

Efecto de los elementos de la infraestructura viaria sobre la seguridad de la circulación

Vânia Barcellos Gouvêa Campos

Profesora Adjunta, Programa de Pos Graduación en Ingeniería de Transportes,
Instituto Militar de Engenharia, Brasil

Amílcar Sampedro Tamayo

Programa de Pos Graduación en Ingeniería de Transportes,
Instituto Militar de Engenharia, Brasil

RESUMEN

El conocimiento del efecto de las características de la vía sobre la seguridad de la circulación es limitado e impreciso todavía. No obstante, es un hecho que el esquema viario, en su conjunto, puede crear situaciones propicias para la ocurrencia de accidentes. Por tanto, la combinación de los diferentes factores de la vía debe proporcionar a los conductores y peatones la interacción y utilización de la infraestructura de forma clara, simple y segura, permitiendo incluso la rectificación o la reducción de las consecuencias de eventuales errores que estos puedan cometer. En este trabajo se aborda y se realiza un análisis de la influencia que sobre la seguridad del tráfico ejercen las principales características de la infraestructura viaria.

1. INTRODUCCIÓN

Las estadísticas muestran que el hombre es el factor responsabilizado por la mayor parte de los accidentes de tránsito, pero al abordar los problemas de seguridad vial no siempre la actuación sobre este ofrece los mejores resultados. En este sentido, actuaciones para aumentar las condiciones de seguridad que brindan los diferentes elementos de la vía permiten con frecuencia una disminución más rápida y mayor del número y la severidad de los accidentes (Nodari, 2003). Así, es fundamental el estudio de la influencia que las características de la vía ejercen sobre la seguridad del tráfico.

En general, es predominante la tendencia a subestimar los efectos de las características y de las condiciones de la vía sobre la ocurrencia de accidentes de tránsito, responsabilizando al factor humano por errores de percepción o de reacción provocados por ambientes viarios demasiado complejos o exigentes. Sin embargo, “el esquema viario, en su conjunto, crea situaciones patológicamente propicias a los accidentes” (Maia, 1995). Las condiciones de la vía interactúan y provocan un mayor número de accidentes entre conductores y peatones con poca experiencia, pero en determinadas ocasiones también inducen a conductores hábiles y a peatones cautelosos a cometer errores al encarar exigencias inesperadas. Para PEO (2005), no es apropiado cuestionarse si una vía es completamente segura, sino si ella es más o menos segura.

Una de las herramientas usadas por los especialistas durante años para tratar de establecer la influencia de los elementos viarios sobre la seguridad son los modelos de previsión de accidentes de tránsito (Cardoso y Goldner, 2004). Los modelos buscan estimar las tasas de accidentes razonables para una sección de vía con determinadas características geométricas, determinar cuáles características físicas del proyecto tienen mayor influencia en la seguridad ofrecida por la vía y establecer la magnitud esperada de reducción en los accidentes a partir de la realización de diferentes mejoras en el proyecto viario. No obstante, FHWA (2000) resalta que la desventaja fundamental de los modelos de regresión es que están basados en correlaciones estadísticas entre las características de la vía y los accidentes, las cuáles no representan necesariamente relaciones de causa-efecto.

2. EFECTO DE LOS ELEMENTOS VIARIOS EN LA SEGURIDAD DEL TRÁFICO

PEO (2005) reconoce que el conocimiento actual sobre el efecto de los elementos de la infraestructura viaria sobre la seguridad es limitado e impreciso. Así, existen ciertos factores cuya influencia sobre la ocurrencia de accidentes puede ser cuantificada, otros factores sobre los cuáles solo se conoce la dirección de la influencia sobre la seguridad e incluso un tercer grupo de características de las cuáles no es conocido todavía su efecto sobre la seguridad vial.

La combinación de los diferentes factores de la vía debe proporcionar a los usuarios del sistema de tráfico una interacción y utilización de la infraestructura de forma clara, simple y segura, permitiendo inclusive la corrección o reducción de las consecuencias de eventuales errores que estos puedan cometer. Para TRB (1987) *apud* Nodari (2003) e IMT (2003), desde el punto de vista de la seguridad, los elementos de la vía inciden de una manera o de otra:

- En la identificación de situaciones y características peligrosas por el conductor;
- En la habilidad del conductor para mantener el control del vehículo;
- En la existencia de oportunidades de conflictos, tanto el número como el tipo;
- En las consecuencias de la salida de la calzada de un vehículo fuera de control, y
- En el comportamiento y la atención de los conductores.

