



Asociación  
Española de la  
Carretera



MINISTERIO  
DEL INTERIOR

*Dirección Gral.  
de Tráfico*



# Manual de buenas prácticas para el diseño de márgenes de carreteras convencionales



**Asociación  
Española de la  
Carretera**



MINISTERIO  
DEL INTERIOR

**Dirección Gral.  
de Tráfico**

# Manual de buenas prácticas para el diseño de márgenes de carreteras convencionales

*autores:*

**Jacobo Díaz Pineda  
Lourdes Díaz Toribio  
Enrique Miralles Olivar  
Elena de la Peña González  
Elena del Real Suarez  
Sandro Rocci Boccaleri  
Ricardo Chicharro Sánchez**

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2. BREVE ANÁLISIS DE LA ACCIDENTALIDAD POR SALIDA DE VÍA</b>	<b>4</b>
<b>3. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS</b>	<b>7</b>
3.1. Aspectos considerados	7
3.2. Escenarios	11
<b>4. DEFINICIÓN DE PROBLEMAS ASOCIADOS A LA ACCIDENTALIDAD POR SALIDA DE VÍA</b>	<b>12</b>
4.1. Mecanismos de los accidentes	12
4.1.1. <i>El vehículo continúa rodando</i>	13
4.1.2. <i>El vehículo, fuera de control, desliza</i>	13
4.2. peligros	14
4.2.1. <i>Peligros continuos</i>	14
4.2.2. <i>Peligros discontinuos</i>	23
4.2.3. <i>Otros peligros</i>	33
<b>5. PLANTEAMIENTO GENERAL DE SOLUCIONES</b>	<b>40</b>
5.1. Estrategias	40
5.2. La zona de seguridad	42
5.2.1. <i>Identificación de sub-zonas</i>	42
5.2.2. <i>Consideraciones sobre la anchura de la zona de seguridad</i>	44
5.2.3. <i>Consideraciones sobre los arcenes</i>	46
5.2.4. <i>Consideraciones sobre la berma y otros elementos de la zona de seguridad</i>	49
5.3. fichas de soluciones	51
5.3.1. <i>Soluciones para evitar los accidentes por salida de vía</i>	52
5.3.2. <i>Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de vía</i>	66
5.3.3. <i>Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía</i>	77

<b>6. FICHAS PROBLEMA-SOLUCIÓN</b>	<b>91</b>
<b>7. FICHAS EJEMPLOS PRÁCTICOS</b>	<b>95</b>
<b>8. DIRECTRICES PARA EL ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE LAS MEDIDAS</b>	<b>132</b>
8.1. Priorización de las actuaciones basadas en el análisis beneficio-coste	132
8.2. Ejemplo de aplicación	134
8.3. Seguimiento de la evolución de la accidentalidad	137
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>138</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La sociedad española va adquiriendo una alta concienciación de que la seguridad vial y la reducción del número de accidentes en las carreteras son temas prioritarios. La red viaria, además de atenderse a sus propias necesidades funcionales y a los condicionantes ambientales, debe estar proyectada, construida, explotada y conservada de manera que proporcione a sus usuarios un entorno seguro, capaz incluso de reducir las consecuencias de sus errores en la conducción. En particular, debe contribuir a:

- Reducir la frecuencia de los siniestros (seguridad primaria).
- Reducir al mínimo las consecuencias y la gravedad de los que lleguen a ocurrir (seguridad secundaria).

Entre los tipos de siniestro destacan los que afectan a un solo vehículo, sin intervención de los demás usuarios. Si el conductor de este vehículo pierde su control (por distracción, somnolencia o cualquier otra causa) y se sale de la plataforma de circulación (por cualquiera de sus dos lados), es claramente deseable que pueda seguir circulando sobre superficies que permitan su detención, sin chocar con obstáculos ni volcar. La capacidad de recuperación del control del vehículo se ve muy afectada por la inclinación de la margen de la plataforma y por la presencia en ella de discontinuidades en su diseño, ya sean geométricas o de capacidad de soporte.

En el año 2008, el 47% de los accidentes con víctimas en carreteras fueron colisiones entre vehículos, seguidos, por los accidentes por salida de vía, que suponen un 40% del total.

El mayor porcentaje de fallecidos en accidente de carretera en el año 2009 corresponde a aquellos fallecidos en accidente por colisión de vehículos en marcha con un 42%, seguido por los fallecidos en **accidentes por salida de calzada con un 39%**.

En los años sesenta se realizaron los primeros estudios formales para intentar comprender este tipo particular de accidentes. Se plantearon tres principios básicos:

1. En primer lugar, es deseable mantener el vehículo dentro de la plataforma.
2. Adicionalmente, es preciso recolocar, acondicionar o proteger obstáculos potencialmente peligrosos para los vehículos que se salgan de la plataforma.
3. En última instancia, hay que minimizar la gravedad de los siniestros por salida de la calzada.

Los obstáculos en las márgenes de la carretera dan lugar a accidentes graves, especialmente en cuanto a la mortalidad. La siguiente tabla, que contiene unos datos franceses de 1988, es bien expresiva de ello: en especial el papel destacado de los choques contra árboles.

TIPO DE OBSTÁCULO	ACCIDENTES	MUERTOS	HERIDOS	MUERTOS / ACCIDENTE (%)
Construcciones	1 484 (12 %)	225 (11 %)	2 091 (13 %)	15,2
Bordillos	641 (5 %)	87 (4 %)	872 (5 %)	13,6
Árboles	3 349 (27 %)	841 (43 %)	4 338 (26 %)	25,1
Postes de servicios	1 137 (9 %)	194 (10 %)	1 535 (9 %)	17,1
Otros postes y señalización	688 (6 %)	74 (4 %)	955 (6 %)	10,8
Otros obstáculos fijos	3 656 (30 %)	415 (21 %)	5 083 (31 %)	11,4
Barreras de seguridad	1 260 (19 %)	122 (6 %)	1 664 (10 %)	9,7
<b>TOTAL</b>	<b>12 215</b>	<b>1 958</b>	<b>16 538</b>	<b>16,0</b>

Tabla 1. Estudio francés sobre tipos de obstáculos (1988).

## 2. BREVE ANÁLISIS DE LA ACCIDENTALIDAD POR SALIDA DE VÍA

En este capítulo se incluye un breve análisis de accidentalidad por salida de vía en carreteras, a falta de datos específicos para carreteras convencionales.

En el año 2009, el 47% de los accidentes con víctimas en carretera corresponden a colisiones de vehículos en marcha, seguido por los **accidentes por salida de calzada con un 40%**.

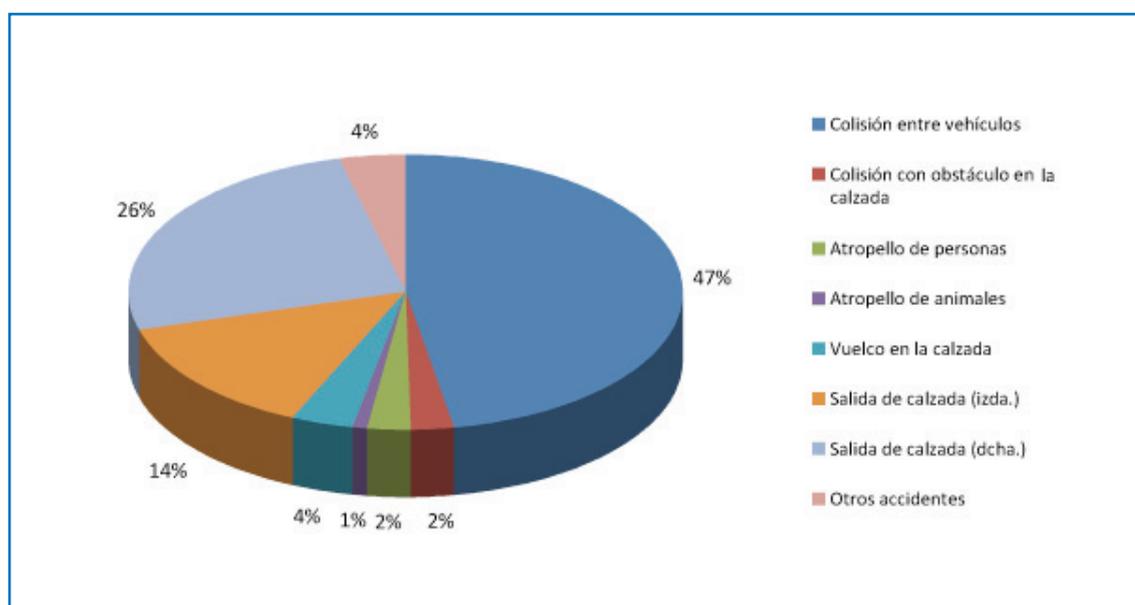


Gráfico 1. Tipología de accidentes con víctimas en carretera. Año 2009.

Fuente: Anuario Estadístico de Accidentes. Dirección General de Tráfico.

Nota: El cómputo de muertos se realiza a 30 días.

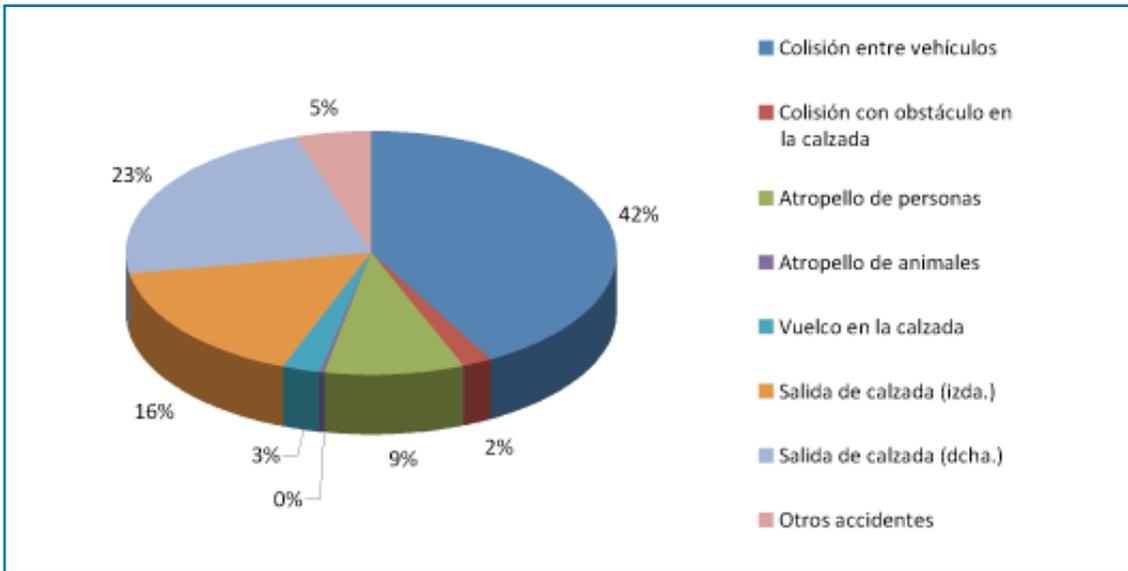


Gráfico 2. Fallecidos en función del tipo de accidente en carretera. Año 2009.

Fuente: Anuario Estadístico de Accidentes. Dirección General de Tráfico.

Nota: El cómputo de muertos se realiza a 30 días.

El mayor porcentaje de fallecidos en accidente de carretera en el año 2009 corresponde a aquellos fallecidos en accidente por colisión de vehículos en marcha con un 42%, seguido por los fallecidos en **accidentes por salida de calzada con un 39%**.

El mayor porcentaje de heridos graves en carretera en el año 2.009 corresponde a aquellos producidos por colisión de vehículos en marcha con un 46%, seguido por los producidos en **accidentes por salida de calzada con un 38%**.

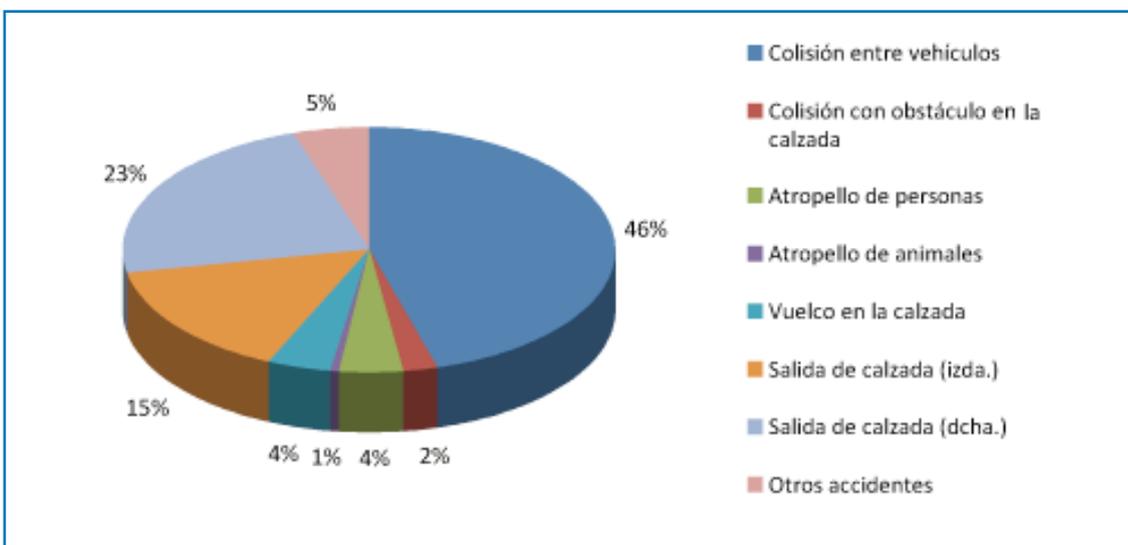


Gráfico 3. Heridos graves en función del tipo de accidente en carretera. Año 2009.

Fuente: Anuario Estadístico de Accidentes. Dirección General de Tráfico.

Nota: El cómputo de muertos se realiza a 30 días.

En el año 2009 tuvieron lugar un total de 40.789 accidentes con víctimas en las carreteras españolas, de los que un 40% fueron debidos a salidas de la calzada (por la izquierda y por la derecha). En el siguiente gráfico se muestra la evolución de los accidentes por salida de la calzada en el periodo 2000 – 2009:

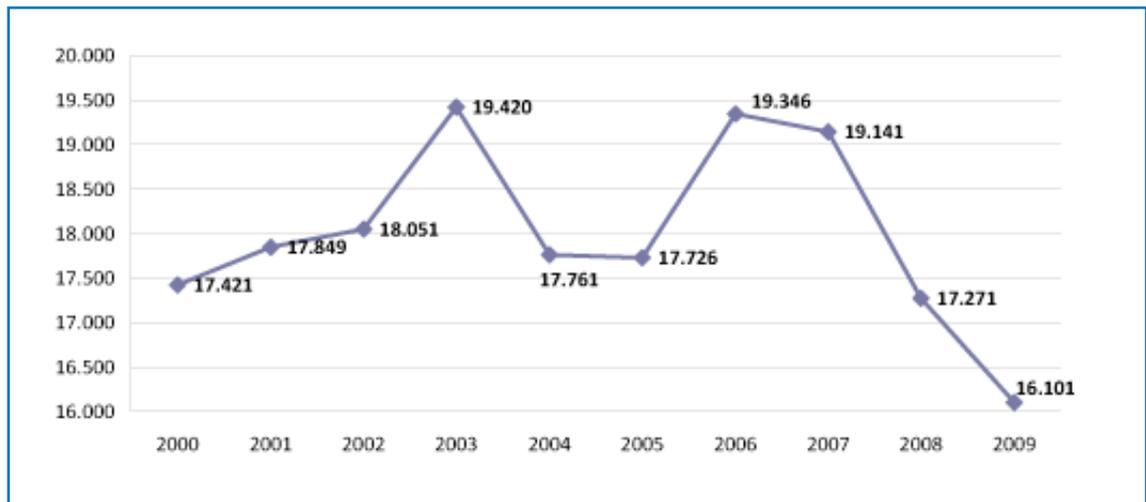


Gráfico 4. Accidentes por salida de vía en carretera. Evolución 2000-2009.

Fuente: Anuario Estadístico de Accidentes. Dirección General de Tráfico.

Como consecuencia de los accidentes por salida de vía, en el periodo 2000 – 2009 fallecieron un total de 13.862 personas y 257.465 personas resultaron heridas de diferente consideración.

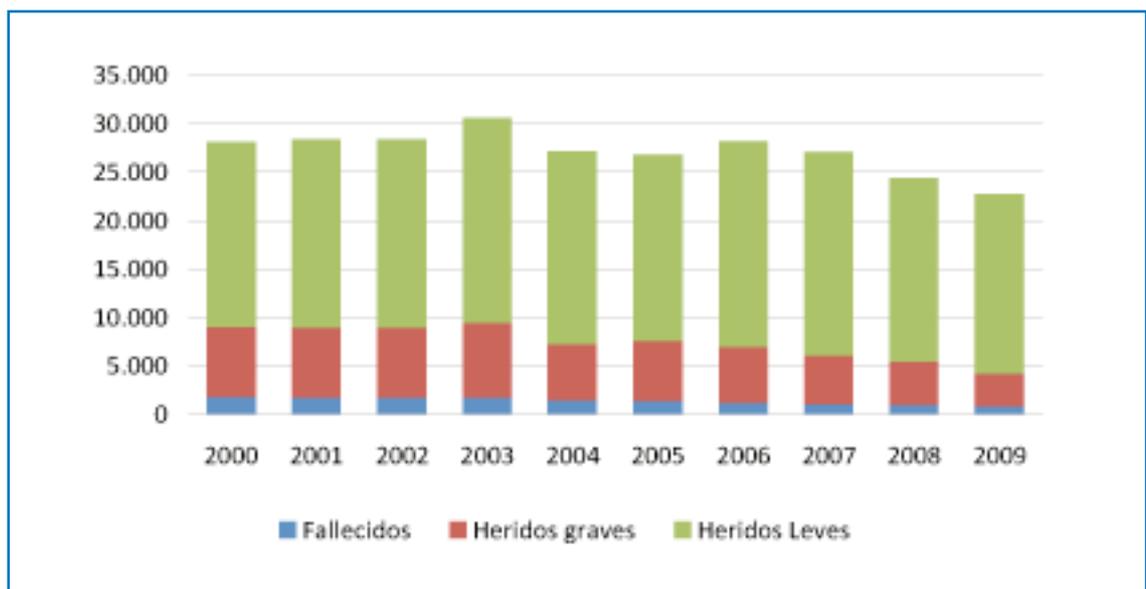


Gráfico 5. Víctimas en accidentes por salida de vía en carretera. Año 2009.

Fuente: Anuario Estadístico de Accidentes. Dirección General de Tráfico.

El 51 % de las salidas de vía tienen como consecuencia el choque contra algún elemento situado en el margen de la vía, como árboles, postes, muros, edificios, cunetas o bordillos. Este dato es seguido en importancia por los accidentes causados por el vuelco de los vehículos que abandonan la vía (un 23% de los casos).

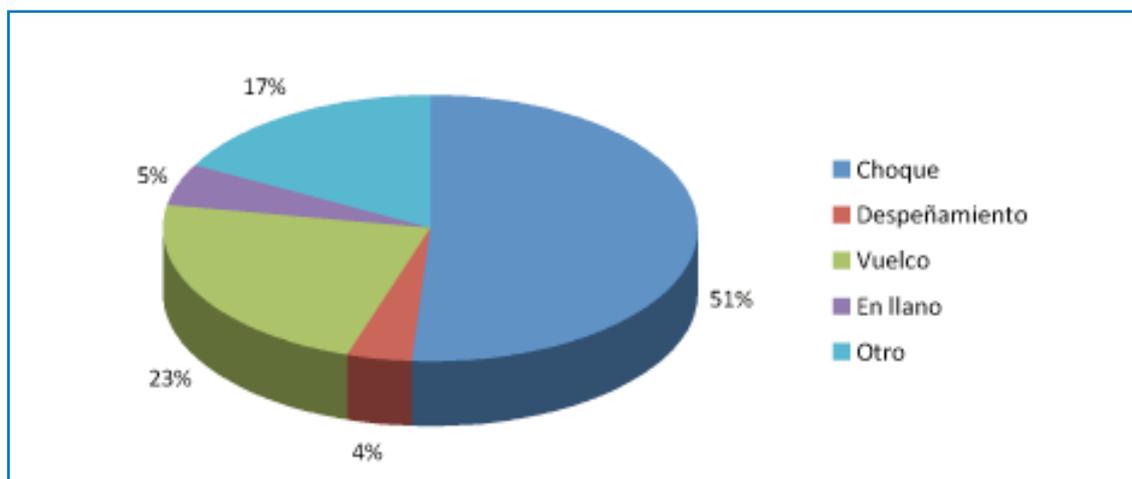


Gráfico 6. Distribución porcentual de accidentes por salida de vía en carretera. Año 2009.

Fuente: Anuario Estadístico de Accidentes. Dirección General de Tráfico.

Las razones por las que un vehículo puede abandonar la calzada y sufrir un accidente son variadas, pudiendo ser debidas, entre otras, al propio conductor (fatiga, distracción, influencia del alcohol), al vehículo (fallos mecánicos) o al entorno (condiciones climáticas, evitar accidentes, visibilidad reducida).

### 3. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Antes de enunciar los aspectos que se tendrán en cuenta para la definición de escenarios, conviene llevar a cabo una distinción entre ambos términos:

- **ASPECTOS:** variables independientes consideradas para caracterizar las condiciones de accidentalidad, funcionalidad, tráfico, velocidad, orográficas y climatológicas de cada carretera.
- **ESCENARIO:** combinación de las variables independientes de cada aspecto que caracterizan una carretera.

#### 3.1. Aspectos Considerados

A continuación se indican los seis aspectos considerados para la definición de escenarios.

1. ACCIDENTALIDAD.
2. FUNCIONALIDAD.
3. COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO.
4. VELOCIDAD.
5. CONDICIONANTES OROGRÁFICOS.
6. CONDICIONANTES CLIMÁTICOS.

## 1. ACCIDENTALIDAD

Con el fin de caracterizar las carreteras en función de la accidentalidad por salida de vía registrada en las mismas, se definirá un Índice de Peligrosidad por Salida de Vía ( $IP_{SV}$ ):

$$IP_{SV} = \frac{ACV_{SV} \times 10^8}{IMD \times L \times 365}$$

Donde:

- $IP_{SV}$ : Índice de Peligrosidad por Salida de Vía en el tramo considerado.
- $ACV_{SV}$ : número de accidentes con víctimas por salida de vía en el tramo considerado.
- $IMD$ : Intensidad Media Diaria (veh/día) en el tramo considerado.
- $L$ : Longitud del tramo considerado.

Así, se definen 4 rangos en función de la probabilidad de sufrir un accidente por salida de calzada (ordenados de mayor a menor probabilidad):

RANGO ACCIDENTALIDAD	CONDICIÓN
RA1 (MUY ALTO)	$IP_{SV}^{tramo} \geq 2 \times IP_{SV}^{medio \text{ de tramos homogéneos}}$
RA2 (ALTO)	$1,5 \times IP_{SV}^{medio \text{ de tramos homogéneos}} \leq IP_{SV}^{tramo} \leq 2 \times IP_{SV}^{medio \text{ de tramos homogéneos}}$
RA3 (MEDIO)	$IP_{SV}^{medio \text{ de tramos homogéneos}} \leq IP_{SV}^{tramo} \leq 1,5 \times IP_{SV}^{medio \text{ de tramos homogéneos}}$
RA4 (BAJO)	$IP_{SV}^{tramo} \leq IP_{SV}^{medio \text{ de tramos homogéneos}}$

**Tabla 2. Rangos de accidentalidad por salida de vía.**

Por lo tanto existirán 4 niveles o rangos para clasificar las carreteras convencionales, comparando el Índice de Peligrosidad por Salida de Vía del tramo analizado con el Índice de Peligrosidad Medio por Salida de Vía en tramos homogéneos al tramo objeto de estudio.

## 2. FUNCIONALIDAD

Las vías convencionales podrán ser clasificadas por su funcionalidad según se muestra en la siguiente tabla.

RANGO FUNCIONALIDAD	CONDICIÓN
RF1	Tráfico de largo recorrido
RF2	Acceso a vías de largo recorrido
RF3	Vías locales que comunican pequeñas poblaciones

**Tabla 3. Rangos de funcionalidad de la vía.**

### 3. COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO

La intensidad y composición del tráfico, así como la presencia de usuarios vulnerables puede condicionar en gran medida el tipo de medida escogida para tratar de evitar los accidentes por salida de calzada.

Por ello, se definen 4 rangos para caracterizar las carreteras en función de la composición e intensidad de su tráfico.

RANGO COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO	CONDICIÓN
RT1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidades de tráfico muy elevadas (<math>\geq 10.000</math> veh/día)</li> <li>• Muy alto porcentaje de vehículos pesados (<math>\geq 15\%</math>)</li> <li>• Usuarios vulnerables:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motos (frecuente-muy frecuente)</li> <li>• Bicicletas (moderado-frecuente)</li> <li>• Peatones (muy escaso – despreciable)</li> </ul> </li> </ul>
RT2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidades de tráfico moderadas-altas (5.000 – 10.000 veh/día)</li> <li>• Alto porcentaje de vehículos pesados (10% - 15%)</li> <li>• Usuarios vulnerables:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motos (frecuente)</li> <li>• Bicicletas (frecuente)</li> <li>• Peatones (escaso)</li> </ul> </li> </ul>
RT3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidades de tráfico moderadas (1.000 – 5.000 veh/día)</li> <li>• Moderado porcentaje de vehículos pesados (5% - 10%)</li> <li>• Usuarios vulnerables:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motos (moderado-frecuente)</li> <li>• Bicicletas (muy frecuente)</li> <li>• Peatones (significativo)</li> </ul> </li> </ul>
RT4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidades de tráfico bajas (<math>&lt;1.000</math> veh/día)</li> <li>• Bajo porcentaje de vehículos pesados (0 - 5%)</li> <li>• Usuarios vulnerables:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motos (ocasional)</li> <li>• Bicicletas (muy frecuente)</li> <li>• Peatones (frecuente-habitual)</li> </ul> </li> </ul>

**Tabla 4. Rangos de composición del tráfico.**

NOTA: en caso de que la vía objeto de estudio presente características pertenecientes a distintos rangos, se escogerá el rango más restrictivo (aquel que presente mayores valores en una determinada variable).

#### 4. VELOCIDAD

A la hora de estudiar una vía convencional no siempre se dispondrá de los datos sobre la velocidad de recorrido de los vehículos en un tramo específico de la misma. La siguiente clasificación se tendrá en cuenta para aquellos casos en los que se disponga de la información necesaria.

La consistencia en el diseño es un valor crítico que puede explicar gran parte de la accidentalidad asociada a las salidas de calzada, especialmente en tramos en curva.

A continuación se indican 3 rangos para caracterizar tramos de carreteras en función de la consistencia del diseño, para lo cual se comparará la velocidad de diseño ( $V_d$ ) de la vía con la velocidad del percentil 85,  $V_{85}$  (velocidad únicamente superada por el 15% de los vehículos).

RANGO VELOCIDAD	CONDICIÓN
RV1 (Consistencia mala)	$ V_{85} - V_d  > 20$ km/h
RV2 (Consistencia aceptable)	$10 <  V_{85} - V_d  \leq 20$
RV3 (Consistencia buena)	$ V_{85} - V_d  \leq 10$

Tabla 5. Rangos de velocidad.

#### 5. CONDICIONANTES OROGRÁFICOS

La orografía por la que discurre la carretera también puede ser determinante en la elección de la solución, ya que no existe el mismo peligro en una zona de alta montaña que en un terreno llano, a lo que hay que añadir el elevado coste de las actuaciones en terrenos accidentados.

Con el fin de facilitar la identificación de la orografía por la que discurre la carretera analizada, se clasificará el terreno como "llano", "ondulado" o "montañoso", en función de las pendientes medias del tramo objeto de estudio.

RANGO OROGRAFÍA	CONDICIÓN
RO1	• MONTAÑOSO (pendiente media superior al 5%)
RO2	• ONDULADO (pendiente media entre el 2% y el 5%)
RO3	• LLANO (tramos con pendiente media inferior al 2%)

Tabla 6. Rangos condicionantes orográficos.

## 6. CONDICIONANTES CLIMÁTICOS

La tabla 6 recoge los rangos establecidos para clasificar las carreteras atendiendo a los condicionantes climáticos que las afectan. Para simplificar el número de variables y escenarios, se han escogido como parámetros la altura media de precipitación anual y el número medio anual de días de precipitación (para escoger el rango, se utilizará el dato disponible. En caso de que se disponga de ambos datos, se escogerá el rango que indique mayor precipitación).

RANGO CLIMA	CONDICIÓN	
	ALTURA MEDIA DE PRECIPITACIÓN ANUAL	Nº MEDIO ANUAL DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN > 0,1mm
RC1 (Precipitación muy alta)	> 2.000 mm	>120 días
RC2 (Precipitación alta)	1.000-2.000 mm	80-120 días
RC3 (Precipitación moderada)	500-1.000 mm	40-80 días
RC4 (Precipitación baja)	0-500 mm	0-40 días

Tabla 7. Rangos condicionantes climáticos.



Ilustración 1. Número medio anual de días de precipitación > 0,1 mm.



Ilustración 2. Altura media de la precipitación – año.

Fuente: Atlas Climático de España.

### 3.2. Escenarios

En este apartado se incluye una tabla-resumen con los rangos existentes para cada uno de los aspectos valorados. Cualquier combinación de dichos rangos constituirá un escenario. Los escenarios se pueden clasificar en:

- **ESCENARIOS “TIPO 1”:** se caracterizan por presentar accidentalidad por salida de vía muy elevada, con consistencia inadecuada en el diseño.
- **ESCENARIOS “TIPO 2”:** se caracterizan por presentar accidentalidad por salida de vía elevada, con posible falta de consistencia en el diseño y alto porcentaje de vehículos pesados.

- **ESCENARIOS “TIPO 3”**: se caracterizan por presentar accidentalidad por salida de vía moderada, orografía ondulada o montañosa y presencia de usuarios vulnerables.
- **ESCENARIOS “TIPO 4”**: cualquier otra combinación.

	RANGOS ACCIDENTALIDAD	RANGOS FUNCIONALIDAD	RANGOS COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO	RANGOS VELOCIDAD	RANGOS OROGRAFÍA	RANGOS CLIMATOLOGÍA
RANGOS	RA1	RF1	RT1	RV1	RO1	RC1
	RA2	RF2	RT2	RV2	RO2	RC2
	RA3	RF3	RT3	RV3	RO3	RC3
	RA4		RT4			RC4

Tabla 8. Tabla-Resumen rangos.

A continuación se muestran posibles combinaciones de rangos para cada Escenario:

ESCENARIOS	RANGOS ACCIDENTALIDAD				RANGOS FUNCIONALIDAD			RANGOS COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO				RANGOS VELOCIDAD			RANGOS OROGRAFÍA			RANGOS CLIMATOLOGÍA			
TIPO 1	RA1	RA2	RA3	RA4	RF1	RF2	RF3	RT1	RT2	RT3	RT4	RV1	RV2	RV3	RO1	RO2	RO3	RC1	RC2	RC3	RC4
TIPO 2	RA1	RA2	RA3	RA4	RF1	RF2	RF3	RT1	RT2	RT3	RT4	RV1	RV2	RV3	RO1	RO2	RO3	RC1	RC2	RC3	RC4
TIPO 3	RA1	RA2	RA3	RA4	RF1	RF2	RF3	RT1	RT2	RT3	RT4	RV1	RV2	RV3	RO1	RO2	RO3	RC1	RC2	RC3	RC4
TIPO 4	RA1	RA2	RA3	RA4	RF1	RF2	RF3	RT1	RT2	RT3	RT4	RV1	RV2	RV3	RO1	RO2	RO3	RC1	RC2	RC3	RC4

Tabla 9. Tipos de Escenarios.

## 4. DEFINICIÓN DE PROBLEMAS ASOCIADOS A LA ACCIDENTALIDAD POR SALIDA DE VÍA

### 4.1. Mecanismos de los accidentes

Un mejor conocimiento de los mecanismos de los accidentes por salida de la plataforma permite entender mejor las medidas técnicas para hacer que los márgenes de las carreteras resulten clementes.

Una salida de la plataforma a la margen no significa, por sí sola, que resulte inevitable un siniestro. Aunque siempre hay un cierto riesgo, las probabilidades de recuperar el control del vehículo son muy buenas si la margen está razonablemente lisa, sin grandes pendientes y exenta de obstáculos y otros elementos no franqueables. Esas probabilidades disminuyen al aumentar la inclinación transversal y reducirse el espacio disponible.

La mayoría del conocimiento acerca de lo que ocurre en las márgenes de las carreteras sigue siendo de naturaleza cualitativa, y sólo se ha intentado desarrollar modelos integrales de accidentes.

