para determinar umbrales de consistencia, por lo cual la mayoría de los países adoptan dichos umbrales sin cuestionar su representatividad a condiciones locales. Por tal motivo, este estudio tuvo como objetivo estimar estos umbrales en caminos de la Región del Biobío. Para ello se conformó una base de datos georreferenciada con datos de accidentes, tráfico y geometría. Tras superponer estas variables se obtuvieron 124 curvas horizontales aisladas para el análisis. Se calibró un modelo de estimación de tasas de accidentes para la región del Bío Bío y posteriormente se estimaron los umbrales de consistencia en términos de la diferencia entre velocidad de diseño y de operación (IC_1), obteniéndose los siguientes resultados; nivel “bueno” $IC_1 \leq 10$ km/h, nivel “regular” $10 \text{ km/h} < IC_1 \leq 15$ km/h, nivel “pobre” $IC_1 > 15$ km/h. Con estos resultados es posible realizar un análisis de consistencia adecuado a las condiciones nacionales y así optimizar los diseños geométricos en términos de la seguridad.

Palabras clave: seguridad vial, análisis de consistencia, umbrales de consistencia, tasa de accidentes, caminos bidireccionales

1. INTRODUCCIÓN

La seguridad vial (SV) se define como el conjunto de condiciones de una carretera existente o proyectada, que permiten la circulación con un bajo riesgo de sufrir o provocar accidentes y que, de producirse, tengan las menores consecuencias posibles. La SV aspira a que cada usuario, motorizado o no, se desplace sin incidentes ni accidentes que afecten su integridad, la de su vehículo o de las personas y bienes del entorno de la ruta. Dentro de este ámbito, los accidentes se consideran como un evento que envuelve al menos a un vehículo que circula, normalmente por una vía para tránsito de vehículos, pudiendo ser el vehículo motorizado o no (Gold, 1998).

Cafiso *et al.* (2007), señalan que la SV se puede medir a través del riesgo de accidentes presente en un camino, expresado como un índice de seguridad formado por tres componentes: exposición, magnitud y vulnerabilidad. Esta investigación se enfoca en la vulnerabilidad, la cual corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un accidente en la ruta, medida a través de un indicador que combina inspección de SV y análisis de consistencia. La consistencia se refiere a si las expectativas que los conductores tienen de un camino serán cumplidas por su diseño geométrico. Mientras menor sea esta diferencia, más consistente será el camino, se tendrá menos riesgo y, con esto, vías más seguras.

Los umbrales de consistencia marcan el límite entre los niveles de consistencia que puede tener un camino. Es fundamental para que los análisis de consistencia sean válidos, que los umbrales estimados se encuentren en línea con la realidad local, evitando utilizar umbrales internacionales, que conlleven a errores en la evaluación de niveles de consistencia y a soluciones poco adecuadas. La definición del IC₁ no es suficiente para aplicar un análisis de consistencia ya que, para ello es necesario definir los umbrales de consistencia de dicho criterio. Un umbral de consistencia es el valor crítico que marca el límite de las distintas clases de datos que son estadísticamente similares.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo de esta investigación fue estimar umbrales de consistencia en caminos rurales bidireccionales pavimentados para la Región del Biobío. Para ello se conformó una base de datos georreferenciada (mediante el análisis de datos de rutas, accidentes y tránsito), luego se obtuvieron tasas de accidentes (TA) y se calibró un modelo para estimar TA en ausencia de datos de accidentes. Luego se obtuvieron las tasas de cambio de curvatura (CCR) y se estimaron los umbrales de consistencia (UC) utilizando análisis de conglomerados. El primer paso consistió en la organización y limpieza de las bases de datos, eliminando de ellas todos los datos incongruentes o que no eran objeto de estudio de esta investigación, para luego georreferenciar los datos seleccionados.

Para la estimación del modelo de TA fue necesario verificar las tendencias de la frecuencia de accidentes y de la TA. Posterior a esto, considerando como variables independientes a la longitud de tramo y el nivel de flujo (TMDA), se obtuvo de TA mediante una regresión no lineal. Finalmente, se procedió estimar los umbrales de consistencia, usando la TA calculada y el CCR, utilizando el indicador de consistencia propuesto por Lamm *et al.* (1988). Mediante análisis de conglomerados, se obtuvieron los límites y niveles de consistencia para la red vial de la Región del Bío Bío.

