

Infraestructura segura

Safe infrastructure

MARITZA CECILIA VILLAMIZAR ROPERO

Ingeniera civil. Profesora asistente del programa de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

maritza.villamizar@escuelaing.edu.co

Recibido: 31/03/2016 Aceptado: 10/04/2016

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

Tanto la seguridad vial como el diseño geométrico en las vías terrestres, en las etapas de diseño, construcción y operación, están directamente relacionados en favor de los usuarios. Por eso en el presente artículo se trata el tema de la infraestructura segura, comenzando por el concepto de las carreteras seguras; luego se miran los elementos que hay que tener en cuenta en la infraestructura, las medidas para el diseño y el equipamiento de carreteras seguras, y por último se evalúa la relación de las posibles medidas de seguridad vial para solucionar los tipos de accidentes más frecuentes.

Palabras claves: seguridad vial, infraestructura, diseño.

Abstract

Road traffic safety and geometrical designs of land roads, at the planning, building, and operation stages, are both directly related to users' welfare. That is why this paper discusses the topic of safe infrastructure, starting with the concept of safe roads. Afterwards, all the needed elements for infrastructure, design measures, and equipment are addressed. Finally, an assessment of the relation of possible road traffic safety measures to avoid the most frequent kinds of accidents is shown.

Keywords: road traffic safety, infrastructure, design.

INTRODUCCIÓN

Las redes viales forman parte de la economía de un lugar, ya que a través de sus conexiones se facilitan los movimientos comerciales e industriales de una o de muchas naciones. Esta red vial deberá facilitar los desplazamientos de un punto a otro, en busca de una muy buena movilización de vehículos desde y hacia cualquier zona habitada.

Por tanto, una red de carreteras debe cumplir dos funciones principales:

- **Accesibilidad.** Facilitar el acceso de los vehículos a la red vial desde cualquier zona habitada perteneciente al área cubierta por ésta.
- **Movilidad.** Permitir que la circulación de los vehículos por la red vial sea segura, confortable y lo más rápida posible.

Lograr conjugar las funciones de accesibilidad y movilidad en condiciones de seguridad es una ardua tarea, pero necesaria para establecer una jerarquía vial que permita diferenciar entre tráficos de muy distinto tipo, reduciendo al máximo los posibles conflictos que puedan producirse.

LAS CARRETERAS Y LA SEGURIDAD VIAL

El concepto de seguridad vial supone la prevención de los accidentes de tránsito o la minimización de sus efectos, especialmente para la vida y salud de las personas, por ello se debe mejorar la seguridad vial de las infraestructuras de transporte.

Los técnicos y diseñadores de infraestructuras viales están obligados a conocer las normas de diseño imperantes en el país, de tal manera que este conocimiento permita la conjugación del factor infraestructural con el humano.

Algunos de estos conceptos son la consistencia, la legibilidad y la información.

Consistencia

La consistencia de una carretera se puede definir como la capacidad geométrica de la vía para satisfacer las expectativas del conductor, dando a éste los componentes necesarios para circular por dicha vía.

Por tanto, una carretera con un bajo grado de consistencia implica que sus características son muy diferentes de las expectativas de los conductores, elevándose el riesgo potencial de sufrir un accidente; caso contrario, se evitarían maniobras bruscas durante la conducción y, por ende, el riesgo de accidentalidad sería menor. La homogeneidad de las características geométricas de una carretera y su consistencia están íntimamente ligadas: si las características geométricas se mantienen dentro de cierto rango a lo largo de un tramo, las maniobras que debe realizar el conductor para recorrerlo serán constantes y a una velocidad uniforme, lo que incrementará las condiciones de seguridad. Por tanto, la consistencia del trazado de una vía forma parte e influye en el nivel de seguridad de la circulación, el cual involucra otros aspectos, como el tráfico y el entorno.

Legibilidad

Las carreteras con una buena legibilidad muestran al conductor el trazado con claridad durante todo el recorrido. Generalmente, las carreteras muy curvadas, en las que los tramos sucesivos se esconden detrás de un cambio de rasante o una curva muy cerrada, son las más beneficiadas por la legibilidad, sobre todo en aquellas que se diseñan para velocidades elevadas.

Información de la vía

La información de una vía se puede entender como el esfuerzo de asimilación y decisión que requiere cada tramo de carretera en función de su trazado y cantidad de información ofrecida. El diseño de un tramo de carretera supone una determinada información, mayor o menor, para cada conductor; la condición óptima es que la información transmitida sea media, ya que si es demasiado baja puede dar lugar a la distracción del conductor, mientras que si es excesivamente alta puede ocasionar que el conductor no sea capaz de procesar toda la información recibida, aumentando el riesgo de sufrir un accidente.