#### 4.1.1. El vehículo continúa rodando

Si el conductor de un vehículo que circula por el carril contiguo a uno de los arcenes sufre un desvanecimiento o una distracción que le prive del control de la dirección, y el vehículo sigue a la misma velocidad, empezará a describir una trayectoria de curvatura variable (una clotoide de parámetro  $A$ ), debida al giro (a velocidad uniforme) de las ruedas directrices.

Al final de su recorrido, el vehículo habrá alcanzado una distancia  $y_p$  (m) respecto del borde de la plataforma, y habrá variado su rumbo en un ángulo  $\alpha_L$  (rad), que valdrá:

$$\alpha_L = \frac{\left(\frac{L}{A}\right)^2}{2} \approx \frac{\left(\frac{x_L}{A}\right)^2}{2}$$

siendo  $L$  la longitud de la clotoide y  $x_L$  la abscisa de su punto final.

En todo punto del recorrido, el rozamiento transversal movilizado con el terreno será inferior a la resistencia  $\mu_t$  al deslizamiento transversal; pues si no el vehículo habría deslizado. Suponiendo que la resistencia al deslizamiento se alcanza precisamente en el punto final del recorrido.

$$x_L \approx 127 \cdot \mu_t \cdot \left(\frac{A}{V}\right)^2$$

y admitiendo la simplificación de la clotoide a la parábola cúbica

$$y_p \approx \frac{x_L^3}{6 \cdot A^2} - \left(\frac{c}{2} + a\right)$$

siendo  $c$  la anchura del carril y  $a$  la del arcén, resulta:

$$x_L \approx V \cdot \sqrt{\frac{y_p + \left(\frac{c}{2} + a\right)}{\frac{127}{6} \cdot \mu_t}}$$

Dado un valor del apartamiento  $y_p$ , de él se deducen tanto el de  $x_L$  como el de  $A$  y el de  $\alpha_L$ .

#### 4.1.2. El vehículo, fuera de control, desliza

A partir del punto en el que se produce el deslizamiento (el extremo de la clotoide), se puede establecer un vector tangente a la trayectoria, cuyo módulo esté representado por la distancia de detención a partir de la velocidad en dicho punto, movilizándolo un rozamiento con el terreno del orden de 0,50 para vehículos ligeros, y 0,17 para vehículos pesados. El extremo de este vector representa el punto más alejado de la plataforma que puede alcanzar un vehículo fuera de control.

## 4.2. Peligros

### 4.2.1. Peligros continuos

Este grupo recoge todos aquellos peligros que se presentan a lo largo de la calzada durante una longitud considerable.

Nº DE FICHA	PELIGROS CONTINUOS
PC1	Cunetas
PC2	Desmontes y Terraplenes
PC3	Puentes, viaductos y coronaciones de muros de sostenimiento
PC4	Lateral de piedra natural
PC5	Bordillos
PC6	Muros, pantallas anti-ruido y similares
PC7	Ausencia de marcas viales
PC8	Trazado de la carretera

# Peligros continuos PC1.- Cunetas

## DESCRIPCIÓN

Zanja longitudinal ubicada junto a la plataforma cuyo objetivo es facilitar el desagüe de la carretera.

## RIESGO

Pueden provocar los siguientes problemas en caso de no estar adecuadamente dimensionadas o protegidas:

- Aumentan el riesgo de vuelco de los vehículos que abandonan la calzada de forma descontrolada.
- En caso de no estar adecuadamente dimensionadas puede llegar a no cumplir su función de desagüe acumulándose agua en la calzada y aumentando el riesgo de aquaplaning.
- Al salirse el vehículo de la calzada puede introducir sus ruedas en la cuneta sirviendo esta de guía hasta el paso salva cunetas más próximo incrementándose las consecuencias de los accidentes.

## PARÁMETROS DE RIESGO

Norma 5.2-IC "Drenaje Superficial" define 4 tipos de cunetas:

1. Cuneta de seguridad.
2. Cuneta triangular.
3. Cuneta trapecial.
4. Cuneta reducida.

Una cuneta reducida, triangular o trapecial es peligrosa cuando su profundidad máxima es mayor de 15 cm. Las cunetas de seguridad nunca se consideran peligrosas, sea cual sea su profundidad.

## SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Instalación de hitos de arista para evitar la salida de los vehículos de la calzada.
- Marcas viales con resaltos.
- Protección de cunetas mediante el uso de rellenos de grava o la implantación de un caz longitudinal.
- Rediseño de desagües y drenajes.
- Rediseño / reubicación de pasos salva cunetas.
- Instalación de picos de flauta.
- Mejora de las actividades de mantenimiento con el fin de evitar la colmatación de las cunetas y el consiguiente posible acumulo de agua en la calzada y el riesgo de accidente por aquaplaning.
- Utilización de pavimento drenante.
- Mantenimiento de la vegetación del margen de la carretera.
- Pintado de marcas viales que sirvan de guía a los conductores, especialmente en momentos de escasa visibilidad.

## IMAGEN



## Peligros continuos PC2.- Desmontes y terraplenes

### DESCRIPCIÓN

Un terraplén es un talud constituido por material de relleno para compensar el desnivel existente en los márgenes de una carretera. Un desmonte es un talud creado cuando un tramo de carretera atraviesa una colina o elevación en el terreno.

### RIESGO

Resultan peligrosos en la medida que pueden provocar el vuelco de los vehículos que salgan incontroladamente de la calzada y la caída de rocas y /o tierras en la calzada.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Recuperables, aquellos terraplenes con pendientes 1:4 o menores.
- No recuperables pero franqueables: los taludes comprendidos entre 1:3 y 1:4 .
- Críticos: los taludes mayores de 1:3.

En los taludes críticos el riesgo de vuelco se incrementa de manera sustancial.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Aumentar el talud de los desmontes y terraplenes de manera que sean remontables por los vehículos.
- Creación de una zona de almacenamiento de los materiales desprendidos.
- Instalación de barreras de seguridad.
- Protección de taludes mediante mallas, guarnecido, plantaciones, etc.
- Pintado de marcas viales que sirvan de guía a los conductores, especialmente en momentos de escasa visibilidad.

### IMAGEN



## Peligros continuos

### PC3.- Puentes, viaductos y coronaciones de muros de sostenimiento

#### DESCRIPCIÓN

Los puentes y los viaductos son construcciones artificiales que permiten salvar accidentes geográficos, como ríos, permitiendo el paso sobre el mismo.

Los muros de sostenimiento son obras de fábrica construidas para mantener en su posición los taludes de las excavaciones y los terraplenes.

#### RIESGO

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.

El riesgo de despeñamiento puede resultar muy grave, tanto para los ocupantes del vehículo como para terceros.

#### PARÁMETROS DE RIESGO

En todos los casos el riesgo de despeñamiento es elevado.

#### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Mejora de los pretilos y barreras de contención.
- Aumentar las actividades de mantenimiento con el fin de evitar el deterioro de los elementos.
- Instalación de resaltos en las marcas viales que avisen al conductor antes de producirse la salida de la vía.
- Instalación de pavimentos antideslizantes.
- Disminución de la velocidad de los vehículos que recorren el puente o viaducto mediante la instalación de resaltos, bandas transversales de alerta, etc.
- Pintado de marcas viales. Adecuada protección de estribos de puentes y viaductos.

#### IMAGEN



## Peligros continuos PC4.- Lateral de piedra natural

### DESCRIPCIÓN

Carreteras en las una de sus márgenes o las dos, en el caso de carreteras en trincheras, es un talud de piedra natural cuya inclinación es prácticamente vertical.

### RIESGO

Las laderas de piedra natural constituyen frecuentemente un peligro por su perfil irregular que puede provocar el vuelco, rebote o enganchamiento del vehículo.

### PARÁMETROS DE RIESGO

En todos los casos este tipo de ladera resulta peligroso en caso de accidente por salida de calzada.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Pintado de marcas viales.
- Instalación de captafaros.
- Resaltos en marcas viales.
- Utilización de pavimentos antideslizantes.
- Instalación de barreras de seguridad.

### IMAGEN



## Peligros continuos PC5.- Bordillos

### DESCRIPCIÓN

Los bordillos se utilizan frecuentemente para el control del drenaje, delineación de la calzada, canalizaciones, separación entre la acera y el pavimento y reducción de las operaciones de conservación.

### RIESGO

No es deseable la utilización de los bordillos en carreteras en las que se pueden alcanzar velocidades elevadas, ya que, en el caso de que un vehículo abandone la calzada e impacte contra ellos, se puede producir el rebote o el vuelco del mismo. No es conveniente su instalación delante de 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. En cualquier caso, todas las combinaciones bordillo-barrera (relativamente frecuentes en puentes) deben ser probadas en un laboratorio de ensayos. Los bordillos son especialmente peligrosos para los motociclistas que, en caso de choque, pueden desestabilizar sus vehículos provocando la pérdida de control y el posterior accidente.

### PARÁMETROS DE RIESGO

En general, se consideran peligrosos los bordillos cuya altura supere los 15 cm. ya que pueden provocar el rebote del vehículo ligero y el vuelco del pesado.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Eliminación del bordillo.
- Pintado de marcas viales.
- Instalación de captafaros.
- Resaltos en marcas viales.

Instalación de barreras de seguridad anteriores al bordillo.

### IMAGEN



## Peligros continuos PC6.- Muros, pantallas anti-ruido y similares

### DESCRIPCIÓN

Las pantallas antirruído y similares se utilizan para disminuir el impacto sonoro de la infraestructura viaria en las zonas próximas a la misma.

### RIESGO

Las pantallas antirruído 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.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Son consideradas un peligro en toda su longitud independientemente de su altura.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Pintado de marcas viales.
- Instalación de captafaros.
- Resaltos en marcas viales.
- Instalación de barreras de seguridad anteriores al muro.

Si es posible, se recomienda la eliminación del muro o su cambio de ubicación, de manera que en caso de producirse una salida de vía, el conductor del vehículo disponga de un espacio suficiente para recuperar el control del mismo antes de impactar.

### IMAGEN



## Peligros continuos PC7.- Ausencia de marcas viales

### DESCRIPCIÓN

Son líneas o figuras, aplicadas sobre el pavimento, que tienen por misión satisfacer una o varias de 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, repetir o recordar una señal vertical, permitir los movimientos indicados, y anunciar, guiar y orientar a los usuarios.

### RIESGO

La ausencia de marcas viales en la carretera aumenta el riesgo de que los vehículos sufran un accidente y abandonen la calzada, especialmente en condiciones de escasa visibilidad, al carecer de referencias para la circulación.

### PARÁMETROS DE RIESGO

La ausencia de marcas viales es considerada un peligro en toda la longitud de vía afectada.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Delimitación de los márgenes de la carretera: Hitos de arista, paneles direccionales en curvas, marcas viales, captafaros, resaltos en marcas viales, marcado reflectante de árboles.
- Establecer una zona de seguridad.

### IMAGEN



## Peligros continuos PC8.- Trazado de la carretera

### DESCRIPCIÓN

El trazado es el diseño del recorrido de la carretera sobre el terreno, obtenido de diseños previos en planta, alzado y sección transversal y de una coordinación entre todos ellos. El trazado determinado debe proporcionar unas características adecuadas de funcionalidad, seguridad y comodidad de la circulación compatibles con consideraciones económicas y ambientales.

### RIESGO

Una incorrecta geometría de la carretera, con carriles demasiado estrechos, curvas mal calculadas, exceso en el número de accesos o mala ubicación de los mismos, etc. aumenta el riesgo de que los vehículos sufran accidentes y salgan de forma incontrolada de la calzada, especialmente con velocidades de circulación elevadas.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Los parámetros a partir de los cuáles es peligroso el trazado se determinan en la norma 3.1-IC. Trazado de la Instrucción de Carreteras.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Reducción del número de accesos e intersecciones.
- Mejora de la geometría de las curvas horizontales.
- Utilización de pavimentos antideslizantes.
- Delimitación de los márgenes de la carretera: Hitos de arista, paneles direccionales en curvas, marcas viales, captafaros, resaltos en marcas viales, marcado reflectante de árboles.

### IMAGEN



#### 4.2.2. Peligros discontinuos

Este grupo recoge todos aquellos peligros que se presentan a lo largo de la carretera de forma puntual.

Nº DE FICHA	PELIGROS DISCONTINUOS
PD1	Árboles
PD2	Rocas
PD3	Pasos salvacunetas
PD4	Luminarias
PD5	Postes de señalización y líneas aéreas (teléfono, electricidad)
PD6	Pilares y estribos de puentes
PD7	Extremos de barrera agresivos
PD8	Transiciones entre barreras de seguridad
PD9	Edificaciones

## Peligros discontinuos PD1.- Árboles

### DESCRIPCIÓN

La existencia de árboles en las proximidades de la traza de la carretera es mayor en las carreteras convencionales.

### RIESGO

El análisis estadístico de los accidentes por salida de calzada llevado a cabo en los 9 países analizados en el proyecto Riser determinó que la mayoría (28%) se producen por choques contra árboles.

Distintos estudios han demostrado que las colisiones con árboles a velocidades mayores de 70 Km/h provocan víctimas mortales en la mayoría de los casos

Además, los árboles próximos a la vía pueden reducir la visibilidad en curvas e intersecciones.

### PARÁMETROS DE RIESGO

En los márgenes de carreteras, los árboles se consideran peligrosos cuando su diámetro es superior a 15 cm.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- En los casos en los que sea posible trasplantar el árbol separándolo de la calzada, de manera que se aumente el espacio del que dispone el conductor para recuperar el control del vehículo en caso de abandono involuntario de la vía.
- Marcado reflectante de los árboles.
- Instalación de barreras de contención.
- Pintado de marcas viales en la carretera que sirvan de guía a los vehículos.
- Instalación de captafaros, para facilitar la conducción cuando la iluminación no sea suficiente.
- Resaltos en las marcas viales que avisen a los conductores antes de abandonar la vía.

### IMAGEN



## Peligros discontinuos PD2.- Rocas

### DESCRIPCIÓN

Las rocas en los márgenes de las carreteras incrementan las consecuencias de los accidentes por salida de vía.

### RIESGO

Las rocas situadas próximas a la vía 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.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Las rocas situadas en los márgenes de las carreteras sin protección constituyen un peligro con independencia de su tamaño.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- En los casos en los que sea posible, se deben retirar las rocas situadas en las proximidades de la calzada.
- Instalación de barreras de contención.
- Pintado de marcas viales en la carretera que sirvan de guía a los vehículos.
- Instalación de captafaros, para facilitar la conducción cuando la iluminación no sea suficiente.
- Resaltos en las marcas viales que avisen a los conductores antes de abandonar la vía.

### IMAGEN



## Peligros discontinuos PD3.- Pasos salvacunetas

### DESCRIPCIÓN

Los pasos salvacunetas se pueden definir como las obras a realizar para, manteniendo la continuidad de la cuneta, permitir el acceso de vehículos desde la carretera a las fincas adyacentes o a los caminos que parten de la misma.

### RIESGO

En el caso de que un vehículo salga de la calzada en las proximidades de un paso salva-cunetas e introduzca sus ruedas en la cuneta, ésta le guiará directamente contra dicha obra de drenaje produciéndose una parada brusca o enganchamiento del vehículo.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Siempre que las cunetas no estén adecuadamente protegidas.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Instalación de hitos de arista para evitar la salida de los vehículos de la calzada.
- Marcas viales con resaltos.
- Protección de cunetas.
- Instalación de barreras de contención.
- Rediseño de desagües y drenajes.
- Rediseño / reubicación de pasos salvacunetas.
- Instalación de picos de flauta.
- Pintado de marcas viales que sirvan de guía a los conductores, especialmente en momentos de escasa visibilidad.
- Marcado del margen de la carretera: captafaros, hitos de arista.

### IMAGEN



## Peligros discontinuos PD4.- Luminarias

### DESCRIPCIÓN

La Norma UNE-EN 60598-1 define luminaria como un aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.

### RIESGO

Su rigidez las convierte en elementos muy peligrosos en caso de salida de calzada de un vehículo debido al fenómeno de enganchamiento.

En muchas ocasiones la barrera metálica de seguridad que debería proteger a los usuarios de un posible choque contra este equipamiento viario se encuentra instalada demasiado próxima al poste, lo cual impide el correcto funcionamiento del sistema, que necesita una anchura de trabajo determinada en función del nivel de contención deseado.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Siempre que estén situadas en el margen de la carretera sin la adecuada protección.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Reubicación de las luminarias.
- Adecuada instalación de barreras de contención.
- Pintado de marcas viales.
- Instalación de captafaros.
- Resaltos en marcas viales.
- Utilización de estructuras fusibles en los postes.

### IMAGEN



## Peligros discontinuos

### PD5.- Postes de señalización y líneas aéreas (teléfono, electricidad)

#### DESCRIPCIÓN

Obstáculos rígidos frecuentemente situados en los márgenes de las carreteras, cuya dimensión en altura es muy superior a su sección.

#### RIESGO

Objetos muy agresivos en caso de impacto debido al fenómeno de enganchamiento.

#### PARÁMETROS DE RIESGO

Se consideran peligrosos cuando su diámetro es superior a 15 cm.

No obstante, la peligrosidad de estos elementos no debería referirse únicamente al diámetro, sino también a su rigidez mecánica. A efectos de establecer un valor mínimo para la rigidez de un elemento vertical, por encima del cual debe ser considerado peligroso, resulta razonable tomar como parámetro para el acero el módulo de sección ( $W_{xx}$ ) en la dirección de mayor inercia cuando es mayor de  $81 \text{ cm}^3$  (que corresponde al perfil normalizado IPN-140).

Los soportes de pórticos y banderolas de señalización se consideran peligrosos para velocidades iguales o superiores a 60 Km/h.

#### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Reubicación de los postes.
- Adecuada instalación de barreras de contención.
- Pintado de marcas viales.
- Instalación de captafaros.
- Resaltos en marcas viales.
- Utilización de estructuras fusibles en los postes.

#### IMAGEN



## Peligros discontinuos PD6.- Pilares y estribos de puentes

### DESCRIPCIÓN

Los estribos o pilas externas de los puentes soportan las cargas que transmite el tablero.

### RIESGO

Diversos estudios han demostrado que la tasa de mortalidad de los ocupantes del vehículo en impactos contra pilares de puentes es extremadamente alta en comparación con otros obstáculos situados en los márgenes de la carretera.

Los estribos contiguos a la plataforma (sobre todo en forma de muro vertical paralelo a la carretera) no sólo perjudican la visibilidad disponible en una curva a la derecha, sino que también reducen (o incluso pueden anular) la zona de seguridad. Los muros de acompañamiento representan un peligro especial, pues un vehículo que abandone la plataforma chocará frontalmente con ellos. Resultan mejores los estribos abiertos<sup>1</sup> pues la visibilidad es mejor, y el talud puede no representar un obstáculo peligroso si no es muy inclinado.

### PARÁMETROS DE RIESGO

El impacto contra estos elementos a velocidades iguales o superiores a 60 Km/h puede resultar crítico tanto para turismos como para vehículos pesados, debido al efecto de enganchamiento.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Instalación de barreras de contención
- Pintado de marcas viales
- Instalación de captafaros
- Resaltos en marcas viales
- Protección de estribo

### IMAGEN



<sup>1</sup>- Los que tienen un talud entre la plataforma y el apoyo del tablero

## Peligros discontinuos PD7.- Extremos de barrera agresivos

### DESCRIPCIÓN

Extremos de barrera en forma de cola de pez.

### RIESGO

Una ejecución deficiente de los extremos de barrera puede traer consigo empotramientos o vuelcos por efecto rampa.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Los extremos de barrera que no cumplan los requisitos recogidos en la Norma Europea EN 1317, aprobada en 1998 y publicada como Norma UNE en 1999, pueden constituir un peligro en sí mismos.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Modificación, en los casos en los que sea posible, de los extremos de la barrera mediante su abatimiento.
- Sustitución de la barrera de seguridad cuando proceda.
- Pintado de marcas viales.
- Resaltos de marcas viales.

Utilización de pavimentos antideslizantes.

### IMAGEN



## Peligros discontinuos PD8.- Transiciones entre barreras de seguridad

### DESCRIPCIÓN

Son los tramos intermedios que conectan longitudinalmente dos tramos de barrera de distinto comportamiento (nivel de contención y/o clase de deformación). Dicho tramo se considera como una barrera de seguridad con algunas particularidades.

### RIESGO

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.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Todas aquellas que no estén realizadas conforme a lo establecido en las instrucciones y reglamentaciones.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Instalación de un tramo de barrera que cumpla los criterios establecidos en la norma relativos a la transición entre barreras de diferentes características.
- Pintado de marcas viales
- Resaltos de marcas viales
- Utilización de pavimentos antideslizantes que eviten el abandono de la calzada por deslizamiento de los vehículos

## Peligros discontinuos PD9.- Edificaciones

### DESCRIPCIÓN

Edificios situados en las proximidades de la carretera

### RIESGO

En caso de accidente por salida de vía, elevado riesgo de choque contra las edificaciones cercanas.

### PARÁMETROS DE RIESGO

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.

En el caso de que la edificación se encuentre habitada o sirva de almacén para sustancias peligrosas, la zona se considerará peligrosa con independencia de cualesquiera otras consideraciones.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Delimitación de los márgenes de la carretera: Hitos de arista, paneles direccionales en curvas, marcas viales, captafaros, resaltos en marcas viales, marcado reflectante de árboles.
- Pavimentos anti-deslizantes.
- Instalación de barreras de seguridad.

### IMAGEN



### 4.2.3. Otros peligros

Este grupo recoge todos aquellos peligros que se presentan a lo largo de la carretera y que no se pueden englobar en ninguno de los grupos anteriores, como pueden ser las barreras de altura insuficiente, los postes de barrera, etc.

Nº DE FICHA	OTROS PELIGROS
OP1	Postes de barrera metálica
OP2	Discontinuidades entre barreras de seguridad próximas
OP3	Altura de barrera insuficiente
OP4	Barrera en mal estado
OP5	Presencia de peatones en la calzada
OP6	Presencia de animales en la calzada

## Otros Peligros OP1.- Postes de barrera metálica

### DESCRIPCIÓN

Las barreras de seguridad han sido diseñadas tradicionalmente para la contención de vehículos, sin tener en cuenta a usuarios vulnerables como los motociclistas.

### RIESGO

Cuando un motociclista cae de su vehículo y se desliza, en contacto con el suelo, en dirección hacia la barrera de seguridad, existen dos peligros graves si el sistema no está provisto de sistemas de protección adecuados para motociclistas:

Que el motociclista impacte contra alguno de los postes de la barrera.

Que el cuerpo del motociclista traspase el sistema de contención y caiga o impacte contra el obstáculo que se pretende proteger.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Todos los postes de barrera que no cuenten con la adecuada protección para los motociclistas.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Instalación de sistemas de protección para motociclistas.
  - Delimitación de los márgenes de la carretera: Hitos de arista, paneles direccionales en curvas, marcas viales, captafaros, resaltos en marcas viales.
- Utilización de pavimentos antideslizantes.

### IMAGEN



## Otros Peligros OP2.- Discontinuidades entre barreras de seguridad próximas

### DESCRIPCIÓN

Discontinuidades no justificadas entre barreras de seguridad próximas entre sí.

### RIESGO

Un vehículo que abandona la vía puede introducirse por el espacio comprendido entre dos barreras contiguas pudiendo chocar contra el peligro que dichas barreras intentan proteger.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Las discontinuidades no justificadas entre dos tramos consecutivos de barrera serán consideradas como peligro potencial si la distancia entre los extremos de barrera es inferior a 50 metros.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Adecuada instalación de la barrera de seguridad.
- Delimitación de los márgenes de la carretera: hitos de arista, paneles direccionales en curvas, marcas viales, captafaros, resaltos en marcas viales.
- Adecuado tratamiento de las transiciones entre barreras.

### IMAGEN



## Otros Peligros OP3.- Altura de barrera insuficiente

### DESCRIPCIÓN

Existen dos causas que explican la existencia de una altura deficiente de la barrera metálica:

- Instalación deficiente.
- No ajustar la altura de la barrera tras el repavimentado de una carretera.

### RIESGO

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.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Toda aquella altura de barrera inferior a la establecida en las Recomendaciones sobre Sistemas de Contención:

*“...Siempre que instalen, repongan o sea necesario recrecer las barreras, la altura de la parte superior de una barrera de seguridad metálica tipo BM\*\*A será de 70 cm, con una tolerancia de 5 cm en más y 0 cm en menos; para barreras de hormigón será igual o mayor que 80 cm, con una tolerancia de 3 cm en más y 2 cm en menos sobre la altura especificada en el Catálogo anexo a las presentes Recomendaciones...”*

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

Reinstalación de la barrera por otra que reúna los adecuados niveles de contención para todos los usuarios de la vía.

### IMAGEN



## Otros Peligros OP4.- Barrera en mal estado

### DESCRIPCIÓN

El estado de la barrera debe ser el adecuado para asegurar su correcto comportamiento en caso de impacto de un vehículo.

### RIESGO

Una barrera en mal estado de conservación supone un riesgo para los vehículos al no cumplir con los niveles de contención para los que fue instalada.

### PARÁMETROS DE RIESGO

El riesgo que implica un mal estado de la barrera es continuo a lo largo de la longitud afectada.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

Reinstalación de la barrera por otra que reúna los adecuados niveles de contención para todos los usuarios de la vía.

### IMAGEN



## Otros Peligros OP5.- Presencia de peatones en la calzada

### DESCRIPCIÓN

La presencia de peatones en la calzada es más común en zonas periurbanas de la carretera que en zonas interurbanas.

### RIESGO

La presencia de peatones en los márgenes de la calzada aumenta el riesgo de atropello en caso de salida incontrolada de los vehículos de la vía.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Todo aquel peatón que se encuentre en la calzada o en su margen de manera aislada o en grupo implica un riesgo elevado de atropello.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Instalación de sistemas de protección.
- Delimitación de los márgenes de la carretera: Hitos de arista, paneles direccionales en curvas, marcas viales, captafaros, resaltos en marcas viales.
- Utilización de pavimentos antideslizantes.

### IMAGEN



## Otros Peligros OP6.- Presencia de animales en la calzada

### DESCRIPCIÓN

La presencia de animales en la calzada o en los márgenes es muy común en zonas rurales.

### RIESGO

La presencia de animales en la carretera o en sus márgenes aumenta el riesgo de accidente de los vehículos que se vean sorprendidos por los mismos.

### PARÁMETROS DE RIESGO

Todo aquel animal que se encuentre en la calzada o en su margen de manera aislada o en grupo implica un riesgo elevado de accidente por salida de vía.

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

- Vallado de la carretera en aquellos tramos con una mayor presencia de animales.
- Instalación de señales de aviso.

### IMAGEN



## 5. PLANTEAMIENTO GENERAL DE SOLUCIONES

### 5.1. Estrategias

En las carreteras nuevas de la Red del Estado<sup>2</sup>, la práctica más generalizada consiste en diseñar los elementos de la sección transversal de la carretera atendiendo a unos estrictos criterios normativos que, en la mayoría de los casos, no incorporan la seguridad de una forma explícita<sup>3</sup>. En las carreteras existentes, la mayoría de las cuales son incluso anteriores a esa normativa, se suele comparar su diseño y estado con los parámetros en ella contenidos, planteando<sup>4</sup> actuaciones de acondicionamiento donde la diferencia se considera inaceptable.

En relación con los márgenes, el nivel de seguridad final de la vía se alcanza:

- a) Disponiendo de una **zona de seguridad** de anchura suficiente, cuyas características eviten el vuelco del vehículo o su choque con algún obstáculo peligroso, posibilitando además la recuperación de su control. Desde un punto de vista estrictamente ambiental, las zonas de seguridad posibilitan la implantación de vegetación de poco porte, reduciendo los impactos ambientales de la infraestructura.
- b) Donde lo anterior no resulte posible, colocando unos sistemas de contención de vehículos (**barreras de seguridad**), que pretenden proteger a los usuarios de los elementos proyectados o existentes que representen una amenaza potencial. Sobre todo en las curvas, si se dispone además de una zona de seguridad, siquiera estricta, se pueden alejar de la plataforma eventuales barreras<sup>5</sup>, y así reducir la frecuencia de los choques con ellas.

Las Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos indican lo siguiente en relación con el establecimiento de dichos sistemas y, en particular, de las barreras de seguridad:

*El choque contra un sistema de contención de vehículos constituye un accidente sustitutivo del que tendría lugar en caso de no existir aquél, y de consecuencias más predecibles y menos graves; pero no está exento de riesgos para los ocupantes del vehículo.*

*Por tanto, sólo se recomienda instalar un sistema de contención de vehículos después de valorar los riesgos potenciales en uno y otro caso, y de descartar soluciones alternativas (a veces es posible desplazar o eliminar obstáculos, o explanar el terreno), teniendo en cuenta:*

- *El coste de instalación y mantenimiento del dispositivo.*
- *El coste 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.*

<sup>2</sup>- En las redes viarias de titularidad distinta de la estatal se suelen seguir criterios análogos a los empleados en la red estatal.

<sup>3</sup>- La frecuente combinación de dos o más valores límite de la normativa, cada uno de los cuales resulta admisible aisladamente considerado, puede conducir a un diseño conjunto cuyo nivel de seguridad ya no sea tan bueno.

<sup>4</sup>- Con las inevitables restricciones presupuestarias.

<sup>5</sup>- Siempre que el ángulo de choque con la barrera no resulte excesivo. No es ésta, sin embargo, la práctica habitual.

*En las Recomendaciones sobre criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas se realiza una consideración similar:*

*Las barreras de seguridad metálicas como sistemas de contención de vehículos son elementos de las carreteras cuya función es sustituir un accidente de circulación por otro de consecuencias más predecibles y menos graves, pero no evitan que el mismo se produzca, ni están exentas de algún tipo de riesgo para los ocupantes del vehículo.*

*En los proyectos de nuevas carreteras o de acondicionamiento de las existentes la necesidad de disponer o no de estos sistemas deberá estar presente en las fases de diseño del trazado, de la sección transversal, de las obras de drenaje longitudinal, de las estructuras, etc. En estos proyectos se realizará un análisis de los márgenes de la plataforma, en el que se identificarán las zonas en las que pueda haber obstáculos, desniveles y demás elementos o situaciones de menor seguridad. A los efectos anteriores se considerarán tales elementos o situaciones potenciales de riesgo.*

Estas líneas reflejan de forma suficientemente clara los criterios que deberían conducir al establecimiento de sistemas de contención de vehículos en las carreteras: valorar el riesgo potencial que representa su instalación, y realizar una comparación con otras soluciones. Sin embargo, el cada vez más frecuente recurso al planteamiento **b)** conduce a que:

- A menudo se abandone la necesidad del estudio comparativo que la propia normativa recomienda.
- No se afine suficientemente en la valoración de los riesgos inherentes al diseño de cada elemento, en la confianza de poder paliarlos por medio de los sistemas de contención de vehículos.
- Aumente la frecuencia de los siniestros: choques con los sistemas de contención de vehículos, y alcances por falta de espacio lateral.

Muchas soluciones, algunas simples y otras complejas, pueden contribuir a que el entorno viario resulte más seguro para sus usuarios. Estas mejoras incluyen cambios estructurales, como:

- Añadir arcenes o ensancharlos, mejorar el trazado, sustituir o ensanchar los puentes estrechos, reducir el escalón al borde de la plataforma, y disponer de una más amplia zona de seguridad en las márgenes (I).
- Otras soluciones más inmediatas y de alta rentabilidad comprenden el empleo de marcas viales más visibles y duraderas, mejores señales con mensajes de más fácil lectura, resaltes, y barreras de seguridad (donde se justifiquen) (II).

Un tratamiento adecuado del entorno de la plataforma contribuye de forma sustancial a reducir los efectos de un fallo en el proceso de conducción. Para conseguir este propósito se pueden seguir dos estrategias, hasta cierto punto contrapuestas:

- Implantar sistemáticamente dispositivos de contención de vehículos. Ésta es la estrategia que prima hoy en la mayoría de las actuaciones: parece que se evitan problemas a la hora del proyecto y, si falta hiciere, también parece más sencilla de aplicar en fases posteriores (construcción y explotación).

- Realizar un diseño más seguro del entorno de la vía, que reduzca, complemente o elimine la necesidad de dispositivos de contención. En lugar de proteger bien los obstáculos, puede resultar más eficaz eliminarlos o alejarlos de la plataforma de circulación.

Las ya citadas *Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos* contienen una información muy valiosa para la elección del tipo de sistema y para su implantación. En relación con la elección, hay que tener en cuenta las diferencias entre la agresividad de los distintos dispositivos de contención. El objetivo son, sin duda, los ocupantes de los coches: las víctimas mortales ocupantes de vehículos pesados representan sólo un 2,5 % de las interurbanas, y las correspondientes a motociclistas<sup>6</sup> un 7,5 %.

