

CORRELACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CARRETERAS DE DOS CARRILES Y LA ACCIDENTALIDAD

*José M^a Pardillo Mayora
Departamento de Ingeniería Civil Transportes
Universidad Politécnica de Madrid*

*Roberto Llamas Rubio
Dirección General de Carreteras
Ministerio de Fomento*

RESUMEN

El artículo describe un proyecto de investigación en el que han colaborado la Dirección General de Carreteras y la Universidad Politécnica de Madrid con el fin de establecer un modelo de estimación los índices de accidentalidad a partir de las características de las carreteras convencionales de la Red del Estado. Como paso previo para el desarrollo del modelo se definieron una serie de variables dependientes de las características de la carretera y de sus pautas de variación y se analizó su correlación con los índices de accidentalidad. A partir de los resultados obtenidos se seleccionaron las variables que mostraban mayor asociación con las tasas de accidentes, con las que se calibró un modelo multivariante de estimación de los índices de peligrosidad en carreteras convencionales. Las variables para las que se encontró una mayor correlación con los índices de peligrosidad fueron la densidad de accesos, la distancia de visibilidad, la limitación de velocidad media y la proporción de la longitud del tramo con prohibición de adelantamiento. Finalmente se describen las conclusiones que se derivan de las relaciones entre las variables estudiadas y los índices de peligrosidad.

PALABRAS CLAVE: Seguridad vial, carreteras convencionales, análisis multivariante, índices de peligrosidad

ABSTRACT

The article describes a research project that was conducted by the General Road Directorate and Madrid Polytechnic University to develop an accident rate prediction model for the Spanish National Network two lane rural roads. The first step in the development of the model was to define a number of variables dependent of the road characteristics and on its variation and to analyse its correlation with accident rates. The results were used to select the variables that have higher influence on the accident levels. Those variables were used to calibrate a multivariate regression model for accident rates in two lane rural roads. Access density, average sight distance, average speed limit and the proportion of no-passing zones were the variables found to yield the highest correlations with accident rates. Finally conclusions derived from the relationships between the values of these relevant variables and crash rates are described.

KEY WORDS: Road safety, two lane rural roads, multivariate analysis, accident rate prediction

INTRODUCCIÓN

Los estudios para determinar la relación entre la frecuencia de los accidentes y las características de la carretera, el tráfico y el entorno se vienen desarrollando desde hace más de 40 años. En 1992, la Federal Highway Administration (FHWA) elaboró un compendio de los resultados que se habían obtenido hasta entonces en los Estados Unidos. En él se identifican más de 50 características de la carretera que afectan a las tasas de accidentalidad, entre las que se encuentran entre muchas otras los radios de curvatura en planta, las pendientes longitudinales, la anchura de la calzada y de los arcenes, las características de los accesos e intersecciones o el estado de las márgenes.

Sin embargo, la influencia en la accidentalidad de los valores de cada una de las características de un tramo de carretera concreto depende de los valores del resto de las variables en el propio tramo y en los contiguos. Por tanto, para obtener relaciones cuantitativas entre las características de la carretera y la accidentalidad resulta necesario encontrar las variables que mejor reflejen las interrelaciones entre los efectos sobre la seguridad de los valores de las distintas características. En este sentido apuntan los resultados de una serie de investigaciones realizadas en distintos países que coinciden en señalar la importancia de respetar las expectativas del conductor. Al circular, los conductores adaptan su conducción a las condiciones que va encontrando. En la percepción que tiene de las características de la carretera influye, por una parte, la experiencia inmediata de lo que han encontrado en los tramos que acaban de recorrer y, por otra, la experiencia acumulada en viajes anteriores respecto a lo que es habitual encontrar en itinerarios de características parecidas a aquel por el que circula. Cuando un conductor se encuentra con una situación inesperada, debe adoptar una decisión y actuar con rapidez, con lo que aumenta el riesgo de que cometa un fallo. En determinados casos estos fallos provocan la pérdida del control del vehículo, y en consecuencia un posible accidente. Por ello, las características de las carreteras no deben presentar variaciones bruscas o características muy distintas de las habituales en los tramos contiguos o en las carreteras del mismo tipo. Estas condiciones constituyen lo que habitualmente se denomina consistencia del trazado.

Así, por ejemplo, Lamm [1999] propone los siguientes tres criterios para mejorar la consistencia del trazado:

- Evitar las diferencias superiores a 20 km/h entre las velocidades reales de circulación existentes o estimadas de dos elementos geométrico contiguos del trazado. La limitación de la variación a 10 km/h se considera óptima.
- Armonizar la velocidad de proyecto y de circulación real en cada tramo, considerando inadecuado el trazado de un proyecto o de una carretera en servicio si las velocidades reales de circulación superan en más de 20 km/h la de proyecto del tramo.
- Limitar la diferencia entre el rozamiento transversal movilizado a la velocidad real de circulación y el rozamiento transversal supuesto en el proyecto a 0,02.