Teniendo como base lo descrito anteriormente, es posible decir que las acciones sobre las infraestructuras que permiten la mejora de la seguridad vial en las carreteras, se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios:

Según los costos y rapidez de implantación de las medidas

- *Medidas de bajo costo.* Todas aquellas medidas físicas adoptadas con el objetivo de aumentar la seguridad del sistema vial, que cumplen las siguientes tres propiedades: tener un bajo costo económico, poder implantarlas rápidamente y contar con una alta tasa de rentabilidad
- *Medidas de costo medio o alto.* Este grupo engloba todas aquellas medidas físicas que suponen soluciones sistemáticas o masivas en el conjunto de la red, tales como la sustitución de todas las intersecciones de un itinerario por rotondas o la construcción de carreteras de alta capacidad. La implantación de estas medidas supone un alto costo económico y requiere una planificación temporal mayor que en el caso de las medidas de bajo costo.

Según los efectos sobre los accidentes

- *Preventivas.* Medidas destinadas a evitar que se produzca un accidente. En este grupo se engloban, entre otras, la utilización de pavimentos antideslizantes, la utilización de equipamientos para mejorar la percepción del trazado de la vía, circunvalaciones, iluminación de la vía, etc.
- *Paliativas.* Medidas adoptadas para reducir la gravedad de los accidentes en caso de que éstos no hayan podido evitarse. Por ejemplo, establecer una zona despejada en el margen de la vía, de manera que los vehículos que abandonen la calzada en forma descontrolada puedan recuperar el control sin sufrir impactos contra objetos próximos a ésta.

En algunos casos, la implantación de una medida conlleva el desplazamiento de los accidentes desde la localización donde se han implantado las medidas hacia otros lugares próximos, efecto conocido como “migración de accidentes”.

ELEMENTOS DE LA VÍA Y SU INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD VIAL

Se estima que la infraestructura, como factor único, solamente es responsable del 2-3 % del total de los siniestros. Sin embargo, si se tiene en cuenta la inte-

racción del factor infraestructura con el humano, este porcentaje puede alcanzar el 25-30 %.

La normativa sobre el diseño y equipamiento de carreteras es imprescindible para un correcto diseño de la vía. No obstante, es necesario conocer ciertos aspectos relacionados con el factor humano, ya que son determinantes en la explicación de numerosos siniestros.

Se incluyen a continuación algunos de los elementos de la vía cuya influencia es más relevante desde el punto de vista de la seguridad vial:

Velocidad de operación

La velocidad de operación de los vehículos es una característica propia de la vía una vez construida, ya que indica la velocidad a la que circulan la mayoría de los vehículos en la etapa de explotación de la vía. Tradicionalmente, esta velocidad viene representada por el percentil 85 de la distribución de velocidades a la que operan los vehículos ligeros en un régimen de circulación libre, es decir, en un momento en el que son los propios conductores los que eligen su velocidad de circulación, sin estar condicionados por la presencia de otros vehículos en la vía, y sin restricciones ambientales.

Márgenes

La configuración de los márgenes de la vía influye tanto en el número de accidentes como en las consecuencias de éstos. La presencia de obstáculos fijos próximos a la calzada aumenta la posibilidad de impacto de los vehículos que la abandonan, en especial si el obstáculo está situado en el exterior de una curva o sobre una isleta de tráfico. Los peligros que pueden encontrarse en los márgenes de las carreteras se pueden clasificar en dos categorías: peligros continuos y peligros discontinuos (tabla 1).

Sistemas de contención

Los accidentes por salida de calzada constituyen uno de los principales problemas en la infraestructura vial de la mayoría de los países. La conducción es una actividad compleja, en la que el conductor debe prestar atención a múltiples estímulos y procedimientos.