Se considera también que, sobre todo en ambientes urbanos, sea notable el efecto de las características de la vía sobre la identificación de situaciones peligrosas por los peatones y sobre el comportamiento y la atención de estos.

La implantación de ambientes viarios que ofrecen elevadas prestaciones, y por tanto, menores niveles de riesgo, puede llevar ocasionalmente al aumento de los índices de accidentalidad, debido al aumento de la confianza de conductores y peatones por causa de la disminución de la atención de estos o del aumento de la velocidad de circulación, entre otros aspectos. Por su parte, la adopción de medidas mitigadoras de accidentes con la intención de resolver

problemas de seguridad específicos, puede resultar en efectos colaterales que implican el surgimiento de una nueva causa potencial para la ocurrencia de accidentes. Así, PEO (2005) ejemplifica que la decisión de iluminar una vía debe causar una disminución de los accidentes nocturnos, sin embargo, también puede causar un crecimiento en las colisiones diurnas contra las luminarias.

A continuación se analiza la influencia de algunas de las principales características viarias sobre la seguridad de la circulación.

2.1 Geometría y trazado de la vía

Un trazado en planta demasiado sinuoso, con un gran número de curvas horizontales o con radios de curvatura pequeños, demanda un gran esfuerzo y habilidad del conductor, que es sometido a *stress* permanente. Un efecto similar puede ser provocado por un trazado en perfil irregular, como el que se presenta con frecuencia cuando el tramo de vía está implantado sobre terreno ondulado. Entre tanto, un trazado monótono, con la presencia de tramos rectos muy largos, puede causar el efecto contrario sobre conductores y pasajeros, provocando cansancio, tedio y hasta distracción (CETRA, 2001). Los buenos proyectos priorizan el uso de curvas con radio de curvatura grandes y transiciones amplias y suaves, que resultan más cómodos para los conductores. La combinación entre los dos trazados, o sea, un alineamiento horizontal y vertical adecuado, es también fundamental para una conducción consistente.

2.1.1 Curvas horizontales

Las curvas se encuentran entre los locales de la vía que más propician la ocurrencia de accidentes, estimándose que el número de estos sea de 1,5 a 4 veces mayor que en los tramos rectos. Nodari (2003) y GAO (2003) mencionan como los tipos de accidentes más frecuentes los vuelcos, las colisiones frontales y laterales, los choques contra obstáculos situados en las laterales de la vía y los incidentes envolviendo conductores alcoholizados. La frecuencia y la severidad de los accidentes en curvas horizontales están asociadas al grado de curvatura, la extensión de la curva, la presencia de espirales de transición, la adopción de peralte y ensanche, la longitud de las tangentes y la textura del pavimento (FHWA, 2000 y Hauer, 2000).

La relación de algunas de estas variables con la ocurrencia de accidentes se puede establecer por medio de los coeficientes de regresión mostrados en la Tabla 1. Así, por ejemplo, las tasas de accidentalidad aumentan de forma aproximadamente lineal al aumento del grado de la curva; ya la relación de las otras características es inversamente proporcional al número de accidentes.

Variable	Coefficiente de regresión
Grado de curvatura	0,056
Longitud de la curva	-0,141

Ancho de calzada	-0,023
Ancho de arcenes	-0,057

Tabla 1. Relación entre características de las curvas y ocurrencia de accidentes.

Fuente: Hauer (2000)

Otro de los factores que afectan la seguridad al circular por curvas es el ensanche de la calzada, que reduce de forma considerable la tensión de los conductores al cruzarse con otros vehículos en el interior de la curva y el riesgo de producirse colisiones, sobre todo transversales y el peralte. Estudios citados por Nodari (2003) estiman reducciones del número de accidentes que van desde 5% para ensanches de 0,3 m en cada carril de circulación hasta 21% para ensanches de 1,2 m, también en cada carril. En el caso de ensanche de arcenes no pavimentados, la variación es de 3 hasta 29% de accidentes evitados con ampliaciones de 0,3 y 3,1 m en cada arcén. Por su parte, la adopción de un peralte adecuado aumenta notablemente la seguridad y el confort de conductores y pasajeros al transitar por estos locales. Con respecto al efecto de la adopción de un peralte deficiente (diferencia entre los peraltes recomendado por las normas de la AASHTO, según las características de la curva y el real adoptado) en la seguridad se sugiere que el aumento en la deficiencia del peralte provoca un incremento de forma aproximadamente lineal en la frecuencia de accidentes, variando desde ninguna influencia cuando la diferencia entre peraltes es de apenas 0,01 pie/pie hasta 15% cuando la diferencia es de 0,15 pies/pies.