MODELOS DE REGRESIÓN MULTIVARIANTE

El procedimiento más frecuente para cuantificar la relación entre los valores de las variables características de la carretera y la frecuencia de los accidentes es el desarrollo de modelos de regresión. Estos modelos adoptan generalmente la forma de modelos de Poisson [Llamas y Pardillo, 2001]. Se asume que el número medio de accidentes por unidad de tiempo es igual a una función exponencial en la que el exponente es una combinación lineal de una serie de variables explicativas características de la carretera y del tráfico. En el desarrollo de modelos de regresión de Poisson se ha puesto de manifiesto que en muchos casos la distribución de la variación de frecuencias de accidentes en distintos tramos presenta una varianza superior a la media, es decir superior a la que correspondería a una distribución de Poisson. Para mejorar la precisión de las estimaciones en estos casos Miaou [1994] propone la adopción de un modelo de regresión basado en la distribución binomial negativa, con la hipótesis de que en cada tramo del conjunto considerado en el análisis el número de accidentes registrado tiene una distribución de Poisson de media $\mu = \lambda T$, siendo λ el índice de peligrosidad del tramo y T el volumen de tráfico. Se supone que la distribución de λ en el conjunto de tramos tiene una distribución gamma de parámetros λ y α . El valor de λ se estima mediante la ecuación:

$$\hat{\lambda} = e^{\hat{\beta}^T x}$$

Siendo β el vector parámetros de del modelo de regresión y x el vector de variables explicativas. El ajuste del modelo permite determinar β y α .

La aplicación más ambiciosa de esta técnica en los últimos años ha sido la correspondiente al Modelo Interactivo de Seguridad en el Proyecto de Carreteras (Interactive Highway Safety Design Model) de la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA). Vogt y Bared [1998] desarrollaron una serie de modelos de predicción de accidentes en tramos ordinarios e intersecciones de carreteras de dos carriles a partir de modelos de regresión multivariante de tipo Poisson y binomial negativa. Las variables de predicción consideradas en tramos sin intersecciones son: el volumen de tráfico, el porcentaje de vehículos pesados, la anchura de calzada y de los arcenes, el coeficiente de peligrosidad de las márgenes, la densidad de accesos y las características del trazado en planta y alzado. Este modelo se aplica para el establecimiento de las tasas de accidentalidad esperadas en las condiciones base del modelo de predicción de accidentes.

Las estimaciones obtenidas con las condiciones básicas se modifican mediante la aplicación de unos coeficiente correctores para tener en cuenta las diferencias respecto de estas condiciones del tramo que se considera. Los factores de modificación fueron elaborados por un panel de expertos teniendo en cuenta el compendio de las investigaciones anteriores, estudios antes - después sobre el efecto de mejoras de seguridad vial en las tasas de accidentes y modelos de regresión específicos [Council y Harwood, 1999]. Los factores desarrollados corresponden a nueve características del trazado (anchura de carril, anchura de arcén, tipo de arcén, radio de curvas en planta, peralte, pendiente, densidad de accesos, existencia de carriles adicionales de adelantamiento y estado de las márgenes) y siete de

las intersecciones (número de ramales, ángulo de cruce, existencia de carriles de giro a izquierda, etc.).

DESARROLLO DE UN MODELO PARA LAS CARRETERAS DE DOS CARRILES DE LA RED DEL ESTADO

Para diseñar y gestionar medidas de mejora de la seguridad de la circulación resulta conveniente disponer de un procedimiento que permita establecer y cuantificar la relación entre las características de las carreteras y la frecuencia de los accidentes. Con este fin la Dirección General de Carreteras y la Universidad Politécnica de Madrid establecieron un Convenio de colaboración para desarrollar y calibrar un conjunto de modelos que proporcionasen una base de partida para la estimación de los resultados de las medidas del programa de seguridad vial a partir de la información contenida en la base de datos de seguridad vial.

Para el desarrollo de la investigación, en la que se incluía el calibrado inicial de los modelos aplicables a las carreteras convencionales de la Red del Estado, se obtuvo una muestra de datos de accidentes, tráfico y características de la carretera correspondiente las carreteras convencionales de las Demarcaciones de Valencia y Castilla León Occidental. La muestra comprende 3450 km divididos en tramos de 100 metros para los que se han obtenido el número y tipo de accidentes registrados a lo largo de dos períodos: 1993-97 y 1998-99. El primer período se ha utilizado en el estudio para ajustar los modelos mientras que el segundo se empleó para contrastar su precisión. Las características de la carretera de las que se disponía de información eran las siguientes:

- IMD
- Radio de curvatura mínimo
- Pendiente longitudinal máxima
- Anchura media de calzada y de plataforma
- Visibilidad disponible mínima
- Número de intersecciones y accesos pavimentados
- Limitación de velocidad en el tramo
- Prohibiciones de adelantamiento
- Existencia de arcenes en una o en ambas márgenes
- Existencia de barreras de seguridad

Con el fin de obtener resultados aplicables al estudio de los distintos tipos de actuaciones del programa de seguridad vial, en el estudio se han considerado dos tipos de tramos. Por un lado tramos de una longitud fija de 1 km, resultantes de agrupar 10 tramos de 100 m contenidos en la base de datos de partida, y por otra parte *itinerarios*, entendiendo como tales tramos de carretera limitados por un nudo o una población en los que el tráfico se mantiene sensiblemente constante. Los primeros corresponden a las condiciones de los tramos de concentración de accidentes, mientras que los resultados de los segundos pueden aplicarse en el estudio de actuaciones preventivas.

