

Planteamiento sistemático de la mejora de las condiciones de seguridad de las márgenes de las carreteras



Systematic approach to improving safety conditions
at the edge of the roads

Redactado por:

José María Pardillo Mayora
Francisco Morales Ortega
Sergio Corredor Peña

Comité Técnico de Seguridad Vial
Grupo de Trabajo: Márgenes
Asociación Técnica de Carreteras

Resumen

El planteamiento sistemático de medidas de acondicionamiento de las márgenes de las carreteras destinadas a paliar las consecuencias de las salidas de la calzada en la medida que resulta técnica y económicamente viable es un aspecto fundamental de la gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias. La existencia de un terreno uniforme con inclinaciones suaves y sin obstáculos rígidos contiguo a la calzada proporciona al conductor la oportunidad de recuperar el control de su vehículo y minimiza la probabilidad de que se produzca un vuelco. El diseño de unas márgenes seguras conlleva la eliminación de los obstáculos peligrosos, su localización en las áreas menos vulnerables o su protección mediante sistemas de contención de vehículos. En el artículo se exponen los primeros resultados de la actividad del Grupo de Trabajo Márgenes del Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) en relación con los criterios de establecimiento de una zona de seguridad en las márgenes y con dos aspectos concretos del acondicionamiento de las márgenes: los dispositivos de alerta en el borde de la calzada y el estado actual de la normalización de los dispositivos de contención en Europa. En próximos artículos se expondrán los resultados de otros aspectos sobre los que el grupo está trabajando.

PALABRAS CLAVES: Seguridad vial, márgenes, salidas de la calzada, zona de seguridad, dispositivos de alerta, normalización de sistemas de contención de vehículos.

Abstract

A systematic approach of measures to mitigate vehicles swerving off the road, as far as this is technically and economically feasible, is a crucial aspect of road infrastructure safety management. The existence of a uniform terrain with soft inclinations without rigid barriers adjacent to the road gives the driver the opportunity to better control his vehicle and minimizes the risk of vehicle rollover. The design of a safe road edge eliminates dangerous obstacles, their location in less vulnerable areas or protection by vehicle restraint systems. This article presents the first results of the activity of the Road Edge Working Group, of the Technical Committee on Road Safety of the Technical Road Association (ATC) in relation to the criteria for establishment of a security zone along the edge of the road, including two specific aspects conditioning the road edge: warning devices at the edge of the road and the current state of standardization of road restraint systems in Europe. The Working Group will present in future articles the results of his work on other aspects.

KEY WORDS: Road Safety, edge of the road, swerving off the road, safe area, warning devices, standardization of road restraint systems.

Prólogo

(Por Roberto Llamas Rubio, presidente del Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de Carreteras)

Las salidas de la calzada son el tipo de accidente más frecuente en España, suponiendo más de la tercera parte de todos los accidentes con víctimas que se producen en la red viaria nacional de nuestro país. Igualmente, también es uno de los accidentes más comunes en los países desarrollados. Prevenir esta tipología de accidente de tráfico, así como atenuar sus consecuencias, es uno de los objetivos perseguidos por los responsables de la seguridad circular. Aún cuando los factores concurrentes o motivos principales de que tengan lugar este tipo de accidente se derivan de distracciones o elementos relacionados con el factor humano (somnolencia, cansancio, etc.), con la adopción de medidas sobre la infraestructura se pueden eliminar los mismos y/o reducir sus efectos sobre los ocupantes de los vehículos.

Con este fin fundamental surgió hace ya tiempo el concepto de las "carreteras benignas" y más específicamente las "márgenes que perdonan" o *"forgiving roadsides"*. Concepto este, que, si bien nació en Estados Unidos allá por los años 60, en Europa no ha sido hasta mucho más recientemente cuando se ha tomado mayor conciencia del mismo y se ha incorporado de una manera más global y concreta. En este sentido, baste decir que fue en el período 2009-2013 cuando la Conferencia Europea de Directores de Carreteras (CEDR) abanderó el desarrollo de este concepto desde la óptica europea, introduciéndolo como una de sus prioridades de trabajo y desarrollando una guía metodológica para la implantación de algunos elementos de seguridad en las márgenes.

Advertir al conductor que está saliéndose del carril destinado a la circulación previamente a que ocurra la salida del vehículo de la carretera, mediante

dispositivos de alerta en el borde de la calzada, es un ejemplo claro de medidas ingenieriles que pueden adoptarse para prevenir estos accidentes. Pero también a la hora de diseñar la carretera debe tenerse en cuenta la posibilidad de disponer de una zona de recuperación del control del vehículo ante una hipotética salida de la calzada, ya sea diseñando márgenes con inclinaciones suaves y sin obstáculos, o al menos a una distancia suficientemente alejados del borde de la vía que no supongan un peligro, etc. A esta zona de seguridad en las márgenes de las carreteras se le denomina *"clear zone"* o zona despejada bajo este prisma de *"forgiving roadsides"*, definiéndose como la franja contigua al borde exterior de la calzada que debe mantenerse libre de obstáculos no franqueables y presentar una pendiente transversal poco pronunciada para propiciar la recuperación del control de los vehículos que se salgan de la calzada. La anchura de esta zona no debe ser la misma para cada carretera, sino que dependerá básicamente del tipo de vía, la velocidad de circulación, el tráfico y las características del trazado.

Por otro lado, la disposición de barreras de seguridad en las márgenes es un procedimiento de seguridad pasiva muy habitual, si bien debe tenerse muy presente que el choque contra un sistema de contención (como las barreras) siempre se trata de un accidente, aunque sea, en general, más controlado y menos severo que el que tendría lugar de no existir dicho sistema de contención de vehículos. Por eso, siempre es deseable diseñar las carreteras sin necesidad de disponer barreras en las márgenes, aunque eso no siempre es viable económicamente. Por ello, es necesario llegar a una solución de compromiso derivada de un análisis técnico-económico sobre las diferentes medidas de acondicionamiento de las márgenes de las carreteras destinadas a paliar las consecuencias de las salidas de la calzada, considerando la eficacia sobre la accidentalidad de cada una de ellas.