Tabla 1
Elementos peligrosos en las márgenes de las carreteras

CUNETAS	Las cunetas pueden provocar el vuelco de los vehículos que abandonan, erráticos, la calzada.
DESMONTES Y TERRAPLENES	Los desmontes y terraplenes resultan peligrosos en la medida en que pueden provocar el vuelco de los vehículos que salgan incontroladamente de la calzada.
PUNTES, VIADUCTOS Y CORONACIONES DE MUROS DE SOSTENIMIENTO	El desnivel existente entre la plataforma y el terreno en puentes, viaductos y coronaciones de muros de sostenimiento constituye un peligro en todos los casos, independientemente de la velocidad, que deberá protegerse mediante barandas. El riesgo de despeñamiento puede resultar muy grave, tanto para los ocupantes del vehículo como para terceros.
PANTALLAS ANTIRRUIDO, MUROS Y SIMILARES	Las pantallas antirruido y muros continuos en las proximidades de la calzada constituyen un peligro tanto para los ocupantes de los vehículos que circulan por la carretera, como para otros usuarios, ya que se puede producir la caída de objetos de masa considerable.
BORDILLOS	Los bordillos son especialmente peligrosos para los motociclistas, ya que en caso de choque pueden desestabilizar el vehículo, causando la pérdida de control y el posterior accidente. En carreteras en las que se alcancen velocidades elevadas no es conveniente la instalación de bordillos delante de los sistemas de contención, ya que en caso de que un vehículo impacte contra ellos, su trayectoria y el posterior comportamiento de la barrera son impredecibles.
SEPARADORES	La invasión de la otra calzada constituye uno de los accidentes más graves que se pueden producir en una carretera.
ÁRBOLES	En las márgenes y medianas de carreteras, los árboles se consideran peligrosos cuando su diámetro es superior a 15 cm.
ROCAS	Las rocas situadas cerca de la calzada representan un peligro en caso de accidente por salida de la calzada debido a su gran rigidez. Pueden provocar enganchamientos, rebotes o vuelcos en los vehículos que impacten contra ellas.
LUMINARIAS	Las luminarias son objetos muy frecuentes en las márgenes de las carreteras. Su rigidez las convierte en elementos muy peligrosos en caso de salida de calzada de un vehículo debido al fenómeno de enganchamiento.
POSTES DE SEÑALIZACIÓN Y LÍNEAS AÉREAS (TELÉFONO, ELECTRICIDAD)	Se trata de obstáculos rígidos, cuya dimensión en altura es muy superior a su sección, lo cual los convierte en objetos que pueden causar daño en caso de impacto debido al fenómeno de enganchamiento. Se consideran peligrosos cuando su diámetro es superior a 15 cm (soportes de pórticos, pedestales de señalización).
PILARES Y ESTRIBOS DE PUENTES	El impacto contra estos elementos a velocidades iguales o superiores a 60 km/h puede resultar crítico tanto para autos de turismo como para vehículos pesados, debido al efecto de enganchamiento.
EXTREMOS DE BARRERA AGRESIVOS	Una ejecución deficiente de los extremos de barrera puede traer consigo empotramientos o vuelcos por el efecto rampa.
TRANSICIONES ENTRE BARRERAS	El paso de una barrera más deformable (barrera metálica) a otra más rígida (barrera de hormigón), puede producir el enganchamiento de un vehículo en el punto de transición.
DISCONTINUIDADES ENTRE BARRERAS DE SEGURIDAD PRÓXIMAS	Las discontinuidades no justificadas entre dos tramos consecutivos de barrera se considerarán como peligro potencial si la distancia entre los extremos de barrera es inferior a 50 m.
ALTURA DE BARRERA INSUFICIENTE	Una altura de barrera insuficiente puede constituir un grave peligro para los ocupantes de un vehículo en caso de choque contra el sistema de contención, ya que existe la posibilidad de que se produzca un vuelco.
EDIFICACIONES	Las edificaciones próximas a la calzada pueden considerarse zonas peligrosas, dependiendo de las intensidades de tráfico y de que la velocidad de proyecto de la carretera sea superior a 60 km/h.

Fuente: Elaboración propia.

Barreras de seguridad

Son sistemas de contención de vehículos empleados en las márgenes y medianas de las carreteras. Siempre que se estudie la posibilidad de instalar una barrera de seguridad se deberá tener en cuenta que el choque contra uno de estos dispositivos constituye un accidente, aunque de consecuencias más predecibles y menos graves que si no estuviese instalado el dispositivo. Por ello, antes de analizar la necesidad de instalar barreras de seguridad se valorarán otras opciones, como el desplazamiento o la eliminación del obstáculo, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El costo de instalación y mantenimiento del dispositivo.
- El costo de las soluciones alternativas.
- La probabilidad de un choque con él, relacionada con la intensidad de la circulación.
- La gravedad del accidente resultante de ese choque.
- La gravedad del accidente que se ha evitado.
- La normativa propia para la instalación de barreras de seguridad.

Las barreras de seguridad pueden clasificarse atendiendo a distintos criterios:

- Rígidas o deformables.
- Definitivas o provisionales.
- Simples (aptas únicamente para el choque por uno de sus lados) o dobles (aptas para el choque por ambos lados).

Según el material empleado:

- Metálicas.
- De hormigón.
- Mixtas.
- De otros materiales.

Atenuadores (o amortiguadores) de impacto

Dispositivos diseñados para que en los choques frontales se absorba la energía cinética mediante su deformación, soportando así el choque.

Pueden ser:

- No redirectivos: No poseen la capacidad de contener impactos laterales.
- Redirectivos: Diseñados para recibir impactos laterales, comportándose ante este tipo de impactos como una barrera de seguridad.