VARIABLES CONSIDERADAS

El primer paso para el desarrollo del estudio fue definir unas variables que permitiesen reflejar en la mayor medida posible los efectos sobre la seguridad de las interrelaciones entre de los valores de las distintas características y los de su variación a lo largo de la carretera partiendo de los datos disponibles. Posteriormente se analizó la correlación de estas variables con los índices de accidentalidad para seleccionar las que efectivamente tienen una mayor influencia en los niveles de seguridad.

Con este planteamiento, las variables consideradas en los tramos de 1 km fueron las siguientes:

- Número de accesos en el tramo de 1 km (acc/km)
- Anchura media de la calzada (m)
- Anchura media de la plataforma (m)
- Índice de visibilidad¹
- Curvatura máxima (1/m)
- Límite mínimo de velocidad señalizado (km/h)
- Inclinación máxima de la rasante en valor absoluto (%)
- Índice cuadrático de inclinación de los tramos contiguos²

¹El índice de visibilidad toma los siguientes valores en cada tramo:

- 1 Si la visibilidad mínima es inferior a 50 m.
- 2 Si la visibilidad mínima está comprendida entre 50 y 100 m.
- 3 Si la visibilidad mínima está comprendida entre 100 y 150 m.
- 4 Si la visibilidad mínima está comprendida entre 150 y 200 m.
- 5 Si la visibilidad mínima es superior a 200 m.

- Velocidad específica mínima (km/h)³
- Disminución de velocidad específica respecto de los tramos contiguos (km/h)⁴
- Cuadrado de la disminución de velocidad específica (km²/h²)⁵

Entre las variables consideradas se han incluido algunas que reflejan la variación de características de cada tramo respecto de los situados en sus inmediaciones, como son el índice cuadrático de inclinación y la disminución de velocidad específica respecto de los tramos contiguos.

De igual forma se han incluido variables que dependen de la interacción de otras, como son los límites de velocidad y la visibilidad, que depende de la combinación de los elementos del trazado en planta y alzado, de la sección transversal y de las restricciones al campo de visión del conductor impuestas por la configuración del entorno de la carretera.

En el caso de los *itinerarios* las variables consideradas fueron:

- Densidad de accesos (accesos /km)
- Anchura media de la calzada (m)
- Anchura media de la plataforma (m)
- Índice medio de visibilidad
- Media ponderada de la curvatura (1/m)
- Desviación típica de la curvatura (1/m)

² El índice cuadrático de inclinación de los tramos contiguos es la suma de los cuadrado de las inclinaciones máximas de los tramos de 1 km situados a menos de 3 km del considerado en cada sentido de circulación siempre que estas inclinaciones sean superiores al 3 % para los tramos situados a 1 km del considerado, al 4 % para los situados a 2 km y al 5% para los situados a 3 km.

³ Para el cálculo de la velocidad específica media a las alineaciones curvas se les asignó la velocidad específica que les correspondía por su radio aplicando la vigente instrucción de trazado 3.1.IC, mientras que a las rectas se les asignó una velocidad específica de 120 km/h, asumiendo que este es el valor del percentil 85 de la velocidad de circulación en recta en carreteras convencionales.

⁴ La disminución de velocidad específica respecto de los tramos contiguos se calcula como la suma de las diferencias de velocidad específica mínima de las alineaciones comprendidas en los tramos de 1 km situados a continuación del considerado en ambos sentidos de circulación respecto de la velocidad específica mínima en éste. Estas diferencias de velocidad sólo se tienen en cuenta cuando son positivas, es decir, cuando la velocidad del tramo específica mínima en el tramo considerado es inferior a la del contiguo.

⁵ Es el valor de la variable anterior elevado al cuadrado

- Límite medio de velocidad señalizado (km/h) ⁶
- Inclinación máxima de la rasante (%)
- Media de los valores absolutos de la inclinación de la rasante (%)
- Media del índice cuadrático de inclinación de los tramos contiguos (definido para tramos de 1 km)
- Velocidad específica media (km/h)
- Media armónica de la velocidad específica (km/h)
- Desviación típica de los valores de la velocidad específica en tramos de 100 m (km/h)
- Media de la disminución de velocidad específica en tramos de 1 km respecto de los tramos contiguos (km/h)
- Media del cuadrado de la disminución de velocidad específica en tramos de 1 km respecto de los tramos contiguos (km²/h²)
- Proporción de la longitud del tramo con prohibición de adelantar ⁷

Entre las variables consideradas en los itinerarios se incluyeron algunas que dependen de la variación de los valores de otras como son las desviaciones típicas de la velocidad específica o de la curvatura, la media de índice cuadrático de inclinación o la media de las disminuciones de velocidad de los tramos de 1 km respecto de los contiguos. Con ello se pretendía captar en cierta medida el efecto de la consistencia de las características en la seguridad.

CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA Y LA ACCIDENTALIDAD

Para analizar el grado de asociación de las variables características de la carretera con las que miden la accidentalidad se aplicaron dos procedimientos:

⁶ El límite medio de velocidad señalizado es la media ponderada de los límites de velocidad establecidos a lo largo del itinerario.

⁷ Es la proporción de la longitud en que está prohibido adelantar en cada uno de los sentidos de circulación respecto de la longitud total en ambos sentidos, es decir, el doble de la longitud total del tramo.

1. Determinación de los índices de correlación entre las variables consideradas para determinar el grado de asociación entre las mismas.
2. Ajuste de curvas de regresión entre las variables con índices de correlación significativos.

La tabla 1 refleja, las variables para las que el índice de correlación con la el índice de peligrosidad medio (accidentes con víctimas/ 10^8 veh-km) resulta más elevado en los tramos de 1 km .

Tabla 1. Características de la carretera con mayor correlación con el índice de peligrosidad en tramos de 1 km

Variable	Índice de correlación
Densidad de intersecciones y accesos (accesos/km)	0,194
Disminución de velocidad específica respecto de los tramos contiguos (km/h)	0,140
Visibilidad (m)	-0,126
Límite de velocidad (km/h)	-0,131

De entre las variables que dependen del trazado, la disminución de velocidad específica respecto de los tramos contiguos es la que presenta el mayor índice de correlación con el índice de peligrosidad, mientras que las características geométricas de las alineaciones (curvatura, inclinación longitudinal) tienen correlaciones mucho menores, lo que indica que la variación de las características y la falta de consistencia del trazado influye más en el riesgo de que se produzcan accidentes que las características aisladas de los elementos del trazado.

La anchura de plataforma no está correlacionada significativamente con el índice de peligrosidad en la muestra analizada, aunque si presenta una correlación positiva con la frecuencia de los accidentes. Esto puede ser debido a la relación existente entre la esta variable y el volumen de tráfico soportado por la carretera, que hace que los tramos con mayor anchura sean los que tienen un nivel de exposición al riesgo mayor por soportar mayores intensidades de tráfico, y por tanto registren más accidentes, aunque no sea mayor el nivel de riesgo.

En el caso de los itinerarios, las variables para las que se ha encontrado un índice de correlación más elevado con el índice de peligrosidad son las siguientes:

Tabla 2. Características de la carretera a lo largo de itinerarios con mayor correlación con el índice de peligrosidad

Variable	Índice de correlación
Densidad de intersecciones y accesos (accesos/km)	0,506
Límite medio de velocidad (km/h)	-0,487
Visibilidad media disponible (m)	-0,309
Media armónica de la velocidad específica (km/h)	-0,256
Proporción de prohibición de adelantar	0,244

Al igual que en los tramos de 1 km las variables relacionadas con el control de accesos, la consistencia del trazado y la visibilidad disponible son las que influyen en mayor medida en la accidentalidad. Además, en los itinerarios aparece la proporción de la longitud del tramo en que está prohibido adelantar. Los valores de los índices de correlación de las características medias de la carretera a lo largo de los itinerarios con los índices de peligrosidad medios son mucho más elevados que los que se obtienen para los tramos de 1km, como era de esperar dado que en los tramos de menor longitud la variabilidad de la frecuencia de los accidentes y la aleatoriedad de su localización es mucho mayor.

RELACIÓN ENTRE LA ACCIDENTALIDAD Y LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

De acuerdo con los resultados obtenidos, la influencia del trazado depende más de la combinación de efectos de varias características y de los gradientes de velocidades específicas de los elementos cercanos entre sí, que de las características de las alineaciones aisladas.

En los tramos de 1 km, el ajuste de la curva de regresión del índice de peligrosidad respecto de la curvatura de las alineaciones en planta produce una línea recta con un valor del coeficiente de determinación inferior al 1 %. Si bien la accidentalidad de los tramos de 1 km tiende a aumentar al reducirse los radios de las curvas, el efecto no es muy acusado. Un resultado similar ofrece el análisis de la relación entre la pendiente longitudinal y los índices de accidentalidad.

En cambio, la disminución de velocidad específica respecto de los tramos contiguos es una de las variables características de la carretera que presenta un coeficiente de correlación más elevado con el índice de peligrosidad. La curva de regresión entre las dos variables (Fig. 1) es uniformemente creciente con la reducción de velocidad específica respecto de los tramos contiguos. Por encima de los 30 km/h de disminución de velocidad la pendiente de la curva de regresión aumenta de forma acusada, por lo que se debe evitar que la reducción de las características de trazado provoque que se supere este límite, siendo deseable que la transición sea lo más gradual posible.