Reseñar que un elemento fundamental en todos los programas de mejora de la seguridad de las infraestructuras viarias, tanto a nivel nacional como internacional, es el tratamiento de las márgenes de las carreteras para mejorar sus condiciones de seguridad precisamente ante las posibles salidas de la vía.

En este contexto de las carreteras que perdonan, y bajo la óptica de un planteamiento sistemático de medidas de acondicionamiento de las márgenes con el fin de reducir las consecuencias de las salidas de la calzada y de forma que resulten técnica y económicamente viables, se ha enmarcado uno de los trabajos propuestos desarrollar dentro del Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de la Carretera (ATC) durante el presente ciclo hasta el próximo Congreso Mundial de la Carretera que se celebrará en Seúl en noviembre de 2015. El objetivo primordial ha sido facilitar una aplicación general del concepto *"forgiving roadsides"* en el conjunto de la red viaria de nuestro país.

En este artículo se exponen los primeros resultados de la actividad del grupo de trabajo creado a tal efecto en relación con los criterios de establecimiento de una zona de seguridad en las márgenes. Primeramente se hace un breve repaso al estado del arte, definición y desarrollo del concepto *"forgiving roadsides"* para, seguidamente, adentrarse a analizar los elementos de riesgo en las márgenes y su clasificación, el establecimiento de una zona de seguridad y factores que intervienen en la determinación de su anchura, con ejemplos concretos en diferentes países, y la contemplación de las alternativas posibles de acondicionamiento de la zona de seguridad en las márgenes y sus órdenes de prioridad deseables.

Ya en la parte final del artículo, se revisan algo más en profundidad dos aspectos concretos del acondicionamiento de las márgenes: los dispositivos de alerta en el borde de la calzada y el estado actual de la normalización de los dispositivos de contención en Europa. Ambos aspectos muy empleados

en nuestro entorno y que requerirían de una uniformidad y homogeneidad en los criterios de implantación. Y para concluir se realizan algunas recomendaciones para generalizar la aplicación de una serie de medidas de acondicionamiento de las márgenes en el conjunto de la red viaria española.

Así pues, con la publicación de este artículo se viene a culminar la labor realizada hasta ahora por el grupo de trabajo creado *“ad hoc”* en el seno del Comité para abordar estos temas.

Por último y como Presidente del citado Comité de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de la Carretera, quisiera expresar mi agradecimiento a todos los miembros que de alguna manera han participado y contribuido al trabajo desarrollado por el grupo anteriormente citado, y en especial a los autores de este artículo por su esfuerzo y dedicación.

1. Introducción

Las medidas destinadas a paliar las consecuencias de las salidas de la calzada vienen siendo un componente fundamental de los programas de mejora de la seguridad viaria desde sus orígenes en la década de 1960. Ya entonces el 35% de las víctimas mortales en accidentes de tráfico en las carreteras de los Estados Unidos se producían como consecuencia de salidas de la calzada, lo que justificaba la incorporación de medidas de tratamiento de las márgenes a los programas de seguridad vial [1]. A pesar de los avances que se han producido desde entonces, tanto en el campo del diseño de las carreteras como en el de su equipamiento, la proporción de la accidentalidad total que tiene su origen en salidas de la calzada sigue manteniéndose en valores similares a los de los años sesenta. Así, por ejemplo, en 2013 este tipo de siniestros supusieron un 37% de todos los accidentes con víctimas registrados en la carreteras interurbanas españolas y originaron un 36% de las víctimas mortales, de acuerdo con los datos de la Dirección General de Tráfico [2].

En principio, la mejor forma de prevenir estos accidentes consiste en evitar que los vehículos lleguen a salir sin control de la zona pavimentada. A este fin pueden contribuir primordialmente medidas sobre el factor humano dirigidas a evitar las distracciones, la conducción bajo los efectos del alcohol o las drogas, las velocidades inadecuadas, los adelantamientos indebidos y otras infracciones de la reglamentación de la circulación que están en el origen de la mayor parte de las salidas de la calzada. También resultan eficaces una serie de medidas específicas de mejora de las condiciones de la infraestructura tendentes a simplificar las decisiones que el conductor debe adoptar y a facilitar la percepción de las situaciones de riesgo con tiempo suficiente para adoptar las decisiones oportunas sin perder el control del vehículo. Entre ellas están la adecuación de las condiciones de la vía (trazado, nudos, accesos, etc.) a las expectativas de los conductores, la existencia de una visibilidad amplia, la adecuada señalización horizontal, vertical e iluminación, y la conservación del pavimento en condiciones que permitan mantener una oferta de adherencia y una regularidad elevadas.

En cualquier caso resulta inevitable que algunos vehículos salgan sin control de la calzada, por lo que el tratamiento de las márgenes de las carreteras para paliar, en la medida de lo posible, las consecuencias de estas salidas sigue siendo un elemento fundamental de los programas de mejora de la seguridad de las infraestructuras viarias.

El concepto de *“forgiving roadsides”*, que puede traducirse literalmente al español como “márgenes que perdonan”, tiene su origen en la primera edición de las recomendaciones de AASHTO para el proyecto y la explotación de carreteras en temas relacionados con la seguridad vial (*Highway Design and Operational Practice Related to Highway Safety*) [3]. Más allá de que la denominación parece inspirada en una concepción animista más que técnica, resulta interesante su concreción

en la práctica, que se centra en el planteamiento sistemático de una serie de medidas de acondicionamiento de las márgenes con el fin de reducir las consecuencias de las salidas de la calzada en la medida que resulta técnica y económicamente viable. En Estados Unidos, la referencia básica para el diseño de estas medidas es la guía de diseño de márgenes (*Roadside Design Guide*), cuya primera edición fue publicada en 1988 por la AASHTO y que ha venido actualizándose en sucesivas ediciones hasta la actualmente vigente, publicada en 2011 [4].