Los atenuadores de impacto deben cumplir dos requisitos funcionales específicos:



- Detener al vehículo dentro de la longitud del amortiguador y sin que aquel sea devuelto a la calzada.
- Funcionar igual que una barrera de seguridad en caso de choque lateral (algunos dispositivos no poseen esta característica).

Superficie de rodadura

Existen numerosos deterioros de distinta naturaleza en la superficie de rodadura que pueden afectar la comodidad e incluso la seguridad de los usuarios.

La presencia de un bache o un hundimiento en la carretera, cuando se circula a una elevada velocidad, puede hacer perder el control del vehículo. En cambio, una superficie en buen estado garantiza la adherencia y disminuye la posibilidad de que se produzca un accidente. A renglón seguido se recogen algunos de los deterioros más representativos.

Tabla 2
Deterioros de la superficie y estructura del pavimento

Deterioros de la superficie	
Desprendimientos. Pérdida de agregados	
Desprendimientos. Pérdida de capa rodadura	
Desprendimiento. Pérdida de base	
Exudación	
Deterioro de la estructura	
Deformación plástica	
Baches	
Grietas longitudinales	
Grietas transversales	
Piel de cocodrilo	

Fuente: *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles*. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002.

Señalización vertical

La señalización vertical de las carreteras debe aumentar la seguridad, eficacia y comodidad de la circulación. Para ello debe cumplir cuatro requisitos básicos:

- Visibilidad.
- Legibilidad.
- Comprensibilidad.
- Credibilidad.

Los dos primeros requisitos, visibilidad y legibilidad, pueden verse muy afectados por el entorno y los condicionantes externos: noche, alineación inadecuada, edad del conductor y composición del tráfico.

La comprensibilidad y la credibilidad son atributos referidos al propio mensaje de la señal. Unos y otros habrán de considerarse en el diseño y la fabricación de las señales para garantizar su eficacia como instrumento de seguridad vial.

Marcas viales

Las marcas viales deben satisfacer, como misión, las siguientes funciones:

- Delimitar carriles de circulación.
- Separar sentidos de circulación.
- Indicar el borde de la calzada.
- Delimitar zonas excluidas a la circulación regular de vehículos.
- Reglamentar la circulación, especialmente el adelantamiento, la parada y el estacionamiento.
- Completar o precisar el significado de señales verticales y semáforos.
- Repetir o recordar una señal vertical.
- Permitir los movimientos indicados.
- Anunciar, guiar y orientar a los usuarios.

El fin inmediato de las marcas viales es aumentar la seguridad, eficacia y comodidad de la circulación, por lo que es necesario que se tengan en cuenta en cualquier actuación vial como parte integrante del diseño y no como mero añadido posterior a su concepción.

Unas marcas viales en buen estado de conservación delimitan el carril, lo cual es importante de día pero especialmente de noche y en condiciones climáticas adversas.

Balizamiento

En el *Diccionario técnico vial* (Piarc) se define el balizamiento como el conjunto de dispositivos (balizas, líneas reflectantes, pero no señales ni iluminación) instalados a lo largo de las vías o carreteras para guiar la circulación y mejorar la seguridad.

Gracias a estos dispositivos los conductores pueden distinguir las márgenes de una vía no iluminada o en condiciones climatológicas adversas, al igual que percibir con anticipación la presencia de una curva que se debe transitar a una velocidad reducida.

MEDIDAS PARA EL DISEÑO Y EL EQUIPAMIENTO DE CARRETERAS SEGURAS

El efecto de una misma medida, por motivos diversos, varía sustancialmente según su diseño concreto y las condiciones locales de implantación, de acuerdo con algunas de las siguientes medidas:

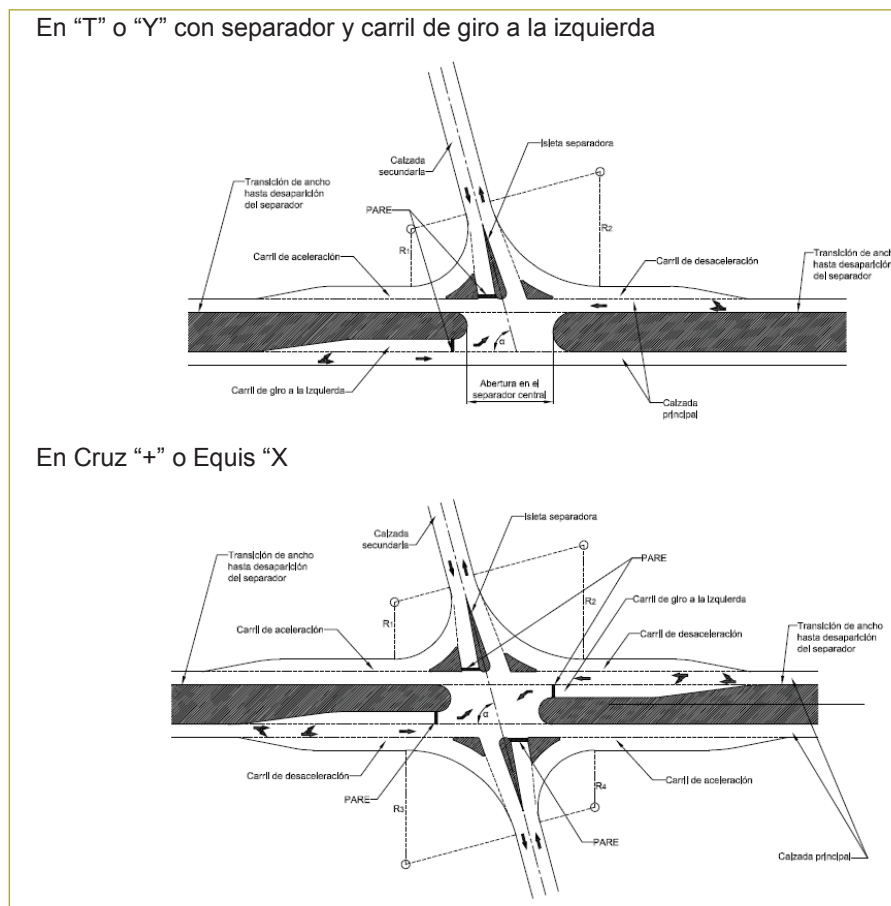
Canalización de intersecciones

Las intersecciones constituyen áreas difíciles y peligrosas para todos los usuarios de las vías, siendo el nivel de peligro mayor a medida que va aumentando el número de vías que confluyen. El tipo de accidente más común son las colisiones frente-laterales y los atropellos de peatones cuando los vehículos giran hacia o desde otra carretera.

La canalización de intersecciones busca:

- Segregar los flujos de tránsito entre sí y reducir el área de conflicto entre las corrientes de tránsito.
- Mejorar la visibilidad de las intersecciones (mediante un diseño adecuado de los ángulos de aproximación de los vehículos)
- Señalización clara de la vía preferente y definición de patrones de conducción.

Se pueden diferenciar las siguientes formas de canalización:



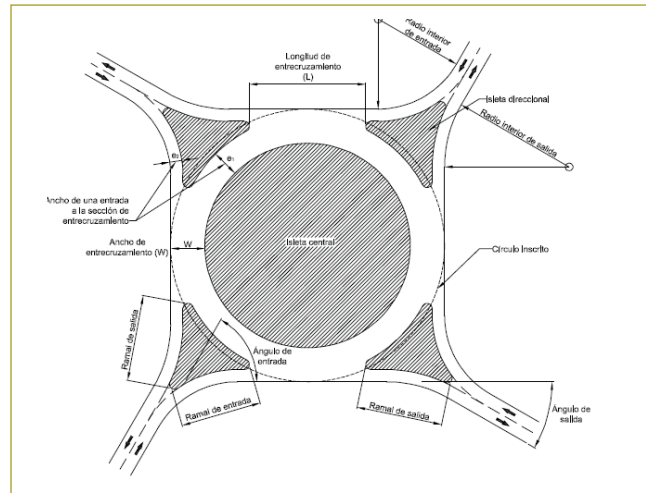
Fuente: *Manual de diseño geométrico*. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 1. Esquema base intersección a nivel.

Glorietas

En intersecciones con elevados volúmenes de tránsito el tiempo de espera de los vehículos para cruzarlas puede ser considerable, lo que hace que algunos conductores terminen atravesando la intersección y creando situaciones peligrosas. La conversión de las intersecciones en rotondas puede mejorar el flujo de tránsito y la seguridad vial, pues:

- Se disminuye el número de puntos de conflicto entre las corrientes de circulación.
- Los usuarios que llegan a una glorieta deben ceder el paso a los vehículos que circulan por ella, por lo que aumenta la seguridad.
- Al proceder todo el tráfico de una misma dirección, resulta más sencillo incorporarse a la circulación de la glorieta.
- Se reduce la velocidad, puesto que los vehículos deben rodear la isleta central.



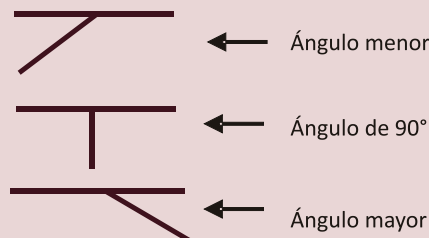
Fuente: *Manual de diseño geométrico*. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 3. Esquema básico de una intersección tipo glorieta.