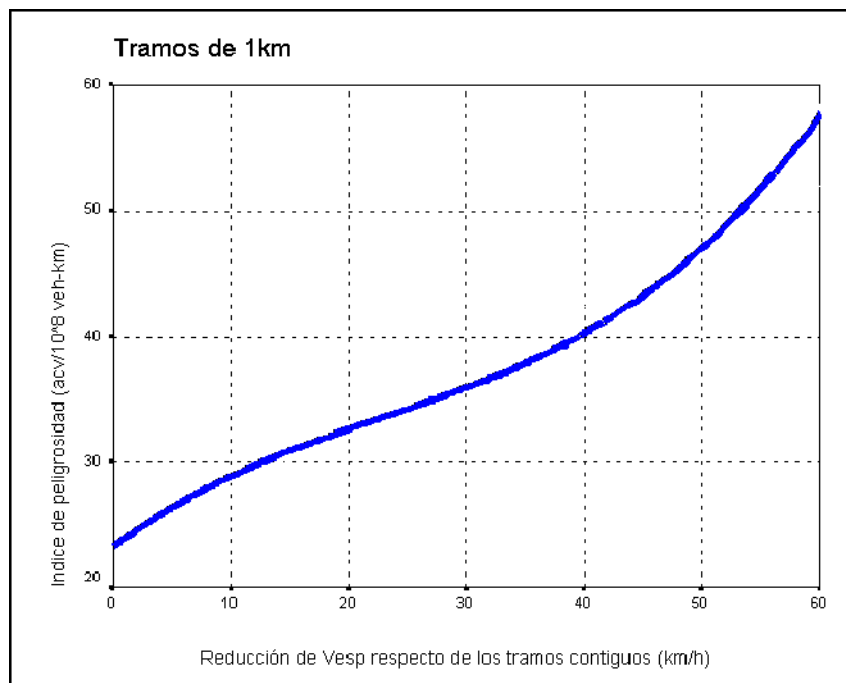


Figura 1. Regresión entre la disminución de velocidad específica respecto de los tramos contiguos y el índice de peligrosidad en tramos de 1 km

En cuanto a los itinerarios, en los que la correlación entre las características medias de la carretera y los índices de peligrosidad es mayor, las variables relacionadas con el trazado que mejor reflejan esta relación son la media de la limitación de velocidad y la media armónica de las velocidades específicas, junto con la visibilidad disponible y la proporción de la longitud del tramo en la que se prohíbe adelantar.

La curva de regresión entre la limitación media de velocidad a lo largo del tramo y el índice de peligrosidad (Fig. 2) presenta un descenso importante hasta 80 km/h, mientras que entre 85 y 100 km/h tiene unas variaciones muy pequeñas. Por otra parte, la curva de regresión de la media armónica de la velocidad específica a lo largo del itinerario respecto del índice de peligrosidad (Fig. 3) es uniformemente decreciente, lo que pone de manifiesto la conveniencia de conseguir un trazado con una características homogéneas y confirma que la influencia de la geometría de la vía en la seguridad está relacionada con la consistencia de características.

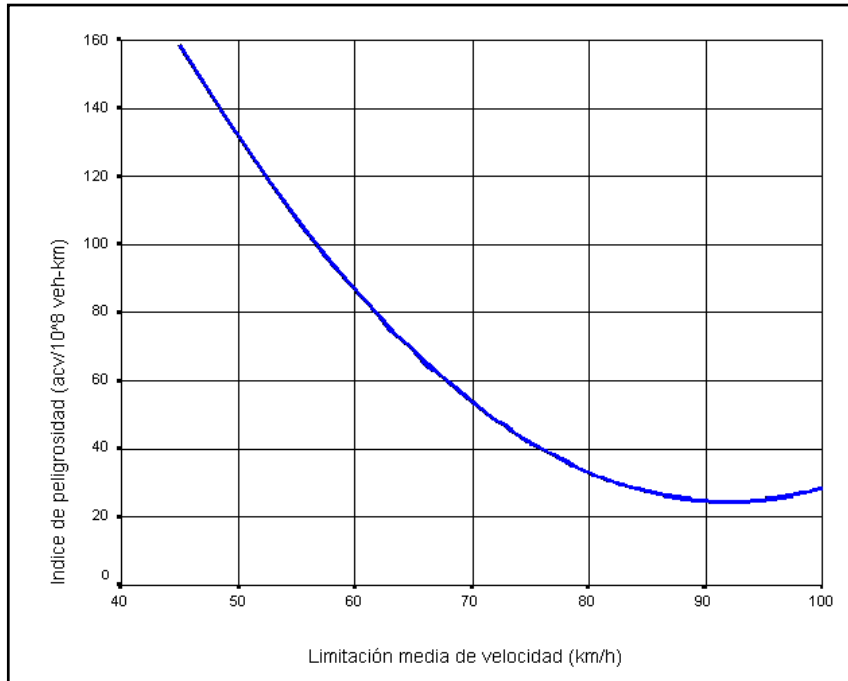


Figura 2. Regresión entre la media de la limitación de velocidad a lo largo de un itinerario y el índice de peligrosidad

Otro parámetro relacionado con el trazado que presenta una correlación elevada con el índice de peligrosidad es la distancia de visibilidad media. El índice de peligrosidad disminuye muy acusadamente cuando la distancia de visibilidad media aumenta hasta los 100 m aproximadamente, siendo la disminución del índice cuando se supera esta distancia menor (Fig. 4).