En Europa, la Conferencia Europea de Directores de Carreteras (CEDR), órgano de coordinación de las administraciones nacionales de carreteras, adoptó el concepto americano de *“forgiving roadsides”* y lo incluyó entre las prioridades de su Plan Estratégico 2009-2013. Para apoyar su aplicación desarrolló, a través de su Comité Técnico de Seguridad Vial (TGRS), una guía [5] en la que se trata de dotar de contenido metodológico y técnico al concepto y se incluyen criterios para la implantación de algunos elementos de seguridad en las márgenes como son los terminales de barreras, la bandas sonoras en el borde de calzada (*rumble strips*), los postes y soportes fungibles, y el tratamiento de los arcones.

El Grupo de Trabajo de Márgenes del Comité Técnico de Seguridad Vial de la ATC está analizando estos conceptos desde la perspectiva de su posible aplicación en España. En los siguientes apartados se exponen los primeros resultados obtenidos en relación con el planteamiento técnico de la aplicación del concepto *“forgiving roadsides”* y con dos aspectos concretos del acondicionamiento de las márgenes en los que ha incidido este grupo de trabajo: los dispositivos de alerta en el borde de la calzada y el estado actual de la normalización de los dispositivos de contención en Europa. En próximos artículos se expondrán los resultados de otros aspectos sobre los que el grupo está trabajando.

2. Elementos de riesgo en las márgenes

Los obstáculos y desniveles existentes en las márgenes de las carreteras suponen elementos de riesgo para los vehículos que sufren una salida de la vía, en especial si están situados en la zona cercana a la carretera, ya que al disminuir la distancia se incrementa la probabilidad de que sean alcanzados por un vehículo fuera de control. Una vez que se ha producido la colisión o alcance, la gravedad del accidente depende de las características del obstáculo y de la velocidad y ángulo de impacto.

Los elementos de riesgo existentes en las márgenes de una carretera se suelen clasificar en dos categorías: continuos y puntuales. Entre los primeros, los más comunes son los siguientes:

- Las cunetas que, salvo que tengan un perfil de seguridad, pueden provocar el vuelco de los vehículos que se salen de la calzada y las franquean.
- Los taludes de desmontes y terraplenes, ya que las posibilidades de recuperación del control del vehículo tras una salida de la calzada son muy reducidas si la margen presenta una inclinación transversal superior a 1V:3H. Con pendientes de 1V:4H o más tendidas se considera que existe posibilidad de recuperación del control, aunque es recomendable que la inclinación no supere una pendiente 1V:6H. También resulta importante la suavización de las aristas, tanto en la parte superior como en la inferior de la pendiente para reducir la probabilidad de pérdida de control del vehículo.
- Los desniveles verticales, debidos a la orografía del terreno o al paso por puentes o viaductos, por la potencial gravedad de la caída desde ellos.
- Los muros continuos, pantallas y estructuras similares.
- Los bordillos que pueden provocar la desestabilización de los ve-

hículos e incluso su vuelco cuando su altura supera los 10 cm y no presentan un perfil que permita el remonte de la rueda del vehículo.

A su vez, entre los obstáculos puntuales más comunes se encuentran los siguientes:

- Los árboles, las luminarias, los postes de servicios y los soportes de señales que presenten rigidez mecánica suficiente para originar daños personales si un vehículo colisiona con ellos.
- Las pilas y elementos de apoyo de estructuras de paso.
- Los elementos del drenaje superficial que sobresalen del terreno.
- Los terminales de barreras de seguridad inadecuados.

Una investigación llevada a cabo en la Universidad Politécnica de Madrid [6] dio como resultado un procedimiento de categorización de las condiciones de seguridad de las márgenes de las carreteras a partir del análisis de la configuración física y la accidentalidad por salida de la calzada registrada en una muestra de 1956 km de márgenes de carreteras convencionales de dos carriles. Las características consideradas para definir estos indicadores fueron:

- El trazado de la carretera (recta o curva).
- La inclinación de los taludes.

- La distancia de los obstáculos no franqueables al borde de la calzada.
- La existencia de barrera de seguridad.

El procedimiento desarrollado puede resultar útil en la inspección de redes de carreteras existentes y como referencia para el establecimiento de criterios de tratamiento de seguridad en márgenes.

3. Establecimiento de una zona de seguridad en las márgenes

El concepto "*forgiving roadsides*" se concretó técnicamente en Estados Unidos con el establecimiento de la denominada "*clear zone*" o zona despejada, que se definió como una franja contigua al borde exterior de la calzada que debía mantenerse libre de obstáculos no franqueables y presentar una pendiente transversal poco pronunciada, para propiciar la recuperación del control de los vehículos que se saliesen de la calzada [3]. En los casos en que no resultase técnica o económicamente viable eliminar todos los obstáculos rígidos o suavizar las pendientes transversales, deberían protegerse con unos dispositivos de contención adecuados.

Como regla general, la zona de seguridad debería disponerse con la



Figura 1. Zona despejada en la margen de una carretera convencional

mayor anchura posible. Sin embargo, no resulta posible determinar un valor fijo que determine la frontera entre las condiciones de seguridad absoluta y las condiciones de riesgo en cuanto a las consecuencias de las salidas de la calzada, por lo que la determinación en cada caso de la anchura de la zona de seguridad resulta del compromiso entre los condicionantes técnicos y económicos, y las estimaciones de reducción de la accidentalidad.