2. EL MODELO DE ANALISIS DE CONSISTENCIA

Una vez que un camino entra en operación, un indicador de desempeño de seguridad vial son los accidentes Lamm *et al.* (2007). Dado esto, es necesario crear una correlación explícita entre el estándar del camino ya diseñado y la seguridad proyectada mediante el estudio de la consistencia del diseño. Esta se define como la condición bajo la cual las expectativas del conductor son concordantes con el diseño geométrico de una ruta. McLean (1981) planteó que reduciendo la diferencia entre la velocidad de diseño de una vía y la velocidad de operación, variable que describe el comportamiento del conductor, se tendrá una mayor consistencia entre la expectativa del conductor y lo que el camino le ofrece.

Lamm *et al.* (1988), adoptaron lo planteado por McLean (1981) y propusieron dos indicadores de consistencia basados en la velocidad: uno para curvas horizontales aisladas y otro para curvas horizontales sucesivas. El primer índice (IC_1), mide la consistencia del alineamiento del camino a través de la relación entre la velocidad de diseño o específica (V_d) y el comportamiento del conductor, expresado como el percentil 85 de los autos de pasajeros (V_{85}) bajo condiciones de flujo libre. El segundo índice (IC_2), mide la diferencia entre las velocidades de operación (V_{85}) de elementos geométricos sucesivos del trazado (velocidad de operación consistente). Con este índice se busca medir la uniformidad del perfil de velocidad de operación a través de los elementos de un trazado. Las Ecuaciones 1 y 2 muestran los índices antes mencionados, en los cuales V_d es la velocidad de diseño, en km/h, y V_{85} es la velocidad de operación también en km/h. El término “ i ” corresponde al i ésimo elemento geométrico de una curva horizontal en “S”.

$$IC_1 = |V_d - V_{85}| \quad (1)$$

$$IC_1 = |V_{85i} - V_{85i+1}| \quad (2)$$

La forma funcional propuesta por Lamm *et al.* (1988) para calcular la velocidad de operación queda representada por la Ecuación 3, en la cual V_{85} es la velocidad de operación (km/h), CCR es el grado de curvatura (gon/km) y a , b son parámetros del modelo. En la Región del Bío Bío, Echaveguren y Sáez (2001) calibraron el modelo de la Ecuación 4, el cual difiere del modelo de Lamm *et al.* (1988) en que la curvatura está representada por el inverso del radio geométrico (R , en m). Las constantes c y d se obtienen mediante calibración.

$$V_{85} = a - b \text{CCR} \quad (3)$$

$$V_{85} = c - d/R \quad (4)$$

La velocidad de diseño de acuerdo a Lamm *et al.* (2007) refleja las condiciones económicas y ambientales basadas en la funcionalidad de la ruta y en la calidad deseada de nivel de tránsito. Para obtenerla se emplea el modelo de estabilidad dinámica de la Ecuación 5, en la cual V_d es la velocidad de diseño (km/h), R es el radio de la curva horizontal (m), p es el peralte de la curva horizontal y t es la fricción de diseño.

$$V_d = (127 R (p + t))^{1/2} \quad (5)$$

Según MOP (1981), la fricción de diseño se obtiene en función del peralte siguiendo la relación $t = 2p$. Esta simplificación se utiliza en este estudio ya que los caminos analizados fueron diseñados bajo esta sugerencia de la normativa.

3. ESTIMACIONES PREVIAS DE UMBRALES DE CONSISTENCIA

Son escasos los estudios previos destinados a estimar umbrales de consistencia. Lamm et al. (1988) estimaron los umbrales de consistencia que se utilizan ampliamente en diversas partes del mundo usando dos base de datos. Una base de datos para Estados Unidos con 251 sitios en el estado de Nueva York y una base de datos para Alemania con 657 sitios distribuidos en todo el país. Posteriormente realizó dos actualizaciones en Alemania con una base de datos de 2.726 sitios (Lamm *et al.*, 2007). En Chile, Echaveguren y Vargas-Tejeda (2014) utilizaron las ecuaciones de AASHTO (2010) para estimar el potencial de accidentes para 45.000 realizaciones aproximadamente para 54 escenarios de diseño geométricos de curvas horizontales. A partir de este análisis obtuvieron una estimación de umbrales de consistencia para curvas horizontales de caminos bidireccionales diseñadas en base a la normativa Chilena. A continuación se discuten estos estudios.