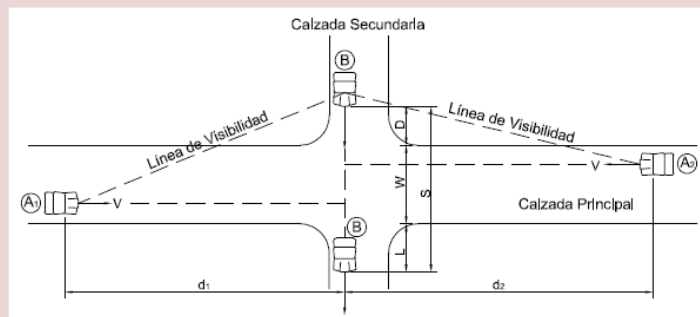
Rediseño de intersecciones

Con esto se busca mejorar las condiciones de visibilidad en las intersecciones, simplificando los giros y aumentando la visibilidad de todos los usuarios que se aproximan a la intersección. El rediseño incluye:

Cambios en los ángulos de cruce entre las carreteras o las calles. En general, los ángulos menores de 90° parecen dar como resultado un menor número de accidentes con lesiones.



Medidas para mejorar la distancia de visibilidad en las intersecciones – aumento del “triángulo de visibilidad”



Fuente: *Manual de diseño geométrico*. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 2. Cambios en los ángulos de cruce y aumento del “triángulo de visibilidad”.

cultad para percibir su presencia, así como al hecho de compartir espacios con otros vehículos que circulan a una mayor velocidad.

Los carriles para peatones y ciclistas permiten:

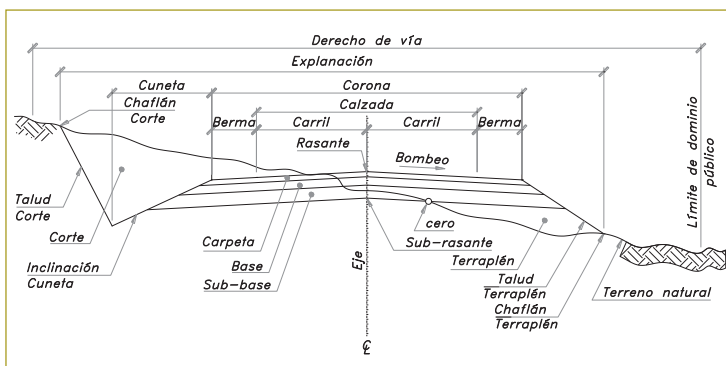
- Separar físicamente a los ciclistas y peatones del resto del tráfico motorizado.
- Mejorar la movilidad y la sensación de seguridad de estos usuarios vulnerables, sobre todo en áreas con elevado tránsito de vehículos de motor.

Mejoras de la sección transversal

La mejora de la sección transversal de la vía puede tener como objetivo incrementar la seguridad de los usuarios de una carretera mediante el aumento de la anchura de la calzada, la pavimentación de las bermas, el aumento del número de carriles, la construcción de los separadores centrales entre ambos sentidos de circulación y el incremento de la movilidad mediante el aumento de la capacidad de la vía.

Entre las medidas para la mejora de la sección transversal, están:

- Incrementar el número de carriles.
- Aumentar la anchura de la plataforma.
- Incrementar la anchura de las bermas.
- Construir carriles de adelantamiento.
- Crear bermas pavimentadas.
- Aumentar la anchura de las bermas pavimentadas.
- Hacer cambios simultáneos en la anchura de las bermas y los carriles.
- Instalar barreras de contención.