- Los dispositivos más **flexibles**, que absorben mejor la energía de los choques y limitan los fenómenos de vuelta a la calzada (los cuales pueden dar lugar a unos choques secundarios, frecuentemente más graves), resultan preferibles desde el punto de vista de la seguridad. Rara vez son franqueados por los coches, pero sí con frecuencia por los vehículos pesados.
- Para el tratamiento de las carreteras existentes, puede resultar necesario emplear unos dispositivos **reforzados** donde haya una distancia insuficiente para que funcionen (y se deformen) unos más flexibles.
- Los dispositivos **rígidos** dan lugar a un efecto pared importante, y no se deben combinar con unas distancias insuficientes, sino mayores. Su empleo no debe ser sistemático, pues el choque con ellos resulta más grave para los coches; sino que se debe reservar a los puntos donde más frecuentemente los vehículos pesados se salgan de la plataforma, o donde sus consecuencias sean especialmente graves (por ejemplo, transporte de mercancías peligrosas junto a zonas habitadas alcanzables). En su caso, se puede pensar en disponer delante de ellos otro dispositivo más flexible.

En general, es importante que los sistemas de contención no reduzcan la anchura de la zona de recuperación; y que, donde circulen peatones o ciclos fuera de poblado, dejen un espacio lateral suficiente (al menos 1 m).

## 5.2. La zona de seguridad

### 5.2.1. Identificación de sub-zonas

En la zona de seguridad se pueden distinguir dos sub-zonas, según la siguiente figura:

1. Una **zona de recuperación** del control del vehículo, que desempeña tres funciones principales:
  - a) La recuperación propiamente dicha. La realización de tal maniobra necesita que el vehículo, en la posición en la que se encuentra después de un tiempo de reacción, se encuentre sobre una superficie que permita a su conductor girar o frenar movilizándolo

<sup>6</sup>- Ciertas barreras metálicas de seguridad representan un peligro para los motociclistas.

un rozamiento entre las ruedas y el terreno: es decir, un arcén pavimentado que pertenece a la plataforma. Su anchura depende de la velocidad de salida, del ángulo de salida y del tiempo de reacción<sup>7</sup>.

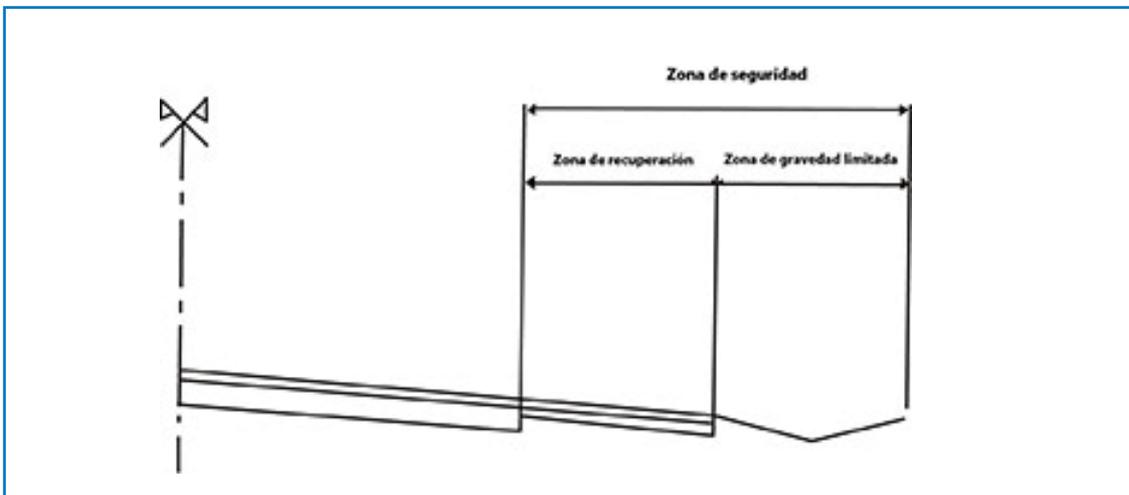


Ilustración 3. Zona de seguridad.

- b) La esquiwa de emergencia para evitar colisiones frontolaterales, como las resultantes de ciertos adelantamientos fallidos, o en carreteras estrechas e, incluso, en los accesos y en las intersecciones en T.
  - c) La posibilidad de una circulación fuera de la plataforma por parte de los usuarios vulnerables, los vehículos agrícolas, y los vehículos de emergencia en algunos casos.
2. Para los vehículos cuyos conductores no consigan recuperar el control, la parte de la zona de seguridad situada fuera de la plataforma, también llamada **zona de gravedad limitada**, que incluye:
- La berma.
  - En los desmontes, generalmente una cuneta.
  - Los taludes del resto de la explanación.

Para lograr unas buenas condiciones de seguridad en el caso de una salida de la plataforma, reduciendo al mínimo en especial los riesgos de un bloqueo brutal del vehículo, es preciso tener en cuenta dos principios:

- Un mejor diseño de las bermas, de las cunetas y de los taludes.
- Eliminar los obstáculos comprendidos dentro de la zona de seguridad, en especial los colocados allí por el diseño o la construcción de la carretera.

<sup>7</sup>- Para tomar conciencia de la insuficiencia de las actuales márgenes en lo relativo a seguridad, consideremos que una salida de la calzada con trayectoria recta en un ángulo de 5° respecto del borde de la calzada, circulando a 120 km/h durante 2 segundos, provoca un recorrido transversal del orden de 5,8 m. Con un arcén de 2,5 m y una berma de 1 m, aún se invaden 1,3 m de la margen, es decir: se choca contra la barrera de seguridad y contra la señalización. Si el ángulo es de 3° y la velocidad de 140 km/h durante 4 s, el recorrido transversal es de 8,1 m.

### 5.2.2. Consideraciones sobre la anchura de la zona de seguridad.

Según un resumen internacional de investigación <sup>(III)</sup>, se acepta generalmente que la anchura de la zona de seguridad debe estar relacionada con la velocidad operativa. Aunque no hay fronteras claras, se admite que a unos 90 km/h, la zona de seguridad no debe tener una inclinación transversal superior a 1V/6H, ni una anchura inferior a 10 m.

Una investigación de 1987 en carreteras convencionales de calzada única con dos carriles mostró el elevado potencial de la zona de seguridad para reducir los siniestros. También se estimó la reducción en la siniestralidad en función de la anchura de la zona de seguridad.

En otra investigación de 1987 <sup>(IV)</sup> se habían encontrado resultados parecidos en carreteras interurbanas de dos carriles.

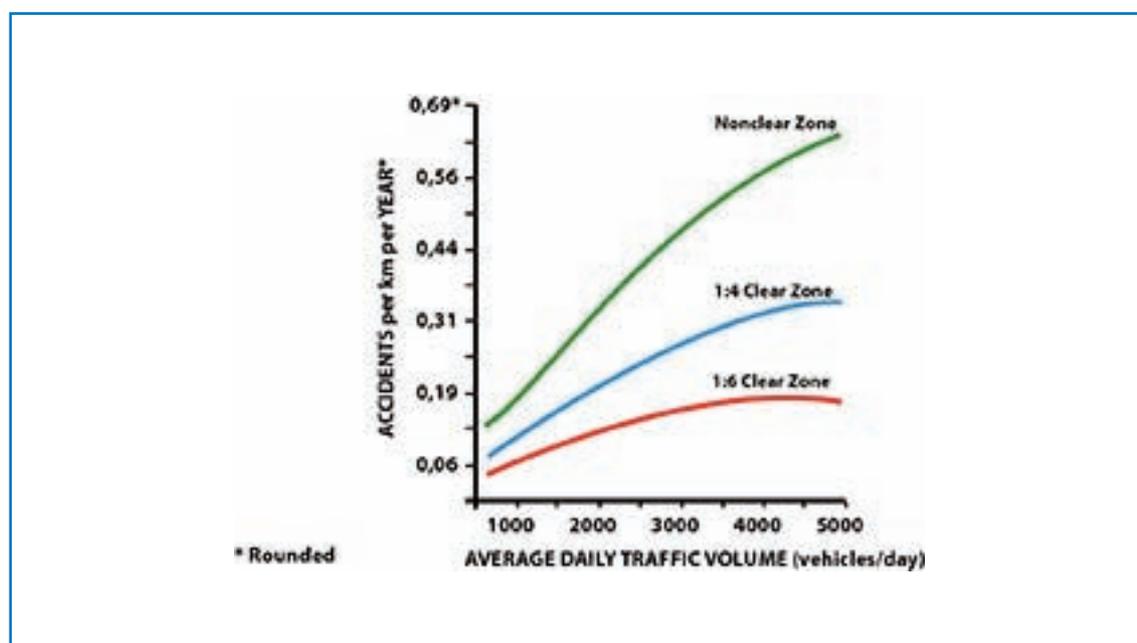


Ilustración 4. Relación entre el número anual de siniestros por salida de la plataforma, por km, y la IMD.

ANCHURA (m) DE LA ZONA DE SEGURIDAD	REDUCCIÓN (%) DE SINIESTROS POR SALIDA DE LA PLATAFORMA
1,50	13
2,50	21
3,00	25
3,75	29
4,50	35
6,25	44

Tabla 10. Reducción de siniestros por salida de plataforma.

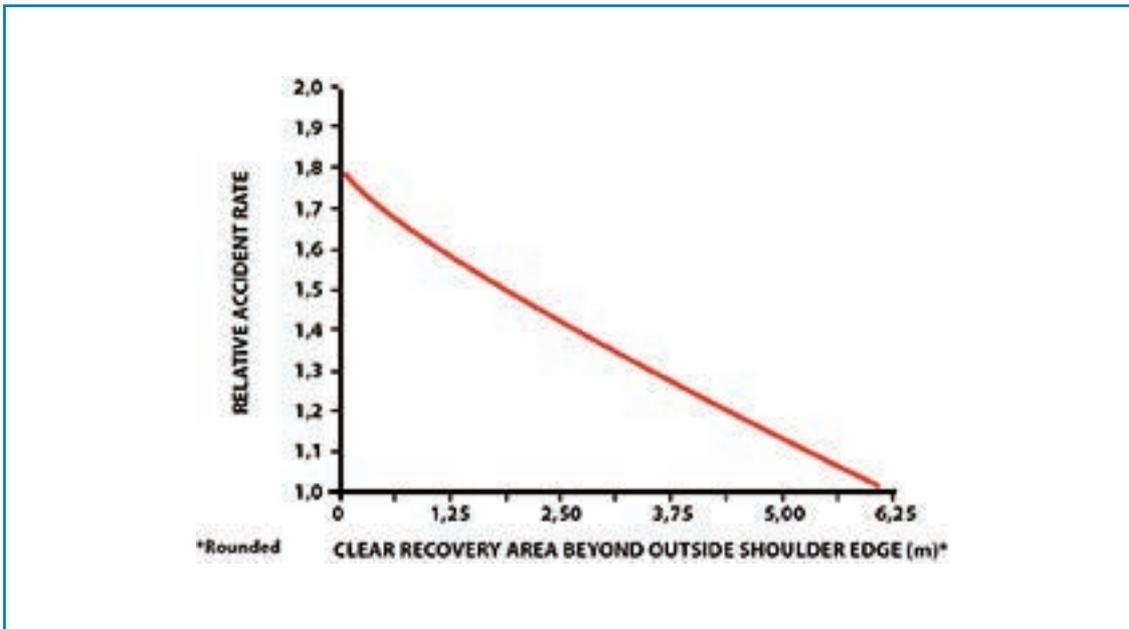


Ilustración 5. Anchura de la zona de seguridad (AASHTO).

La AASHTO norteamericana recomienda los valores de la Tabla 7.

VELOCIDAD OPERATIVA (km/h)	IMD (veh.)	INCLINACIÓN TRANSVERSAL	
		< 1V/5H	1V/5H a 1V/4H
< 60	< 750	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0
	750 – 1 500	3,0 – 3,5	3,5 – 4,5
	1 500 – 6 000	3,5 – 4,5	4,5 – 5,0
	> 6 000	4,5 – 5,0	5,0 – 5,5
70 - 80	< 750	3,0 – 3,5	3,5 – 4,5
	750 – 1 500	4,5 – 5,0	5,0 – 6,0
	1 500 – 6 000	5,0 – 5,5	6,0 – 8,0
	> 6 000	6,0 – 6,5	7,5 – 8,5
90	< 750	3,5 – 4,5	4,5 – 5,5
	750 – 1 500	5,0 – 5,5	6,0 – 7,5
	1 500 – 6 000	6,0 – 6,5	7,5 – 9,0
	> 6 000	6,5 – 7,5	8,0 – 10,0
100	< 750	5,0 – 5,5	6,0 – 7,5
	750 – 1 500	6,0 – 7,5	8,0 – 10,0
	1 500 – 6 000	8,0 – 9,0	10,0 – 12,0
	> 6 000	9,0 – 10,0	11,0 – 13,5
110	< 750	5,5 – 6,0	6,0 – 8,0
	750 – 1 500	7,5 – 8,0	8,5 – 11,0
	1 500 – 6 000	8,5 – 10,0	10,5 – 13,0
	> 6 000	9,0 – 10,5	11,5 – 14,0

Tabla 11. Anchura de la zona de seguridad (AASHTO).

Según las ya citadas *Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos* y las *Recomendaciones sobre criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas*, para no tener que colocar una barrera de seguridad la zona de seguridad debe alcanzar hasta una cierta distancia del borde de la calzada. El valor mínimo de esta distancia está dado por la Tabla 8.

TRAZADO	INCLINACION TRANSVERSAL <sup>8</sup>	TIPO DE ACCIDENTE	
		MUY GRAVE O GRAVE	NORMAL
<b>CARRETERAS DE CALZADA UNICA</b>			
Rectas, lados interiores de curvas, lados exteriores de curvas de radio > 1500 m	< 1V/8H	7,5	4,5
	1V/8H a 1V/5H	9	6
	> 1V/5H	12	8
	< 1V/8H	12	10
Lados exteriores de curvas de radio < 1500 m	1V/8H a 1V/5H	14	12
	> 1V/5H	16	14
<b>CARRETERAS CON CALZADAS SEPARADAS</b>			
Rectas, lados interiores de curvas, lados exteriores de curvas de radio > 1500 m	< 1V/8H	10	6
	1V/8H a 1V/5H	12	8
	> 1V/5H	14	10
Lados exteriores de curvas de radio < 1500 m	< 1V/8H	12	10
	1V/8H a 1V/5H	14	12
	> 1V/5H	16	14

**Tabla 12. Distancia del borde de la calzada a un obstáculo o zona peligrosa, por debajo de la cual se justifica una barrera de seguridad.**

### 5.2.3. Consideraciones sobre los arcenes

El arcén contiguo a la calzada es la parte más cercana a ella de la zona de seguridad; forma parte de la plataforma, y además puede desempeñar varias otras funciones (v):

- Espacio para detenciones y apartamientos de emergencia. Hay investigaciones que muestran que un 11 % de los accidentes mortales están relacionados con vehículos detenidos sobre el arcén (vi).
- Contención lateral del firme de la calzada.

En primer lugar, cabe examinar la influencia del tipo de arcén. Los estudios en relación con ello se han concentrado casi exclusivamente en las carreteras convencionales interurbanas de calzada única. Así, Harwood y otros (vii) han desarrollado unos **FMA**<sup>9</sup> correspondientes a la transformación de arcenes sin pavimentar (con hierba o gravilla) a pavimentados (Tabla 9).

<sup>8</sup>- Los valores indicados corresponden a una pendiente transversal, es decir, donde la cota de la margen disminuye al alejarse de la calzada; para el caso opuesto (rampa transversal) se emplearán los límites dados para una pendiente transversal < 1V/8H. La rampa transversal podrá incluir una cuneta, siempre que la inclinación de sus taludes sea inferior a 1V/5H.

<sup>9</sup>- Factor de Modificación del número de Accidentes.

TRANSFORMACIÓN	ANCHURA (pies) DEL ARCÉN					
	3	4	5	6	7	8
Hierba a pavimento	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96
Gravilla a pavimento	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99
Hierba a pavimento parcial	1,00	0,99	0,98	0,97	0,98	0,98

Tabla 13. FMA para la transformación del tipo de arcén.

Generalmente el arcén tiene la misma inclinación transversal que la calzada adyacente. Tampoco debe haber escalones superiores a 5 cm entre la calzada y el arcén, como es frecuente donde se dispone en aquélla una nueva capa de rodadura.

El número de carriles, su anchura, y la del arcén están algo relacionados entre sí, y el valor adoptado para uno de estos factores suele influir en el de los demás.

- Se ha demostrado que un arcén ancho puede mejorar la seguridad, al proporcionar un pavimento cuya resistencia al deslizamiento es análoga a la del pavimento de la calzada, y posibilitar maniobras de evasión frente a choques frontales en el caso de adelantamientos fallidos; pero también se ha demostrado que puede favorecer un aumento de la velocidad<sup>10</sup> y de la gravedad de un accidente.
- Zegeer y Deacon (viii) mostraron una relación entre la siniestralidad y la anchura de los arcones<sup>11</sup> (Ilustración 6).
- Harwood y otros (ix) desarrollaron unos FMA para carreteras interurbanas de calzada única con dos carriles (Tabla 4.2-E).
- Harkey y otros (x) también desarrollaron unos FMA para carreteras interurbanas de calzada única con más de un carril por sentido, con IMD superior a 2 000 veh. y en las que los accidentes relacionados con el arcén eran al menos el 35 % del total<sup>12</sup>.
- El Manual de Seguridad Vial norteamericano<sup>13</sup>, plantea unos FMA basados en el Proyecto NCHRP 17-29 (xi) para tramos interurbanos con más de un carril por sentido.

Las anchuras mínimas que se pueden recomendar para los arcones (xii) son las siguientes:

- Autopistas interurbanas de alta velocidad de proyecto: 3,0 a 2,5 m.
- Otras carreteras con calzadas separadas, interurbanas o urbanas: 2,5 a 2,0 m<sup>14</sup>.
- Carreteras convencionales: 2,0 m que se pueden rebajar a 1,75 m donde haya limitaciones de espacio, y a 1,5 m en las carreteras de montaña. Valores inferiores a 1,5 m (y en ningún caso por debajo de 1,0 m) sólo se pueden contemplar donde resulte prohibitivo ensanchar la plataforma existente, y siempre que la anchura de la calzada no exceda de 6,0 m.

<sup>10</sup>- Al transmitir al conductor la sensación de que hay más espacio para recuperarse de un error.

<sup>11</sup>- Dotados de un pavimento formado, al menos, por un tratamiento superficial.

<sup>12</sup>- Hay otros FMA para otras IMD u otros porcentajes.

<sup>13</sup>- HSM: Highway Safety Manual.

<sup>14</sup>- Una anchura de 2,0 m dificulta la circulación de los vehículos de emergencia.

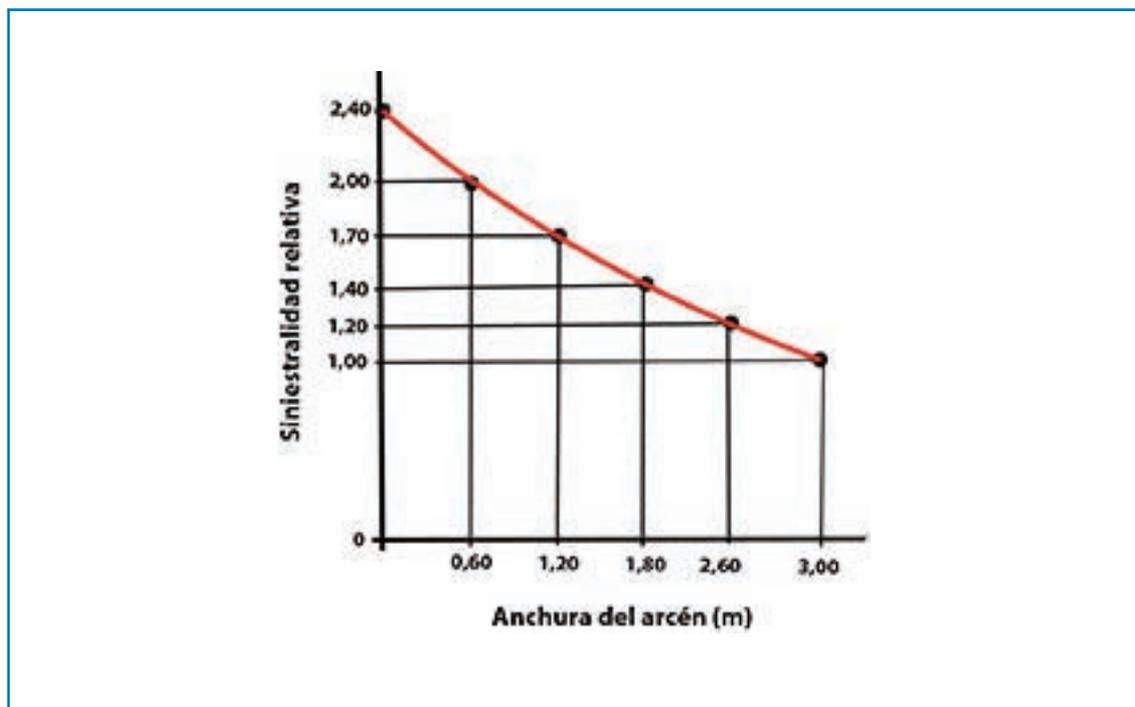


Ilustración 6. Relación entre la siniestralidad y la anchura de los arcenes.

ANCHURA (pies) DEL ARCÉN					
3	4	5	6	7	8
1,00	0,97	0,95	0,93	0,91	0,90

Tabla 14. FMA para la anchura de un arcén pavimentado.

SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHURA (pies) DEL ARCÉN				
	0	2	4	6	8
Calzada única	1,18	1,11	1,05	1,00	0,95
Calzadas separadas	1,18	1,13	1,09	1,04	1,00

Tabla 15. FMA para la anchura de un arcén pavimentado.

Estas cifras se derivan de una valoración de las posibilidades de recuperación del control de un vehículo que se salga de la plataforma bajo un ángulo reducido, teniendo en cuenta su velocidad.

En España los arcenes están pavimentados<sup>15</sup>, y sus anchuras están normalizadas (Tabla 4.2-H)<sup>16</sup>.

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	ANCHURA (m)
100	1,5 a 2,5
80 <sup>17</sup>	1,5
60 <sup>1</sup>	1,0 a 1,5
40	0,5

Tabla 16. Anchura de los arcenes en carreteras convencionales interurbanas de calzada única.

## 5.2.4. Consideraciones sobre la berma y otros elementos de la zona de seguridad

### 5.2.4.1. Inclinación del talud descendente

Sobre un talud descendente de la berma y del resto de la zona de seguridad (Fig. 4.2-E), el conductor del vehículo que ha salido de la plataforma puede intentar una maniobra de recuperación o reducir su velocidad antes de llegar al fondo de la cuneta. Además, el vehículo no debe volcar<sup>18</sup> sobre el talud: un 25 % de los accidentes por salida de la plataforma terminan en un vuelco, un 55 % de los vuelcos causa lesiones, y un 1 – 3 % víctimas mortales (XIII).

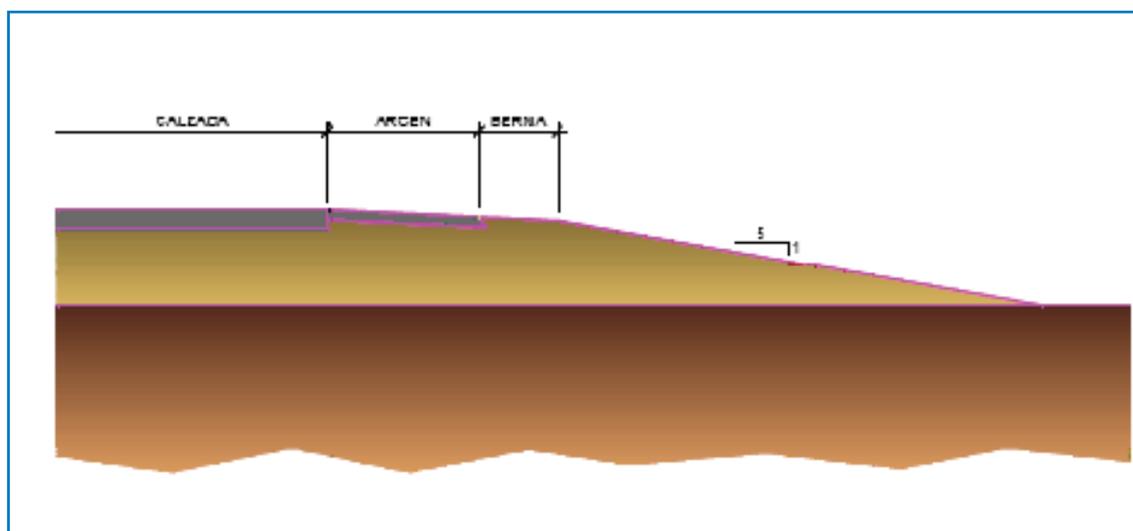


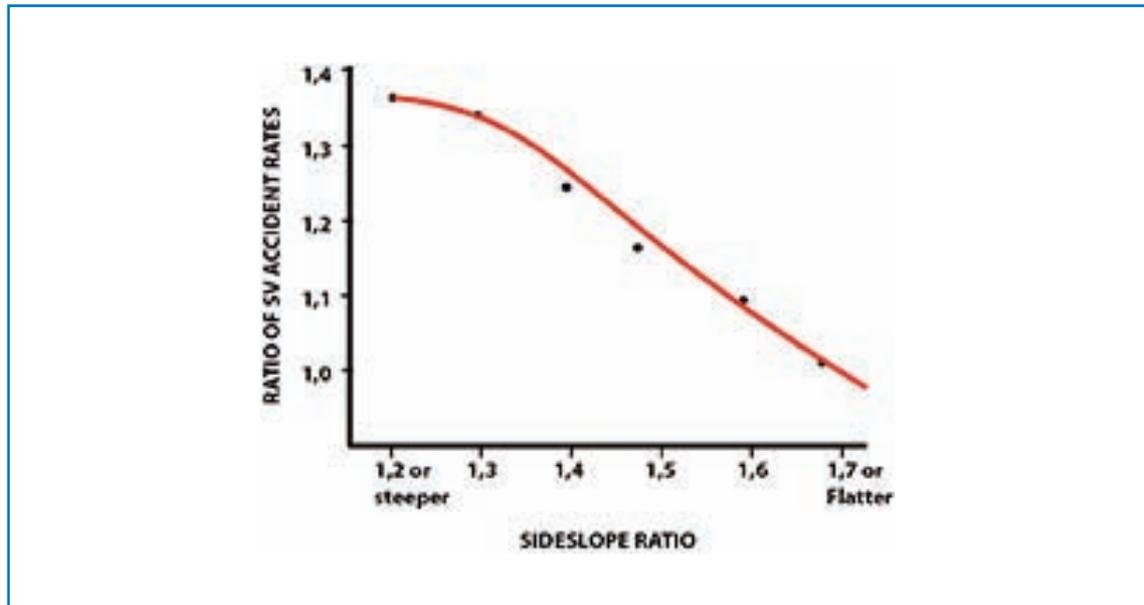
Ilustración 7. Zona de seguridad en una margen en terraplén.

15.- Si no lo están, pero están afirmados, se denominan bermas. Junto a un arcén también puede haber una berma.

16.- Apartado 7.3 de la Norma 3.1-IC "Trazado".

17.- En terreno muy accidentado, o con baja intensidad de tráfico (IMD < 3 000) se podrá reducir de forma justificada la dimensión del arcén en 0,5 m como máximo.

18.- La expulsión de uno o varios ocupantes es la causa principal de lesiones graves o mortales, y representa más de la mitad de las víctimas mortales por vuelco. La tasa de mortalidad por vuelco es el doble de la correspondiente a que el vehículo no vuelque ( ).



*Ilustración 8. Relación entre la inclinación del talud y la siniestralidad.*

Hasta hace relativamente poco, era escaso el conocimiento de la relación entre la inclinación de ese talud y la siniestralidad. Zegeer y otros desarrollaron en 1987 unas relaciones (Ilustración 8).

Por lo tanto, los taludes descendentes paralelos a la dirección del tráfico se pueden clasificar en:

- Los que permiten una **recuperación**, si su inclinación no es superior<sup>19</sup> a 1V/6H y sus aristas están suavizadas con unos acuerdos verticales cuyo  $K_v > 10$  m. Los conductores cuyo vehículo entra en estos taludes suelen poder detener su vehículo o disminuir su velocidad de manera que pueden regresar a la plataforma. Son de aplicación en los trazados nuevos o en las reconstrucciones importantes. La distancia mínima orientativa de su borde al de la calzada es:
  - o Autopistas interurbanas de alta velocidad de proyecto: 10 m.
  - o Otras carreteras con calzadas separadas, interurbanas o urbanas: 8,5 m.
  - o Carreteras convencionales: 7 m en las carreteras de nuevo trazado, que se pueden rebajar hasta 4 m donde haya limitaciones de espacio, pero intentando siempre el máximo, sobre todo en el exterior de las curvas.
- Los que no permiten una recuperación del control del vehículo, pero son **franqueables** sin volcar si no hay obstáculos que enganchen al vehículo. La inclinación de estos taludes está comprendida entre 1V/3H y 1V/6H.
- Los taludes **críticos**, en los que se puede esperar que un vehículo vuelque. Su inclinación es superior a 1V/3H. Donde uno de estos taludes quede entro de la zona de seguridad, y no se pudiera modificar su inclinación, es preciso disponer una barrera de seguridad.

<sup>19</sup>- Las ya citadas Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos limitan a 1V/5H la inclinación transversal descendente de la zona de seguridad.

#### 5.2.4.2. Cambios de inclinación

Si un cambio convexo de inclinación transversal es brusco el vehículo tiende a perder el contacto con el terreno al franquearlo; y si es cóncavo<sup>20</sup>, tiende a acuñarse en él y volcar. Suavizar el cambio reduce esas tendencias, proporcionando al conductor unas mayores oportunidades de controlar a su vehículo, al evitar que el vehículo adquiera un momento angular grande alrededor de su eje de balanceo. Según las ya citadas *Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos*, los cambios de inclinación transversal se deben suavizar a razón de un mínimo de 10 cm de anchura del acuerdo por cada 1 % de variación de la inclinación.

Si la inclinación transversal del talud descendente es superior a  $1V/4H$ , la gama de inclinaciones del talud exterior de la zona de seguridad queda muy limitada por el espacio necesario para la suavización. Las *Recomendaciones* no se pronuncian explícitamente, aunque la limitación a  $1V/5H$  de la inclinación del cajero exterior de la cuneta parece indicar una limitación de ese orden de magnitud.

### 5.3. Fichas de soluciones

Una vez identificados los peligros existentes y los tramos de carretera en los que se debe actuar, es necesario plantear las posibles soluciones a los problemas detectados a fin de lograr una carretera más segura.

Las soluciones se clasifican en los tres grupos siguientes:

- 1.- Evitar la salida de la calzada de los vehículos.
- 2.- Reducir las probabilidades de que un vehículo que salga de la calzada sufra un accidente por choque o vuelco.
- 3.- Tratar de minimizar las consecuencias del accidente en caso de que este llegase a producirse.

Las fichas siguientes recogen las posibles soluciones existentes a los problemas anteriormente planteados. Cada una de las fichas contiene las especificaciones teóricas de la solución recogida en dicha ficha así como valores estimados de su coste, efectividad y estética.

Es importante notar que no se hacen distinciones entre los costes derivados de la aplicación de las medidas en carreteras existentes o en fase de proyecto, sino que se exponen las medidas existentes en la actualidad para solucionar los peligros detectados en los márgenes.

En todas las fichas de las soluciones se ha incluido información sobre los escenarios para los que es aplicable la medida en cuestión.

<sup>20</sup>- Al pie del talud descendente, donde se une al terreno natural o cambia su inclinación a la del cajero exterior de la cuneta.

### 5.3.1. Soluciones para evitar los accidentes por salida de vía

FICHA	SOLUCIÓN
SEA1	Hitos de arista
SEA2	Paneles direccionales
SEA3	Marcas Viales
SEA4	Captafaros
SEA5	Resaltos en marcas viales
SEA6	Marcado reflectante de árboles
SEA7	Pavimentos antideslizantes
SEA8	Pavimentos drenantes
SEA9	Mejora de la geometría en curvas horizontales
SEA10	Elementos reductores de velocidad. Bandas transversales de alerta
SEA11	Elementos reductores de velocidad. Reductores prefabricados de velocidad.
SEA12	Mejora de las narices en divergencias.

# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA1-. Hitos de arista

## DEFINICIÓN

Los hitos de arista son unos postes de policloruro de vinilo (PVC) rígido, dotados de uno o varios elementos retrorreflectantes, que se colocan verticalmente en el margen de la plataforma de la carretera con el fin de guiar a los vehículos en condiciones de visibilidad deficiente (noche, lluvia, niebla, etc.). La altura del hito de arista sobre el pavimento debe ser de 1,05 m.