3.1. Estimación de umbrales de consistencia en Alemania y Estados Unidos

Lamm *et al.* (1988) desarrollaron un procedimiento ad hoc para estimar UC. Como primer paso, construyeron una base de datos de accidentes para calcular la TA (Ecuación 6) y una base de datos geométricos de la red vial, para calcular CCR (Ecuación 7) en cada sitio analizado. Luego, con estos datos realizaron un análisis de clases para así obtener distintos grupos de CCR. Una vez obtenidas estas clases de CCR calcularon la tasa media de accidentes para cada clase. Por último, aplicaron el test-t de diferencia de medias modificando los intervalos de CCR hasta llegar a valores vecinos de tasas de accidentes estadísticamente distintos. Después de este proceso, asociaron los valores límites de CCR de cada una de las clases a una escala de calificación de la consistencia del diseño en niveles “bueno”, “regular” y “pobre”. Con estos valores límites de CCR estimaron la velocidad de operación (V_{85}) usando la Ecuación 3, la velocidad de diseño (V_d) usando la Ecuación 4 y el Índice de Consistencia usando la Ecuación 1.

Para estimar umbrales de consistencia, Lamm et al. (1988) definieron dos indicadores relevantes. La tasa de accidentes (TA, accidentes/ 10^6 veh-km) y la tasa de cambio de curvatura (CCR, gon/km). La primera se calcula mediante la Ecuación 6, en la cual N^o accidentes corresponde a la cantidad de accidentes en el tramo analizado durante un intervalo de tiempo, TMDA es el tránsito medio diario anual (veh/día-año), L es la longitud del segmento en estudio (km) y T es la cantidad de años en los cuales se tienen datos de accidentes (años). CCR se calcula mediante la Ecuación 7, en la cual L_c es la longitud de la curva horizontal completa, incluyendo espirales (m), R es el radio de la curva (m) y L es la longitud del tramo (m).

$$TA = (10^6 N^o \text{ accidentes}) / (365(TMDA)(L)(T)) \quad (6)$$

$$CCR = ((L_c/R)/L) (200/\pi) 10^3 \quad (7)$$

Los resultados obtenidos por Lamm *et al.* (1988) en los test-t evidenciaron incrementos significativos en las tasas medias de accidentes entre las distintas clases de CCR. Es decir, a mayores TA se pueden esperar mayores CCR. Dado esta significancia estadística definieron los siguientes niveles de consistencia:

- Alineamientos horizontales curvilíneos suaves hasta valores de CCR de 180 gon/km, que corresponden a radios de curvatura iguales o mayores a 350 m, experimentan un bajo riesgo

de accidentes (tienen asociada una tasa de accidentes baja). Este intervalo lo definieron como diseño “bueno”. Asociaron a este rango de CCR una diferencia de velocidades de 20 km/h,

- la tasa de accidentes en secciones con valores de CCR entre 180 gon/km y 360 gon/km, (equivamente a radios de curvatura entre 170 m y 350 m), fueron a lo menos dos o tres veces mayor que las secciones con CCR hasta 180 gon/km. Este intervalo lo definieron como diseño “regular”, asociandole una diferencia de velocidades entre 10 y 20 km/h,
- la tasa de accidentes en secciones con CCR entre 360 gon/km y 550 gon/km resultaron cuatro o cinco veces más grandes que la correspondiente a las clases de hasta 180 gon/km. Este intervalo lo definieron como diseño “pobre”. Asociaron a este rango de CCR una diferencia de velocidades de menos de 10 km/h.

Los umbrales de consistencia obtenidos por Lamm *et al.* (1988) fueron:

- Diseño Bueno: $CI_1 \leq 10$ km/h
- Diseño Regular: $10 \text{ km/h} < CI_1 \leq 20 \text{ km/h}$
- Diseño Pobre: $CI_1 > 20 \text{ km/h}$

3.2. Estimación de umbrales de consistencia en Chile

Como una primera aproximación para estimar umbrales de consistencia, Echaveguren y Vargas-Tejeda (2014) combinaron los modelos de predicción de accidentes de AASHTO (2010), a la sazón no calibrados en Chile, con el procedimiento de estimación de umbrales de consistencia propuesto por Lamm *et al.* (1988) descrito en la sección anterior. La Figura 1 ilustra el procedimiento metodológico empleado.