Originalmente, en Estados Unidos se fijó una anchura de 9 m desde el borde de la calzada para las autopistas. Hoy en día existe un consenso general en que la anchura de la zona de seguridad en las márgenes debe establecerse en función de criterios coste-eficacia, por lo que depende del tipo de carretera, de la velocidad esperada de circulación, de la intensidad de tráfico (a mayor IMD, existe una mayor probabilidad de que se produzcan salidas de la calzada), de la inclinación de los taludes de desmonte o terraplén y de las características del trazado. En consecuencia, las sucesivas versiones de la guía norteamericana de diseño de márgenes han incorporado un procedimiento de determinación de la anchura de la zona libre en función de la velocidad de proyecto, del tipo de margen (talud o desmonte) y su pendiente transversal y de la IMD soportada por la carretera. Las anchuras resultantes varían entre 4,5 m y 30 m [4]. En todo caso, los valores obtenidos no se consideran prescriptivos sino orientativos para el responsable del proyecto, que debe evaluar en cada caso las condiciones particulares de la carretera que está considerando y decidir la anchura de la zona de seguridad adecuada a ellas. Para las carreteras locales el manual de diseño de ASSHTO (*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*) [7] recomienda que se establezca una zona despejada de una anchura mínima de 2,1 m a 3,0 m (7 a 10 pies) en secciones sin bordillo.

Análogamente, en Australia y Nueva Zelanda, la parte 6 del manual de diseño de carreteras de Austroads [8] contiene un procedimiento de determinación de las dimensiones de la zona de seguridad de las márgenes en función del volumen de tráfico, la velocidad percentil 85, el radio de curva y la pendiente en carretera. Las anchuras resultantes varían entre 3 m, para un tramo con 60 km/h de velocidad de proyecto y una IMD inferior a 750 veh/día, y 14 m para un tramo con una velocidad de proyecto de 110 km/h, una IMD superior a 6000 veh/día y una pendiente transversal máxima de 1:4. En el caso de terraplenes con pendiente 1:3 que no se protejan con barrera, la guía australiana recomienda que se despeje una franja al pie del terraplén cuya anchura dependerá de las condiciones particulares del tramo y se deja a criterio del proyectista. Como en los Estados Unidos, los valores resultantes se consideran orientativos, de forma que los responsables del proyecto pueden optar por adoptar una anchura mayor o menor de la zona de seguridad dependiendo de los factores de riesgo que existen en cada situación concreta.

Otros países, como Francia, tienen definidas zonas de seguridad de las márgenes en función del tipo de carretera, el límite de velocidad, la intensidad de tráfico y el tipo de terreno. Así la instrucción de proyecto de autopistas interurbanas (*Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison*) [9] establece unas anchuras que varían entre 10 m, para autopistas con limitación de velocidad a 130 km/h e IMD mayor de 10 000 veh/día, y 8,5 m en autopistas con limitación de velocidad a 110 km/h, mientras que la guía técnica para el acondicionamiento de carreteras principales (*Aménagement des Routes Principales*) [10] establece unas anchura de la zona de seguridad que varían entre 7 m, para carreteras de nueva construc-

ción con limitación de velocidad a 90 km/h, y 4 m para acondicionamientos de carreteras en servicio.

En España no existe una definición expresa de la zona de seguridad. Los criterios de aplicación de sistemas de contención de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento [11] fijan las distancias a obstáculos por debajo de las cuales se recomienda la colocación de barrera en carreteras de la red del Estado, que oscilan entre 4,5 m y 16 m en función del tipo de carretera, la pendiente transversal de la margen, las condiciones de trazado en planta y el tipo de accidente. Para facilitar una aplicación más general del concepto "*forgiving roadsides*" en el conjunto de la red de nuestro país sería conveniente complementar estos criterios de definición de la anchura de la zona de seguridad a partir de un criterio coste-eficacia teniendo en cuenta los tipos de carreteras, las intensidades de tráfico y las velocidades de circulación, en línea con lo que se ha visto que es frecuente en la experiencia internacional.

3.1 Alternativas de acondicionamiento de la zona de seguridad en las márgenes

Una vez delimitada la zona de seguridad en las márgenes, las alternativas de acondicionamiento por orden de prioridad son las siguientes:

1. Supresión del elemento de riesgo u obstáculo, siempre que su función no sea esencial para la infraestructura y sea técnica y económicamente viable.
2. Desplazamiento de los obstáculos fuera de la zona de seguridad establecida.
3. Limitación de las consecuencias del impacto del vehículo con el obstáculo mediante la modificación de su rigidez o de su diseño, de forma que sólo sean previsibles daños materiales si se produce una colisión.



Figura 2. Protección de obstáculos con barreras de seguridad

4. Protección de los obstáculos mediante la instalación de sistemas de contención adecuados (Figura 2).

Para la elección de la mejor alternativa de tratamiento puede ser llevado a cabo una comparación de los ratios de coste-beneficio. A estos efectos, sería recomendable desarrollar un procedimiento detallado que permita considerar todos los factores que intervienen en la selección de las alternativas de tratamiento de los elementos de riesgo en las márgenes.

4. Dispositivos de alerta en el borde de la margen

Las primeras bandas sonoras de alerta en el borde de las márgenes fueron instaladas hace más de 50 años en los Estados Unidos con objeto de disminuir los accidentes por salida de la calzada, mediante el moldeado de rebajes rehundidos en los pavimentos, tanto de hormigón como de mezcla asfáltica, durante su construcción.

A finales de la década de los 80, la autopista *Pennsylvania Turnpike* desarrolló bandas sonoras fresadas que se podían aplicar en el pavimento existente y que producían mayor vibración y ruido que las moldeadas.

A lo largo de la década de 1990 la mayor parte de los Departamen-

tos de Transportes estatales instalaron bandas sonoras, tanto en carreteras de calzadas separadas como en las de calzada única de dos carriles, en éstas incluso en el eje de la calzada para evitar el cruce de un vehículo al carril del sentido contrario, y hoy está prácticamente implantado en todo el territorio de los Estados Unidos [12].