2.1.2 Curvas verticales y rampas

Los principales efectos de las curvas verticales sobre la seguridad están relacionados a la importante disminución de la distancia de visibilidad y la afectación al drenaje en los casos de curvas largas inclinadas y poco profundas. Son muy peligrosos los adelantamientos en las proximidades de estos puntos, debiéndose evitar también pequeñas curvas verticales sucesivas. Con respecto a las rampas, pesquisas referenciadas por FHWA (2000), estiman un aumento de 1,6% en el número de accidentes por cada 1% de incremento de la inclinación de la rampa. Una inclinación de 8% debe provocar un aumento de 16% en la frecuencia de accidentes. Junto con la inclinación, la longitud de la rampa es la otra característica que mayor efecto ejerce sobre la seguridad. La frecuencia de los accidentes en declives es 63% mayor que en rampas ascendentes, siendo estos incluso de mayor severidad, lo que está relacionado con la mayor velocidad de los vehículos cuando circulan descendiendo. Las pendientes ascendentes, por su parte, una reducción de la velocidad, principalmente de los vehículos pesados, y por tanto, un aumento de los riesgos asociados a las maniobras de adelantamiento de los vehículos más rápidos, tornándose una fuente generadora de accidentes (Nodari, 2003).

2.1.3 Ancho de carril

Los principales efectos del ancho de los carriles sobre la seguridad vial están ligados a la separación entre vehículos que se cruzan o que realizan adelantamiento al circular en el mismo sentido y la viabilidad de efectuar determinadas maniobras propias de la conducción, en

especial las asociadas a la pérdida del control del vehículo. Cuanto mayor es el ancho de carril, más seguridad debe ofrecer la vía (AASHTO, 1997 *apud* Nodari, 2003). Del análisis de FHWA (2000) se concluye que el efecto del ancho del carril en la ocurrencia de accidentes aumenta cuando es mayor el volumen de vehículos, alcanzando la mayor magnitud en vías por las cuales transitan más de 2000 veh/día (Tabla 2). Se estima también que a mayor velocidad de circulación de los vehículos, mayor será la influencia del ancho de carril en la accidentalidad.

Ancho de carril (m)	Incremento de accidentes (%)
3.60	0
3.30	5
3.00	30
2.70	50

Tabla 2. Relación entre ancho de carril y ocurrencia de accidentes. Vías con VMDT \geq 2000 veh/día.

Fuente: FHWA (2000)

GAO (2003) también alerta que aumentos en el ancho de la calzada pueden llevar a un aumento de la velocidad de circulación de los vehículos, resultando en un posible refuerzo de otros problemas de seguridad.

2.2 Pavimento

Las condiciones estructurales del pavimento, de conjunto con la textura de su superficie, ejercen una influencia esencial en la seguridad de los usuarios del sistema de tráfico. El pavimento debe ser diseñado y construido para de forma adecuada los diferentes tipos de vehículos que circulen y para mantener buenas condiciones técnicas durante su vida útil.

Las deficiencias del estado técnico del pavimento constituyen una de las mayores fuentes de riesgos al circular por las vías de muchos países, particularmente de naciones en desarrollo. En esos países es frecuente la presencia de baches, ondulaciones, desniveles, disgregación y pérdida de la capa de rodadura y grietas.

Los baches y ondulaciones en la calzada pueden obligar a los conductores a realizar cambios de dirección y reducciones de velocidad de forma brusca. Defectos mayores pueden provocar, incluso, la pérdida de control del vehículo o la rotura de algunos de sus componentes, llevando a accidentes de gran severidad (CETRA, 2001). Un estudio citado por Nodari (2003) afirma que 10% de los accidentes donde están involucrados camiones fueron provocados por la pérdida del control debido a la presencia de baches en la calzada.