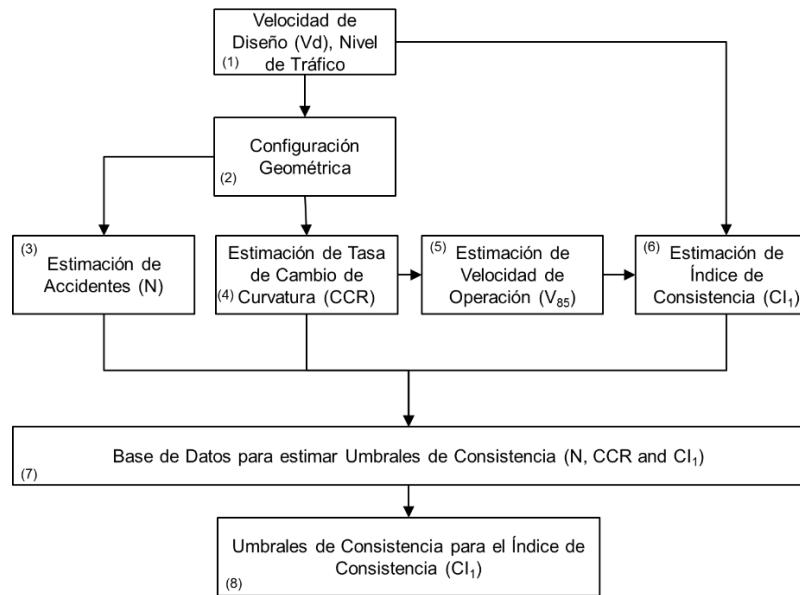


Figura 1: Método de cálculo de umbrales de consistencia (Echaveguren y Vargas-Tejeda, 2014)

El cálculo de umbrales de consistencia se desarrolló mediante simulación de diversos escenarios que consideraron como variables independientes la geometría de la curva horizontal y el tráfico, y

como variables dependientes el número total de accidentes y el índice de consistencia CI_1 . En el paso 1 se define la velocidad de diseño y el nivel de tráfico. Ambas variables son necesarias para definir la geometría de la curva y los valores esperados de accidentes (N). Con estos datos, se definió la geometría. Conocida la geometría, es posible calcular los valores de la tasa de cambio de curvatura (CCR) y la velocidad de operación (V_{85}) directamente (Pasos 4 y 5). Con los resultados de los pasos 2 y 3, se calculan los valores de los factores modificadores de accidentes de acuerdo (AASHTO, 2010). En el paso 7 estos datos se organizan en una base datos para estimar en el paso 8 los nuevos umbrales. Los umbrales de consistencia obtenidos por Echaveguren y Vargas-Tejeda (2014) fueron:

- Diseño Bueno: $CI_1 \leq 13 \text{ km/h}$
- Diseño Regular: $13 \text{ km/h} < CI_1 \leq 25 \text{ km/h}$
- Diseño Pobre: $CI_1 > 25 \text{ km/h}$

3. ESTIMACION DE NUEVOS UMBRALES DE CONSISTENCIA

Como se mencionó en secciones anteriores, son tres los aspectos esenciales para estimar umbrales de consistencia: la estimación de la tasa de accidentes, la estimación de la tasa de cambio de curvatura y la estimación de umbrales de consistencia asociados al índice de consistencia CI_1 . En esta sección se describe la forma en que se integraron estos tres elementos para proponer umbrales de consistencia basados en datos empíricos.

3.1. Modelación de la tasa de accidentes

La tasa de accidentes se puede obtener de dos formas: mediante cálculo directo utilizando datos de accidentes del sitio que se desea analizar, o estimarla con la ayuda de un modelo de exposición al riesgo previamente calibrado. El segundo procedimiento otorga mayor generalidad y por tanto una mayor representatividad de una red de caminos. Este último fue el procedimiento escogido para estimar la tasa de accidentes.