En Europa no se utilizan con tanta frecuencia, haciéndolo habitualmente en autopistas y algunas carreteras de una sola calzada —y son generalmente las de tipo resaltadas y coincidentes con las marcas viales— principalmente en el Reino Unido, Alemania y los países nórdicos [13].

4.1 Tipología de las bandas sonoras

Por su posición respecto al eje de la carretera las bandas sonoras se clasifican en:

- Longitudinales: cuando son paralelas al eje de la carretera.
- Transversales: si son perpendiculares o ligeramente oblicuas al eje.

Las longitudinales, a su vez, se clasifican en dos grupos atendiendo a su ubicación dentro de la calzada:

- Centrales: si se sitúan en el eje de la carretera de dos sentidos.
- Laterales: cuando se sitúan en los bordes de la calzada, bien sobre la

propia marca vial o fuera de ella, tanto en el arcén exterior como en el interior.

Por su situación respecto a la superficie pavimentada tanto unas como otras pueden ser hundidas o elevadas.

Las bandas sonoras hundidas se dividen en dos clases:

- Fresadas, se ejecutan sobre pavimentos ya construidos mediante una fresadora que corta y levanta parte del material de la calzada.
- Moldeadas durante la construcción del pavimento mediante el paso sobre el aglomerado asfáltico aún caliente de un rodillo con incrustaciones o en pavimentos de hormigón presionando con moldes que crean unas hendiduras sobre el mismo en estado fresco.



Figura 3. Bandas sonoras fresadas y moldeadas

Las bandas elevadas pueden ser de dos formas y se pueden hacer sobre carreteras existentes:

- Resaltadas, cuando se adhieren al pavimento resaltes rectangulares o circulares. Se suelen hacer a la vez que la marca vial que constituye la señalización horizontal, o sea un equipo aplica a la vez el resalte y la pintura.
- Clavadas, si estas marcas se clavan sobre la superficie de la calzada.



Figura 4. Marcas viales con resaltes

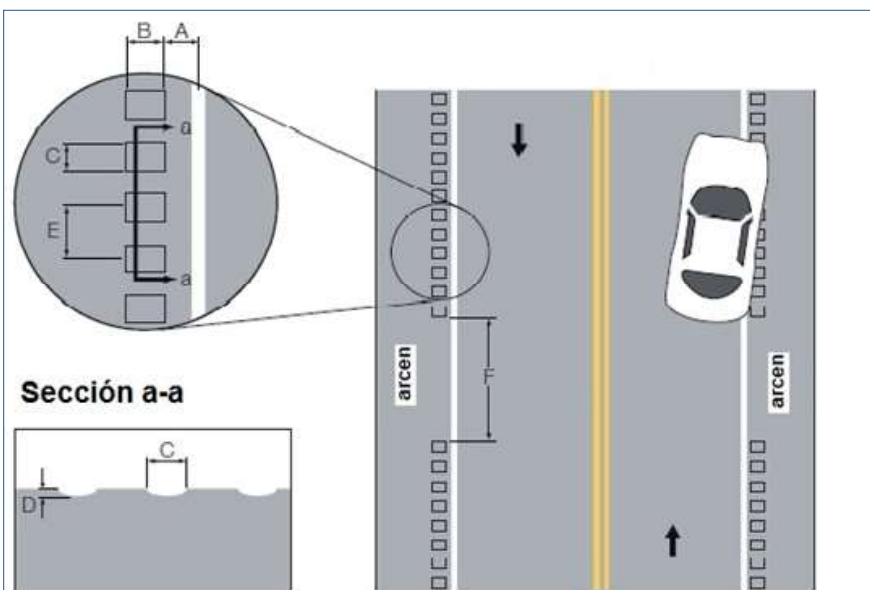


Figura 5. Dimensiones de las bandas sonoras

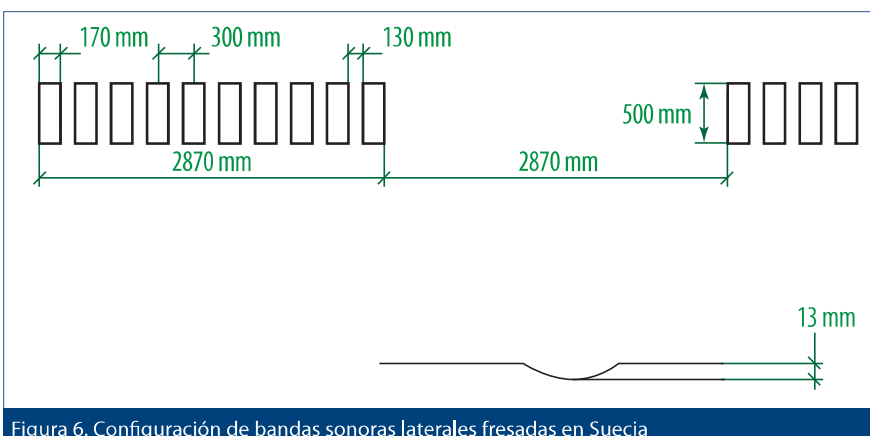


Figura 6. Configuración de bandas sonoras laterales fresadas en Suecia

Finalmente, según la implantación las bandas sonoras pueden ser:

- Continuas: si están implantadas de forma continua.
- Intermitente o discontinua: cuando una serie de marcas de una cierta longitud está separada de otra igual por una distancia en la que la superficie está lisa.

4.2 Dimensiones

Las dimensiones de las bandas sonoras dependen de las condiciones de operación, de la anchura de calzada y arcén, y de los posibles usuarios de la carretera.

Las que más influyen en el ruido y la vibración son la profundidad y la anchura en el sentido de la carretera, así como la separación entre elementos. La longitud del elemento en el sentido perpendicular a la carretera influye menos incluso para los vehículos pesados y cuanto menor sea, más espacio queda para reconducir el vehículo y para la circulación de bicicletas.