## ENTORNO LEGAL

Orden Circular 309/90 C y E sobre hitos de arista.

## IMPLANTACIÓN

Su implantación se realizará en primer lugar coincidiendo con todos los hectómetros de la carretera (colocados dividiendo en 10 partes iguales la distancia entre dos hitos kilométricos sucesivos). No se colocarán hitos coincidentes con los kilómetros.

Una vez colocados todos los hectómetros, se procederá a colocar entre dos hectómetros sucesivos un número de hitos de arista, (iguales a los hectómetros pero sin el número) variable entre 1 y 9 en función de la curva o recta de que se trate, según el criterio de la tabla siguiente:

RADIO (en m)	DISTANCIA (en m)	Nº DE HITOS por Hm	1 er hm contiguo	2º hm contiguo	3er hm contiguo	4º hm contiguo
< 100	10	10	12,5	16,66	25	50
100-150	12,50	8	16,66	25	50	50
151-200	16,66	6	25	50	50	50
201-300	20	5	33,33	50	50	50
301-500	25	4	33,33	50	50	50
601-700	33,33	3	50	50	50	50
>700	50	2	50	50	50	50

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Bajo	Medio	Alto	Alto

### ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR

ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

## ILUSTRACIÓN



## Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA2-. Paneles direccionales

### DEFINICIÓN

Los paneles direccionales se utilizan para el guiado de los vehículos en alineaciones curvas. En su cara vista son planos y generalmente de chapa de acero galvanizada. El fondo de color azul oscuro no es retrorreflectante, pero las franjas blancas sí.

### ENTORNO LEGAL

Norma 8.1-IC "Señalización vertical".

### IMPLANTACIÓN

Su instalación depende de la velocidad a la que la curva puede ser recorrida ( $V_c$ ) y la velocidad que se puede alcanzar antes de una curva ( $V_m$ ) para poder recorrerla a la velocidad  $V_c$ .

Si la diferencia entre la velocidad de aproximación ( $V_m$ ) y la velocidad en la curva ( $V_c$ ), es :

- $V_m - V_c < 15 \text{ km/h}$  → la curva no se balizará.
- $15 \text{ km/h} < V_m - V_c < 30 \text{ km/h}$  → se colocará un panel direccional, aproximadamente perpendicular a la visual del conductor.
- $30 \text{ km/h} < V_m - V_c < 45 \text{ km/h}$  → se colocarán dos paneles direccionales adosados, uno superpuesto sobre el otro, aproximadamente perpendiculares a la visual del conductor y  $V_m - V_c > 45 \text{ km/h}$  → se colocarán tres paneles direccionales adosados,

### ILUSTRACIÓN



# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA3-. Marcas Viales

## DEFINICIÓN

La señalización horizontal de las carreteras constituye un elemento fundamental de guía para los usuarios, especialmente en condiciones de visibilidad restringida.

## ENTORNO LEGAL

Artículo 700 del PG-3 (Orden de 28 de diciembre de 1999)

Norma 8.2-IC "Marcas Viales".

PAVIMENTO	LINEAS A PINTAR
< 5* m	Líneas discontinuas de bordes
5* - 6 m	Línea de eje
6-9 m	Línea de eje y de arcén (carril de 3m de ancho)

(\*). Este límite puede elevarse a 5,50m para condiciones inadecuadas de trazado y/o firme.

## IMPLANTACIÓN

Pese a que dicha Norma establece cuándo deben utilizarse, en algunas ocasiones, en carreteras de escaso tráfico existen dudas a la hora de decidir si se pintan marcas viales o no y si se hace, debido a la optimización de los presupuestos, unas veces se decide pintar el eje y otras las marcas laterales. Se aconseja en estos casos seguir las siguientes recomendaciones: "NOTA DE SERVICIO 2/07 SOBRE LOS CRITERIOS DE APLICACIÓN Y DE MANTENIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL".

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Medio	Medio	Alto	Alto

### ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR

ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

## ILUSTRACIÓN



# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA4-. Captafaros

## DEFINICIÓN

Un captafaro es un elemento de guía horizontal que refleja la luz incidente por medio de unos retrorreflectores para guiar a los conductores en condiciones de visibilidad reducida (de noche, con lluvia, con niebla, etc.).

Está constituido por:

- Elementos retrorreflectantes, incoloros o de color. Pueden ser de vidrio o plástico.
  - Un cuerpo que los aloja y soporta el paso de las ruedas.
- Un sistema de fijación permanente al pavimento por adherencia, anclaje o incrustación.

## ILUSTRACIÓN



## ENTORNO LEGAL

Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (O.M 28-12-99).

## IMPLANTACIÓN

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la naturaleza y características de los captafaros, estableciendo como mínimo:

- El número de caras retrorreflectantes, así como el color.
- Las dimensiones, incluidas sus tolerancias, del captafaro retrorreflectante.
- El tipo de captafaro en función de la naturaleza de su retrorreflector.
- El procedimiento de fijación a la superficie del pavimento.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Bajo	Bajo	Medio	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA5-. Resaltos en marcas viales

## DEFINICIÓN

Las marcas viales con resaltos fueron diseñadas específicamente para mantener sus propiedades retrorreflectantes bajo la lluvia o humedad.

Pero este tipo de equipamiento tiene un efecto secundario que ha sido aprovechado para evitar los accidentes por salida de calzada debidos a distracciones o somnolencia de los conductores. Se trata del ruido y la vibración producidos por los vehículos al pisar sus ruedas los resaltos.

## ILUSTRACIÓN



## ENTORNO LEGAL

Norma 8.2-IC "Marcas Viales".

Artículo 700 del PG-3 (Orden de 28 de diciembre de 1999).

## IMPLANTACIÓN

Los efectos acústicos y vibratorios deben estar equilibrados para no asustar al conductor. Los resaltos pueden estar situados sobre la propia marca vial o en su exterior (lo que puede hacer más eficaz su mantenimiento).

Estas marcas no son recomendables en el eje (son menos visibles con sol de frente), limitándose a los bordes de carriles, de manera que avisen al conductor de una posible salida de la calzada.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Bajo	Medio	Alto	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA6-. Marcado reflectante de árboles

## DEFINICIÓN

La existencia de hileras de árboles próximas a la calzada constituye un problema ya que no siempre es posible replantar los árboles, ni la protección de los mismos, por ejemplo mediante barreras, al estar demasiado próximos a la calzada.

## ENTORNO LEGAL

Instrucción 7.1-IC "Plantaciones en las zonas de servidumbre de las carreteras".

## IMPLANTACIÓN

Una medida de bajo coste para mejorar la percepción de los árboles en condiciones de visibilidad restringida (noche, niebla, lluvia, etc.), es la marcación de cada árbol con cintas adhesivas retroreflectantes.

## ILUSTRACIÓN



<i>COSTE DE INSTALACIÓN</i>	<i>COSTE DE MANTENIMIENTO</i>	<i>EFECTO ESTÉTICO</i>	<i>EFFECTIVIDAD TEÓRICA</i>
Bajo	Bajo	Medio	Medio
<i>ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR</i>			
<b>ESCENARIOS TIPO 1</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 2</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 3</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 4</b>

# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA7-. Pavimentos antideslizantes

## DEFINICIÓN

El único contacto deseable entre vehículo y pavimento se produce a través de los neumáticos. El nivel de adherencia entre uno y otro puede evitar (o propiciar) accidentes por deslizamiento, lo que suele producirse con calzada mojada. Esta adherencia depende de la microrugosidad y de la macrorugosidad (esta última contribuye sobre todo a reducir el hidroplaneo para altas velocidades). Un pavimento deslizante en curvas propicia salidas de vía, en intersecciones puede provocar alcances, y antes de pasos de peatones, atropellos.

## ENTORNO LEGAL

Entre otras,  
 Norma 6.1-IC "Secciones de firme" (VIGENTE) (13-12-03).  
 Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" (VIGENTE) (13-12-03).  
 PG-3 (Orden de 28 de diciembre de 1999).

## ILUSTRACIÓN



## IMPLANTACIÓN

En aquellas localizaciones donde se haya detectado una propensión a que se produzca humedad en la calzada provocando una resistencia al deslizamiento. insuficiente, causando con frecuencia accidentes por salida de vía, se valorará la utilización de pavimentos antideslizantes de manera puntual.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Alto	Medio	Bajo
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
<b>ESCENARIOS TIPO 1</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 2</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 3</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 4</b>

# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA8-.Pavimentos drenantes

## DEFINICIÓN

La utilización de pavimentos drenantes favorece el drenaje de la calzada disminuyendo el riesgo de accidentes por salida de vía por aquaplaning de los vehículos.

## ENTORNO LEGAL

Nota informativa sobre capas drenantes en firmes (4 de Abril 1991).

Instrucción 6.1. y 2-IC sobre secciones de firme.

## IMPLANTACIÓN

La permeabilidad de un pavimento está directamente relacionada con el contenido de huecos y su tipología así como con el grado de compactación que se va obteniendo en las diferentes fases de ejecución del pavimento.

No se aconseja la instalación de pavimentos drenantes en zonas que no tengan un régimen de lluvias razonablemente constante que facilite su limpieza.

## ILUSTRACIÓN



FUENTE:

<http://debates.coches.net/showthread.php?t=48950>

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Alto	Alto	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
<b>ESCENARIOS TIPO 1</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 2</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 3</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 4</b>

# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA9-. Mejora de la geometría en curvas horizontales

## DEFINICIÓN

Fijada una cierta velocidad de proyecto, el radio mínimo a adoptar en las curvas circulares se determinará en función de:

- El peralte y el rozamiento transversal movilizado.
- La visibilidad de parada en toda su longitud.

La coordinación del trazado en planta y alzado, especialmente para evitar pérdidas de trazado.

## ENTORNO LEGAL

Norma 3.1-I.C "Trazado".

## IMPLANTACIÓN

El rediseño de una curva se efectuará en aquellos emplazamientos en los que se cumplan tres condiciones:

1. Índices de Peligrosidad y de Mortalidad por salida de vía significativamente superiores a la media.
2. Ineficacia de medidas de bajo coste como la señalización vertical, horizontal y balizamiento.
3. Presencia de obstáculos que no puedan ser eliminados ni protegidos eficazmente por su cercanía a la carretera.

## ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Bajo	Bajo	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA10-. Elementos reductores de velocidad. Bandas transversales de alerta

## DEFINICIÓN

Su función es actuar como señal de advertencia acústica y vibratoria, y alertar a los conductores de que puede ser necesario realizar alguna acción preventiva, la cual deberá deducirse de la señalización que se dispondrá en las proximidades, y que, gracias a la combinación con las BTA, cumplirá su misión con mejores resultados.

## ENTORNO LEGAL

Instrucción Técnica para la instalación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta en carreteras de la red del Estado (30-10-08).

## IMPLANTACIÓN

Se pueden clasificar en tres grupos:

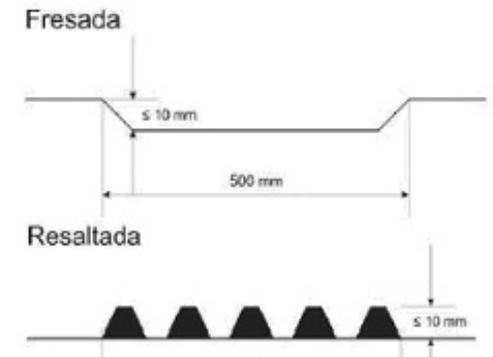
- Fresadas. Quedan por debajo de la rasante del pavimento.
- Resaltadas. Quedan por encima de la rasante del pavimento.
- A nivel. Con distinta textura a la del pavimento, quedando sensiblemente a su mismo nivel.

Su altura máxima (o profundidad) no deberá ser superior a 10 mm. Se procurará que su perfil longitudinal sea trapezoidal, o que al menos tenga el borde de ataque redondeado. Se recomiendan las bandas resaltadas o a nivel, especialmente en zonas con previsible problemas de drenaje o encharcamiento o en zonas de alta pluviometría, no es recomendable el uso de bandas fresadas en caso de presencia de ciclistas.

Las BTA deberán abarcar toda la anchura de la calzada. Se recomienda que la anchura de las bandas, medida paralelamente al sentido de circulación, sea de 50 cm, y no será inferior a 25 cm.

Cabe distinguir dos disposiciones, según se pretenda únicamente un efecto de alerta sobre el conductor, o además, un efecto adicional de una suave reducción de la velocidad.

## ILUSTRACIÓN



<i>COSTE DE INSTALACIÓN</i>	<i>COSTE DE MANTENIMIENTO</i>	<i>EFECTO ESTÉTICO</i>	<i>EFFECTIVIDAD TEÓRICA</i>
Bajo	Bajo	Medio	Medio
<i>ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR</i>			
<b>ESCENARIOS TIPO 1</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 2</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 3</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 4</b>

# Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía

## SEA11-. Elementos reductores de velocidad. Reductores prefabricados de velocidad

### DEFINICIÓN

Los reductores de velocidad son dispositivos colocados sobre la superficie de rodadura, cuya finalidad es mantener unas velocidades de circulación reducidas a lo largo de ciertos tramos de vía.

Advierten al conductor de la conveniencia de reducir la velocidad de circulación, pero no garantizan la disminución de la misma pues algunos perfiles de franjas se sobrepasan de una manera más cómoda a mayor velocidad.

### ENTORNO LEGAL

Instrucción Técnica para la instalación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta en carreteras de la red del Estado (30-10-08).

### IMPLANTACIÓN

La distancia entre Reductores de Velocidad consecutivos deberá estar comprendida entre 50 y 200 m, si bien se procurará que no superen los 150 m.

Las dimensiones recomendadas en función de la velocidad máxima permitida son:

Velocidad máx.(km/h)	Longitud(cm)	Altura(cm)
50	≥ 60	≤ 3

En determinados casos excepcionales por obras se podrán implantar dispositivos prefabricados con las siguientes características geométricas:

Velocidad máx.(km/h)	Longitud(cm)	Altura(cm)
<>	entre 60 y 120	Entre 5 y 7

Se componen generalmente de módulos que se ensamblan y fijan al pavimento in situ mediante tornillos o adhesivos químicos, respetando las tolerancias relativas a los bordes de entrada y garantizando la estabilidad y el comportamiento de los dispositivos frente al impacto de las ruedas de los vehículos al pasar sobre ellos. Los tornillos de fijación quedarán perfectamente embutidos en el reductor sin que sobresalgan.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Bajo	Bajo	Medio	Medio

### ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR

ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

### ILUSTRACIÓN



## Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA12-. Mejora de las narices en divergencias

### DEFINICIÓN

A efectos de aplicación de la Instrucción 3.1. I.C. –“Trazado” se define nariz como “...Superficie de plataforma común a dos vías, comprendida entre la sección en que se separan las calzadas y la sección en que se separan las plataformas...”

### ENTORNO LEGAL

Norma 3.1-I.C “Trazado”.

### IMPLANTACIÓN

Se recomienda para evitar accidentes por salida de la calzada:

- La inclinación transversal la menor posible.
- La superficie pavimentada lo mayor posible.
- La creación de una amplia zona de seguridad tras la nariz mediante la explanación del terreno.
- Disponer un lecho de frenado.

En la nariz se debe evitar la presencia de:

- Cunetas y otros elementos de desagüe superficial que no sean franqueables por un vehículo; especialmente los que sobresalgan del terreno (como las impostas), y los que representen una discontinuidad en su superficie (como las arquetas y pozos no cubiertos).
- Cualquier tipo de obstáculo aislado (pila, báculo, árbol...).

### ILUSTRACIÓN



## Soluciones para evitar los accidentes por salida de la vía SEA12-. Mejora de las narices en divergencias

### IMPLANTACIÓN (continuación)

- El comienzo de las barreras de seguridad situadas junto a los arcenes: la del tronco (que se prolonga en la defensa del apoyo de un paso superior, o en el pretil de un paso inferior), y la del ramal (que se prolonga en la defensa del desnivel entre ambas vías). La nariz se debería situar suficientemente alejada tanto de la obra de paso como del desnivel que necesita la implantación de las barreras.

Donde sea inevitable la presencia de alguno de estos elementos de riesgo, los usuarios deben estar protegidos por un amortiguador de impactos.

<i>COSTE DE INSTALACIÓN</i>	<i>COSTE DE MANTENIMIENTO</i>	<i>EFEECTO ESTÉTICO</i>	<i>EFFECTIVIDAD TEÓRICA</i>
Medio	Medio	Alto	Alto
<i>ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR</i>			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

### 5.3.2. Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de vía

FICHA	SOLUCIÓN
SMC1	Establecer una zona de seguridad
SMC2	Desmontes
SMC3	Disminución del número de accesos e intersecciones
SMC4	Rediseño/reubicación de pasos salvacunetas
SMC5	Rediseño de desagües y drenajes
SMC6	Protección de cunetas

# Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC1-. Establecer zona de seguridad

## DEFINICIÓN

La **zona de seguridad** es el área que puede utilizar de una manera segura los conductores de los vehículos que por cualquier razón salen de la calzada, para detener el vehículo o recuperar su control. Se trata de un área adyacente a la carretera, libre de obstáculos o taludes peligrosos.

Comienza en el borde la calzada y puede incluir un arcén, un talud recuperable, un talud no recuperable y/o un área de despeje. La anchura necesaria dependerá para cada caso concreto de los volúmenes de tráfico, las velocidades y la geometría de la carretera

## ENTORNO LEGAL

O.C. 321/95 T y P. Recomendaciones sobre los sistemas de contención de vehículos.

Recomendaciones sobre criterios de aplicación de barreras metálicas aprobada por O.C. 28/09.

## IMPLANTACIÓN

Los requisitos imprescindibles que deben poseer las zonas de seguridad son:

- Minimizar las consecuencias de una salida de calzada.
- La anchura debería ser aquella que asegurara que la mayoría de los vehículos que sufrieran una salida de calzada no abandonarían la zona de seguridad. esta anchura se define en función de:
  1. La clase de carretera (calzada única o calzadas separadas).
  2. El trazado en planta.
  3. En las curvas, la situación de la margen respecto de la plataforma.
  4. La pendiente transversal de la margen.
  5. La gravedad del accidente que se pretende evitar.

## ILUSTRACIÓN



## Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC1-. Establecer zona de seguridad

### IMPLANTACIÓN (continuación)

La tabla siguiente muestra la relación entre la anchura de la zona de seguridad y la reducción de los accidentes por salida de calzada según un estudio llevado a cabo en el Reino Unido.

- Sólo deberían existir taludes que no provocaran vuelcos en caso de salida de la calzada.
- La superficie debería ser homogénea y nivelada para evitar vuelcos.
- No deberían existir objetos sin proteger ubicados en el interior de la zona de seguridad.

Reducción de los accidentes por salida de calzada (%)	Distancia incrementada en la zona de seguridad (metros)	
	En recta	En curva
1,5	13	9
2,4	21	14
3,0	25	17
3,6	29	19
5,0	35	23
6,0	44	29

Desde el punto de vista estrictamente ambiental, disponer de una anchura apreciable de zona lateral de seguridad posibilita la implantación de vegetación de poco porte, reduciendo los impactos ambientales de la infraestructura.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Medio	Bajo	Alto	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

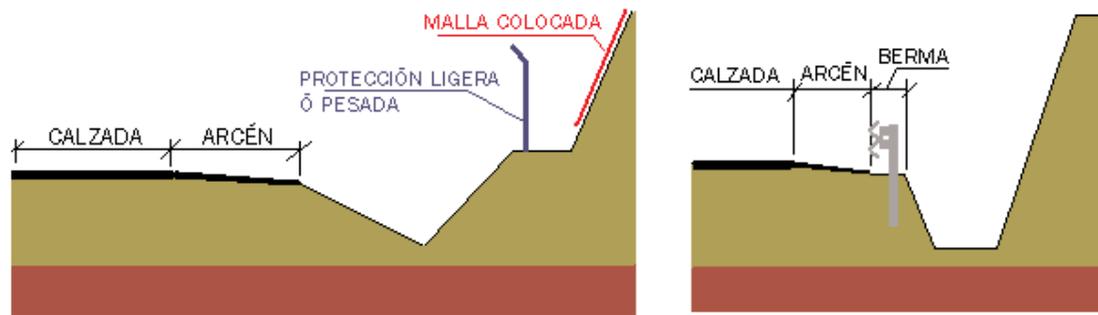
# Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC2-. Desmontes

## DEFINICIÓN

El Reglamento General de Carreteras (R.D 1812/1994) define desmonte como “Parte de la explanación situada bajo el terreno original”.

## ENTORNO LEGAL

Norma 3.1-IC “Trazado”.



## ILUSTRACIÓN



## IMPLANTACIÓN

En los desmontes es difícil poder disponer de una zona de seguridad, pues aumentan el volumen de las excavaciones y la anchura de la zona ocupada. Las circunstancias en las que se puede justificar esos aumentos, pueden ser:

- La creación de despejes para aumentar la disponibilidad disponible
- La creación de una zona para almacenar o recoger desprendimientos localizados del talud del desmonte. Esa zona suele consistir en un cuentón; pero si el tamaño de los desprendimientos es reducido, también se puede disponer más pequeña arrimada al pie del talud.

# Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC2-. Desmontes

## IMPLANTACIÓN (continuación)

- Utilización del material adicional excavado como préstamos.

La berma se puede integrar en el talud de la cuneta.

Donde hay riesgo de caída de bloques procedentes del desmonte, es muy frecuente disponer cuentones (tipo Ritchie) de gran altitud, para recogerlos antes de que lleguen a la plataforma. Como su profundidad representa un peligro grave para los ocupantes de un vehículo que caiga a ellos, entre ellos y la berma debe disponer una barrera de seguridad.

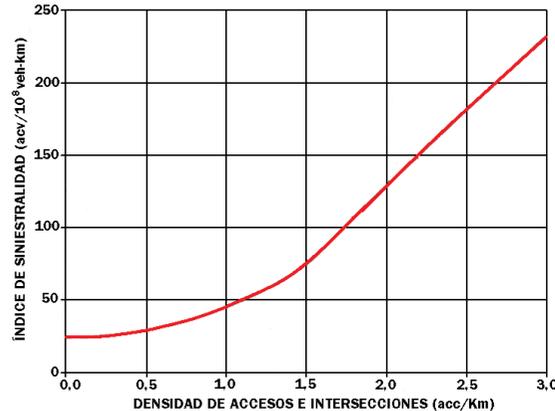
Junto con la utilización de los cunetones tipo Ritchie y de los almacenamientos de desprendimientos al pie del talud, una buena solución compatible es el empleo de unas pantallas dispuestas al pie del talud, cuyas características (especialmente resistente) se deben adecuar a la naturaleza de los desprendimientos.

<i>COSTE DE INSTALACIÓN</i>	<i>COSTE DE MANTENIMIENTO</i>	<i>EFECTO ESTÉTICO</i>	<i>EFFECTIVIDAD TEÓRICA</i>
Alto	Medio	Bajo	Alto
<i>ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR</i>			
<b>ESCENARIOS TIPO 1</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 2</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 3</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 4</b>

# Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC3-. Disminución del número de accesos e intersecciones

## DEFINICIÓN

El siguiente gráfico muestra la relación existente entre el índice de peligrosidad y el número de accesos de una carretera



FUENTE: Ingeniería de carreteras. Volumen 1. Carlos Kraemer y otros.

## ILUSTRACIÓN



## ENTORNO LEGAL

Norma 3.1-IC "Trazado"

## IMPLANTACIÓN

La medida más efectiva para evitar que se produzcan accidentes es la reducción del número de nudos. Esta medida se realizará siempre que sea posible, siendo obligatoria la correcta planificación de los accesos en proyectos de nueva construcción.

El diseño específico de los nudos se hará de acuerdo con la normativa vigente del organismo titular de la carretera.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Bajo	Alto	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
<b>ESCENARIOS TIPO 1</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 2</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 3</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 4</b>

# Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC4-. Rediseño/reubicación de pasos salvacunetas

## DEFINICIÓN

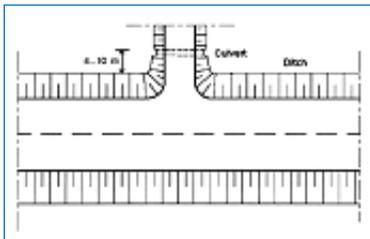
Los pasos salvacunetas se pueden definir como las obras a realizar para, manteniendo la continuidad de la cuneta, permitir el acceso de vehículos desde la carretera a las fincas adyacentes o a los caminos que parten de la misma<sup>21</sup>.

En los accesos suponen un obstáculo para los vehículos que se salgan de la vía, ocasionando colisiones frontales. Aunque físicamente son un obstáculo puntual, las cunetas pueden reconducir al vehículo hasta el paso salvacunetas, aumentando su zona de influencia y, por tanto, la probabilidad de un choque contra el mismo.

## ENTORNO LEGAL

- Instrucción 5.2 IC “Drenaje Superficial”.
- Orden Circular 321/95 T. y P. “Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos”.

## IMPLANTACIÓN



Los pasos salvacunetas existentes, deben encontrarse, siempre que sea posible, lo suficientemente lejos de la calzada de tal manera que en el caso de que un conductor perdiera el control de su vehículo, se redujeran significativamente las posibilidades de que se produjera un choque con dicho elemento. La figura siguiente ilustra de una manera clara esta recomendación.

FUENTE: *Roadside Infrastructure for Safer European Roads. Project RISER.*

## ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFFECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Medio	Medio	Bajo	Medio
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

21.- FUENTE: <http://www.miliarium.com/proyectos/carreteras/pliegos/pliegos3D.asp>

# Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC5-. Rediseño de desagües y drenajes

## DEFINICIÓN

Se define drenaje como la acción y efecto de avenar una obra o terreno.

## ENTORNO LEGAL

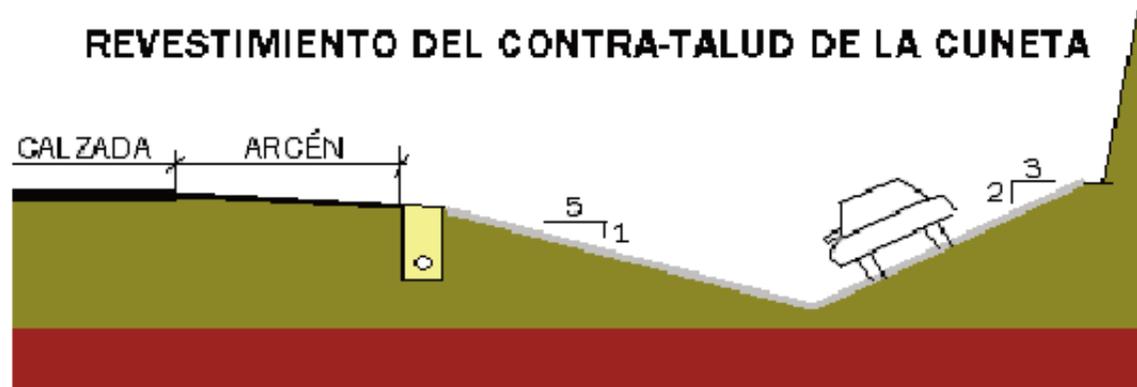
- Instrucción 5.1 IC "Drenaje".
- Instrucción 5.2 IC "Drenaje Superficial".
- Orden Circular 321/95 T. y P. "Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos".

## IMPLANTACIÓN

La disposición de los dispositivos de desagüe longitudinal en el margen de una carretera en desmonte tiene repercusiones en la siniestralidad de los vehículos que salgan de la plataforma.

La Orden Circular 321/95 TyP establece que hay que limitar la inclinación de los cajeros a 1V/5H, y la Instrucción 5.2.I.C recomienda el uso de cunetas de seguridad de forma parabólica.

## ILUSTRACIÓN



# Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC5-. Rediseño de desagües y drenajes

## IMPLANTACIÓN (continuación)

La recuperación de control de un vehículo que franquea la cuneta se facilitaría aún más si, por el lado del talud del desmonte, se dispusiera una zona revestida (que además estabilizaría el pie del desmonte, que es la zona más solicitada) de inclinación no superior a 2V/3H y de anchura no inferior a la de un coche (2m).

La capacidad de evacuación de agua de una cuneta bien conservada suele ser suficiente, por lo que debería ser excepcional la necesidad de un colector en el que desaguar la cuneta. Los colectores son caros de construir y de conservar, representando además un riesgo para los vehículos que salgan de la plataforma.

Donde se dispone un drenaje del firme por medio de capas o mantos drenantes que desaguan a unas zanjas drenantes longitudinales, éstas se suelen disponer bajo las cunetas. Esta práctica requiere la impermeabilización de la cuneta y la construcción de un colector, para evitar que la escorrentía superficial se infiltre por el fondo de la cuneta o penetre por las arquetas de registro del dren. Todo esto se puede evitar si se dispone de la zanja drenante (y sus arquetas, que al ser de pequeño tamaño se integran en la berma sin resaltos) en la berma, contigua al arcén.

<i>COSTE DE INSTALACIÓN</i>	<i>COSTE DE MANTENIMIENTO</i>	<i>EFECTO ESTÉTICO</i>	<i>EFFECTIVIDAD TEÓRICA</i>
Medio	Alto	Bajo	Medio
<i>ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR</i>			
<b>ESCENARIOS TIPO 1</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 2</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 3</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 4</b>

# Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC6-. Protección de cunetas.

## DEFINICIÓN

La Instrucción 5.2-I.C “Drenaje Superficial” define cuneta como “...zanja longitudinal abierta en el terreno junto a la plataforma...” Así mismo, establece que “...La cuneta tendrá igual pendiente longitudinal que la rasante de la carretera, salvo que se estime necesario ceñirse más al terreno o modificar dicha pendiente para mejorar la capacidad de desagüe...”

Se puede usar relleno de grava en la cuneta con granulometría seleccionada de tal manera que conserve la función principal de drenaje superficial de la calzada.

## ENTORNO LEGAL

Instrucción 5.2-IC “Drenaje Superficial”.

## IMPLANTACIÓN

La Instrucción 5.2-I.C “Drenaje Superficial” indica respecto a la protección de cunetas:

*“...Siempre que consideraciones económicas o de espacio no lo impidan, deberá atenderse preferentemente a las condiciones de franqueamiento seguro del perfil transversal de la cuneta por los vehículos que se salgan de la plataforma. A estos efectos, se podrá considerar que se dan tales condiciones donde la inclinación de los taludes de la cuneta sea inferior a 1/6 y sus aristas estén redondeadas con un radio mínimo de 10 m... Las cunetas reducidas sólo podrán emplearse en terreno accidentado y deberán siempre cubrirse o protegerse con barreras de seguridad...”*

*“...Donde las cunetas no tengan vegetación o estén revestidas deberán limpiarse con una periodicidad de un año como máximo, por medios mecánicos o químicos. Los medios químicos se usarán con las precauciones que sean necesarias para evitar contaminaciones perjudiciales.*

# Soluciones para minimizar las posibilidades de choque en caso de accidente por salida de la vía. SMC6-. Protección de cunetas.

## IMPLANTACIÓN

Las cunetas no revestidas se reperfilarán cuando sea necesario, especialmente donde su perfil haya cambiado por aterramientos.

Se introducirán los pequeños cambios de perfil longitudinal y se realizarán las obras necesarias para evitar aterramientos o erosiones..."

El relleno con grava se realiza previa colocación del drenaje y la impermeabilización y protección con arena o grava. En su colocación no requiere compactación, por las características mismas del material; en lo posible los camiones vierten directamente sobre el sector a rellenar, si no es posible acercarse al camión, se realiza con una pala cargadora.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Medio	Medio	Medio	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
<b>ESCENARIOS TIPO 1</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 2</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 3</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 4</b>

### 5.3.3. Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía

FICHA	SOLUCIÓN
SDC1	Estructuras fusibles
SDC2	Picos de flauta
SDC3	Pretilos
SDC4	Protección de estribos
SDC5	Barreras de seguridad
SDC6	Sistemas de protección para motocicletas
SDC7	Transiciones de barrera
SDC8	Abatimiento de extremos de barrera metálica o de hormigón
SDC9	Barrera estética
SDC10	Lechos de frenado
SDC11	Terminales de barrera
SDC12	Atenuadores de impacto

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía

## SDC1.- Estructuras fusibles

### DEFINICIÓN

Son estructuras de soporte de equipamiento tales como luminarias, postes de servicio de líneas aéreas (electricidad, teléfono, etc.) o bien soportes de señales que han sido diseñados o modificados de manera que al ser impactados por un vehículo se rompan de manera controlada, generalmente por una o varias secciones debilitadas al efecto. La instalación de este tipo de dispositivos debe prever la seguridad de los vehículos y de otros usuarios ante el desprendimiento del poste, una vez haya colapsado.