Primero se analizó las bases de datos de rutas accidentes y tránsito que sirvieron de datos de entrada para el estudio. La base de datos de rutas se obtuvo del informe de Dimensionamiento y Características Red Vial Nacional 2014 emitido regularmente por el Departamento de Gestión Vial del MOP; la base de datos de tránsito de los informes del Plan Nacional de Censos que emite cada dos años el Departamento de Estadística y Censo de Tránsito del MOP; y, por último, la base de datos de accidentes se obtuvo de Carabineros de Chile. Luego de analizar las bases y seleccionar los accidentes a considerar, se procedió a geo-referenciar sobre la red vial en estudio tanto los accidentes como el tráfico.

A partir de lo anterior, se conformó una base de datos que contenía tráfico, No de accidentes en el período 2010 – 2013, y las características geométricas de los tramos curvos en análisis. Posteriormente se calibró un modelo que permitió estimar la TA para diversos niveles de tráfico. Luego se calculó el valor de CCR en todas las curvas y mediante modelos de velocidad se calculó para cada una de las curvas la velocidad de operación y de diseño. Finalmente, se aplicó el algoritmo de las k-medias para conglomerar las variables y obtener los umbrales de consistencia en términos de diferencias de velocidades.

3.1.1. Conformación de la base de datos

Las bases de datos utilizadas para la obtención de la tasa de accidentes calculada y estimada, y posterior obtención de los umbrales de consistencia fueron: base de datos de rutas, base de datos de accidentes y base de datos de tránsito.

De la base de datos de rutas, la información que se extrajo y utilizó correspondió a los roles de cada camino de la Región del Biobío junto con su kilometraje inicial y final, la longitud da la ruta y, por último, el tipo de carpeta de rodado. La base de datos de accidentes utilizada contenía registros de accidentes a nivel nacional en el quinquenio 2008-2012. Se seleccionaron aquellos localizados en la región del Bio Bio considerando los atributos fecha, región, ubicación, ruta, punto kilométrico, lesionados y tipo de accidente. Una vez seleccionados los atributos, se realizó la selección de los accidentes a considerar que cumplieran con el criterio de ocurrencia por choque, colisión y volcamiento en caminos rurales bidireccionales pavimentados de la Región del Biobío y que hayan tenido algún tipo de consecuencia para el conductor y/o pasajeros.

Se eliminaron aquellos accidentes que presentaban incongruencias de información (por ejemplo la ruta indicada no correspondía a una de la Región del Biobío, no identificación de la ruta, presencia de más de una ruta para el mismo accidente, falta de ubicación o ausencia de punto kilométrico). Finalmente, de este proceso de selección de accidentes quedaron disponibles un total de 2.301 accidentes, en el período 2008 – 2012. La base de datos de tránsito consideró datos del Plan Nacional de Censos para los años 2008, 2010 y 2012. La base de datos poseía 119 puntos censales a nivel regional y se seleccionaron los que contaban a lo menos con dos años de medición. De los 119 puntos censales iniciales, se seleccionaron finalmente 111, que representaban un 93% del total regional.

Con las bases de datos conformadas, se procedió a integrarlas sobre la red vial regional geo-referenciándolas en un Sistema de Información Geográfica. Esto permitió superponer la información para seleccionar cada una de las curvas en las que se podía obtener el número de accidentes, el TMDA y la geometría de cada curva, de manera de contar con una base de información coherente para estimar los umbrales de consistencia. Al realizar esta integración y una vez depurados los datos, se construyó una base de datos geo-referenciada con 1.752 accidentes, 109 puntos censales y 124 sitios para realizar los cálculos.

3.1.2. Estimación de tasa de accidentes

Para modelar la tasa de accidentes se ocupó la forma funcional propuesta por AASHTO (2010), que relaciona el número de accidentes con el TMDA y la longitud del tramo en estudio. Puesto que se utilizaron accidentes del período 2008 – 2012, la tasa de accidentes se normalizó por le numero de años. Se calculó la tasa de accidentes para 85 sitios que tuvieran datos de accidentes y tránsito. La Figura 2 muestra la relación entre la tasa de accidentes calculada y el TMDA. Se observa una tendencia de decrecimiento exponencial concordante con lo propuesto por Lamm *et al.* (1999).