Las dimensiones más habituales son las siguientes (Figura 5):

- Longitud (B): 40 cm
- Anchura (C): 18 - 20 cm
- Profundidad o altura (D): 13 mm
- Separación-Espaciamiento (E-C): 13 cm

En las de tipo discontinuo cada grupo de 15 a 20 m se separa de otro (F) unos 15 a 18 cm.

Cuando se sitúan en el arcén la distancia a la marca vial (A) suele ser de 15 cm.

4.3 Ventajas e inconvenientes

La principal ventaja de las bandas sonoras laterales es la reducción muy importante de los accidentes por salida de la calzada, que se produce a consecuencia del ruido y la vibración que alertan al conductor de la salida de la vía. En los estudios llevados a cabo en Estados Unidos se han contrastado reducciones de este tipo de accidentes de entre un 13% y un 29% en las carreteras de calzada única y de entre un 50% y

un 70% en las de calzadas separadas [14]. Incluso si no se evita el accidente, el conductor está más preparado para asumirlo con la alerta que le ha producido la banda sonora y se reduce su gravedad.

Asimismo, en distintos estudios realizados en Suecia se ha concluido que la reducción de accidentes al usarlos es de un 27% de media [15]. La configuración que usan allí es la de la Figura 6.

En Alemania los estudios realizados han demostrado que no sólo se reducen considerablemente los accidentes por salida de calzada (un 43%) sino que también se reduce su gravedad. También que aumentaron los accidentes por vehículos que se salen de la calzada por la margen izquierda, por una corrección excesiva de la maniobra [16].

En España, las marcas viales con resaltes son las únicas recogidas en el PG3 [17], mientras que en la guía para el proyecto y la ejecución de obras de señalización horizontal del Ministerio de Fomento [18] se recogen como marcas viales especiales con efectos acústicos y mecánicos que se consiguen con botones, barritas, protuberancias o gotelé e incluso se mencionan, aunque no forma parte de la guía, las fresadas que se sitúan en el arcén fuera de la marca vial.

Además, si la banda se coloca sobre la marca vial se mejora la visibilidad nocturna sobre todo con lluvia, al poder colocar el material reflectante en la cara vertical posterior de la muesca o anterior del resalte en lugar de en un plano horizontal.

Por el contrario, los principales inconvenientes que presentan son el ruido que producen, lo que las hace inviables en zonas urbanas, y los inconvenientes que producen a los usuarios de vehículos de dos ruedas, principalmente a las bicicletas, lo que obliga a instalarlas en sitios de poco uso de éstas y en arcones de cierta anchura que permitan 90 cm al menos libre de las bandas.

En este sentido, algunos estudios en Estados Unidos [19, 20] (Moeur, 2000; Torbic et al., 2001) han llegado a las siguientes propuestas para carreteras con elevado tráfico de ciclistas:

- a) Dejar zonas sin bandas a intervalos periódicos de zonas con bandas, de forma que permiten a un ciclista cruzar al arcén sin pisar la zona rugosa y que sea lo suficientemente corta para que la pise el neumático de un vehículo que se sale de la calzada. El intervalo recomendado sin bandas sería de 3,7 m de longitud alternando con un tramo con bandas de entre 12 m y 18 m.
- b) Usar configuraciones “menos agresivas”, reduciendo los parámetros geométricos de las bandas sonoras indicados a continuación, que no solo reduce la afección a los ciclistas sino también el incremento del ruido que pasa de 10-15 dB a 6-12 dB:
 - longitud: 152 mm
 - anchura: 127 mm
 - profundidad: 10 mm
 - espaciamiento: 280 mm

Además, las bandas sonoras resaltadas plantean problemas con la maquinaria de vialidad invernal por el posible arranque por parte de éstas y las fresadas, por su parte, pueden ser el comienzo del deterioro de una zona del pavimento.

5. Normalización de los dispositivos de contención

Un aspecto importante para la concreción del concepto “*forgiving roadsides*” radica en la normalización de las características y de los criterios de disposición de los dispositivos de contención de vehículos.

En Europa la norma que establece las características de producto de los sistemas de contención para carreteras es la EN1317 [21]. Este documento define una serie de ensayos de choque a escala real para las distintas tipologías existentes de estos dispositivos

de seguridad pasiva, cuyos resultados sirven para que los fabricantes puedan declarar las prestaciones de sus productos.

La introducción de clases, niveles y criterios de aceptación para estos ensayos permiten comparar unos sistemas con otros, de forma que los proyectistas y los gestores de las carreteras puedan seleccionar los más adecuados para cada situación.

Además, la norma define el procedimiento para que los fabricantes accedan al marcado CE, el cual supone una garantía de cumplimiento del Reglamento Europeo de Productos de la Construcción (REPC). Mediante este marcado, y la correspondiente Declaración de Prestaciones, el fabricante declara cuáles son las características de comportamiento de sus productos, cuando se ensayan de acuerdo a los criterios de la norma EN 1317.

El marcado CE es obligatorio desde el 1 de enero de 2011 para poder comercializar barreras de seguridad (incluyendo pretiles) y atenuadores de impactos en los países de la Unión Europea. Para poder acceder a él, se deben efectuar los ensayos correspondientes y, además, el fabricante debe mantener un procedimiento interno de control de producción en fábrica, para garantizar que los productos que salen de sus instalaciones cumplen con las características obtenidas en dichos ensayos.

Todas las tareas del marcado CE deben ser supervisadas por Organismos Notificados, es decir, entidades de certificación independientes y especializadas, que comprueban que los ensayos de caracterización se llevan a cabo de acuerdo a los criterios de la normativa, y auditan al fabricante para vigilar que el control de producción esté correctamente implantado. En caso de cumplirse todos los requisitos, el Organismo Notificado emite el llamado Certificado de Constancia de las Prestaciones, que acompaña al marcado CE y sirve como garantía de su veracidad.