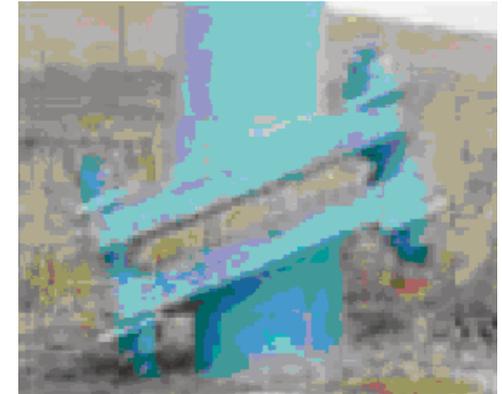
### ENTORNO LEGAL

O.C. 321/95 T. y P "Recomendaciones sobre sistemas de contención"

### IMPLANTACIÓN

La decisión sobre la instalación de este tipo de dispositivos pasará por un análisis beneficio-coste para cada caso particular, tanto para carreteras nuevas, como para las existentes. En dicho análisis se realizará un estudio comparativo con otro tipo de medidas como la protección de los postes mediante sistemas de contención, la reducción de la velocidad de recorrido de los vehículos, etc.

### ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Alto	Medio	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía

## SDC2.- Picos de flauta

### DEFINICIÓN

Reja de metal instalada en los pasos salva-cunetas para evitar el enganchamiento de los vehículos al impactar contra ellos.

Cuando un vehículo sale de la calzada e introduce sus ruedas en la cuneta corre el riesgo de que ésta le guíe hasta un paso salvacunetas próximo produciéndose un grave accidente debido al fenómeno de enganchamiento.

### ENTORNO LEGAL

Instrucción 5.1-IC "DRENAJE"

Instrucción 5.2-IC "DRENAJE SUPERFICIALs"

### IMPLANTACIÓN

Es deseable que los taludes de paso a través de la cuneta tengan, sobre todo donde la velocidad sea elevada, una inclinación máxima de 1V/10H; pero las limitaciones de espacio y los problemas de desagüe superficial a menudo hacen que ese límite aumente a 1V/6H.

Las boquillas de la obra de desagüe deben ir provistas de una rejilla transitable, abatible para facilitar su limpieza, recibiendo ésta terminación el nombre de "Pico de flauta"

### ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Bajo	Medio	Medio	Alto

### ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR

ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía

## SDC3.- Pretil

### DEFINICIÓN

Murete o vallado de piedra u otra materia que se pone en los puentes y en otros lugares para preservar de caídas.

### ENTORNO LEGAL

O.C. 321/95 T. y P "Recomendaciones sobre sistemas de contención"

Recomendaciones sobre criterios de aplicación de pretil metálicos en carretera aprobadas por O.C 23/08.

### IMPLANTACIÓN

En puentes, viaductos y demás obras de paso, se dispondrán siempre pretil en el borde del tablero. Si por existir acera peatonal, hubiese barandilla, se procurará que el pretil separe la acera del resto de la plataforma.

Se instalarán siempre pretil sobre los muros de sostenimiento (del lado del valle) de una carretera en terreno accidentado o muy accidentado, donde la velocidad de proyecto  $V_p$  sea superior a 60 km/h, salvo justificación en contrario.

### ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Bajo	Bajo	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía SDC4.- Protección de estribos

## DEFINICIÓN

En estribo se puede definir como el macizo de fábrica donde se apoya el tablero del puente.

## ENTORNO LEGAL

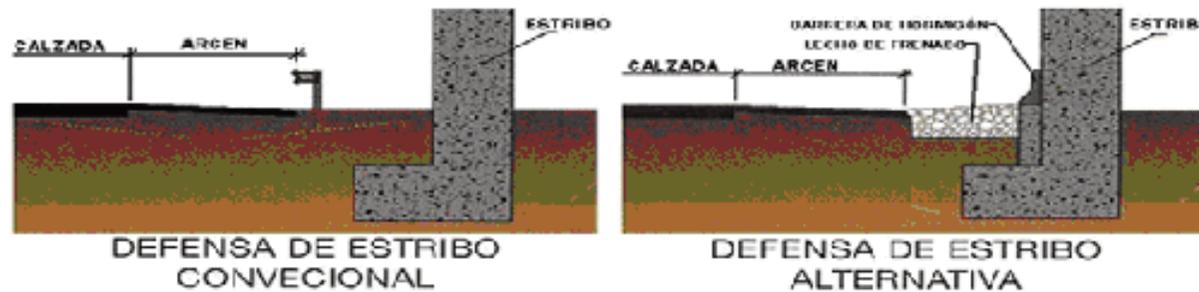
O.C. 321/95 T. y P "Recomendaciones sobre sistemas de contención"

Recomendaciones sobre criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas en carretera aprobada por O.C. 28/09.

## IMPLANTACIÓN

Es habitual proteger a los usuarios del choque con un estribo mediante una barrera de seguridad, pudiendo completarse, al igual que en el caso de las pilas, con unos lechos de frenado cuya anchura se puede reducir hasta 1'50 m.

## ILUSTRACIÓN



Es importante señalar que los lechos de frenado no se pueden disponer contiguos al arcén sin que se interponga una berma, pues en caso contrario el material del lecho podría invadir la plataforma.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFFECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Medio	Medio	Bajo	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

## Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía SDC5.- Barreras de seguridad

### DEFINICIÓN

El funcionamiento de las barreras metálicas de seguridad consiste en la absorción por parte del sistema de la energía cinética del vehículo en el momento del impacto mediante la deformación del mismo.

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.

### ILUSTRACIÓN



### ENTORNO LEGAL

Orden Circular 321/95 T. y P. "Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos".

### IMPLANTACIÓN

1. 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 el que tendría lugar en caso de no existir aquel. 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 coste de instalación y mantenimiento del dispositivo.
  - El coste de las soluciones alternativas.
  - La probabilidad de un choque con él, relacionada con la intensidad de la circulación.

22.- En la Orden Circular 321/95 se distinguen 3 tipos de accidentes

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía SDC5.- Barreras de seguridad

## IMPLANTACIÓN (continuación)

- La gravedad del accidente resultante de ese choque.
  - La gravedad del accidente que se ha evitado.
2. Una vez decidido que la mejor (o única) opción consiste en la instalación de una barrera de seguridad, se deberá estimar el tipo de accidente<sup>22</sup> que se está intentando evitar: muy grave, grave o normal.
  3. Una vez determinado el tipo de accidente que se pretende evitar, se procederá a identificar el nivel de contención necesario.
  4. La distancia mínima entre la barrera de seguridad y el inicio de la zona peligrosa deberá ser igual o superior a la anchura de trabajo de la barrera, siendo su valor mínimo de 0,6 metros. La Orden Circular 321/95 T. y P. incluye criterios sobre la correcta disposición de las barreras de seguridad en las carreteras. Concretamente se dan una serie de recomendaciones relacionadas con:
    - Distancias de la barrera al borde de la calzada.
    - Distancias de la barrera a obstáculos o desniveles.
    - Medianas.
    - Anticipación y prolongación de la barrera.
    - Continuidad de barrera.
    - Disposición en altura.

<i>COSTE DE INSTALACIÓN</i>	<i>COSTE DE MANTENIMIENTO</i>	<i>EFECTO ESTÉTICO</i>	<i>EFFECTIVIDAD TEÓRICA</i>
Alto	Medio	Medio	Alto
<i>ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR</i>			
<b>ESCENARIOS TIPO 1</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 2</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 3</b>	<b>ESCENARIOS TIPO 4</b>

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía SDC6.- Sistemas de protección para motocicletas

## DEFINICIÓN

La Dirección General de Carreteras distingue entre dos tipos de protectores:

- continuos y
- puntuales.

Si bien sólo recomienda la instalación de estos últimos de manera provisional o por razones muy justificadas de explotación.

## ENTORNO LEGAL

- Norma UNE 135900 "Evaluación del comportamiento de los sistemas para protección de motociclistas en las barreras de seguridad y pretilas"

Orden Circular 18/2004 sobre "Criterios de empleo de sistemas para protección de motociclistas"

## IMPLANTACIÓN

Los criterios para la instalación de dispositivos se establecen en función de características del trazado de la vía: anchos de arcén, radios de las curvas y diferencias de velocidad de alineaciones contiguas.

Así mismo, se hace referencia a que la instalación de este tipo de sistemas debe ser el resultado de un análisis previo en el que se tengan en cuenta soluciones alternativas. El análisis deberá considerar, al menos, los siguientes factores:

- El coste de las soluciones alternativas.
- Los costes de instalación y mantenimiento del dispositivo.
- La probabilidad de choque con el sistema.
- La gravedad del accidente que se pretende evitar con el empleo del sistema.
- La gravedad del accidente resultante del choque con el sistema.

## ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Medio	Bajo	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía

## SDC7.- Transición de barrera

### DEFINICIÓN

Conexión entre dos tramos de barrera de seguridad con distinto nivel de contención o clase de deformación.

### ENTORNO LEGAL

RPS 2.003 (Recomendaciones para protección pasiva en carreteras mediante sistemas de contención de vehículos)

### IMPLANTACIÓN

Siempre que se conecten dos tramos de barrera de distinto comportamiento (nivel de contención, clase de deformación), se deberá proveer de un tramo intermedio considerado como una barrera de seguridad con algunas particularidades.

La clase de contención de una transición no deberá ser inferior a la menor, ni superior a la mayor de las clases de contención de las dos barreras conectadas.

### ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Medio	Medio	Bajo	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía SDC8.- Abatimiento de extremos de barrera metálica o de hormigón

## DEFINICIÓN

La forma más segura de terminación de una barrera metálica es la introducción de su extremo en el terreno, es decir, su abatimiento.

## ILUSTRACIÓN



## ENTORNO LEGAL

O.C. 321/95 T. y P "Recomendaciones sobre sistemas de contención"

## IMPLANTACIÓN

En el extremo frontal en carreteras de calzadas separadas, y en todos los extremos en carreteras de calzada única, se recomienda elegir entre las disposiciones siguientes:

- a) El empotramiento del extremo de la barrera en el talud del desmonte.
- b) El abatimiento hasta el terreno de los 12 m extremos de barrera o pretil. Las tres vallas extremas tendrán postes cada 2 m. Los cinco postes más bajos no tendrán separador y de éstos, los dos más bajos irán provistos de una chapa soldada que aumente su resistencia al arrastre a través del suelo. Dichos postes provistos de chapa soldada, quedarán completamente enterrados.

En el extremo final en carreteras de calzadas separadas, se abatirán hasta el terreno los últimos 4 m de barrera o pretil, mediante una pieza especial en ángulo, con postes cada 2 m, sin separador y con una chapa soldada enterrada en el suelo.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Medio	Medio	Bajo	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía

## SDC9.- Barrera estética

### DEFINICIÓN

Se trata de dispositivos mixtos de acero, que garantiza la capacidad de contención de la barrera, y de madera, que asegura su integración paisajística en el entorno

### ENTORNO LEGAL

O.C. 321/95 T. y P. "Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos.

### IMPLANTACIÓN

Se utilizará en aquellas rutas de carácter turístico y recreacional.

En todos los casos debe cumplir lo establecido en la O.C. 321/95 T y P, en lo referente a nivel de contención y deformación.

### ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Alto	Alto	Alto

### ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR

ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía

## SDC10.- Lechos de frenado

### DEFINICIÓN

Los lechos de frenado se sitúan en los márgenes de la carretera y están rellenos de un material granular suelto que facilita la detención progresiva, por rozamiento, de los vehículos que hayan sufrido problemas en los frenos.

### ENTORNO LEGAL

O.C. 321/95 T. y P "Recomendaciones sobre sistemas de contención".

### IMPLANTACIÓN

En tramos de carreteras de nueva construcción donde sea inevitable la presencia de rasantes descendentes de gran longitud, y los daños causados por vehículos que puedan perder el control por avería en los frenos se consideren graves, la implantación de lechos de frenado formará parte integrante del diseño de esos tramos. A título orientativo, si la inclinación media  $i$  (%) de la rasante descendente es superior al 5 %, se considerará justificado disponer un lecho de frenado si el producto del cuadrado de  $i$  por la longitud del tramo descendente (km) resulta superior a 60.

La instalación de un lecho de frenado también se justificará con las estadísticas de accidentes causados por vehículos que hayan perdido el control por avería en los frenos.

En todo caso, si después de la pendiente hubiera una rampa de suficiente longitud o inclinación, antes de llegar a una curva, se podrá justificar no disponer un lecho de frenado.

### ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Medio	Alto	Alto
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía

## SDC11.- Terminales de barrera

### DEFINICIÓN

Los terminales absorbentes de energía (TAE) se comportan como atenuadores de impacto frente a los impactos frontales y como barreras de seguridad ante impactos laterales.

### ENTORNO LEGAL

O.C. 321/95 T. y P "Recomendaciones sobre sistemas de contención".

### IMPLANTACIÓN

Se trata de una medida muy eficaz aunque su coste es importante, por lo que en primer lugar se estimará el abatimiento del extremo de la barrera, dejando a criterio del técnico la utilización de este tipo de dispositivos de manera puntual.

### ILUSTRACIÓN



COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Alto	Alto	Medio	Alta
ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR			
ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4

# Soluciones para minimizar las consecuencias de una salida de vía

## SDC12.- Atenuadores de impacto

### DEFINICIÓN

Los Atenuadores de Impacto (también llamados amortiguadores de impacto) son unos dispositivos diseñados para soportar el choque frontal de un vehículo y mitigar las consecuencias absorbiendo su energía cinética mediante la deformación del dispositivo. Deben cumplir dos requisitos funcionales:



- 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).

Existen dos tipos de dispositivos:

Sin capacidad de reorientación (conjuntos de bidones lastrados con arena y rellenos, o no, de un material deformable).

Con capacidad de reorientación (sistemas telescópicos con celdillas de deformabilidad controlada).

### ENTORNO LEGAL

O.C. 321/95 T. y P "Recomendaciones sobre sistemas de contención".

### IMPLANTACIÓN

Los amortiguadores de impacto se colocarán delante de los obstáculos a los que protegen, de manera que el choque se produzca lo más frontalmente posible.

COSTE DE INSTALACIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	EFEECTO ESTÉTICO	EFFECTIVIDAD TEÓRICA
Medio	Medio	Alto	Alto

### ESCENARIOS EN LOS QUE SE PUEDE APLICAR

ESCENARIOS TIPO 1	ESCENARIOS TIPO 2	ESCENARIOS TIPO 3	ESCENARIOS TIPO 4
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

### ILUSTRACIÓN



## 6. FICHAS PROBLEMA-SOLUCIÓN

Para facilitar la elección de la solución más adecuada a cada problema identificado, se recogen en la matriz siguiente para cada uno de los problemas identificados las posibles soluciones a aplicar.

Es importante notar, que muchas de las soluciones propuestas son complementarias dependiendo su efectividad teórica de otras medidas implantadas en la zona para la resolución del problema. Es por ello, por lo que en más de una ocasión la mejor opción será una combinación de aquellas soluciones que hayan obtenido las mejores valoraciones.

Asimismo, en la última columna de la matriz aparecen los Ejemplos Prácticos asociados al problema analizado.

### LEYENDA:

Nº DE FICHA	PELIGROS CONTINUOS
PC1	Cunetas
PC2	Desmontes y Terraplenes
PC3	Puentes, viaductos y coronaciones de muros de sostenimiento
PC4	Lateral de piedra natural
PC5	Bordillos
PC6	Muros, pantallas anti-ruido y similares
PC7	Ausencia de marcas viales
PC8	Trazado de la carretera

Nº DE FICHA	PELIGROS DISCONTINUOS
PD1	Árboles
PD2	Rocas
PD3	Pasos salvacunetas
PD4	Luminarias
PD5	Postes de señalización y líneas aéreas (teléfono, electricidad)
PD6	Pilares y estribos de puentes
PD7	Extremos de barrera agresivos
PD8	Transiciones entre barreras de seguridad
PD9	Edificaciones

Nº DE FICHA	OTROS PELIGROS
OP1	Postes de barrera metálica
OP2	Discontinuidades entre barreras de seguridad próximas
OP3	Altura de barrera insuficiente
OP4	Barrera en mal estado
OP5	Presencia de peatones en la calzada
OP6	Presencia de animales en la calzada

*Tabla 17. Numeración y clasificación de las fichas de peligros.*

FICHA	SOLUCIÓN
SEA1	Hitos de arista
SEA2	Paneles direccionales
SEA3	Marcas Viales
SEA4	Captafaros
SEA5	Resaltos en marcas viales
SEA6	Marcado reflectante de árboles
SEA7	Pavimentos antideslizantes
SEA8	Pavimentos drenantes
SEA9	Mejora de la geometría en curvas horizontales
SEA10	Elementos reductores de velocidad. Bandas transversales de alerta
SEA11	Elementos reductores de velocidad. Reductores prefabricados de velocidad.
SEA12	Mejora de las narices en divergencias.

FICHA	SOLUCIÓN
SMC1	Establecer una zona de seguridad
SMC2	Desmontes
SMC3	Disminución del número de accesos e intersecciones
SMC4	Rediseño/reubicación de pasos salvacunetas
SMC5	Rediseño de desagües y drenajes
SMC6	Protección de cunetas

*Tabla 18. Numeración y clasificación de las fichas de soluciones.*

FICHA	SOLUCIÓN
SDC1	Estructuras fusibles
SDC2	Picos de flauta
SDC3	Pretilos
SDC4	Protección de estribos
SDC5	Barreras de seguridad
SDC6	Sistemas de protección para motocicletas
SDC7	Transiciones de barrera
SDC8	Abatimiento de extremos de barrera metálica o de hormigón
SDC9	Barrera estética
SDC10	Lechos de frenado
SDC11	Terminales de barrera
SDC12	Atenuadores de impacto

Tabla 18. Numeración y clasificación de las fichas de soluciones.

SOLUCIONES		POSIBLES PELIGROS EXISTENTES EN EL MARGEN DE LA CARRETERA																							
		PELIGROS CONTINUOS								PELIGROS DISCONTINUOS									OTROS PELIGROS						
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PD8	PD9	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	
PARA EVITAR LOS ACCIDENTES POR SALIDAS DE VÍA	SEA1	X					X	X			X					X	X	X	X			X			
	SEA2						X	X								X	X	X	X			X			
	SEA3		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		
	SEA4				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		
	SEA5	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		
	SEA6							X	X	X								X	X				X		
	SEA7			X	X				X							X	X	X	X				X		
	SEA8	X																						X	
	SEA9								X																
	SEA10			X																					
	SEA11			X																					
	SEA12							X	X																
PARA MINIMIZAR LAS POSIBILIDAD DES DE CHOQUE EN CASO DE ACCIDENTES	SMC1						X			X															
	SMC2		X																						
	SMC3	X						X																	
	SMC4	X									X														
	SMC5	X									X														
	SMC6	X									X														
PARA MINIMIZAR LAS CONDESEQUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA	SDC1										X		X												
	SDC2	X									X														
	SDC3			X																					
	SDC4			X											X										
	SDC5		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X		
	SDC6																	X							
	SDC7															X				X					
	SDC8														X										
	SDC9																								
	SDC10																X								
	SDC11																		X						
	SDC12		X		X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X		
EJEMPLOS PRÁCTICOS	EP4			EP16					EP2	EP16	EP19	EP17	EP3					EP1		EP1					
	EP5	EP8		EP18			EP5		EP6	EP18								EP3		EP3					
	EP6	EP9					EP16		EP15									EP14		EP14					
	EP7	EP10					EP18											EP17		EP17					
	EP14	EP11					EP19																		
	EP15																								
	EP16																								
	EP17																								
	EP18																								
	EP19																								
	EP20																								

Tabla 19. Tabla-resumen problemas-soluciones.

## 7. FICHAS EJEMPLOS PRÁCTICOS

A continuación se recopilan casos reales que sirven como ejemplos prácticos al establecer recomendaciones para el diseño de márgenes en función de los peligros posibles en la vía.

Estos ejemplos consideran situaciones particulares; en casos más generales, la solución del problema de seguridad se resolverá con la instalación de un sistema de contención apropiado, siguiendo la normativa en vigor.

La siguiente tabla hace referencia a los ejemplos incluidos.

FICHA	EJEMPLOS PRÁCTICOS
EP1	Carretera y margen en terreno llano con barrera metálica.
EP2	Margen en desmonte con presencia de árboles
EP3	Cuneta no revestida
EP4	Cuneta reducida de hormigón de sección U
EP5	Cuneta trapecial con muro de piedra
EP6	Cuneta triangular de seguridad en terreno llano
EP7	Margen con terraplén de talud 1:3
EP8	Margen con terraplén crítico de talud 1:2
EP9	Margen con terraplén crítico
EP10	Margen con terraplén de talud 1:2
EP11	Inexistencia de berma
EP12	Margen con cuneta triangular revestida en desmonte
EP13	Margen con cuneta revestida y lateral de piedra natural
EP14	Margen con cuneta de seguridad y báculo de iluminación
EP15	Margen con cuneta y desmonte crítico
EP16	Margen con paso salva-cuneta
EP17	Margen con cuneta no revestida

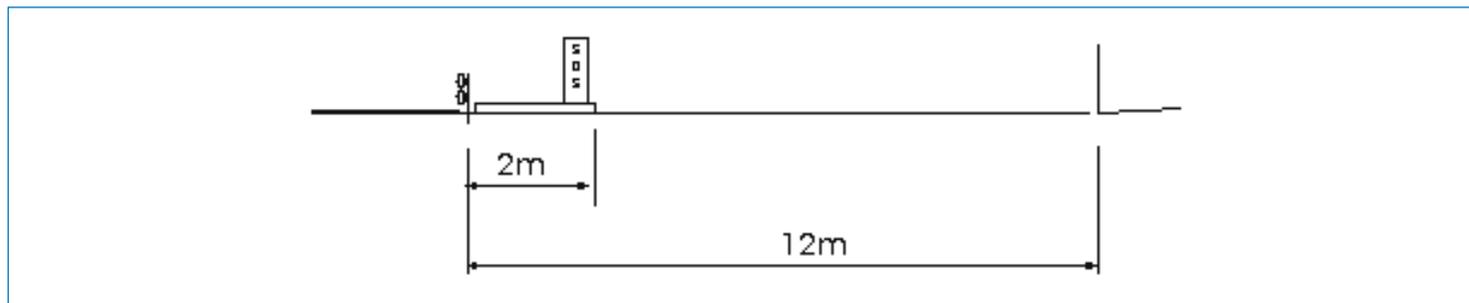
*Tabla 20. Numeración de fichas de ejemplos prácticos.*

## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP1.- Carretera y margen en terreno llano con barrera metálica

### DESCRIPCIÓN

El margen se caracteriza por ser amplio, horizontal y estar contenido en un plano similar al de la calzada. Se encuentra delimitado por una barrera de seguridad metálica en la berma de la plataforma y una valla situada a 12 metros de la plataforma. A 2 metros de la barrera de seguridad metálica se encuentra un poste SOS.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### ILUSTRACIÓN



### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Depende del vehículo, del ángulo de incidencia de la colisión y de la velocidad. En caso de salida de vía se producirá el impacto lateral con la barrera de seguridad.

#### 1. Turismo:

- Impacto contra la barrera; en función del ángulo de impacto, el vehículo podría ser redireccionado y quedar inmovilizado en la calzada. La velocidad y la masa del vehículo condicionan así mismo la dinámica del impacto.
- Deben esperarse daños significativos en el lateral del vehículo y daños leves en el frontal y la suspensión delantera. Los airbags laterales pueden activarse. No deben esperarse daños personales si se utilizan los cinturones de seguridad.

#### 2. Camión / autobús:

## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP1.- Carretera y margen en terreno llano con barrera metálica

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

- a. Si la salida es con un ángulo de unos  $45^\circ$ , es probable que el camión derribe la barrera ya que no están diseñadas para ese ángulo de impacto. A continuación, el camión chocaría contra el poste SOS; según el grado de resistencia del mismo se derivarán mayores o menores daños al vehículo.
- b. Si la salida es con un ángulo muy pequeño, la barrera retiene y redirecciona el camión hacia la calzada sin daños personales.

### 3. Motocicleta:

Accidente con graves daños personales debido al choque contra la barrera ya que carece de dispositivo de protección de motociclista. El motociclista puede impactar sobre la barrera de seguridad o pasar a través de ella.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

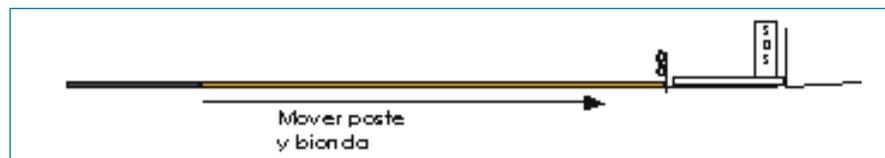
Desplazar la barrera de seguridad y el poste SOS cerca de la valla.

Mejora notable de la seguridad, en particular para motociclistas.

En primer lugar, una distracción del usuario no acaba necesariamente en un impacto contra la barrera; salvo en salidas con un fuerte ángulo y con velocidad elevada (debido, por ejemplo, a maniobras de esquiva), el conductor tiene tiempo de recuperar la trayectoria antes de impactar contra la barrera.

Un ángulo de salida de  $10^\circ$  da al conductor aproximadamente 69 m de recorrido antes de alcanzar la barrera, lo que le permitiría volver a la plataforma.

En el caso de una motocicleta, si se produjera la caída del conductor, éste dispondría de esos 69 m para no chocar contra la valla.

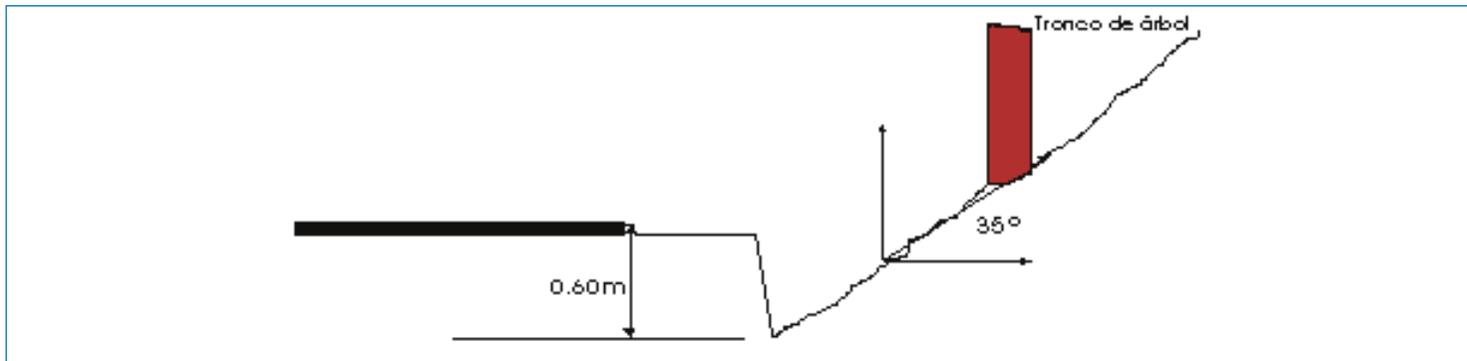


## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP2.- Margen en desmote con presencia de árboles

### DESCRIPCIÓN

Margen abrupto en un terreno arbolado y en desmote, presenta una cuneta triangular profunda y talud interior casi vertical.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL

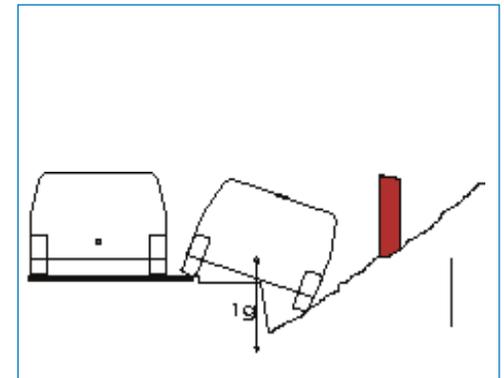


### ILUSTRACIÓN



### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

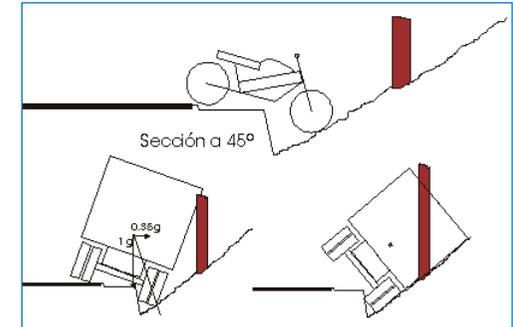
1. Turismo:
  - a. No deben esperarse daños graves exactamente para el perfil representado (que puede cambiar unos cuantos centenares de metros más adelante). El vehículo sufriría daños en los bajos y en la suspensión que cae a la cuneta. No debe producirse el vuelco.
  - b. Aun volcando, no deberían esperarse daños graves a los ocupantes si utilizan el cinturón de seguridad.
  - c. El daño grave se produce en caso de colisión con árbol.
2. Motocicleta: Siempre será un accidente muy grave; el motociclista impactará directamente contra el talud; la gravedad se incrementaría en caso de chocar con un árbol.
3. Camión / autobús:



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP2.- Margen en desmonte con presencia de árboles

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

- a. Si la salida es con un ángulo pequeño (despiste del conductor, o maniobra incorrecta), podría producirse el vuelco; bastaría para ello, con este perfil, que apareciera una aceleración lateral de  $0,35g$ ; las consecuencias del vuelco por sí mismos no son graves si los ocupantes utilizan el cinturón de seguridad, ya que el perfil de la margen no deja mucho espacio para que el vehículo adquiriera una velocidad angular importante.
- b. Sin embargo, sí es muy grave el daño introducido por el muy probable impacto contra un árbol, ya que se produciría no tanto en la parte frontal inferior del vehículo (donde están las partes resistentes principales), sino directamente en la cabina, pudiendo esperarse un problema importante de intrusión en el habitáculo.



### SOLUCIÓN PROPUESTA

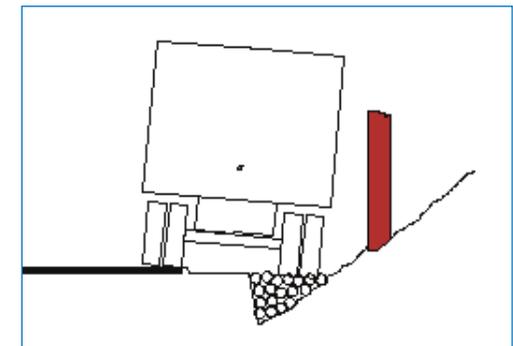
Rellenar la cuneta con grava. El agua discurre entre las piedras y se mantiene la permeabilidad de la cuneta, y se impide la inestabilidad del vehículo.

#### 1. Turismo / camión /autobús:

- a. La situación mejora notablemente para pequeños ángulos de salida. Al no caer las ruedas a la cuneta, el conductor dispone de más tiempo para recuperar la situación. El talud de la ladera contribuiría a devolver al vehículo hacia la carretera; aunque no se descarta el impacto contra un árbol.
- b. Para mayores ángulos, debidos, por ejemplo, a una maniobra de esquiwa o al exceso de velocidad en una curva, la situación también mejora al introducirse el relleno de la cuneta. Se mantiene (incrementado) el riesgo de impacto contra un árbol.

#### 2. Motocicleta:

- a. El accidente se minimiza para pequeños ángulos de salida, por los mismos motivos que para los turismos; en función de la experiencia del motociclista, podría incluso evitarse la caída.
- b. Para un ángulo de  $45^\circ$ , la caída parece irremediable, aunque de menor gravedad que sin el relleno. En éste caso, el motociclista saldría despedido por encima del manillar. No puede eliminarse el riesgo de impacto contra un árbol.