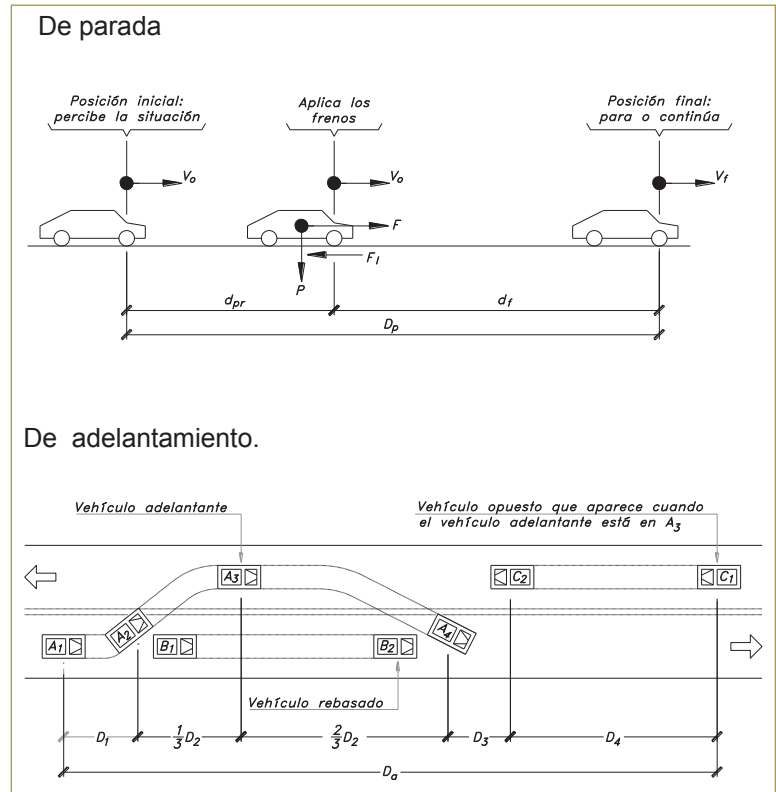


Fuente: Manual de diseño geométrico. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 6. Sección transversal de una carretera.

Mejora de la distancia de visibilidad y del trazado longitudinal

En determinados tramos de carretera la visibilidad se puede ver reducida por las curvas, los cambios de rasante, la vegetación o la presencia de edificios próximos a la calzada. Una distancia de visibilidad pequeña dificulta la conducción y reduce el tiempo de reacción disponible en caso de incidentes, lo que aumenta el riesgo de accidente.



Fuente: Manual de diseño geométrico. Ministerio de Transporte de Colombia, 2008.

Figura 7. Distancia de visibilidad.

Entre las medidas que se pueden aplicar, están:

- **Aumento del radio de las curvas horizontales.** Son más seguras las carreteras compuestas por curvas suaves, pero con condiciones de visibilidad suficientes que permitan hacer maniobras de adelantamiento con seguridad.
- **Construcción de curvas de transición** Las curvas de transición permiten el enlace entre las trayectorias rectas y las curvas circulares, variando su curvatura con la distancia recorrida. La curva de transición más frecuentemente utilizada es la clotoide, que corresponde a la trayectoria de un

vehículo que circula a velocidad constante y cuyo conductor gira el volante a velocidad angular o de giro constante.

- **Reducción del número de curvas con pequeños radios en un determinado recorrido**

La tasa de accidentalidad de las curvas aumenta a medida que disminuyen los radios de dichas curvas.

- **Disminución del grado de deflexión de la carretera**

Aumento de la distancia entre alineaciones curvas.

- **Reducción de las pendientes de los desmontes y terraplenes**

Una reducción de las pendientes conlleva la disminución del número de accidentes y de sus consecuencias en caso de que éstos se produzcan.

- **Disminución de la proporción de longitud de carretera situada en cambios de rasante**

Los cambios de rasante reducen la visibilidad de la carretera, aumentando la probabilidad de sufrir un accidente.

- **Mejoras generales del trazado**

Corrección general del trazado de tramos de carreteras con déficits estructurales (velocidad o anchura menores que unos determinados valores tolerables en función del tipo de red a que pertenece la carretera, la intensidad de tráfico y el tipo de terreno que atraviesa), con el objetivo de mejorar la seguridad vial del recorrido.

- **Aumento de las distancias de visibilidad**

Esto se puede lograr mediante la eliminación de obstáculos situados en los laterales, por ejemplo.

Actuaciones en curvas

A medida que un conductor avanza por una determinada vía, se crea una serie de expectativas en relación con la trayectoria de la carretera. Entre las medidas que se pueden aplicar cabe destacar las siguientes:

- Instalar señales de peligro curva peligrosa antes de la curva.
- Poner velocidades recomendadas antes de las curvas.
- Instalar sistemas de balizamiento, como paneles direccionales o chevrón.
- Pintar marcas viales.
- Ampliar la anchura de la calzada.
- Hacer cambios o ajustes en el trazado, como por ejemplo cambiar la longitud de la curva de transición.

En general, el rediseño de una curva se llevará a cabo cuando se cumplan las siguientes condiciones:

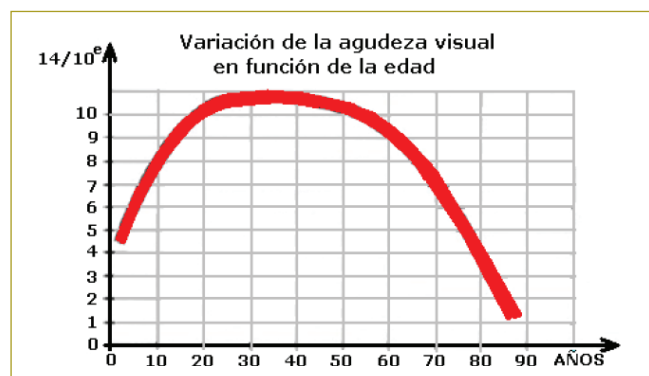
- Índices de siniestralidad superiores a la media de la carretera.
- Ineficiencia de otras medidas de bajo costo, como señalización y balizamientos.
- Presencia de obstáculos que no se puedan proteger ni eliminar.