5.1 Situación actual de la norma EN1317

La norma EN1317 se compone actualmente de una serie de partes, tal y como se indica en la Tabla 2. Los tres proyectos de norma en elaboración sustituirán a la norma experimental ENV 1317-4.

La parte 5 de la norma es el documento central de la misma. En ella se definen las características que los fabricantes deben declarar de sus productos, así como los métodos para determinarlas. Además, incluye el procedimiento de evaluación de la conformidad que es necesario seguir para poder acceder al mercado CE.

Las normas de apoyo sirven para definir los ensayos de choque a escala real necesarios para obtener las prestaciones de los sistemas de contención ante impacto de vehículos. Definen distintas clases de comportamiento para cada producto, así como las configuraciones de ensayo que se deben superar para incluir a los productos en cada una de ellas. Incluyen condiciones para los vehículos, su instrumentación, la pista de ensayo, velocidades y ángulos de choque, el

procedimiento para obtener los distintos parámetros de comportamiento, la cobertura fotográfica de los ensayos y la forma de presentar los resultados.

Para productos como las transiciones entre sistemas de contención, los terminales, los sistemas para protección de motociclistas o las protecciones para peatones, las normas de aplicación son voluntarias no existiendo marcado CE para estos productos. Los distintos países no tienen la obligatoriedad de adoptar estos documentos.

La intención actual en el seno de los grupos del Comité Europeo de Normalización (CEN) encargados de la normativa sobre sistemas de contención es la de agrupar todas las partes de la norma EN1317 en un único documento, para de esta forma hacer más sencilla su lectura y aplicación y facilitar futuras revisiones.

5.2 Actividades en curso del Comité CEN/TC226/WG1

Además de la agrupación de todas las partes de la norma EN1317 en un único documento, el Comité Europeo CEN/TC 226/WG1 (sistemas de con-

tención) está trabajando actualmente en las actividades que se describen a continuación.

Revisión de la parte 5

Con esta revisión se pretende adaptar la norma al nuevo REPC, en vigor desde julio de 2013. Además, se está trabajando en la mejora de los siguientes apartados:

- Definición de los materiales de los elementos componentes de los sistemas de contención.
- Evaluación de las piezas desprendidas durante los ensayos de choque.
- Durabilidad.
- Características del terreno empleado para los ensayos de choque.
- Evaluación de los productos a los que se introduzcan cambios en el diseño.
- Empleo de los ensayos virtuales para la evaluación de determinadas modificaciones.

Terminales, transiciones y barreras desmontables

Al iniciarse la revisión de la norma experimental ENV 1317-4 para su conversión en norma EN, se coincidió en la necesidad de dividir esta norma en varios documentos independientes referentes a transiciones, terminales y barreras desmontables.

No existe actualmente consenso en cuanto a la posibilidad de que el mercado CE sea de aplicación para las transiciones, debido a la multiplicidad de situaciones que se pueden dar. Por ello, se ha decidido redactar un informe técnico que contenga métodos de evaluación y criterios de buena práctica para la conexión de sistemas de contención.

En cuanto a las barreras desmontables y los terminales, la propuesta actual es que sí sean objeto de marcado CE, una vez toda la norma sea aprobada.

Tabla 2. Partes de la norma EN 1317

EN 1317-1	Norma de apoyo (2010)	Terminología y criterios generales de ensayo
EN 1317-2	Norma de apoyo (2010)	Clases de comportamiento, métodos de ensayo y criterios de aceptación para barreras de seguridad (incluyendo pretilos)
EN 1317-3	Norma de apoyo (2010)	Clases de comportamiento, métodos de ensayo y criterios de aceptación para atenuadores de impactos
ENV 1317-4	Norma experimental (2001)	Documento voluntario, que define clases de comportamiento, métodos de ensayo y criterios de aceptación para terminales y transiciones
EN 1317-5	Norma armonizada (2012)	Requisitos de producto y evaluación de la conformidad de sistemas de contención. Incluye el Anexo ZA, relativo al Marcado CE
TR 1317-6	Informe Técnico (2012)	Documento voluntario, que define requisitos para las protecciones para peatones
TS 1317-8	Especificación Técnica (2012)	Documento voluntario, que define métodos de ensayo para sistemas para protección de motociclistas
prEN 1317-4	Proyecto de norma en elaboración	Métodos de ensayo para tramos de barrera desmontable
prEN 1317-7	Proyecto de norma en elaboración	Métodos de ensayo para terminales
—	Proyecto de norma en elaboración	Documento voluntario que incluirá métodos de evaluación de transiciones

Sistemas para protección de motociclistas

La especificación técnica TS 1317-8 define el procedimiento para la evaluación del comportamiento de los dispositivos que se incorporan a las barreras de seguridad y pretiles, con objeto de adaptarlos al choque de los motociclistas. Para estos usuarios, debido a su vulnerabilidad, existen en los márgenes de las carreteras riesgos específicos, entre los que se incluyen las propias barreras de seguridad y pretiles, tradicionalmente diseñados para la protección de los ocupantes de turismos y vehículos pesados. Se hace por ello necesaria la instalación de elementos que eviten que el motociclista choque contra la barrera o la rebase de forma que alcance obstáculos u otros riesgos existentes en el margen (Figura 7).

Distintos laboratorios europeos están llevando a cabo una intercomparación para evaluar la repetibilidad y reproducibilidad de los métodos de ensayo incluidos en

esta especificación técnica, que prácticamente coinciden con los de la norma UNE 135900. Los resultados de esta intercomparación servirán como base para la revisión de este documento y su conversión en norma EN, de forma que en el futuro los sistemas para protección de motociclistas puedan llevar el marcado CE.

- **TR 16303-1, 2, 3, 4:**

Estos informes técnicos, actualmente en revisión, se encargan de definir métodos para la modelización informática de los ensayos de choque a escala real, así como los procedimientos a seguir para su validación. También se va a comenzar a trabajar en una normativa para la acreditación de las entidades que llevan a cabo las simulaciones.