Cuando la fricción entre el pavimento y los neumáticos es insuficiente son frecuentes los accidentes provocados por deslizamiento de los vehículos, ya que esta afecta de forma

determinante su gobernabilidad y su capacidad de frenado. La influencia de la textura de la superficie es especialmente importante en los casos en que el pavimento esté mojado, sobre todo si está presenta demasiada lisura. Así, la seguridad depende directamente de la resistencia al deslizamiento, que es medida por el coeficiente de fricción (Maia, 1995).

Los accidentes más comunes causados por el deslizamiento de los vehículos son las colisiones traseras y transversales y las salidas de la calzada en las curvas horizontales. Estudios citados por Nodari (2003) reportan reducciones de 25 a 54% de los accidentes cuando se adoptan texturas superficiales adecuadas, proporción que aumenta hasta 47 – 83% en el caso de los accidentes que acontecen con el pavimento mojado.

2.3 Señalización

El uso adecuado de la señalización es fundamental para el funcionamiento eficiente y seguro de cualquier sistema viario. La señalización está compuesta por dos sistemas principales: las señales verticales, formadas por las placas, y las señales horizontales, que son las marcas en el pavimento. Los semáforos y los paneles de mensajes también forman parte de la señalización.

La falta de placas de señalización o la utilización inadecuada de esta puede llevar a los usuarios de la vía a cometer errores o mantener comportamientos incompatibles con el ambiente viario que pueden ocasionar accidentes graves. Fitzpatrick *et al.* (2000) *apud* Nodari (2003) resalta los cuatro principios básicos para el uso de las placas verticales de señalización:

- Localizar las placas suficiente antecendencia al punto de toma de decisión;
- Proveer tiempo de respuesta;
- Proveer información redundante, y
- Evitar áreas donde la atención del conductor sea muy solicitada.

Odgen (1996), citado por esta misma autora, reporta estudios que registran reducciones entre 20 y 62% en la frecuencia de los accidentes debido al empleo adecuado de la señalización vertical; en cuanto a la severidad de los accidentes, se reportan decrecimientos de 29% de las tasas de fallecidos y de 14% en las tasas de lesionados.

Las marcas en el pavimento son muy convenientes para orientar y ordenar la circulación, aumentando notablemente el confort y la seguridad del tránsito, sobre todo en horario nocturno. También son muy útiles para rectificar temporalmente problemas operacionales y de seguridad asociados al diseño geométrico de la vía. No obstante, la mayor ventaja de las marcas parece ser el hecho de que cumplen su función de orientar y advertir al conductor sin la necesidad de que este distraiga su atención de la calzada (Storm, 2000).

Estudios referenciados por este autor estiman una relación beneficio-costos de 45,9 como

resultado de la reducción de accidentes en curvas cerradas después de implantar líneas transversales reductoras de velocidad. Otro de los estudios encontró una variación en el factor de reducción de accidentes de -0,762 a 0,592 (el signo negativo indicando incremento de los accidentes) después de la implantación de marcas en el pavimento en un grupo de vías norteamericanas. Por su parte, la reducción de accidentes reportada para los puntos críticos o de mayor accidentalidad fue de 13,5%.

2.4 Mediana

Las medianas pueden ser de tres tipos: anchas sin barreras físicas, estrechos con barreras metálicas o de hormigón y estrechos sin barreras físicas. “La separación de flujos vehiculares de sentidos opuestos a través de una mediana conducen a beneficios significativos en seguridad” (IMT, 2002). Estudios norteamericanos, ingleses, cubanos y australianos reflejan mayor número de accidentes en vías con mediana al compararlas con vías que no la poseen. El estudio australiano en particular reporta disminuciones de los accidentes de 30, 48 y 54% en vías de múltiples carriles al implantarse medianas estrecha sin separación física, estrecha con separación física y ancha, respectivamente (CETRA, 2001; IMT, 2002 y GAO, 2003).

Medianas más anchas proporcionan espacio suficiente para que los conductores puedan retomar el control de vehículos desgobernados y para proteger vehículos que precisan hacer giros de izquierda. Un ancho de 9 m es suficiente para evitar que entre 70 y 90% de los vehículos descontrolados alcancen la calzada contraria. Anchos de 20 y 24 m ofrecen beneficios adicionales significativos, sobre todo para vías de tránsito rápido. La implementación de barreras metálicas o de hormigón, por otro lado, produce un aumento del número total de accidentes, pero reduce de forma notable la gravedad de estos, en la medida en que elimina prácticamente las colisiones frontales. Una investigación reportada por IMT (2002) indica que la implantación de barreras metálicas incrementó en 14% los accidentes sin lesionados, pero llevó también a una disminución de 15% en el número de fallecidos. Este tipo de barreras tiene también la ventaja adicional de desestimular el cruce desordenado de la vía por los peatones.