La proporción de la longitud de un itinerario en la que no se permite adelantar tiene también una correlación significativa con la accidentalidad. La curva de regresión (Fig. 5) refleja un aumento del índice de peligrosidad hasta que la proporción de prohibición de adelantamiento afecta al 20% de la longitud del itinerario. A partir de esta proporción el índice de peligrosidad se estabiliza, para volver a aumentar muy acusadamente cuando la proporción de la longitud en la que está prohibido el adelantamiento supera el 70%. En consecuencia, es aconsejable desde el punto de vista de la seguridad que en los itinerarios se disponga al menos de un 30% de la longitud en la que esté permitido el adelantamiento.

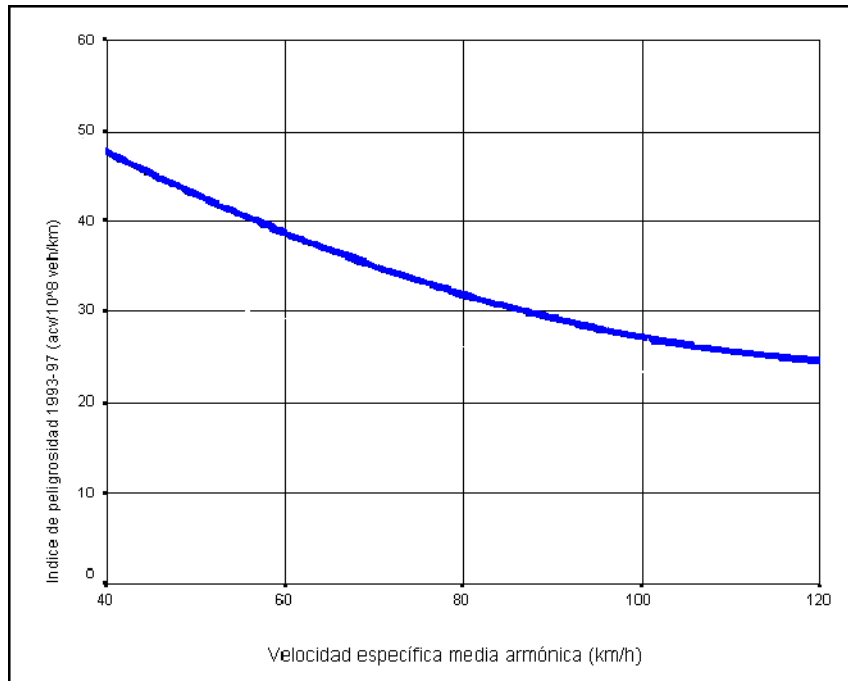


Figura 3. Regresión entre la media armónica de la velocidad específica de los elementos del trazado a lo largo de un itinerario y el índice de peligrosidad