- **TS 16786 (atenuadores de impactos para camiones -TMA):**

Este documento está actualmente en fase de aprobación, y se encarga de la evaluación del comportamiento de estos productos, em-

pleados principalmente en zonas de obras.

- **Cargas en puentes:**

Se está recopilando información acerca de los métodos empleados en los distintos países para la definición de las cargas máximas que los pretiles pueden transmitir a las estructuras donde son instalados. Estas cargas deben ser aportadas por el fabricante, para que el proyectista las tenga en cuenta a la hora de calcular la estructura, de forma que los impactos de vehículos contra los pretiles no puedan dañarla.

El objetivo es redactar un informe técnico que recoja todos los métodos existentes en la actualidad.

En España existe un método de ensayo dinámico mediante péndulo para la obtención de fuerzas y momentos máximos. Este método está incluido en el documento sobre "Adecuación de sistemas de contención a puentes existentes" elaborado en el seno del Comité de Puentes de la ATC.



Figura 7. Barrera de seguridad con dispositivos de protección de motoristas

6. Conclusiones

El planteamiento sistemático de una serie de medidas de acondicionamiento de las márgenes con el fin de reducir las consecuencias de las salidas de la calzada en la medida que resulta técnica y económicamente viable es un aspecto fundamental de las actuaciones de mejora de la seguridad de las infraestructuras viarias. Para generalizar su aplicación en el conjunto de la red viaria española sería conveniente que se desarrollasen criterios de definición y tratamiento de una zona de seguridad a partir de un criterio coste-eficacia teniendo en cuenta los tipos de carreteras, las intensidades de tráfico y las velocidades de circulación, en línea con lo que se ha visto que es frecuente en la experiencia internacional.

A estos efectos, sería recomendable desarrollar un procedimiento detallado que permita considerar todos los factores que intervienen en la selección de las alternativas de tratamiento de los elementos de riesgo en las márgenes.

A la vista de los positivos resultados en cuanto a reducción de la accidentalidad por salida de la calzada que se deducen de la experiencia internacional en la implantación de distintos tipos dispositivos de alerta en el borde de las márgenes, parece indicado considerar una mayor extensión de su aplicación en las carreteras españolas.

Para los casos en que no son viables otras medidas alternativas, y se opta por la instalación de sistemas de contención, el empleo de productos certificados de acuerdo a la normativa europea en vigor permite predecir cuál será el comportamiento en caso de choque, aportando por ello mayor garantía de protección.

7. Referencias bibliográficas

[1] Stonex, K. A. ; *Roadside Design for Safety*; Highway research board

proceedings Vol. 39; Transportation Research Board, Washington DC, 1960.

[2] Ministerio del Interior; *Anuario Estadístico de Accidentes 2013*; Dirección General de Tráfico, Madrid, 2014.

[3] AASHTO; *Highway Design and Operational Practice Related to Highway Safety*; American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington DC, 1967.

[4] AASHTO; *Roadside Design Guide*; American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 2011.

[5] CEDR; *Forgiving Roadsides Design Guide*; Conference of European Directors of Roads, París, 2013.

[6] Pardillo, J.M., Jurado, R., Domínguez, C.A.; *ICSM: un procedimiento de clasificación de las condiciones de seguridad de las márgenes de las carreteras*; Rutas 142, 2011, pp. 30-40.

[7] AASHTO; *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*; American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 2011.

[8] Austroads; *Guide to Road Design. Part 6: Roadside Design, Safety and Barriers*; Sydney, 2010.

[9] SETRA; *Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison (ICTAAL)*; Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes; Bagneux Cedex, 2000.

[10] SETRA; *Aménagement des Routes Principales*; Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes; Bagneux Cedex, 1994.

[11] Ministerio de Fomento; *Criterios de aplicación de sistemas de contención*; Dirección General de Carreteras, OC 35/2014; Madrid, 2014.

[12] FHWA; *Technical Advisory. Shoulder and Edgeline Rumble Strips*; T. 5040. 39. Revision 1; Federal Highway Administration, Washington DC, 2011.

[13] CEDR; *Bandes rugueuses médianes et laterales*; Conference of European Directors of Roads, Paris, 2010.

[14] FHWA; *Shoulder Rumble Strips. Effectiveness and Current Practice*. Wyoming Division Office; Federal Highway Administration, Washington DC, 1998.

[15] Fagerlind, H., Martinsson, J., Nitsche, P., Saleh, P., Goyat, Y., La Torre, F., Grossi, A.; *Guide for the Assessment of Treatment Effectiveness*; Project IRDES – Deliverable 2 ENR SRO1; ERANET, Luxemburgo, 2011.

[16] Hegewald, A.; *Safety Effects and Cost Benefit of Milled Shoulder Rumble Strips*; European Transport Conference; Leeuwenhorst, Países Bajos, 2009.

[17] Ministerio de Fomento; *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3)*; Madrid, última actualización 2015.

[18] Ministerio de Fomento; *Guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal*; Dirección General de Carreteras, Madrid, 2012.

[19] Moeur, R.C.; *Analysis of Gap Patterns in Longitudinal Rumble Strips to Accommodate Bicycle Travel*; Transportation Research Record 1705; Transportation Research Board, Washington DC, 2000.

[20] Torbic, D., Elefteriadou, L. y El-Gindy, M.; *Development of Rumble Strip Configurations That Are More Bicycle Friendly*; Transportation Research Record 1773; Transportation Research Board, Washington DC, 2001.

[21] CEN; *EN 1317 - Road Restraint Systems*; Comité Europeo de Normalización, Bruselas. ❖



Cuando necesitamos eliminar hormigón:



más de 10 años de experiencia preparando soportes para:
juntas, pretilas, ampliaciones, reparación...

Toledo-Spain +34 925 533 573