Después de haber analizado las tendencias de los datos obtenidos y verificado con lo expuesto por Lamm *et al.* (1999), se calibró el modelo de predicción de accidentes descrito por la Ecuación 8, donde FE es el número de accidentes por año (accidentes/año), L es la longitud del segmento en estudio (km), TMDA es el tránsito medio diario anual (veh/día-año).

$$FE = L^{-0,412} TMDA^{-0,729} e^{5,549} \quad (8)$$

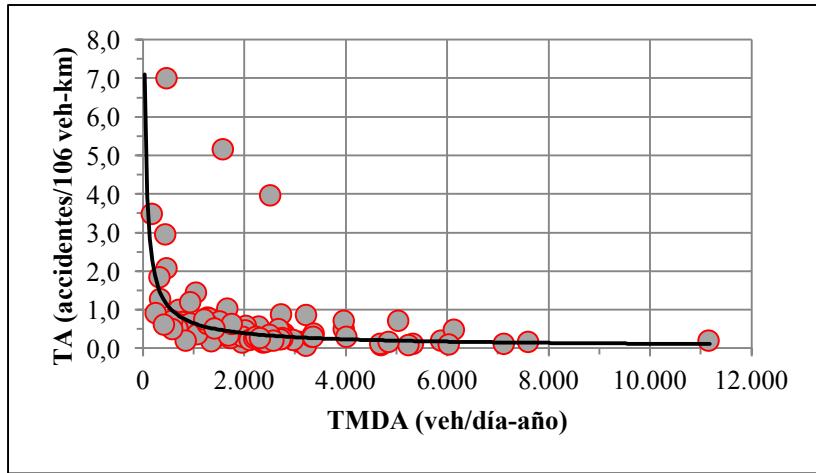


Figura 2: Relación entre la tasa de accidentes y el TMDA en los sitios de análisis

Por último, una vez obtenido los parámetros del modelo calibrado, se contrastó el modelo obtenido con el modelo calibrado por Cafiso *et al.* (2007). En la Figura 3 se observa la relación entre la tasa de accidentes y el TMDA de ambos modelos. Para la serie de valores de TMDA de los 85 sitios calibrados y la tasa de accidentes calculada, se estimó el error cuadrático medio (ECM) entre la predicción de cada modelo y el valor real de accidentes. El modelo calibrado en este trabajo arrojó un ECM de 0,312 y el modelo de Cafiso *et al.* (2007) un ECM de 0,331. Esto indica que ambos modelos son comparables y representativos de la realidad.

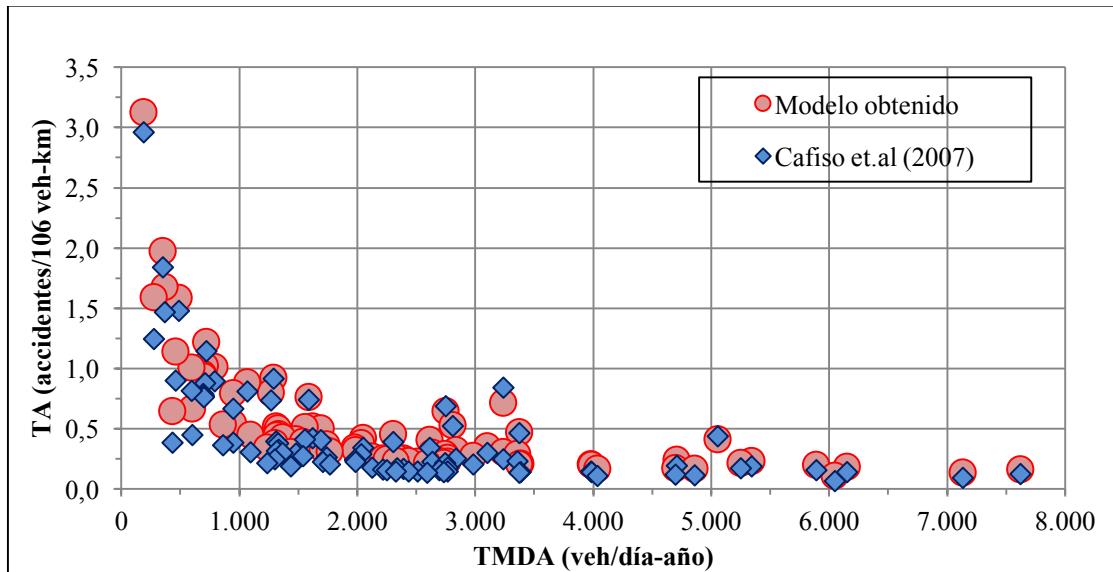


Figura 3: Comparación entre el modelo calibrado y el modelo de Cafiso *et al.* (2007)

3.2. Estimación de la tasa de cambio de curvatura

El CCR se calculó utilizando la Ecuación 7. La longitud de curva y tramo se realizó de forma análoga a lo realizado en 3.4 para obtener la TA. El radio equivalente se obtuvo ajustando una circunferencia a la curva horizontal aislada observada en las imágenes satelitales disponibles.