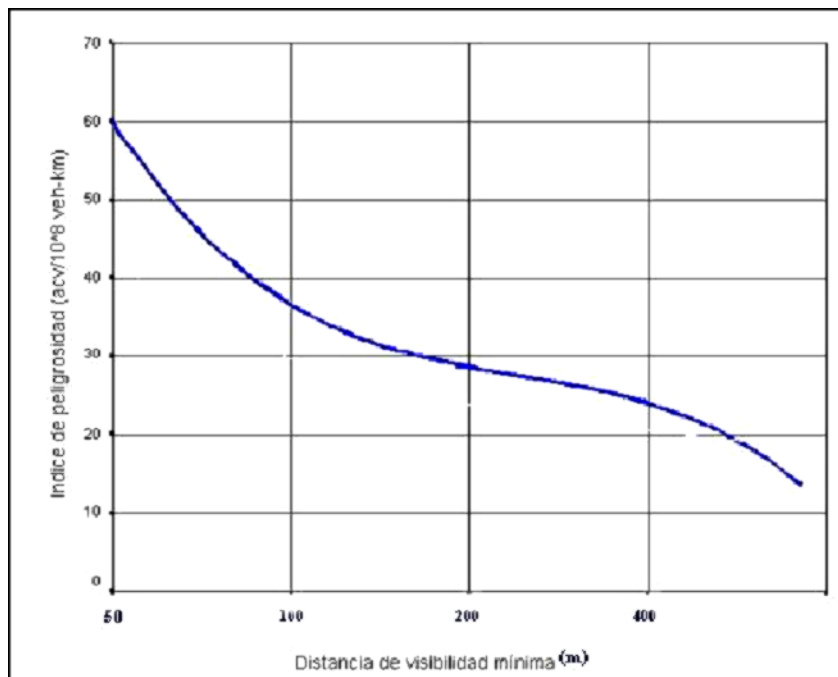


Figura 4. Regresión entre la visibilidad en un tramo y el índice de peligrosidad

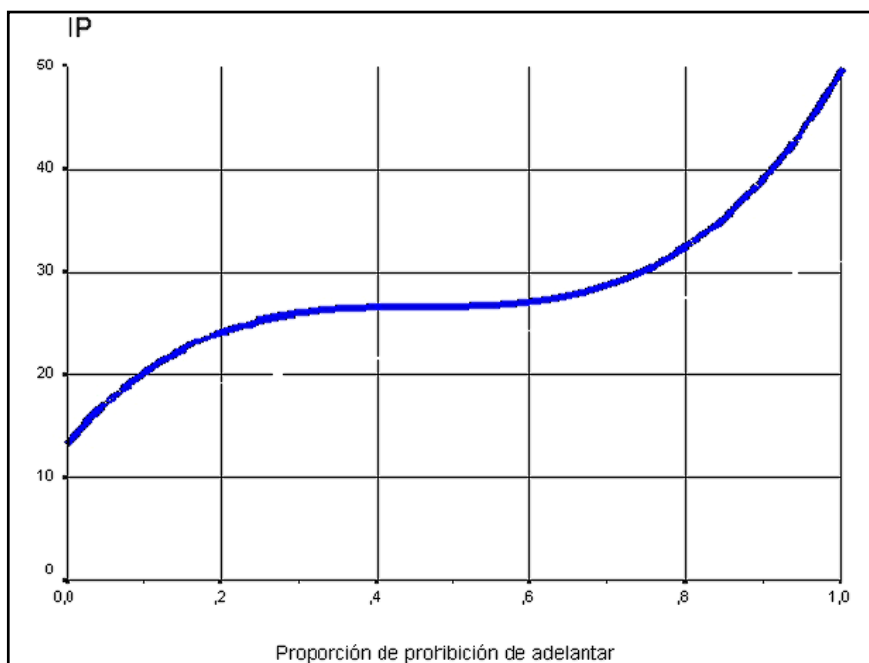


Figura 5. Regresión entre la proporción de la longitud de un itinerario en la que está prohibido adelantar y el índice de peligrosidad

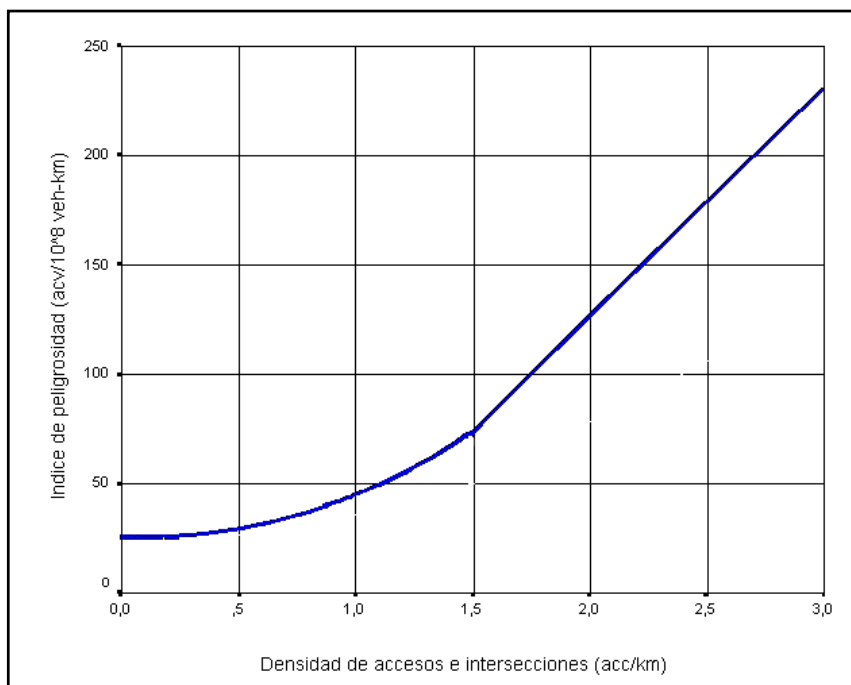


Figura 6. Regresión entre la densidad de accesos y el índice de peligrosidad

Finalmente, aunque no depende directamente de las características geométricas, debe resaltarse que la densidad de accesos es la variable que mayor correlación presenta con los índices de peligrosidad, por lo que las medidas tendentes al control y la regulación de accesos deben considerarse como potenciales medidas preventivas. La figura 6 refleja la curva de regresión de la densidad de accesos e intersecciones a lo largo de los itinerarios con el índice de peligrosidad, que presenta un coeficiente de determinación R^2 del 39,1%. El índice de peligrosidad se mantiene sensiblemente constante hasta que la densidad de accesos supera los 0,5 accesos/km, aumenta para valores entre 0,5 y 1,5 accesos/km, valor a partir del cual el incremento es muy elevado.

MODELO DE ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE PELIGROSIDAD DE UN ITINERARIO

A partir de la identificación de las características de la carretera que presentan una correlación significativa con la accidentalidad, se ha desarrollado un modelo de regresión multivariante para estimar los valores de los índices de peligrosidad en los itinerarios. El modelo desarrollado es del tipo binomial negativo, y su calibración se ha realizado por el procedimiento de máxima verosimilitud con los datos de la muestra de 3.450 km descrita en el apartado 3.