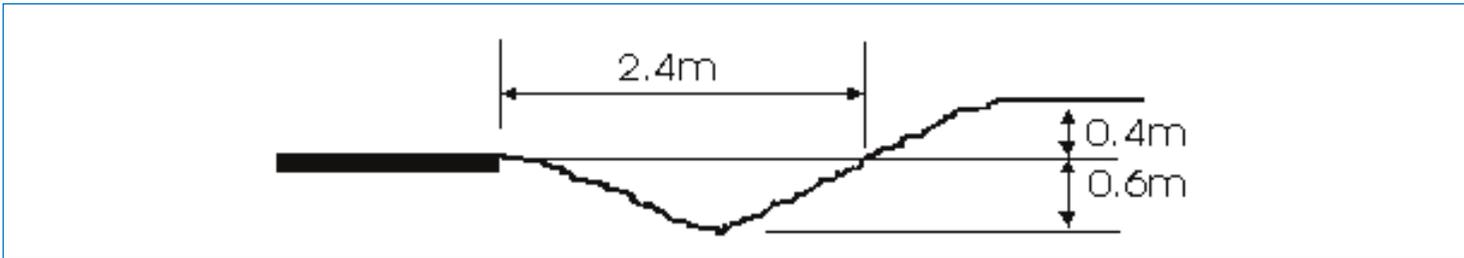


## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP3.- Cuneta no revestida

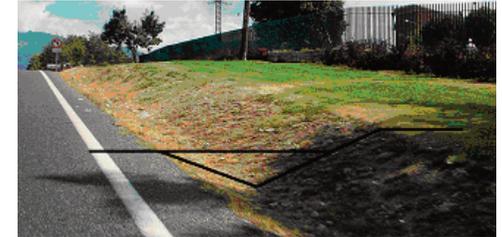
### DESCRIPCIÓN

El margen presenta una cuneta no revestida y un suave desmonte de tierra vegetal.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### ILUSTRACIÓN



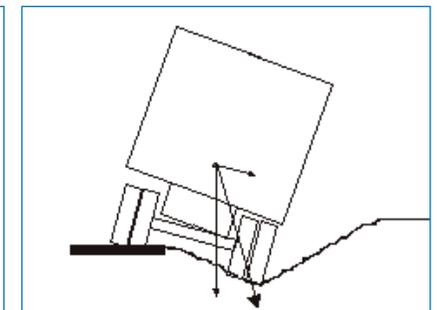
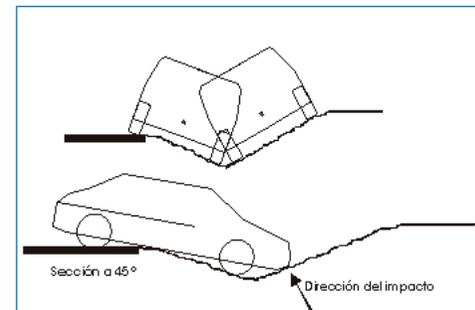
### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Depende del vehículo, del ángulo de incidencia y de la velocidad del vehículo. Se consideran dos ángulos tipo,  $<10^\circ$  y  $45^\circ$ . El conductor, en el primer caso, es posible que mediante una maniobra de emergencia intente volver a la calzada.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

#### 1. Turismo.

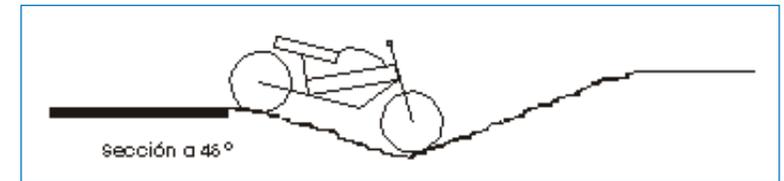
- Para pequeños ángulos de salida, el conductor no debería tener problemas para volver a la calzada; el riesgo de vuelco es casi nulo.
- Para salidas de unos  $45^\circ$ , la parte frontal inferior del vehículo debería chocar contra el perfil de la cuneta; sin embargo, es un impacto que debería afectar solamente a esa parte, sin mayores daños estructurales. En función de la velocidad, es probable la activación de los airbags frontales; si los ocupantes utilizan los cinturones de seguridad no deberían esperarse daños personales.



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP3.- Cuneta no revestida

### SOLUCIÓN PROPUESTA (continuación)

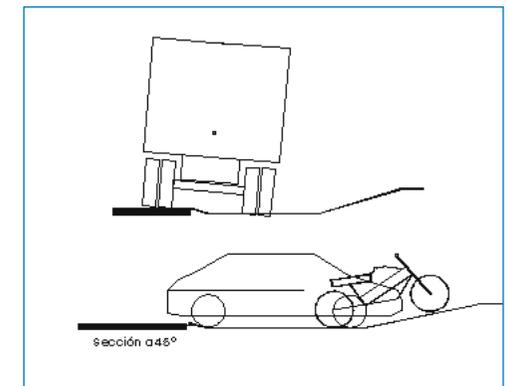
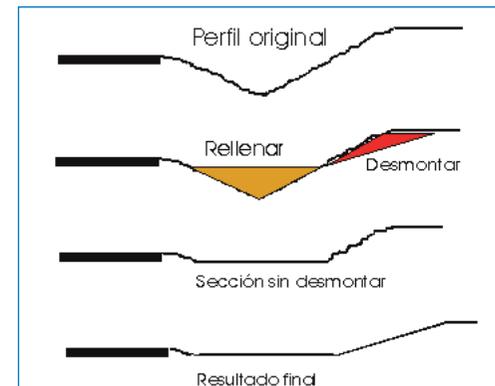
2. Camión / Autobús. La maniobra de intento de volver a la calzada en el caso de una salida de pequeño ángulo, puede dar lugar al vuelco.
3. Motocicleta: Salvo el caso de que el motociclista sea experimentado y la moto sea de campo, normalmente debería producirse la caída de aquél, aunque la ausencia de obstáculos rígidos evita el agravamiento de la misma.



### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

Rellenar la cuneta con grava, hormigón poroso, u otro material resistente y drenante de tal manera que se aporte continuidad al plano de la plataforma y el plano del desmonte.

Se elimina la posibilidad de vuelco en camiones o autobuses, incluso de daños en turismo. Ni siquiera tendría que esperarse la caída del motociclista salvo inexperiencia o circulación a mucha velocidad.

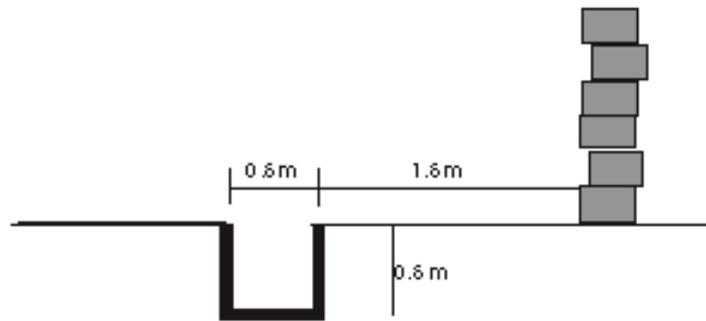


## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP4.- Cuneta reducida de hormigón de sección U

### DESCRIPCIÓN

El margen presenta una cuneta de sección U en hormigón a continuación del arcén de la calzada y un muro de piedra a 1.5 m de la cuneta.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



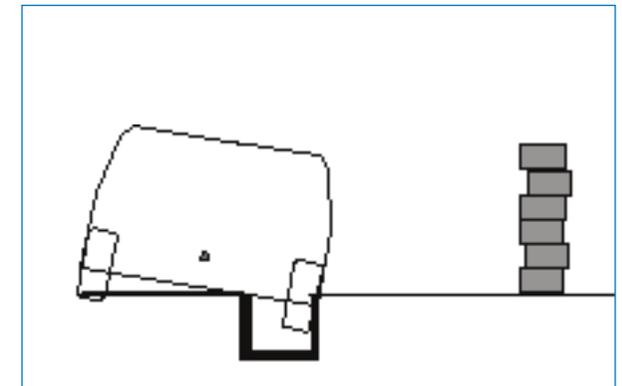
### ILUSTRACIÓN



### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Dependerán del ángulo de la salida, y de la velocidad del vehículo. Una vez las ruedas del vehículo se introduzcan en la cuneta el vehículo queda atrapado.

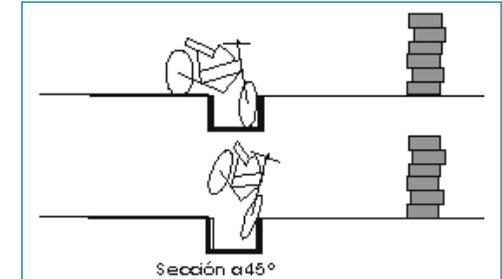
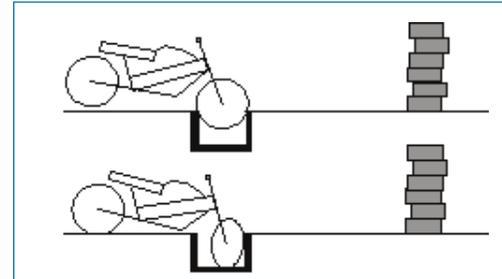
1. Turismo: si la salida es con un ángulo pequeño, las ruedas exteriores pueden caer a la cuneta hasta que la parte inferior del vehículo se apoye en el borde de la cuneta; se producirán daños en la suspensión, bajos del vehículo. Si la salida es con un ángulo de  $45^\circ$ , las ruedas puede que sobrepasen la cuneta y el vehículo chocará contra el muro de piedra. Si los ocupantes llevan cinturón y el airbag se activa, no son de esperar daños personales graves.
2. Camión / autobús: Para una salida de la vía con poco ángulo, sólo caerá a la cuneta la rueda delantera, no las traseras; se podrá producir daño en ruedas y suspensión. Si la salida es con ángulo de  $45^\circ$ , se puede alcanzar el muro de piedra y puede dar lugar a un posible derribo del mismo.



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP4.- Cuneta reducida de hormigón de sección U

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

3. Motocicleta: siempre será un accidente muy grave. Con cualquier ángulo de salida de vía, la rueda delantera caerá a la cuneta y la motocicleta saldrá proyectada hacia el muro de piedra.



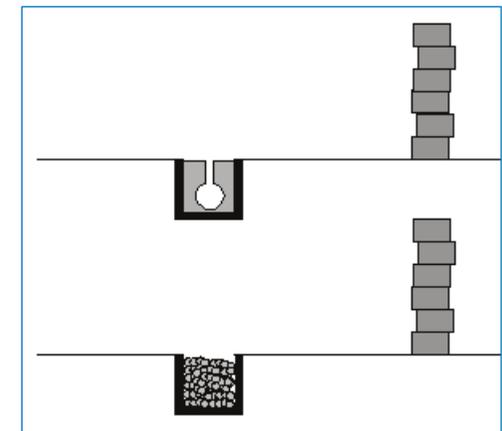
### SOLUCIÓN PROPUESTA

Se propone proteger la cuneta mediante la instalación de un caz longitudinal (franja estrecha longitudinal en forma de canal revestido de muy poca profundidad y generalmente situada en el borde de la plataforma). O bien se aplica un relleno de grava drenante de tal manera que se aporta continuidad al plano de la plataforma y el margen de la vía.

Para todo tipo de vehículo, el caz longitudinal es franqueable reduciendo las posibilidades de vuelco. La velocidad del vehículo es determinante para valorar su impacto con el muro de piedra.

La solución de rellenar la cuneta con grava es la más sencilla. El agua de la calzada se filtra entre las piedras y es recogida y evacuada por un tubo dren.

En lo que se refiere a las motocicletas, cualquier solución permitiría el retorno a la calzada según sea la velocidad de salida de vía. Si el ángulo es de unos 45°, se puede producir el impacto de la motocicleta y el motociclista con el muro de piedra.



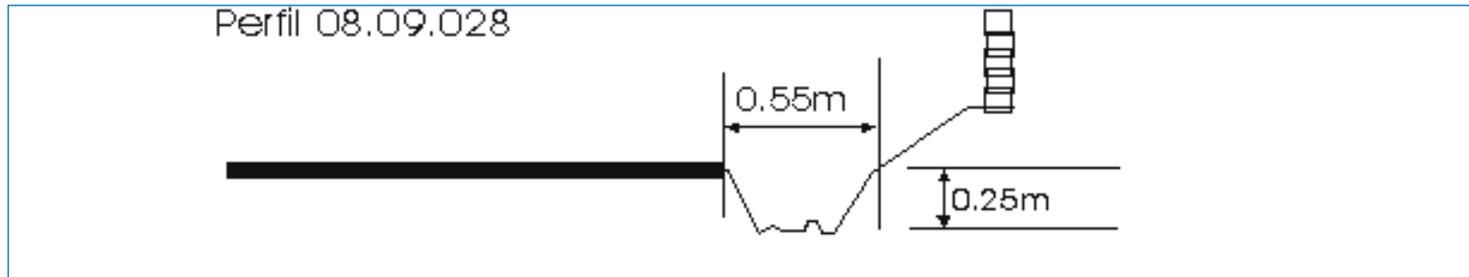
### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP5.- Cuneta trapezoidal con muro de piedra

### DESCRIPCIÓN

El margen presenta una cuneta de sección trapezoidal con superficie en el fondo irregular y taludes exteriores e interiores muy pronunciados. La carretera discurre por un terreno de relieve llano. Destaca la presencia en el margen de un muro de piedra próximo a la calzada.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### ILUSTRACIÓN



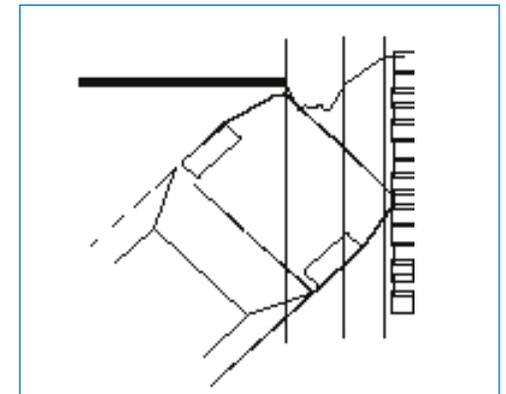
### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Depende del vehículo, del ángulo de incidencia y de la velocidad. La presencia de árboles y muro de piedra aumentan las posibilidades de impacto con algún obstáculo.

**NOTA:** la descripción parte de supuestos sencillos, minimizando variables; sin embargo, puede considerarse representativa de los comportamientos genéricos de vehículos cuyas dimensiones y situación de centro de gravedad son representativos de la media. Frente a las trayectorias de salida de la plataforma, a  $45^\circ$  y  $< 10^\circ$ , si puede decirse que el comportamiento general de los vehículos se aproxima al descrito.

1. Turismo:

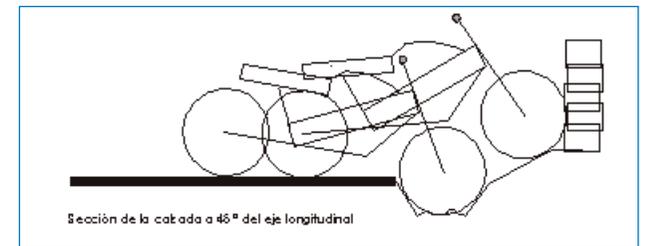
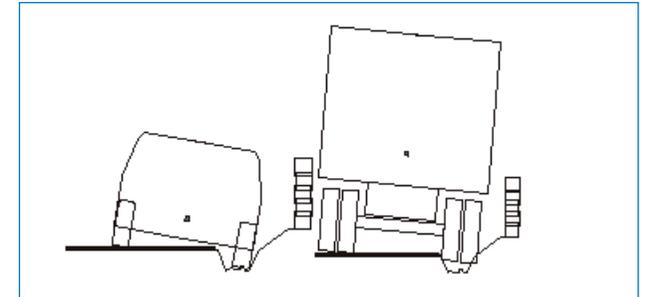
- a. Si la salida es con un ángulo de unos  $45^\circ$ , (resultado de una maniobra de esquiva), el turismo puede sobrepasar la cuneta, ocasionando daños en la parte inferior del mismo. Y es probable que se produzca un impacto con el muro de piedra o los árboles. En función de la velocidad de la salida de vía el impacto sería grave o muy grave.



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP5.- Cuneta trapezoidal con muro de piedra

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

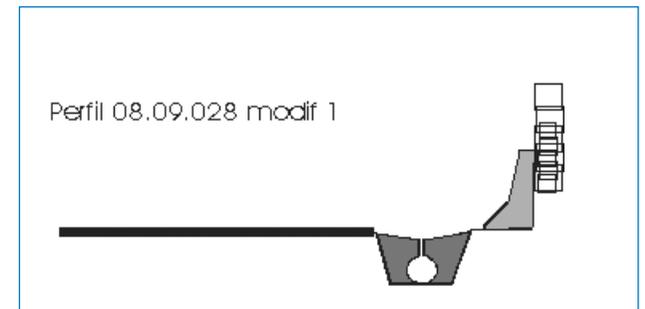
- b. Si el ángulo es muy pequeño (despiste del conductor), se produce la invasión del vehículo en la cuenta y la posible ocasión de daños en la parte inferior del vehículo, incluso en algún neumático, pero no deberían de esperarse daños mayores.
2. Camión / autobús:
    - a. Si la salida es con ángulo de unos 45°, el resultado sería aproximadamente el mismo que para un turismo, daños en el frontal y suspensión delantera. La masa y la velocidad del camión puede dar lugar al derribe del muro de piedra.
    - b. Si la salida es con un ángulo muy pequeño no se alcanzaría el muro de piedra, ni tampoco se produciría el vuelco, aunque en este caso particular sí podría la parte derecha de la cabina del camión impactar contra algún árbol, lo que sería peligroso para los ocupantes.
  3. Motocicleta: siempre se producirá la caída de los ocupantes y su choque contra la valla o los árboles; en cualquier caso un accidente muy grave ya que los ocupantes golpearán obstáculos rígidos.
    - a. El perfil que muestra el dibujo es la sección transversal a 45° de la cuneta.



### SOLUCIÓN PROPUESTA

Proteger la cuneta mediante un caz longitudinal, el cual está formado por un conducto de poca profundidad, provisto en su centro de un sumidero continuo (una hendidura de unos 4 cm de anchura) que desagua a un colector de sección circular, situado debajo. El material es hormigón, y se pueden disponer desde piezas prefabricadas hasta hormigonadas in situ.

Es probable que no se pueda modificar el muro de piedra ni eliminar los árboles, por lo que se recomienda colocar una barrera de seguridad de hormigón (con el perfil adecuado), utilizando la propia valla como encofrado perdido en el intradós, si se hormigonase in situ. Esta barrera debe quedar a la misma altura que el borde de la plataforma de la carretera.



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP5.- Cuneta trapezoidal con muro de piedra

### SOLUCIÓN PROPUESTA (continuación)

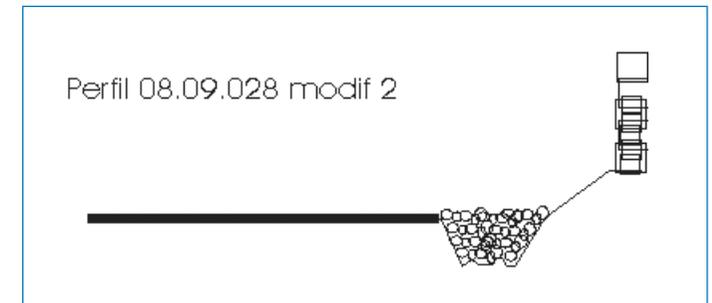
Para todo tipo de vehículo, el caz longitudinal es franqueable sin daños ni vuelco. El impacto contra la barrera de hormigón es menos probable que si estuviera situada al borde de la plataforma, como es habitual.

En cualquier caso, para vehículos de 4 ruedas, al estar la plataforma del vehículo estable durante el impacto con la barrera de hormigón (las ruedas derechas no han caído a la cuneta), el impacto es más favorable.

### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

Esta solución es más sencilla: se rellena la cuneta con grava de manera que la superficie esté a la misma altura que la plataforma. El agua de lluvia se filtraría entre las piedras, lo que serviría para que la cuneta cumpliera su función.

Sin embargo, esta propuesta es tecnológicamente inferior a la anterior, ya que si bien un vehículo que salga de la vía a la cuneta no caería a ella y podría retornar a la calzada, las piedras o grava, al ser un material suelto, podrían dispersarse sobre aquélla, con el consiguiente peligro de proyección sobre otros vehículos. RESULTADO DE UNA SALIDA DE VÍA: Similar a la anterior, pero con peor estabilidad de la plataforma del vehículo.



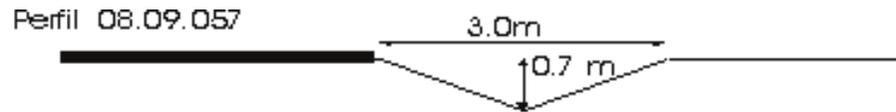
# Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes

## EP6.- Cuneta triangular en terreno llano

### DESCRIPCIÓN

El margen presenta una cuneta triangular sin revestir y se caracteriza por estar contenido en un plano similar al de la plataforma.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL

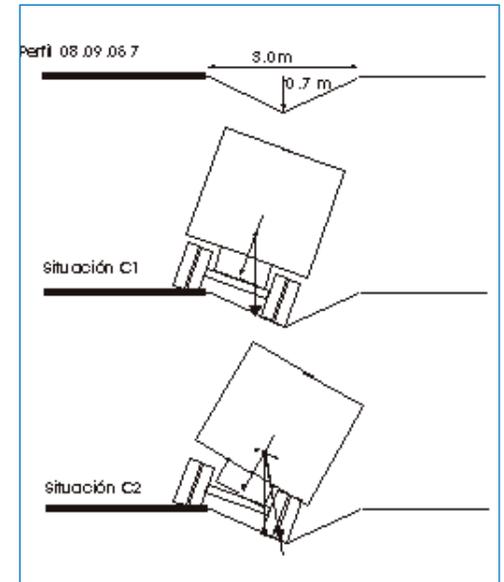


### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Depende del vehículo, del ángulo de incidencia y de la velocidad, pero también de la reacción del conductor:

1. Turismo: normalmente no debería tener graves consecuencias.
  - a. Si la salida es con un ángulo de  $45^\circ$ , (resultado de una maniobra de esquivar), el turismo atravesará la cuneta, ocasionando daño en la parte inferior y el paragolpes delantero. Dado que en este caso, más allá de la cuneta hay una superficie plana, no deben esperarse otros daños.
  - b. Si la salida de vía se produce en un ángulo muy débil (despiste del conductor), tampoco deberían esperarse graves daños, incluso ante una maniobra de urgencia del conductor para intentar volver a la carretera (ver situación T2; se ha supuesto una aceleración lateral =  $0,5 g$  máximo).
2. Camión / autobús: si la salida es con ángulo de unos  $45^\circ$ , el resultado sería el mismo aproximadamente que para un turismo, sin daños en los bajos en este caso. Pero si la salida es con un ángulo muy pequeño, la posibilidad de vuelco es muy elevada, como puede verse en la ficha 08.057.
  - a. La situación C1 propone el comportamiento de un vehículo con suspensión neumática (situación consolidada después del periodo transitorio inicial).

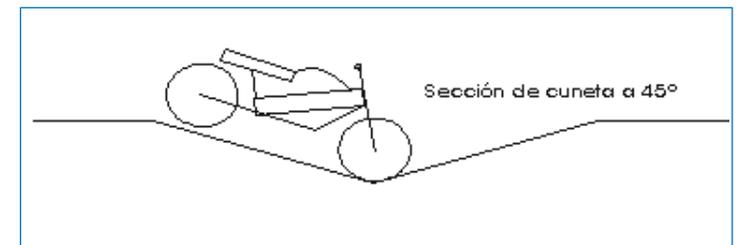
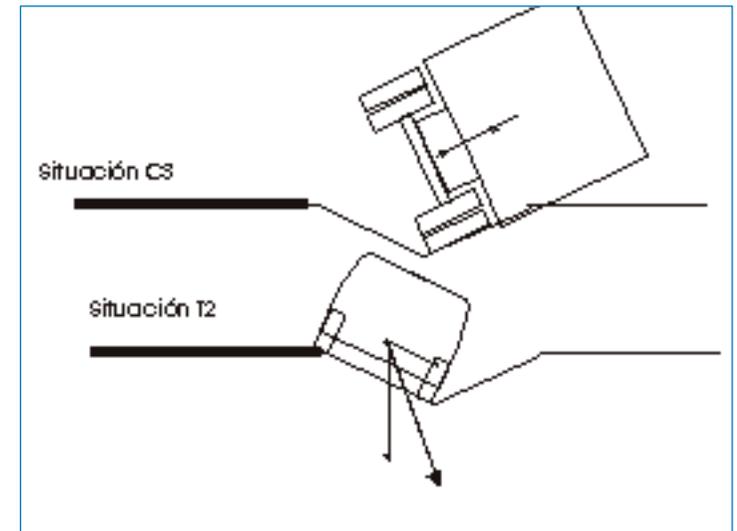
### ILUSTRACIÓN



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP6.- Cuneta triangular en terreno llano

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

- b. La situación C2 propone el comportamiento del vehículo en caso de tener una suspensión mecánica acumulada a la maniobra de intento del conductor de volver al asfalto; además de la inclinación de la carrocería respecto a los ejes debido a la flexibilidad de la suspensión, aparece una fuerza transversal limitada por el rozamiento disponible (aproximadamente 0,17).
- I. Como puede verse en el esquema situación C2, el vehículo (para esas condiciones teóricas) está muy próximo al vuelco, pudiendo producirse o no por cualquiera de las variables que, pudiendo estar presentes en cualquier punto de la cuneta (que, no se olvide, no es perfectamente regular), tales como la presencia de piedras u hoyos o cuando las ruedas se acuñen contra el cajero exterior de la cuneta, que introducirían un factor de inercia que modificarían esas fuerzas teóricas en cualquier sentido.
- II. De todas las maneras, en caso de vuelco (ver situación C3), y para este perfil de cuneta, no deberían esperarse graves daños estructurales al vehículo, ni personales a los ocupantes, a condición de que estén correctamente sujetos por el cinturón de seguridad. De no ser así, si habría heridos por impacto contra los interiores del vehículo, o aún peor, en caso de eyección por las ventanas rotas.
3. Motocicleta: siempre se producirá la caída de los ocupantes; lo que pueda pasar a continuación dependerá de muchos factores, entre ellos la posibilidad de tener un segundo impacto contra algún obstáculo rígido (no es el caso en este tramo), pero una caída de la moto es siempre un accidente potencialmente grave. El perfil que muestra el dibujo es la sección transversal a 45° de la cuneta, ya que se considera que esta trayectoria es peor para la seguridad que una salida a 5° ó 10°; el impacto contra el fondo de la cuneta es mayor cuanto mayor sea el ángulo.



### SOLUCIÓN PROPUESTA

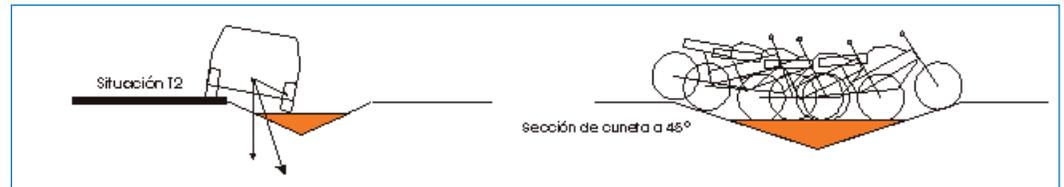
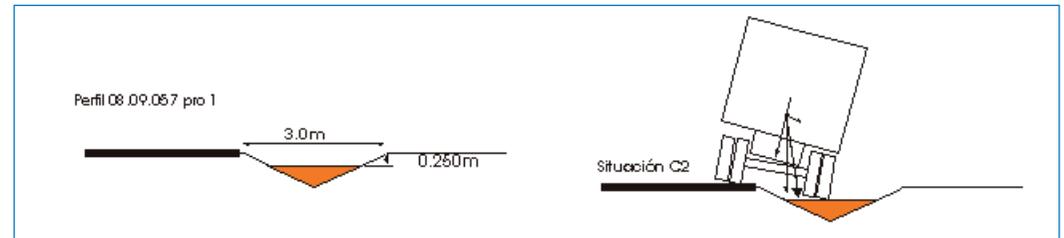
Rellenar el fondo (hormigón, grava...) hasta dejar una profundidad de 0,25 m. Sería recomendable disponer un dren en el vértice actual de la cuneta.

## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP6.- Cuneta triangular en terreno llano

### SOLUCIÓN PROPUESTA (continuación)

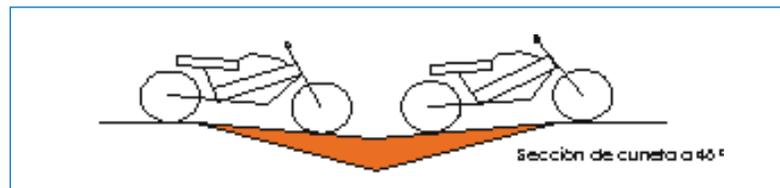
Resultados de una salida de vía en caso de camión y turismo, con un ángulo de incidencia muy pequeño (lo que aumenta la posibilidad de vuelco), por la margen modificada de acuerdo con la propuesta.

- Camión / autobús y turismo: Puede verse fácilmente que las posibilidades de vuelco han quedado casi anuladas con la modificación propuesta.
- Motocicletas: al existir un escalón vertical de 25 cm, es probable que el conductor pueda perder el control de la motocicleta, sin embargo, al compararlo con el anterior desfase vertical de 70cm, la situación ha mejorado sustancialmente.



### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

Se rellena la cuneta para generar un perfil en forma de V abierta, manteniendo la profundidad de 25 cm. Esta solución mejora notablemente la seguridad en caso de salida de vía.



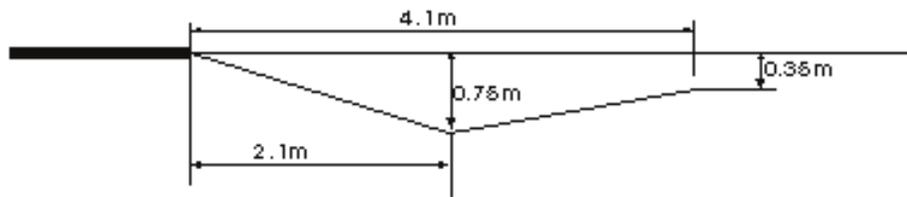
# Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes

## EP7.- Margen con terraplén de talud 1:3

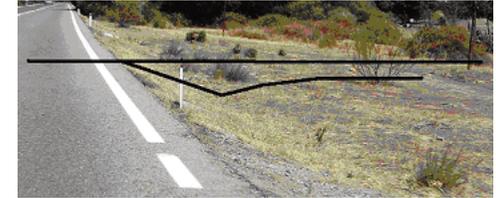
### DESCRIPCIÓN

El margen presenta un terraplén con un talud 1:3 que puede considerarse no recuperable pero franqueable.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### ILUSTRACIÓN



### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Dependerán del ángulo de la salida, y de la velocidad; muy poco de la reacción del conductor una vez las ruedas caigan a la cuneta.

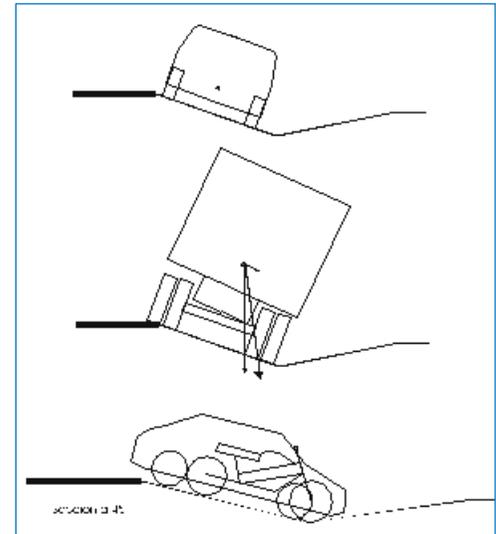
#### 1. Turismo:

- Si la salida es con pequeño ángulo ( $<10^\circ$ ), el vehículo resbalará por la pendiente del terraplén, no siendo probable el vuelco.
- Si la salida es con un ángulo de  $45^\circ$ , se producirá un choque de la parte frontal inferior del vehículo, que generará una reacción muy vertical, que, como máximo, podría activar los airbags delanteros. Si los ocupantes utilizan el cinturón de seguridad, no deberían ocurrir daños personales.

#### 2. Camión / autobús:

- Si la salida es con ángulo de unos  $10^\circ$ , el vuelco es bastante probable.

#### 3. Motocicleta:



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP7.- Margen con terraplén de talud 1:3

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

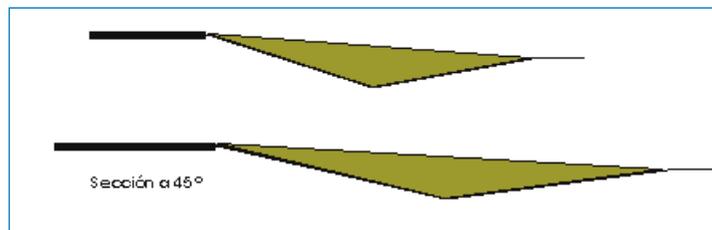
- a. Para una salida de la calzada, la experiencia del conductor será determinante en evitar la caída, pues el desnivel no es muy elevado; sin embargo, al llegar al fondo de la cuneta, se producirá la compresión de la suspensión delantera, lo que podría desequilibrar al motociclista; tanto más fácil si la moto no es de campo.
- b. La más que probable acción de frenado por parte del motociclista también podría llegar a bloquear la rueda delantera, lo que produciría una caída inevitable. Sin embargo, la ausencia de obstáculos rígidos (en ese punto) no agravaría las consecuencias de la caída.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

Construir un espaldón de tierra adosado al terraplén, rellenando también la cuneta de pie. La aportación a realizar sería aproximadamente de 1,25 m<sup>3</sup>/m de tierra.

Resultados de una salida de vía por la margen modificada.

Para cualquier tipo de vehículo y ángulo de salida, se produce una mejora notabilísima de la seguridad vial.