3.3. Estimación del índice de consistencia

El índice de consistencia de la Ecuación 1 utiliza como variables explicativas la velocidad de operación y de diseño. La velocidad de operación (V_{85} , en km/h) se obtuvo mediante el modelo de Echaveguren y Sáez (2001) (Ecuación 9), calibrado en la Región del Bío Bío (Ecuación Z), en que R' corresponde al radio de curvatura total de cada sitio, en m. La velocidad de diseño se calculó mediante la Ecuación 5. Una vez obtenidas las velocidades de diseño y de operación se calculó en el IC_1 usando a la Ecuación 1.

$$V_{85} = 95,08 - 1.879,93/R' \quad (9)$$

3.4. Estimación de umbrales de consistencia

El cálculo de umbrales de consistencia se realizó para el IC_1 de Lamm *et al.* (1988) y 124 curvas de la Región del Biobío. Para su cálculo, se consideró el CCR y el radio equivalente, la velocidad de diseño según el modelo de estabilidad dinámica del Manual de Carreteras y la velocidad de operación según el modelo propuesto por Echaveguren y Sáez (2001).

Los umbrales de consistencia se obtuvieron a través de un análisis de conglomerados mediante el algoritmo de k-medias, considerando la TA calculada (para 124 curvas) y CCR. Para ello primero se verificó la tendencia de los datos, luego se eliminaron los valores atípicos obtenidos del análisis de conglomerados y posteriormente se obtuvieron los umbrales por medio de los valores límite de cada intervalo de CCR obtenido. Así, el nivel de consistencia bueno quedó definido por los valores inferiores a 10 km/h de IC_1 y valores de TA inferiores a 2,6 accidentes/ 10^6 veh-km, el nivel regular por los valores de IC_1 entre 10 km/h y 15 km/h y con valores de TA entre 2,6 y 5,4 accidentes/ 10^6 veh-km, y el nivel pobre por los valores de IC_1 mayores a 15 km/h y a los valores de TA superiores a 5,4 accidentes/ 10^6 veh-km. Los umbrales estimados fueron:

- Nivel Bueno: $IC_1 \leq 10$ km/h
- Nivel Regular: $10 < IC_1 \leq 15$ km/h
- Nivel Pobre: $IC_1 > 15$ km/h

3.3. Comparación con otros estudios

En la Tabla 1 se muestra una comparación entre los resultados obtenidos y los umbrales de consistencia obtenidos por Lamm *et al.* (1988) para curvas horizontales en los Estados Unidos. Se puede apreciar que los valores umbrales son similares. No obstante lo cual, las tasas de accidentes (Tabla 2). asociadas son notablemente diferentes debido a que la estimación de umbrales al conglomerar respecto de la misma base de datos, no los hace comparables en estos términos pero si en términos del diferencial de velocidades.

Tabla 1. Umbrales de consistencia obtenido en diversos estudios

Nivel de consistencia	Umbrales de Consistencia (km/h)			
	Estados Unidos (año 1988)	Alemania (año 2001)	Chile (año 2014)	Chile (2017)(*)
Bueno	$IC_1 \leq 10$	$IC_1 \leq 10$	$IC_1 \leq 13$	$IC_1 \leq 10$
Regular	$10 < IC_1 \leq 20$	$10 < IC_1 \leq 15$	$13 < IC_1 \leq 25$	$10 < IC_1 \leq 15$
Pobre	$IC_1 > 20$	$IC_1 > 15$	$IC_1 > 25$	$IC_1 > 15$

(*) Este estudio

Tabla 2. Tasas de accidentes para umbrales de consistencia obtenidos en diversos estudios

Nivel de consistencia	Tasa de Accidentes (accidentes/ 10^6 veh-km)			
	Estados Unidos (año 1988)	Alemania (año 2001)	Chile (año 2014)	Chile (2017)(*)
Bueno	<5,03	<0,22	<0,9	<2,6
Regular	5,03 – 10,97	0,22 – 2,27	0,9 – 2,0	2,6 – 5,4
Pobre	>10,97	>2,27	>2,0	>5,4

(*) Este estudio

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se estimaron umbrales de consistencia para caminos rurales bidireccionales pavimentados de la Región del Biobío. Para esto, se conformó una base de datos georreferenciada a partir de datos iniciales de rutas, accidentes y tránsito.