Iluminación de la vía

El conductor recibe el 90 % de la información necesaria para conducir por medio de la vista, siendo la oscuridad la principal causa de los accidentes nocturnos, ya que:

- Influye en la distancia de visibilidad, al:
 - Modificar el campo visual, reduciéndolo a la zona iluminada por los focos del vehículo. El campo visual de los conductores disminuye con la velocidad, así a

40 km/h	_____	110°
100 km/h	_____	40°
 - Disminuir la agudeza visual de los conductores hasta en un 70 %.
- Afecta la percepción de los colores, así como a la visión de contraste, por lo que el conductor percibe peor los obstáculos.
- Los conductores pueden ser deslumbrados por otros vehículos que circulen en sentido contrario.
- El conductor requiere un periodo de adaptación entre 5 y 7 segundos para lograr el 95 de la capacidad visual.



Fuente: "Accidentes de circulación e iluminación". José Ignacio Urraca Piñeiro.

Figura 8. Variación de la agudeza visual en función de la edad.

La capacidad visual de una persona empieza a reducirse a los 40-45 años y su pérdida se agudiza a partir de los 65 años. Este envejecimiento comprende la disminución de la agudeza visual, la visión en profundidad y una mayor sensibilidad al deslumbramiento, por lo que se requiere una mayor intensidad de luz para ver adecuadamente.

RELACIÓN DE POSIBLES MEDIDAS DE SEGURIDAD VIAL PARA SOLUCIONAR LOS TIPOS DE ACCIDENTES MÁS FRECUENTES

A renglón seguido se muestran medidas que se pueden aplicar con el objeto de disminuir el número de accidentes, según su tipo.

Acciones encaminadas a evitar salidas de los vehículos de la calzada o reducir sus consecuencias en caso de no poder evitarse

Delimitación de las márgenes de la calzada	Marcas viales
	Hitos de arista
	Paneles direccionales
	Captafaros
	Marcas viales con resaltos
Instalación de sistemas de contención	Barreras de seguridad
	Terminales absorbentes de energía (TAE)
	Atenuadores de impacto o amortiguadores de impacto
	Lechos de frenado
Actuaciones en la superficie del pavimento	Pavimentos antideslizantes
Modificaciones de trazado	Mejora de la geometría de las curvas horizontales
	Reducción del número de accesos e intersecciones

Fuente: Asociación Española de la Carretera.

Acciones encaminadas a evitar colisiones entre vehículos

Delimitación de los carriles de circulación	Marcas viales
	Marcas viales con resaltos
	Captafaros
Actuaciones para garantizar una distancia de seguridad adecuada entre vehículos	Galones (marcadores de distancia en autopista)
Modificaciones de trazado	Mejora de la geometría de las curvas horizontales
	Reducción del número de accesos e intersecciones

Fuente: Asociación Española de la Carretera.

Acciones encaminadas a evitar atropellos de peatones

Delimitación del espacio	Creación de carriles para peatones y ciclistas separados físicamente de los carriles destinados a la circulación de vehículos de motor.
	Construcción de pasos de peatones.
	Cruces a distinto nivel: pasarelas peatonales
	Barreras de seguridad
	Marcas viales
Otras medidas	Señales de aviso de presencia de peatones.
	Iluminación de la vía
	Actuaciones encaminadas a mejorar la distancia de visibilidad

Fuente: Asociación Española de la Carretera.

CONCLUSIONES

Detectados los peligros existentes en un determinado tramo de carretera, se deberá hacer un análisis de viabilidad de las posibles soluciones con el fin de determinar la rentabilidad de las medidas por aplicar. En dicho análisis se deberá tener en cuenta al menos:

- Número estimado de víctimas mortales y heridos evitados gracias a la aplicación de la(s) medida(s).
- Costo económico y social ahorrado por la reducción de víctimas mortales y heridos.
- Costo de ejecución, instalación y mantenimiento de las soluciones adoptadas.

REFERENCIAS

- Asociación Española de la Carretera (2015). *El factor infraestructura. Aspectos generales* de la Asociación Española de Carretera: <http://www.aecarretera.com/>.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID): <http://www.iadb.org/>.
- Cal y Mayor Reyes, R. & Cárdenas Grisales, J. (enero de 2007). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones*, 8.ª ed. México: Alfaomega, 597 pp.
- Cárdenas Grisales, J. (octubre de 2008). *Diseño geométrico de carreteras*, 1.ª ed. Bogotá: Ecoe Ediciones, 409 pp.
- Invías (2008). *Manual de diseño geométrico para carreteras*. Bogotá: Invías.
- M5.1 (2002). *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles*, 11. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica.
- Universidad de Valencia (2015). *Las infraestructuras y la seguridad vial*.