El modelo resultante es el siguiente:

$$\text{IPE} = 86,571 e^{0,31135 \text{ DAc} - 0,01139 \text{ LVm} - 0,09470 \text{ Vis} - 0,08434 \text{ Plm} + 0,59224 \text{ PAd}}$$

siendo:

IPE: Índice de peligrosidad estimado ($\text{acv}/10^8 \text{ veh-km}$)

DAc: Densidad de accesos e intersecciones (accesos/km)

LVm: Limite medio de velocidad (km/h)

Vis: Visibilidad disponible media (m)

Plm: Pendiente longitudinal media (%)

PAd: Proporción de prohibición de adelantar

El ajuste conseguido corresponde a un valor del coeficiente de determinación R^2 del 87,15%. Este coeficiente es suficientemente elevado como para justificar la utilización del modelo en la estimación de los índices de peligrosidad para estudios de actuaciones preventivas en itinerarios.

Las condiciones de aplicación del modelo, dadas las características de la muestra empleada para calibrarlo son las siguientes:

- Itinerarios en carreteras de dos carriles de la Red del Estado
- $IMD < 20.000$ veh/día
- Anchura de plataforma: 7-12 m

En cualquier caso, para su aplicación en los estudios de actuaciones preventivas del Programa de Seguridad Vial, sería recomendable ajustar los modelos a aplicar con muestras de datos de las distintas Demarcaciones, para contrastar el efecto de las condiciones locales en el modelo.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio realizado permiten obtener las siguientes conclusiones respecto de las carreteras convencionales analizadas:

- Las variables geométricas analizadas (curvatura y pendiente longitudinal) presentan índices de correlación relativamente bajos con los índices de peligrosidad de los tramos. En consecuencia para medir la influencia del trazado en la seguridad es necesario buscar variables que reflejen las interacciones entre estos parámetros, e incluso las variaciones relativas de sus valores respecto de los tramos contiguos. Esto parece confirmar que más que de los valores absolutos de los parámetros geométricos en un tramo determinado, la influencia de la geometría en la seguridad depende de la coordinación entre los elementos del trazado y de la homogeneidad y consistencia de características.
- La disminución de velocidad específica respecto de los tramos contiguos presenta un elevado coeficiente de correlación con el índice de peligrosidad en los tramos de 1 km. Debería evitarse que la disminución supere los 30 km/h, siendo deseable que la transición sea lo más gradual posible.
- La distancia de visibilidad tiene una influencia importante en los índices de peligrosidad. Deben tratar de mejorarse los tramos en los que las distancias de visibilidad sean inferiores a 100 m ya que en ellos los índices de peligrosidad medios son más elevados. En cambio, cuando la distancia de visibilidad es superior a 200 m las mejoras tienen un efecto muy pequeño.
- Es aconsejable desde el punto de vista de la seguridad que en los itinerarios se disponga al menos de un 30% de la longitud en la que esté permitido el adelantamiento.

- La densidad de accesos tiene un efecto negativo en la seguridad, por lo que las medidas tendentes al control y la regulación de accesos deben considerarse como potenciales medidas preventivas. Desde el punto de vista de la seguridad, la distancia deseable entre accesos en carreteras convencionales semejantes a las estudiadas debería ser del orden de 2 km, con un límite mínimo de 600 m.
- El ajuste del modelo de regresión multivariante ha permitido comprobar que es posible llegar a obtener un nivel de precisión en la estimación de los índices de peligrosidad en itinerarios suficiente para su aplicación en los estudios coste-beneficio de actuaciones preventivas del programa de seguridad vial.
- En el caso de los modelos de tramos de 1 km, la variabilidad de los índices de peligrosidad es más elevada que en a lo largo de los itinerarios, con lo que el nivel de precisión que se alcanza no resulta suficiente. Por ello será necesario estudiar procedimientos que permitan mejorar el nivel de precisión de las estimaciones.

REFERENCIAS

COUNCIL, F. y HARWOOD, D. (1999): *Accident modification factors for use in the prediction of safety on rural two-lane highways*. Conferencia Traffic Safety on Two Continents. Malmoe, Suecia.

FHWA: *Safety Effectiveness of Highway Design Features. Vol I: Access Control; Vol II: Alignment; Vol III: Cross Sections; Vol IV: Interchanges; Vol V: Intersections; Vol VI: Pedestrians and Bicyclists*. Reports FHWA-RD-91-046 a 049. U.S. Department of Transportation, 1992.

LAMM, R et al. (1999): *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. McGraw-Hill. Nueva York, Estados Unidos.

McGEE, H., HUGHES, W. y DAILY, H. (1995): *Effect of Highway Standards on Safety*. National Cooperative Highway Research Program, Report 374. Transportation Research Board. Washington D.C.

MIAOU, S.P. (1994): *The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson vs. negative binomial regressions*. 73rd Annual Meeting TRB. Washington D.C.

LLAMAS, R. y PARDILLO, J.M. (2001): *Desarrollo de un sistema avanzado de análisis de accidentes para el Programa de Seguridad Vial de la Red de Carreteras del Estado en España. XIV Congreso Mundial de Carreteras. International Road Federation. París*

VOGT, A. Y BARED, J.(1998): *Accident models for two-lane rural roads: segments and intersections*. Report DOT-RD-75-196. FHWA. U.S. Department of Transportation. Washington D.C.