El nivel de consistencia “bueno” quedó definido por los valores de IC_1 inferiores a 10 km/h, el nivel regular por valores de IC_1 entre 10 km/h y 15 km/h y el nivel “pobre”, por valores de IC_1 mayores a 15 km/h. Si bien estos resultados son coherentes con los obtenidos en estudios anteriores, al examinar los valores de las tasas de accidentes asociadas se aprecia una mayor variabilidad, por lo cual aun cuando los valores umbrales sean similares, no es posible realizar extrapolaciones. En este sentido, cada país debe realizar sus propias estimaciones de umbrales de consistencia.

Es importante mencionar que los umbrales de consistencia deben actualizarse para mediano y largo plazo, ya que las variables utilizadas para su estimación, pueden no ser constantes en el tiempo. Resulta interesante entonces verificar la validez de los umbrales de consistencia obtenidos para otras regiones de Chile ampliendo la base de información y agrupando por macrozona geográfica: Norte, Centro, Sur y Patagonia.

Un aspecto relevante que permite mejorar la calidad de este estudio es contar con registros de accidentes de mejor calidad e cuanto a la localización, causalidad y condición resultante, dado que permite estimar mas fielmente modelos predictivos de la tasa de accidentalidad.

Este estudio utilizó como supuesto que las curvas horizontales consecutivas se comportan como aisladas. Este supuesto debe verificarse en el futuro en la medida que se disponga de conocimiento suficiente para discriminar si operativamente son aisladas o no.

Este estudio se abocó exclusivamente a estimar umbrales de consistencias para curvas horizontales aisladas. La literatura asume que los umbrales son iguales en tanto para curvas aisladas como compuestas. Sin embargo, es plausible cuestionar este supuesto para, en futuras investigaciones analizar mas en detalle su veracidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) del Ministerio de Educación de Chile por el financiamiento otorgado al proyecto FONDEQUIP EQM 150029 liderado por el Laboratorio GESITRAN de la Universidad de Concepción, y al proyecto FONDECYT 1160128, dentro de los cuales se enmarca este trabajo.

REFERENCIAS

- AASHTO (2010). Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington DC. Estados Unidos.
- Cafiso, S., La Cava, G., Montella A. (2007). Safety Index for Evaluation of Two-Lane Rural Highways. *Transportation Research Record*, 2019, 136 – 145.
- Echaveguren, T. y Vargas-Tejeda, S. (2014). Umbrales de consistencia para caminos bidireccionales en base a modelos de accidentes. *Actas XI Congreso Internacional PROVIAL*. Valdivia. Chile. Octubre.
- Echaveguren, T., y Sáez, J. (2001). Indicadores de consistencia en el diseño geométrico. *X Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*. Concepción. Chile. Octubre.
- Gold P. (1998). Seguridad de Tránsito: Aplicaciones de ingeniería para reducir accidentes. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington D.C. Estados Unidos.
- Lamm, R., Choueiri, E., Hayward, J. y Paluri, A. (1988) Possible design procedure to promote design consistency in highway geometric design on two-lane rural roads. *Transportation Research Record*. 1195. 111 – 122.
- Lamm, R., Psarianos, B. y Mailaender, T. (1999). *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. McGraw-Hill. Nueva York. Estados Unidos.
- Lamm, R., Beck, A., Ruscher, T., Mailaender, T., Cafiso, S., La Cava, G., & Matthews, W. (2007). How to make two-lane rural roads safer. Scientific background and guide for practical application. Witt Press. Boston. Estados Unidos.
- McLean, J. (1981). Driver speed behavior and rural road alignment design. *Traffic Engineering & Control*. 22(4). 208 – 211.
- MOP (1981) Manual de Carreteras Vol. 3 Instrucciones y Criterios de Diseño. Dirección de Vialidad. Santiago. Chile.