2.5 Accesos

Los elementos de los accesos que más afectan la seguridad son la densidad de estos y el volumen de vehículos que los utilizan. El control de accesos, o sea, la limitación o eliminación de la variedad y el espaciamiento de los accesos constituye una de las medidas que mayor influencia ejercen en el aumento efectivo de la seguridad del tránsito (Baker, 1975 y IMT, 2002). La causa principal está en el hecho de conseguir una disminución significativa del número de eventos inesperados y la separación de los puntos de decisión.

En todas las pesquisas reportadas se constata un incremento del número de accidentes en la medida en que aumenta la densidad de accesos. Un estudio en vías urbanas mencionado por

GAO (2003) muestra tasas de accidentalidad que van desde 2,22 accidentes por millón de vehículos *milles* para tramos que presentan entre 0 y 9 accesos hasta 7,38 accidentes por millón de vehículos *milles* en los casos de tramos con más de 50 accesos por *mille* (Figura 1).

3. CONCLUSIONES

Las características de la vía abordadas hasta aquí son importantes en las prestaciones operacionales y de seguridad que ofrece la infraestructura a los usuarios y ejercen una influencia considerable en el comportamiento y en las reacciones de estos, constituyendo potenciales fuentes de riesgos de accidentes. Además de los ya mencionados, existen otros elementos viarios que afectan la seguridad de la circulación, entre los que se pueden destacar la iluminación, el drenaje, las intersecciones, la visibilidad, el estacionamiento, los obstáculos laterales y los Dispositivos de Control de Tráfico.

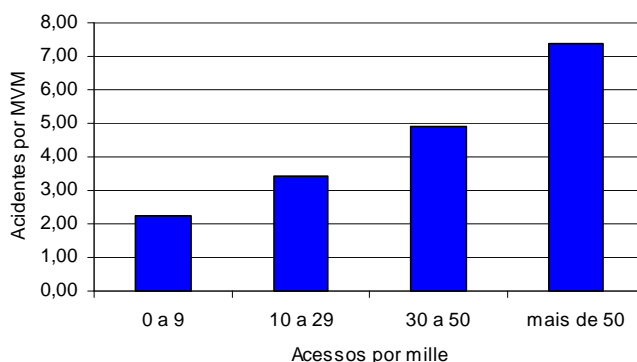


Figura 1. Impacto de los accesos en el número de accidentes.

Fuente: GAO (2003)

REFERENCIAS

BAKER R. (1975) *Handbook of highway engineering*. V. Nostrand Reinhold Company. EUA.

CETRA. *Seguridad en vías de interés nacional. Incidencia de la infraestructura viaria*. Informe Técnico. Ministerio del Transporte. La Habana. 2001.

FWHA. *Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways*. Report No. FHWA-RD-99-207. US Department of Transportation. 2000.

GAO. *Research Continues on the Variety of Factors That Contribute to Motor Vehicle Crashes*. Report to Congressional Requesters No. GAO-03-436. EUA. 2003.

HAUER E. (2000) *Safety of Horizontal Curves*. Disponible: <http://ca.geocities.com/hauer@rogers.com/Pubs/Curves.pdf> [capturado en abr. 2005]

IMT. *Algunas consideraciones de seguridad para el proyecto geométrico de carreteras*. Publicación Técnica No. 217. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Sanfandila. 2002.

MAIA J. A. C. (1995) *Uma análise sistêmica dos acidentes de trânsito no Brasil*. Disertación (Magíster

en Ingeniería Civil). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.

NODARI C. (2003) *Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples*. Teses (Doctorado en Ingeniería de Producción). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

PEO. *Report of the Highway 407 Safety Review Committee*. Disponível: <http://www.peo.on.ca> [capturado em abr. 2005]

STORM R. (2000) *Pavement markings and incidents reductions*. Center for Transportation Research and Education. Iowa State University. Ames.