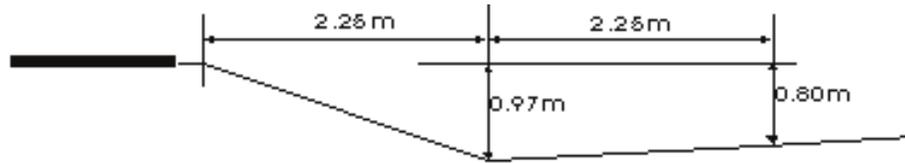


## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP8.- Margen con terraplén crítico de talud 1:2

### DESCRIPCIÓN

El margen se encuentra en terraplén crítico con talud 1:2.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Dependerán del ángulo de salida y de la velocidad; el conductor del turismo, o del camión / autobús, si la salida es con ángulo pequeño, tendría tiempo de intentar volver a la plataforma girando fuertemente el volante y creando, en consecuencia, una fuerza transversal que aumentaría la tendencia al vuelco.

#### 1. Turismo:

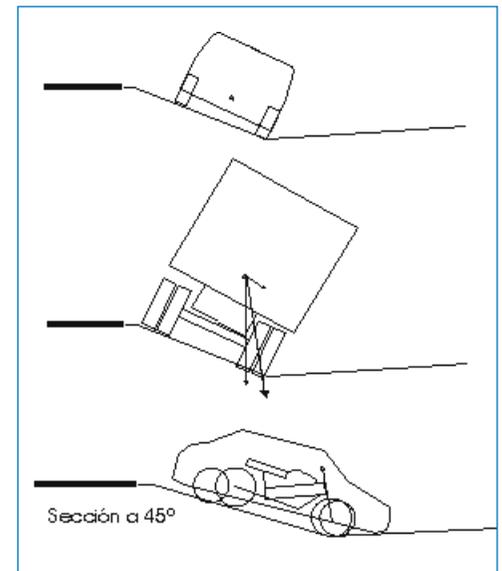
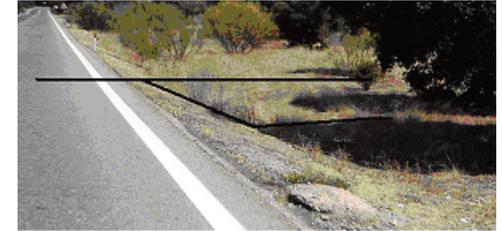
- Si la salida es con un ángulo pequeño, el vuelco es muy improbable.
- Si el ángulo es de 45°, se producirá el choque del frontal contra el pie del terraplén; pero este impacto crea una componente casi vertical, lo que significa que los daños estructurales no serán muy graves y los riesgos de daños corporales, si los ocupantes llevan el cinturón de seguridad, mínimos.

#### 2. Camión / autobús:

- Si la salida es con ángulo superior a unos 10°, el vuelco será inevitable.

#### 3. Motocicleta:

### ILUSTRACIÓN



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP8.- Margen con terraplén crítico de talud 1:2

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

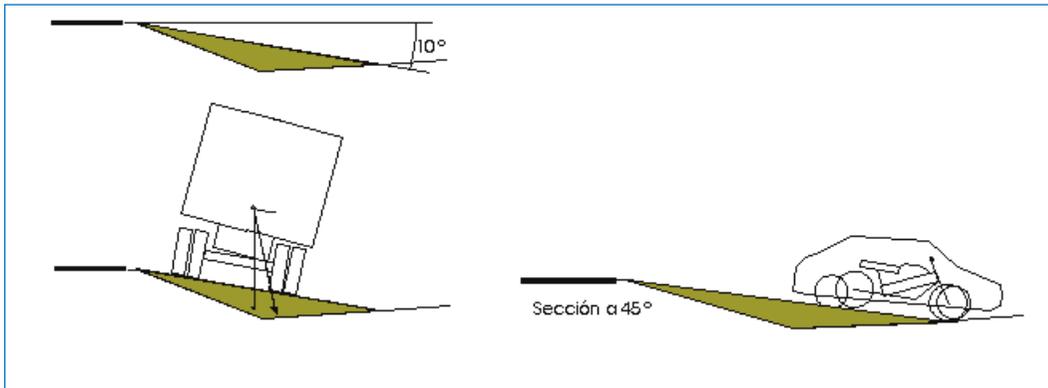
Dependerán del ángulo de salida y de la velocidad; el conductor del turismo, o del camión / autobús, si la salida es con ángulo pequeño, tendría tiempo de intentar volver a la plataforma girando fuertemente el volante y creando, en consecuencia, una fuerza transversal que aumentaría la tendencia al vuelco.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

Recrecer el terraplén con un espaldón de tierra, hasta conseguir una inclinación máxima de 1V/6H; esto supone aportar y compactar 1,12 m<sup>3</sup>/m aproximadamente.

Turismo, camión / autobús, motocicleta:

la seguridad de todos los vehículos y sus ocupantes queda optimizada.



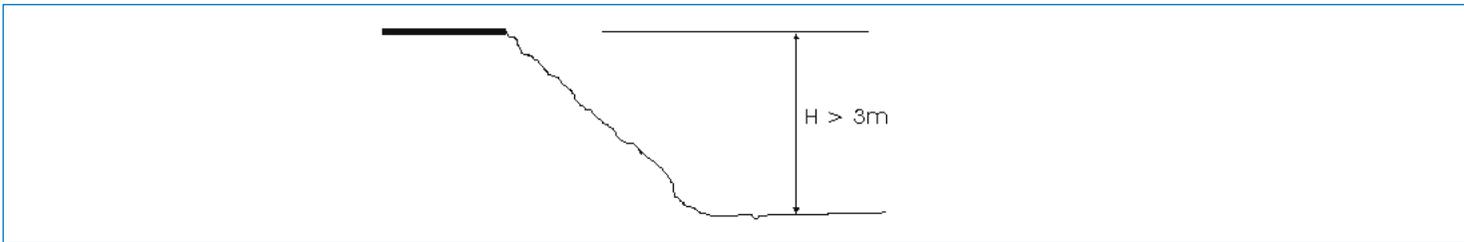
### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP9.- Margen con terraplén crítico

### DESCRIPCIÓN

Esta margen está en terraplén, con una caída de más de 3 m. No hay barrera de seguridad que impida que un vehículo caiga por el terraplén.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL

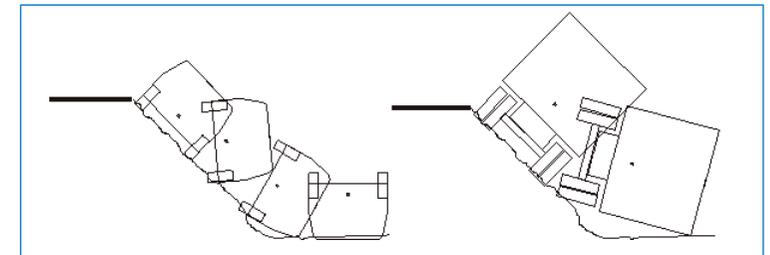


### ILUSTRACIÓN



### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

1. Turismo:
  - a. Con cualquier ángulo de salida, la consecuencia es el vuelco hasta llegar al pie del talud. Accidente muy grave.
2. Camión / autobús:
  - a. Igual que en turismos; accidente muy grave.
3. Motocicleta: Accidente muy grave.



### SOLUCIÓN PROPUESTA

Poner una barrera de seguridad, metálica o de hormigón.

Resultados de una salida de vía por la cuneta modificada.

1. Turismo:
  - a. La solución evita que el vehículo caiga por el terraplén; evidentemente para altas velocidades y ángulos de ataque también importantes (el caso teórico de 45° debido a una esquiwa), la barrera metálica podría ceder, aunque, eso sí, absorbería una gran cantidad de energía cinética.

## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP9.- Margen con terraplén crítico

### SOLUCIÓN PROPUESTA (continuación)

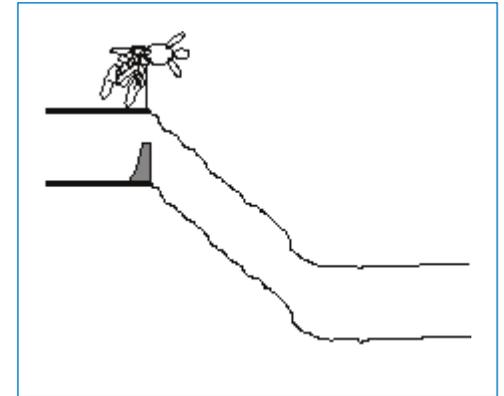
#### 2. Camión / autobús:

- Para pequeños ángulos de incidencia la barrera es eficaz; para ángulos importantes, la barrera metálica colapsaría y el vehículo caería.

#### 3. Motocicleta:

- El accidente sigue siendo grave, ya que la motocicleta choca contra la barrera pero hay muchas posibilidades de que el conductor pase por encima de ella caiga por el talud. El impacto directo sería contra la pierna del motociclista, que quedaría temporalmente atrapada entre la moto y la barrera.

Todo lo anterior es válido para el supuesto de que en el momento del impacto, el motociclista se encuentre todavía sobre la motocicleta; pero si el motociclista cae al suelo antes del impacto, no caerá por el talud, aunque el choque contra la barrera no dejará de producirle daños graves.



### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

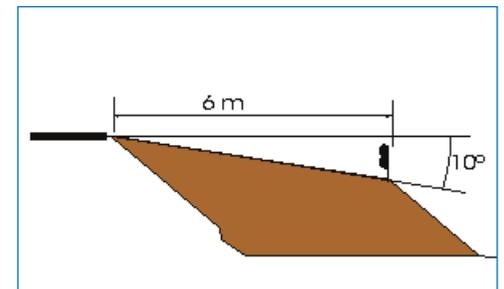
Construir un espaldón adosado al terraplén, con una anchura de 6 m, inclinado 1V/6H (se evita con esta inclinación el vuelco de un vehículo pesado), y situar una barrera (metálica o de hormigón) al final.

Si un vehículo se sale de la calzada con un ángulo de  $45^\circ$  a 80 km/h, suponiendo 0,5 como rozamiento disponible, al girar el volante para volver a la plataforma el vehículo describiría un trayectoria casi circular de unos 121 m de radio. Sabiendo que abandona la plataforma con el citado ángulo de  $45^\circ$ , necesitaría una anchura aproximada de espaldón de 36m para evitar el choque.

Pero si el ángulo de salida es de  $10^\circ$ , con las mismas condiciones, el vehículo se alejaría de la calzada solamente unos 6 m.

El volumen de tierra a emplear para crear el espaldón, sería de aproximadamente  $12 \text{ m}^3/\text{m}$ .

Esta solución mejoraría la seguridad para los vehículos que abandonasen la calzada con un pequeño ángulo (debido a falta de atención, por ejemplo).

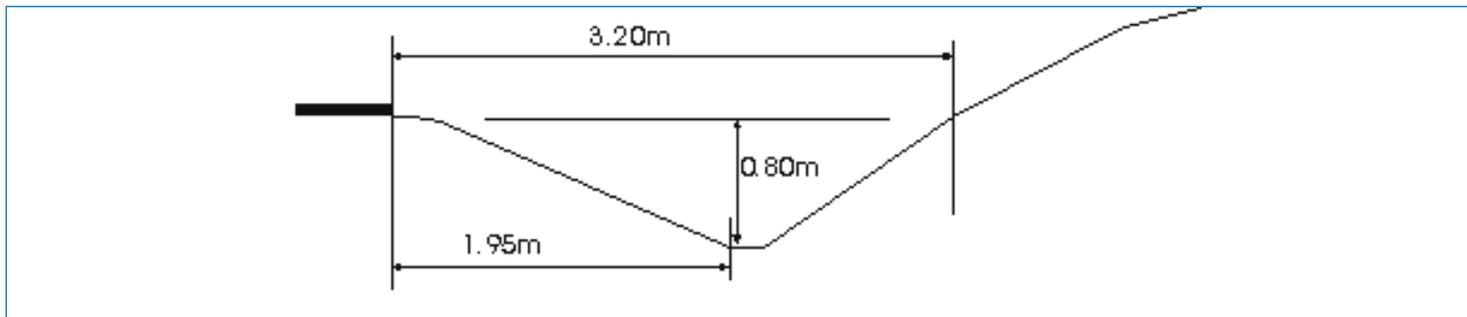


## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP10.- Margen con terraplén crítico de talud 1:2

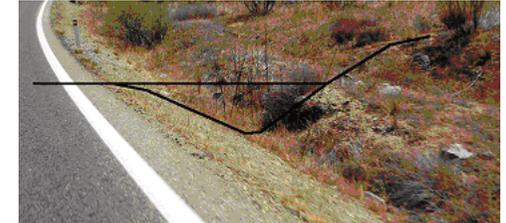
### DESCRIPCIÓN

El margen se encuentra en terraplén crítico con un talud 1:2. No hay barrera de seguridad que impida que un vehículo caiga por el terraplén.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### ILUSTRACIÓN

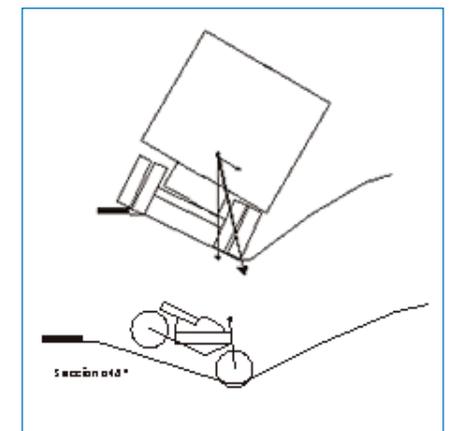
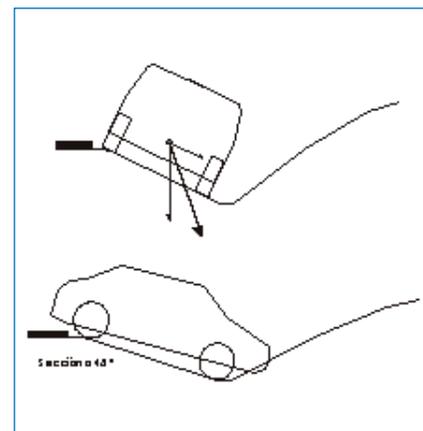


### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Para una salida con un ángulo pequeño, al conductor le dará tiempo (si es capaz de reaccionar) de intentar volver a la plataforma, lo que va a necesitar una fuerza lateral que va a depender del rozamiento disponible.

1. Un turismo resbalará por la pendiente, pero para la geometría del tramo considerado, no es probable el vuelco.

Si la salida se efectuara con un ángulo más importante ( $45^\circ$ ), se produciría un choque contra el fondo de la cuneta; en estas circunstancias, dependería de la velocidad la mayor o menor extensión de los daños, pero en cualquier circunstancia no dejaría de ser sino un impacto diagonal contra un obstáculo fijo, es decir: por encima de una velocidad de impacto de 35 km/h, un choque de consecuencias estructurales graves, con accionamiento de airbags y pretensores.



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP10.- Margen con terraplén crítico de talud 1:2

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

2. Si es un vehículo pesado, la salida con un pequeño ángulo implicaría un vuelco seguro.

De la misma manera, la salida con un ángulo de 45°, llevaría al vehículo a impactar contra el fondo de la cuneta.

3. Si se trata de una motocicleta, tendremos siempre la caída del motociclista al suelo, sea cual sea el ángulo de la salida.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

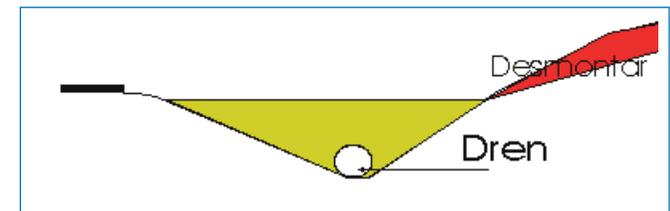
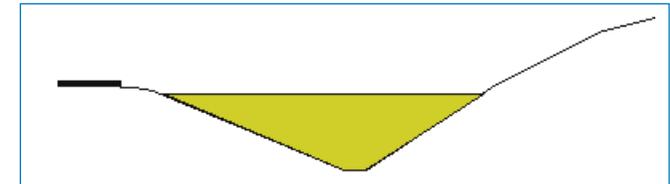
Rellenar el fondo de la cuneta con grava compactada.

Resultados de una salida de vía por la margen modificada.

Para el perfil del terreno considerado sería necesaria una aportación aproximada de 2,0 m<sup>3</sup>/m de grava, dejando un resguardo entre la superficie del arcén y la grava añadida para asegurar la evacuación del agua.

Mejora total de la seguridad vial para cualquier tipo de vehículo y cualquier ángulo de salida.

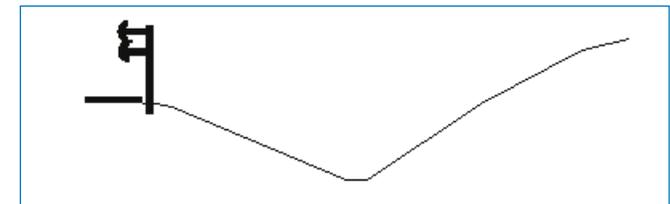
Complementariamente, se podría instalar un dren en el fondo de la cuneta; y además, se podría rebajar del desmonte del lado exterior de la cuneta.



### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

Instalar una barrera metálica de seguridad.

Para pequeños ángulos de impacto, es efectiva para los turismos o vehículos más pesados; para ángulos de 45° (maniobra evasiva), estos últimos la colapsarían y no se evitaría su caída a la cuneta.



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP11.- Inexistencia de berma

### DESCRIPCIÓN

El margen carece de berma, zona longitudinal de la carretera comprendida entre el borde exterior del arcén pavimentado y la cuneta o terraplén.

La fotografía se corresponde con un punto de la carretera particularmente relevante al objeto de este trabajo, sin embargo se pudo observar que en una zona no erosionada, la capa de pavimento sobresalía del nivel de la margen, generándose así mismo un escalón vertical más pequeño.

### ILUSTRACIÓN



### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL

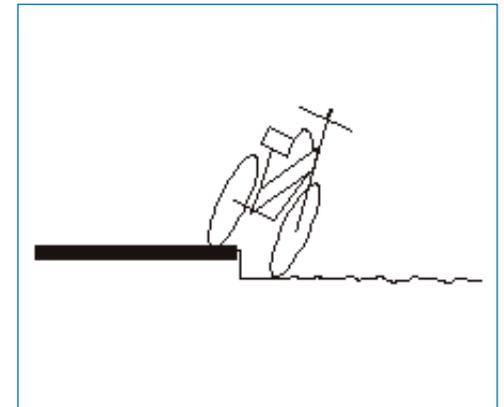
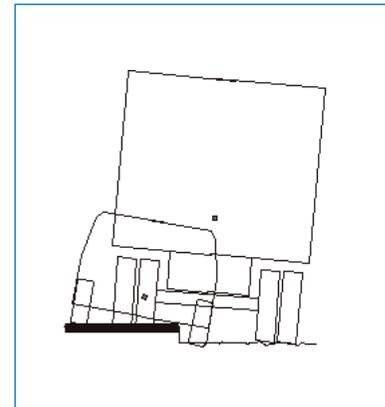


### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Dependerán del ángulo de la salida, y de la velocidad; muy poco de la reacción del conductor una vez las ruedas caigan al escalón.

Turismo / Camión / Autobús: No puede producirse un accidente, en cuanto que el escalón es suficientemente pequeño frente a la altura de las ruedas; posiblemente en algunos turismos, el piso roce contra el asfalto, pero sólo eso. Para camiones o autobuses, la situación es aún más favorable.

Motocicletas: En este caso, el accidente es muy probable, con caída del motociclista al suelo; no siempre debería producirse la caída, dependerá del ángulo de salida, de la velocidad, pero sobre todo de la experiencia y habilidad del conductor, una gran incertidumbre.



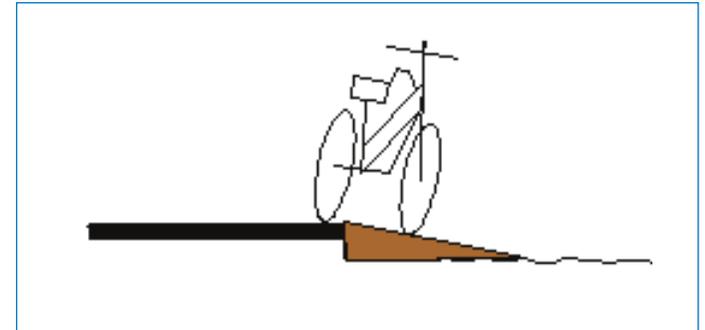
## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP11.- Inexistencia de berma

### SOLUCIÓN PROPUESTA

Rellenar el margen situado junto a la plataforma con zahorra, tierra compactada u hormigón, de manera que se elimine el escalón a la vez que se genera un talud que aleje la escorrentía de la plataforma.

Resultados de una salida de vía por la margen modificada.

1. Turismo / Camión / Autobús / motocicleta: Mejora notable de la seguridad, sobre todo de la motocicleta. Esta mejora no elimina el riesgo de caída, ya que dependerá del estado del relleno; pero sí disminuye su posibilidad, y sobre todo, se da al motociclista la posibilidad de volver a la calzada a pesar de la salida, si ésta se produce con un ángulo pequeño.



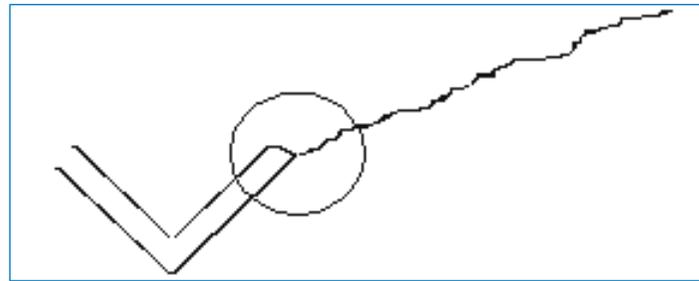
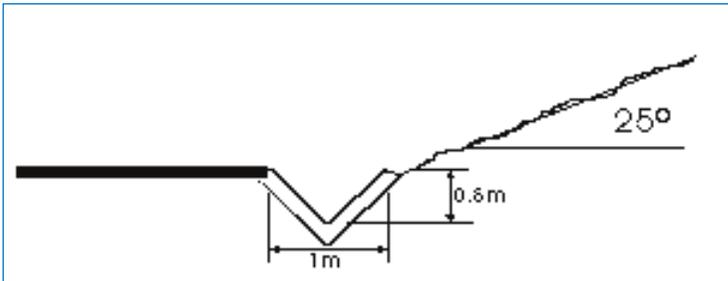
### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP12.- Margen con cuneta triangular revestida en desmote

### DESCRIPCIÓN

El margen tiene una cuneta triangular revestida de hormigón y se encuentra en desmote crítico de talud 1:2 según el croquis adjunto.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



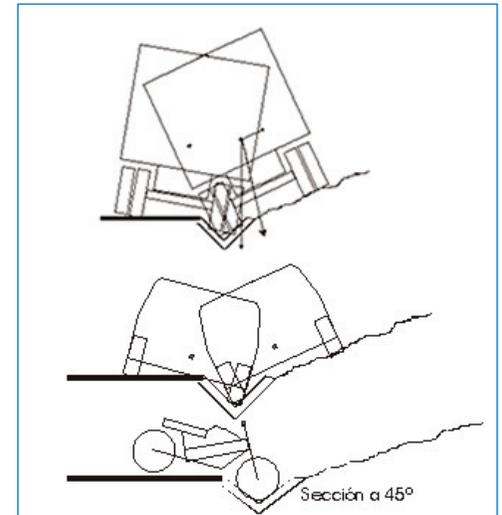
### ILUSTRACIÓN



### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

en este caso la profundidad de la cuneta es pequeña, y el desmote de poca inclinación y sin árboles ni otros obstáculos rígidos.

1. Turismo: no hay problemas, se producirán daños en los bajos del vehículo al rozar con la cuneta.
2. Camión / autobús: Debido al mayor diámetro de las ruedas, pasarán sin problemas por la cuneta; si debido al ángulo de salida y a la velocidad, el vehículo escalará la superficie del desmote, se puede ver que hay un cierto peligro de vuelco, pero la maniobra intuitiva del conductor de volver a la plataforma creará una fuerza lateral que equilibrará el vehículo; además, la pendiente del talud ayuda al vehículo a volver a la plataforma. NOTA: En este punto concreto del margen, la pendiente era escasa; pero un poco antes, la inclinación del desmote era mayor, y en ese caso El vuelco es mucho más probable.



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP12.- Margen con cuneta triangular revestida en desmante

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

3. Motocicleta: Para una salida con un pequeño ángulo, será la habilidad del conductor la que pueda evitar la caída, ya que las ruedas resbalarán por la pendiente de la cuneta, debiendo el conductor mantener el equilibrio; pero para un ángulo de  $45^\circ$ , la rueda de la motocicleta entra completamente en la cuneta.

Si la motocicleta es de campo y el conductor está prevenido y es experimentado, no debería haber mayor.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

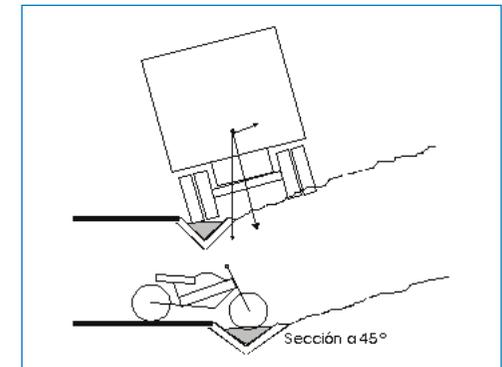
Rellenar la cuneta (con grava o incluso con hormigón) hasta dejar una altura de 10 cm para la evacuación del agua.

Resultados de una salida de vía por la margen modificada.

Turismo / camión / autobús / motocicleta: mejora de la seguridad; disminuye la posibilidad de vuelco en vehículos pesados; así mismo, el conductor de la motocicleta tiene más posibilidades (a igualdad de velocidad y trayectoria) de evitar la caída.

### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

Si la cuneta se rellenase de grava, como el agua puede discurrir entre las piedras, la función de la cuneta no quedaría disminuida aunque se rellenase hasta el borde. Este efecto beneficioso (disminuye la posibilidad de vuelco del vehículo pesado) queda en parte compensado por la posible proyección de piedras a la calzada.



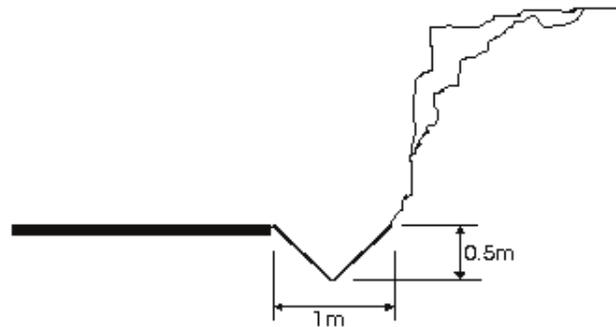
## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP13.- Margen con cuneta revestida y lateral de piedra natural

### DESCRIPCIÓN

El margen presenta una cuneta revestida de hormigón delimitada por un lateral de piedra natural.

Debido al carácter del terreno, el perfil del desmorte no es homogéneo; y presenta salientes de piedra granítica casi verticales, y potencialmente muy agresivos en caso de salida de la vía.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### ILUSTRACIÓN

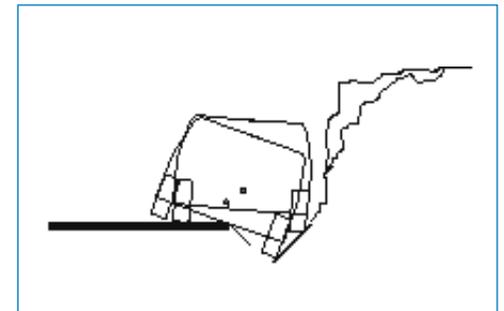


### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Dependerán del ángulo de la salida, y de la velocidad; muy poco de la reacción del conductor una vez las ruedas caigan a la cuneta.

1. Turismo:

- Si la salida es con un ángulo de  $45^\circ$ , impacto grave fronto lateral contra el terreno del desmorte. Deben esperarse daños en frontal, lateral y suspensión delantera. Apertura de airbags tanto frontales como laterales. El vehículo rebotará contra el talud.
- Si la salida es con un ángulo pequeño (despiste del conductor), no deben esperarse daños personales, pero sí en los bajos del vehículo.



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP13.- Margen con cuneta revestida y lateral de piedra natural

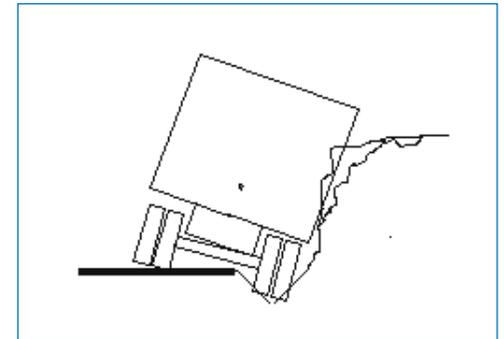
### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

#### 2. Camión / autobús:

- Si la salida es con ángulo de unos 45°, el vehículo impactará contra el talud; debido a la mayor masa del vehículo, deben esperarse graves daños en el frontal (la masa del vehículo juega en su contra, en este caso).
- Si la salida es con un ángulo muy pequeño, el vehículo resbalará por la cuneta, y podría darse que la parte delantera lateral de la cabina impactara contra los salientes rocosos. Si este es el caso, el accidente podría ocasionar graves daños personales a los ocupantes situados en esa zona.

#### 3. Motocicleta:

Siempre será un accidente muy grave; el motociclista impactará directamente contra el talud.



### SOLUCIÓN PROPUESTA

Instalar una barrera de seguridad metálica prolongada con un sistema de protección de motociclistas para evitar el choque de un motociclista contra los postes.

Resultados de una salida de vía por la margen modificada.

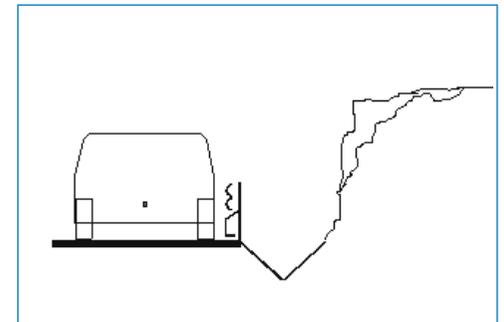
#### 1. Turismo:

- Para débiles ángulos de ataque, se cambian los daños en los bajos por daños en el frontal: sin embargo, para ángulos de unos 45°, la seguridad mejoraría notablemente debido a la capacidad de absorción de energía de la barrera.

#### 2. Camión / autobús:

- Como para los turismos, aunque para ángulos de 45°, la barrera no resistiría el choque, se colapsaría y el camión llegaría a impactar contra el talud, aunque a menores ángulo y velocidad, es decir: siempre el accidente será menos grave que sin barrera.

3. Motocicleta: El accidente sería también grave, aunque menos que el choque directo contra el talud.

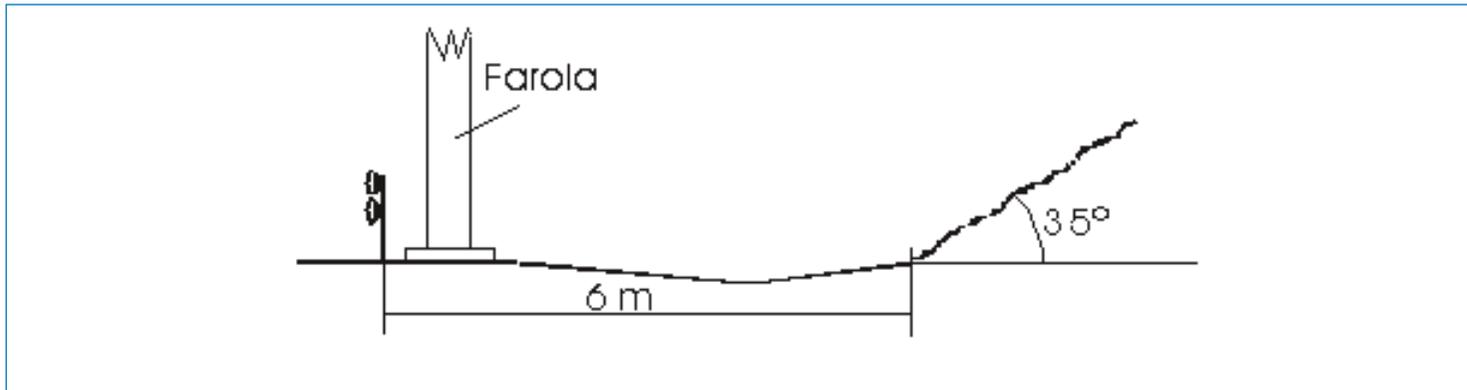


## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP14.- Margen con cuneta de seguridad y báculo de iluminación

### DESCRIPCIÓN

El margen se encuentra delimitado por una barrera de seguridad metálica y presenta una cuneta de seguridad revestida, que limita con un desmorte crítico con talud 7V/10H. La barrera está colocada como protección al impacto con un báculo de alumbrado.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Impacto contra la barrera.

- Para un turismo, la salida con pequeño ángulo se soluciona eficazmente; para ángulos mayores ( $45^\circ$ ), la barrera puede llegar a colapsarse por efecto de la velocidad (energía), con lo que el turismo pasaría a la cuneta.
- Para un vehículo pesado, camión o autobús, las circunstancias son las mismas, excepto que su mayor masa actúa en contra de la barrera.
- Para un motociclista, el choque contra la barrera es siempre muy grave.

### ILUSTRACIÓN



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP14.- Margen con cuneta de seguridad y báculo de iluminación

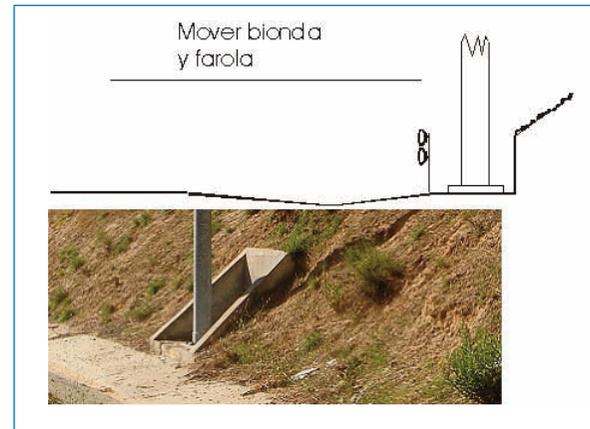
### SOLUCIÓN PROPUESTA

Mover el báculo al lado exterior de la cuneta (ya hay actuaciones así en carreteras, ver fotos), y también mover la barrera.

Resultados de una salida de vía por la margen modificada.

Esta actuación, da un margen de 6 m a los conductores para tratar de evitar el choque contra la barrera; esto debería ser suficiente para salidas con pequeño ángulo, ya que el hormigón de la cuneta proporciona suficiente resistencia al deslizamiento para una actuación rápida de la dirección.

Para ángulos mayores el impacto es inevitable, con consecuencias similares a las de antes de mover el báculo y la barrera; siendo un choque muy grave para los motociclistas.

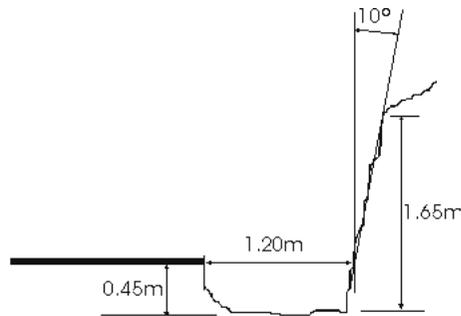


## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP15.- Margen con cuneta y desmante crítico

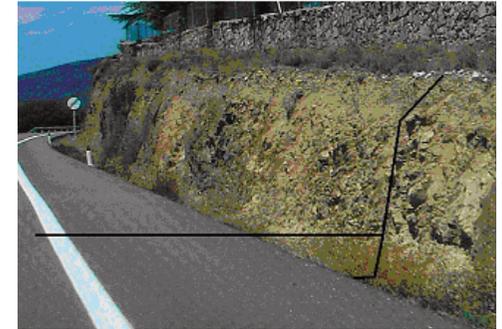
### DESCRIPCIÓN

Esta margen está formada por una cuneta no revestida entre la plataforma y un talud rocoso casi vertical.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### ILUSTRACIÓN

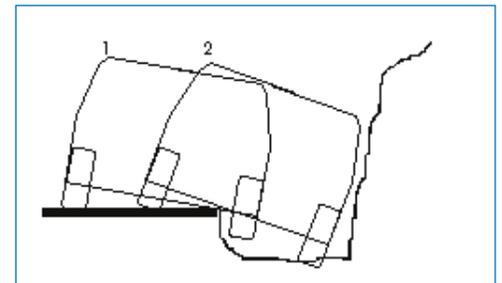


### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Dependerán del ángulo de la salida, y de la velocidad; muy poco de la reacción del conductor una vez las ruedas caigan a la cuneta.

#### 1. Turismo:

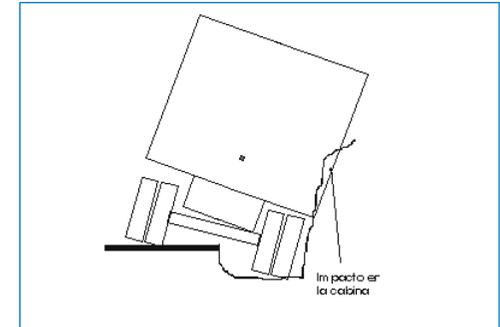
- Si la salida se produce con un ángulo pequeño, las ruedas exteriores caerán a la cuneta y se producirá el choque del suelo del vehículo contra la plataforma; a continuación la parte lateral impactará o rozará contra el talud rocoso. Posiblemente se abran los airbags laterales, pero no deberían haber daños personales.
- Si la salida es a 45°, el vehículo saltará la cuneta y se producirá un impacto fronto-lateral contra el talud, que es prácticamente indeformable. El choque, a velocidades superiores a 35 km/h, es grave; si los ocupantes no utilizan los cinturones, deben esperarse daños personales de consideración. Después del primer impacto, el lateral del vehículo chocará contra el talud, de lo que puede deducirse daños en la cabeza de los ocupantes situados en el lateral.



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP15.- Margen con cuneta y desmante crítico

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

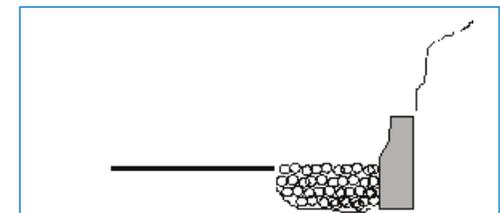
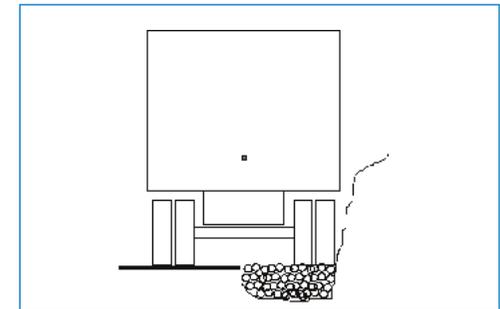
2. Camión / autobús:
  - a. Para un ángulo pequeño, las ruedas caerán a la cuneta y se producirá el choque del lateral contra el talud, pero no en la zona baja, sino a la altura de la cabina. Si los ocupantes no utilizan cinturón, se producirán daños personales. Lo mismo se aplica a los pasajeros de los autobuses.
  - b. Para un ángulo de 45°, el impacto fronto-lateral de la cabina, seguido a continuación por el giro del vehículo y el choque del lateral contra el talud, ocasionará graves daños.
3. Motocicleta: a cualquier velocidad y con cualquier ángulo, accidente muy grave; el motociclista chocará inevitablemente contra el talud rocoso.



### SOLUCIÓN PROPUESTA

1. Rellenar la cuneta con grava.
  1. Turismo:
    - a. Mejora la seguridad para pequeños ángulos de salida (despiste del conductor), pero las consecuencias para el ángulo de 45° no cambian sustancialmente.
  2. Camión / autobús:
    - a. como para los turismos.
  3. Motocicleta:
    - a. La seguridad queda parcialmente mejorada para pequeños ángulos, pues evita que la moto caiga a la cuneta y que el ocupante salga proyectado contra el talud. Para salidas a 45°, el accidente resulta muy grave.
2. Además de la grava, instalar una barrera de hormigón adosada al talud.

Mejora la seguridad de turismos, camiones y autobuses, aun conociendo que el impacto contra una barrera rígida causará daños en función del ángulo de impacto, aunque la barrera de hormigón es ventajosa frente al talud rocoso. Sin embargo, la protección de las motocicletas y sus ocupantes no queda mejorada sustancialmente por la barrera.

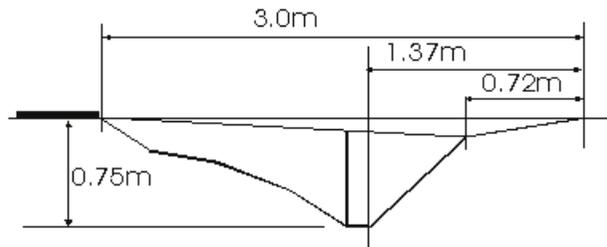


## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP16.- Margen con paso salva-cuneta

### DESCRIPCIÓN

El margen tiene una cuneta no revestida, cruzada transversalmente por un paso salva-cunetas que da acceso a una finca, limitada por un muro de piedra granítica.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

#### 1. Turismo:

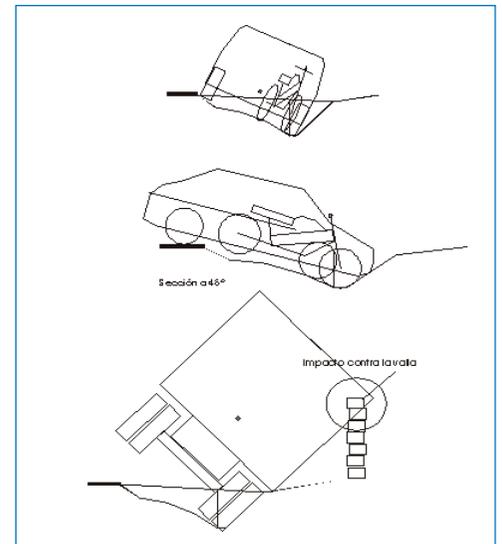
- Para un ángulo de  $10^\circ$ , el vehículo resbalará por el talud de la cuneta, pero hay pocas posibilidades de vuelco; sin embargo, si llegase a impactar contra el paso salva-cunetas, el choque contra él es totalmente frontal y de muy graves consecuencias, porque la energía del impacto tiene que disiparse en una zona muy pequeña de la carrocería: lo que entraña fuertes deformaciones.
- Si el ángulo de salida es de unos  $45^\circ$ , el frontal del vehículo chocará contra el contra-talud de la cuneta; la gravedad dependerá de la velocidad de impacto.

#### 2. Motocicleta: En cualquier caso accidente muy grave.

#### 3. Camión / autobús:

- Para una salida con un ángulo de  $10^\circ$ , el vuelco es prácticamente seguro; además, la parte superior de la cabina chocará contra la valla que limita la margen.

### ILUSTRACIÓN



## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP16.- Margen con paso salva-cuneta

### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA (continuación)

Además, si llegase a impactar contra el paso salva-cunetas, el choque afectaría solamente a la parte baja del camión / autobús; aunque en este caso el impacto es de importancia inferior al de un turismo. De todas maneras, las consecuencias dependen de la velocidad.

### SOLUCIÓN PROPUESTA

Rellenar la cuneta con grava, o un material compactado drenante, en una cantidad aproximada de 0,8 m<sup>3</sup>/m.

Resultados de una salida de vía por la margen modificada.

1. Turismo:

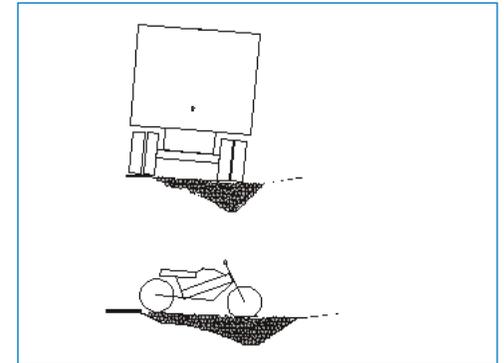
Se evita el impacto frontal contra el paso salva-cunetas.

2. Camión / autobús:

El vuelco quedaría evitado.

3. Motocicleta:

La seguridad quedaría muy mejorada, pudiéndose incluso evitar la caída del motociclista.



### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

Instalar una barrera metálica.

La barrera metálica debería estar equipada de un faldón inferior con capacidad de absorción de energía para mejorar la protección de un motociclista.

La barrera metálica, en el caso de un impacto con un ángulo pequeño, evita la caída a la cuneta de turismos y vehículos pesados.

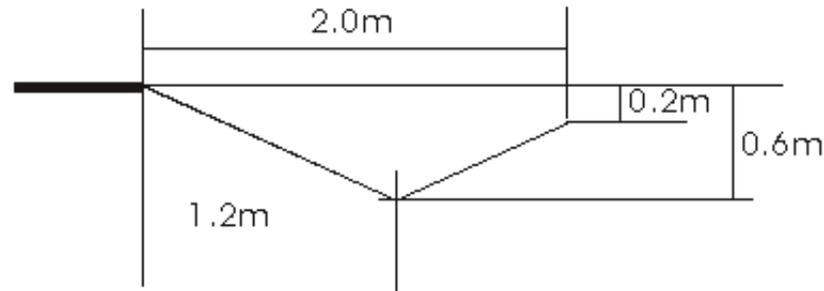
Es siempre peligrosa para los motociclistas.

## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP17.- Margen con cuneta no revestida

### DESCRIPCIÓN

El margen está formado por una cuneta no revestida, que separa la calzada de un carril para bicicletas. Todo ello en un terreno llano. La carretera ha sido reformada muy recientemente.

### CROQUIS SECCIÓN TRANSVERSAL



### ILUSTRACIÓN



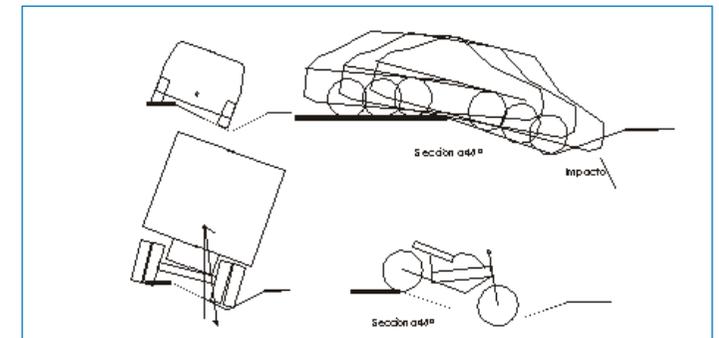
### CONSECUENCIAS DE UNA SALIDA DE VÍA

Dependerán del ángulo de la salida, y de la velocidad; muy poco de la reacción del conductor una vez las ruedas caigan a la cuneta.

Para salidas con un débil ángulo, no hay riesgo de vuelco para el turismo, y muy pequeño para el vehículo pesado.

Para salidas con un ángulo mayor (unos 45°), el turismo impactará con el talud de la cuneta; los daños estarán en función de la velocidad; es de esperar que se activen los airbags frontales.

El conductor de la motocicleta, salvo que sea experto y lleve una moto de campo, caerá al suelo.



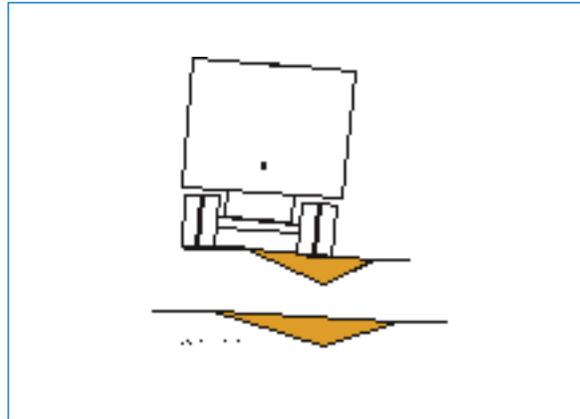
## Ejemplo Práctico Diseño de Márgenes EP17.- Margen con cuneta no revestida

### SOLUCIÓN PROPUESTA

Rellenar la cuneta con grava u otro material drenante compactado.

Resultados de una salida de vía por la margen modificada.

Mejora total de la seguridad vial, en caso de salida de la vía, con una excepción, no hay obstáculo para que un vehículo que se sale de la calzada invada el carril para bicicletas.



### OTRAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

## 8. DIRECTRICES PARA EL ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE LAS MEDIDAS

### 8.1. Priorización de las actuaciones basadas en el análisis beneficio-coste

La limitación presupuestaria y el elevado precio de algunas soluciones hacen necesaria la aplicación de un procedimiento sistemático que ayude a priorizar las actuaciones en función de su rentabilidad, que será determinada mediante un análisis Beneficio-Coste.

Para realizar el análisis Beneficio-Coste de las medidas utilizadas para evitar los accidentes en el TCA analizado se usa la fórmula del Valor Actual (VA) del flujo de beneficios y costes a lo largo del tiempo, actualizados por el tipo de descuento  $i$ . Bajo ciertas condiciones simplificadoras el VA de los Beneficios y el VA de los costes tienden a ser aproximadamente su valor anualizado partido por el tipo de interés. Suponemos que tanto el beneficio anual de las medidas contra los accidentes ( $B$  en adelante) como el coste anual de las mismas ( $C$  en adelante) permanecen constantes con respecto al año base<sup>23</sup>:

$$VAB = \frac{B}{1+i} + \frac{B}{(1+i)^2} + \frac{B}{(1+i)^3} + \dots \approx \frac{B}{i}$$

$$VAC = \frac{C}{1+i} + \frac{C}{(1+i)^2} + \frac{C}{(1+i)^3} + \dots \approx \frac{C}{i}$$

Por tanto el cociente entre el valor actual del beneficio y del coste, (en adelante  $r$ ) será: Siendo:

$$R = \frac{VAB}{VAC} \approx \frac{B/i}{C/i} \approx \frac{B}{C} \approx \frac{G_{\text{sin actuación}} - G_{\text{con actuación}}}{\frac{C_{\text{instalación}}}{T} + C_{\text{mantenimiento}} + \frac{C_{\text{reparación}}}{T}}$$

- **R:** ratio Beneficio-Coste.
- **$G_{\text{sin actuación}}$ :** Gravedad del accidente en caso de que no exista ningún tipo de actuación para tratar de evitar o minimizar los efectos de un posible accidente.
- **$G_{\text{con actuación}}$ :** Gravedad del accidente en caso de que sí exista alguna actuación para tratar de evitar o minimizar los efectos de un posible accidente.
- **$C_{\text{instalación}}$ :** Coste de instalación de la medida analizada.
- **$C_{\text{mantenimiento}}$ :** Coste anual de mantenimiento de la medida analizada.
- **$C_{\text{reparación}}$ :** Coste de reparación de la medida analizada.
- **T:** vida media de la medida analizada.

La priorización de las medidas a implementar se realizará en función del valor del ratio Beneficio-Coste ( $R$ ), llevándose a cabo las actuaciones en función del valor de dicho índice.

<sup>23</sup>- FUENTE: *EVALUACIÓN DE MEDIDAS PARA REDUCIR LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO*. Roberto Pereira Moreira. Departamento de Fundamentos del Análisis Económico. Universidad de Vigo. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de Vigo. Campus de Lagoas-Marcosende.

A continuación se incluyen una serie de hipótesis necesarias para la determinación del ratio Beneficio-Coste:

- **Hipótesis 1:** Se supondrá que tanto el beneficio anual de las medidas contra los accidentes (B en adelante) como el coste anual de las mismas (C en adelante) permanecen constantes con respecto al año base.
- **Hipótesis 2:** la gravedad de un accidente de cierto tipo se estimará en términos económicos mediante la suma de los valores otorgados a los daños personales y materiales producidos en un accidente de tráfico. Los valores recomendados por la Comisión Europea son:

COSTE	
Víctima Mortal	1 millón de euros
Herido Grave	125.000 euros
Herido Leve	2.720 euros
Daños Materiales	1.130 euros

*Coste unitario para víctimas en accidentes de tráfico.*

FUENTE: Comisión Europea.

- **Hipótesis 3:** para la valoración de la gravedad de un accidente se sumarán los costes de cada una de las víctimas producidas, así como los daños materiales estimados.
- **Hipótesis 4:** lo ideal es contar con experiencias previas, para realizar hipótesis realistas, por lo que a la hora de realizar hipótesis sobre la reducción de la accidentalidad tras la aplicación de una determinada medida se consultarán fuentes bibliográficas contrastadas (El Manual de Medidas de Seguridad Vial, Elvik, R.2006). En caso de no disponer de ninguna fuente de consulta, para la estimación o predicción de la gravedad de un accidente después de aplicar una determinada medida, se llevará a cabo la siguiente estimación: se supondrá que la mitad de las víctimas registradas en dicho emplazamiento en años anteriores tendrán un grado menos de gravedad (por ejemplo, si un año se registraron 2 fallecidos y 4 heridos graves, tras la aplicación de la medida supondremos que se registrarán 1 fallecido y 2 heridos graves).
- **Hipótesis 5:** Se tomarán como costes de referencia los precios de mercado de los elementos que se incluyan en el análisis. A continuación se presenta un ejemplo meramente orientativo:

CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO (€ 2007)
1. Hormigón	m <sup>3</sup>	50-80
2. Movimiento de tierras	m <sup>3</sup>	2-10
3. Movimiento de tierras	m <sup>3</sup>	3-12
4. Cuneta	m.l.	10-40

*Cuadro de precios orientativo.*

CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO (€ 2007)
5. Cuneta de seguridad	m.l.	10-40
6. Tala y replantación de árbol (depende del tamaño)	Ud.	100-1500
7. Pico de flauta	m <sup>2</sup>	
8. Barrera metálica simple con poste CPN cada 4 metros	m.l.	22
9. Barrera de hormigón INSITU simple	m.l.	56
10. Pretil MIXTO-METALICO	m.l.	200-180
11. Poste fusible	Ud.	120
12. Sistema de protección para motociclistas puntual	Ud.	20
13. Sistema de protección para motociclistas continuo	m.l.	18
14. Terminal de barrera metálica	Ud.	4 8 12 170 250 340
15. Barrera estética	m.l.	40-100
16. Resaltos en marcas viales	m.l.	15 cm. 20 cm. 0,9 1
17. Captafaros	Ud.	1
18. Barrera desmontable	m.l.	60
19. Cintas retrorreflexivas	m.l.	8
20. Hito de arista	Ud.	9
21. Panel direccional	Ud.	150
22. Señal vertical	Ud.	180
23. Lecho de frenado	m.l.	200
24. Atenuador de impacto	Ud.	4000-12000
25. Señal vertical	Ud.	98-180
26. Pintado de marcas viales	ml	1

*Cuadro de precios orientativo.*

## 8.2. Ejemplo de aplicación

Una carretera convencional autonómica ha registrado los siguientes datos de accidentalidad durante los años 2005, 2006 y 2007:

- Nº accidentes por salida de la calzada: 1.
- Nº accidentes por colisión de vehículos en marcha: 3.
- Nº accidentes con víctimas totales: 4.
- Nº víctimas mortales: 1.
- Nº heridos graves: 2.
- Nº heridos leves: 2.
- Longitud total del tramo: 1,5 Km. → 2 márgenes= 3 Km.

El análisis de la accidentalidad revela que existen dos tipos de accidentes en este tramo:

- Salida de vía.
- Colisión de vehículos en marcha.

A continuación se determinará cada uno de los factores que intervienen en la metodología para la determinación del ratio Beneficio-Coste de un conjunto de medidas encaminadas a evitar los accidentes por salida de calzada:

- **G** sin actuación:

TIPO VÍCTIMA	Nº VÍCTIMAS	VALOR UNITARIO ESTIMADO POR LA U.E.	TOTAL
Fallecidos	1	1.000.000 €	1.000.000 €
Heridos Graves	2	125.000 €	250.000 €
Heridos Leves	2	2.720 €	5.440 €
<b>Total</b>			<b>1.255.440 €</b>

*Valoración de fallecidos y heridos antes de la actuación.*

FUENTE: Elaboración propia.

- **G** con actuación: tal y como se recoge en la Hipótesis 4, se supondrá que con la instalación de las medidas se conseguirá rebajar un grado la mitad de las víctimas de cada categoría.

TIPO VÍCTIMA	Nº VÍCTIMAS	VALOR UNITARIO ESTIMADO POR LA U.E.	TOTAL
Fallecidos	$1 \times 0,5 = 0,5 \approx 0$	1.000.000 €	0 €
Heridos Graves	$2 \times 0,5 + 1 \times 0,5 = 1,5 \approx 1$	125.000 €	125.000 €
Heridos Leves	$2 \times 0,5 + 2 \times 0,5 = 2$	2.720 €	5.440 €
<b>Total</b>			<b>130.440 €</b>

*Valoración de fallecidos y víctimas tras la actuación.*

FUENTE: Elaboración propia.

- **Coste** instalación:

*Se supone* que la medida a implementar para evitar los accidentes por salida de vía es la instalación de 400 m de sistemas de contención en ambos márgenes de todos aquellos emplazamientos donde se registraron este tipo de accidentes, lo cual supondría actuar sobre 800 m  $\rightarrow 0,8/3 = 26,6\%$  de la longitud total de márgenes.

*Se supone* que otra de las medidas a implementar, en este caso para evitar los accidentes por colisión de vehículos en marcha, es la instalación de 4 señales de prohibido adelantar (se prohíbe el adelantamiento en ambos sentidos de circulación) así como el pintado de

marcas viales de prohibido el adelantamiento en 1.000 m  $\rightarrow 1/1'5 = 66,6\%$  de la longitud total del tramo.

ELEMENTO A IMPLANTAR	COSTE INSTALACIÓN	COSTE TOTAL
800 metros de barrera de contención	27 €/m.l.	21.600 €
4 señales de prohibido adelantar	139 €/ud	556
Pintado de 1.000m de marcas viales	1 €/ml	1.000 €
<b>COSTE TOTAL DE INSTALACIÓN</b>		<b>23.156 €</b>

*Coste de instalación del sistema de contención.*

FUENTE: Elaboración propia.

• **Coste** mantenimiento:

*Se supone* que el 2% de la longitud del tramo estudiado cuenta con sistemas de contención que requieren actividades de mantenimiento.

*Se supone* que se deben repintar las marcas viales del margen de la vía de todo el TCA, lo que supone actuar sobre un total de 3.000 m.

ELEMENTO A MANTENER	COSTE MANTENIMIENTO	COSTE TOTAL
Estimación de la longitud de barrera necesaria $\rightarrow 2\% \times 3 \text{ Km} = 60$ metros	0,5 €/m.l.	30 €
Repintado de 3.000 de marcas viales del margen de la vía	1 €/ml	3.000 €
<b>COSTE TOTAL DE MANTENIMIENTO</b>		<b>3.030 €</b>

*Coste de mantenimiento del sistema de contención.*

FUENTE: Elaboración propia.

• **Coste** reparación:

ELEMENTO A REPARAR	COSTE REPARACIÓN	COSTE TOTAL
Estimación de la longitud de barrera necesaria $\rightarrow 1\% \times 3 \text{ Km} = 30$ metros	27 €/m.l.	810 €
2 señales de limitación de velocidad	139 €/ud (debe ser retiradas las señales existentes e implantadas otras nuevas en su lugar)	278 €
<b>COSTE TOTAL DE REPARACIÓN</b>		<b>1.088 €</b>

*Coste de reparación del sistema de contención.*

FUENTE: Elaboración propia.

**Se supone** que el 1% de la longitud del tramo estudiado cuenta con sistemas de contención que requieren reparación.

**Se supone** que el TCA analizado cuenta con dos señales de limitación de velocidad defectuosas que requieren su reparación mediante reposición.

• **Vida media de la medida utilizada, T:**

- o T de la barrera de contención= 20 años.
- o T de la señalización vertical = 7 años.
- o T de las marcas viales = 2 años

Introduciendo estos valores en la fórmula para el cálculo del ratio Beneficio - Coste:

$$R = \frac{VAB}{VAC} \approx \frac{B/i}{C/i} \approx \frac{B}{C} \approx \frac{G_{\text{sin\_actuación}} - G_{\text{con\_actuación}}}{\frac{C_{\text{instalación}}}{T} + C_{\text{mantenimiento}} + \frac{C_{\text{reparación}}}{T}} =$$

$$\frac{1.255.440 - 130.440}{\frac{21.600}{20} + \frac{556}{7} + \frac{1000}{2} + 3.030 + \frac{810}{20} + \frac{278}{7}} = 236$$

$$R=236$$

El ratio Beneficio-Coste para este caso sería 236, lo cual indica que por cada euro invertido en la instalación de barreras metálicas, señales y marcas viales se obtendría un beneficio mayor de 236 euros como consecuencia de las víctimas mortales y heridos evitados.

Así pues, se podrá calcular el ratio Beneficio-Coste para cualquier conjunto de medidas capaces de solucionar los problemas de seguridad vial detectados en un emplazamiento determinado. La priorización se llevará a cabo en función del valor del ratio calculado, siendo prioritarios aquellos conjuntos de medidas que obtengan mayores ratios Beneficio-Coste.

### 8.3. Seguimiento de la evolución de la accidentalidad

Se fijará un periodo de seguimiento comprendido entre 3 y 5 años para el conjunto de medidas implementadas en cada tramo. Con el fin de descartar el efecto aleatorio de aparición de accidentes (regresión a la media), además de controlar los emplazamientos donde se hayan implantado medidas, resultará muy conveniente el control de tramos homogéneos a los tratados en los que no se haya instalado ninguna medida para la mejora de la seguridad vial, de esta manera se podrá aislar y cuantificar el impacto real de la aplicación de las soluciones en los tramos donde sí se haya actuado. Algunos de los indicadores más comunes utilizados para el seguimiento de las medidas implantadas son: nº total de víctimas (fallecidos + heridos), nº total de accidentes producidos en el tramo, nº de fallecidos, velocidad media del tramo, etc.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anuarios estadísticos de accidentes de la Dirección General de Tráfico. Ministerio del Interior.
- Informes Arena de la Dirección General de Tráfico.
- Atlas Climático de España. Instituto Nacional de Meteorología. Servicio de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Transporte, Turismo y Comunicaciones. 1983.
- La seguridad vial y los accidentes por salida de calzada. Antonio Amengual, cursos de formación de auditores de seguridad vial. 2005-2011.

- I Mahoney, Kevin m.; Julian, Frank & Taylor, Harry W. jr. Good Practices: Incorporating Safety into Resurfacing and Restoration Projects. Report No. FHWA-SA-07-001. *Federal Highway Administration, Washington DC (2006)*.
- II Mattox y otros, 2007.
- III Hall, L.E., R.D. Powers, D.S. Turner, Werner Brilon & S.W. Hall. Overview of Cross Section Design Elements. International Symposium on Highway Geometric Design Practices. *Transportation Research Board, Boston, Massachusetts, (1995)*.
- IV Transportation Research Board, National Research Council. Designing Safer Roads, Practices for Resurfacing, Restoration and Rehabilitation. *Special Report 214, Washington DC (1987)*.
- V AASHTO. "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets" *Washington DC (2004)*.
- VI Agent, K. R., & J. G. Pigman. Accidents Involving Vehicles Parked on Shoulders of Limited Access Highways, Report KTC-89-36. *Kentucky Transportation Center, Lexington, KY (1989)*.
- VII Harwood, Douglas, F. Council, Ezra Hauer, W. Hughes, & A. Vogt. Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways, Report FHWA-RD-99-207. *FHWA, Washington, DC (2000)*.
- VIII Zegeer, Charles V. & Deacon, J.A.: Effect of Lane Width, Shoulder Width and Shoulder Type on Highway Safety. Relationship Between Safety and Key Highway Features: A Synthesis of Prior Research. State of the Art Report No. 6. Transportation Research Board (TRB). *National Research Council. Washington DC (1987)*.
- IX Harwood, Douglas, E. Rabbani, K. Ricard, H. McGee, & G. Gittings. NCHRP Report 486: Systemwide Impact of Safety and Traffic Operations Design Decisions for 3R Projects. Transportation Research Board (TRB). *National Research Council Washington, DC (2003)*.
- X Harkey, D. L., R. Srinivasan, J. Baek, F. M. Council, y otros. NCHRP Report 617: Accident Modification Factors for Traffic Engineering and ITS Improvements. Transportation Research Board (TRB). *National Research Council, Washington, DC (2008)*.

- XI Lord, D., Baghvant Persaud, S. Washington, J. Ivan, I. van Schalkwyk, C. Lyon, T. Jonsson, & S. Geedipally. NCHRP Web-Only Document 126: Methodology to Predict the Safety Performance of Rural Multilane Highways. *Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC (2008)*.
- XII Brénac, T.; Bihoreau, M.C.; Broche, M.; Lernould, P.; Luminet, J.P.; Nouvier, J. & Wolf, G.: Sécurité des routes et des rues. Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR) & Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). *Bagneux (Francia), septiembre de 1992*.
- XIII Ajluni, K.K. Rollover Potential of Vehicle on Embankments, Sideslopes and Other Roadside Features. *Public Roads vol. 52, no. 4, págs. 107-111 (1989)*.



Asociación  
Española de la  
Carretera



MINISTERIO  
DEL INTERIOR

 **Dirección Gral.  
de Tráfico**