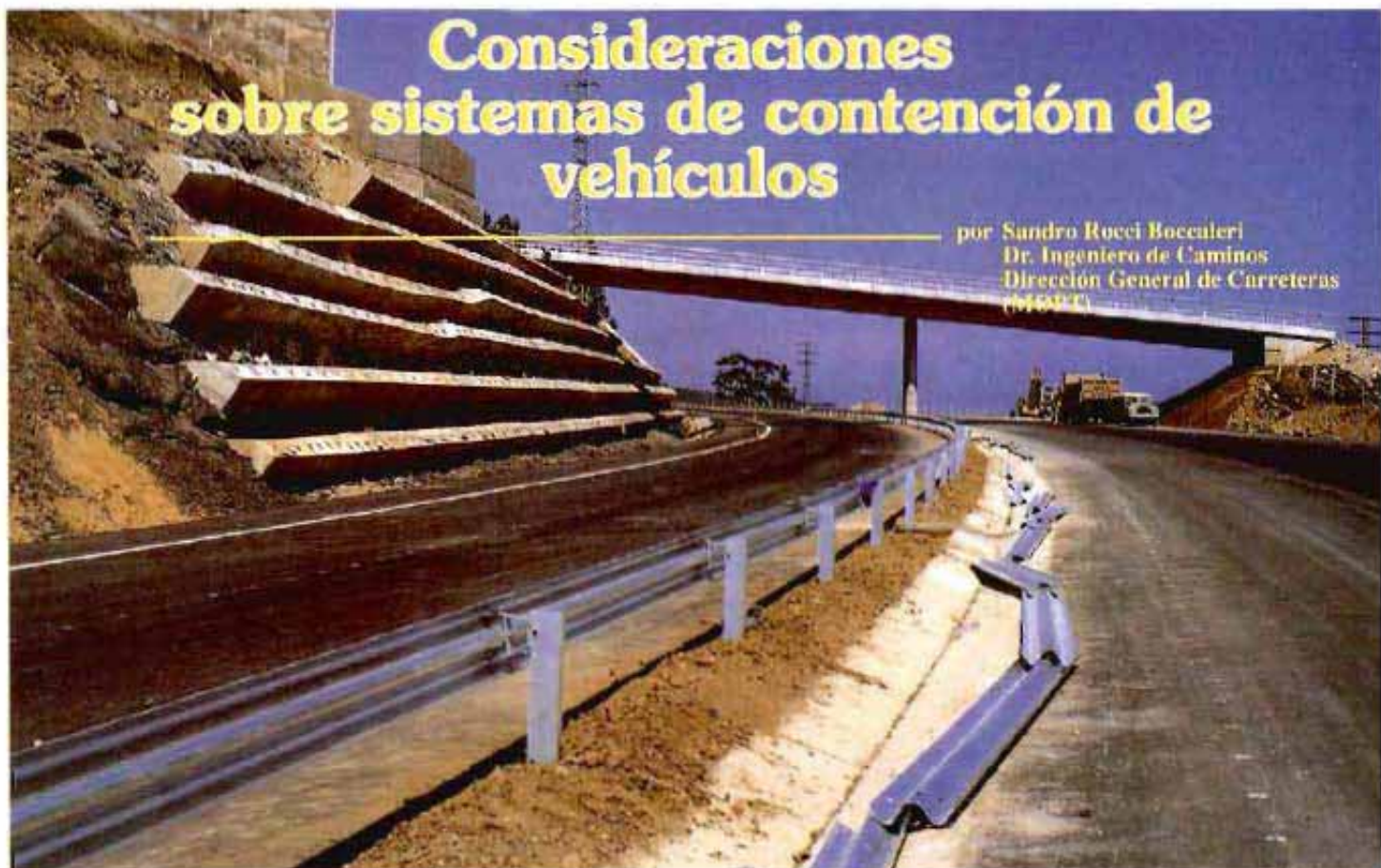


Consideraciones sobre sistemas de contención de vehículos

por Sandro Rocci Boccaleri
Dr. Ingeniero de Caminos
Dirección General de Carreteras
(MOPR)



Autovía del Cantábrico. Barrera de seguridad antes de colocación final.

1. Introducción

SE denomina sistema de contención de vehículos a todo dispositivo instalado en una carretera, cuya finalidad es proporcionar un cierto nivel de contención de un vehículo fuera de control, de manera que se limiten los daños y lesiones tanto para sus ocupantes como para el resto de los usuarios de la carretera y otras personas u objetos situadas en las proximidades.

En cuanto a su función y ubicación, los sistemas de contención de vehículos se clasificarán en:

- Barreras de seguridad, empleadas en los márgenes o, en su caso, en la mediana de la carretera.
- Pretilos, análogos a las barreras de seguridad, pero específicamente diseñados para bordes de tableros de obras de paso, coronaciones de muros de sostenimiento, y obras similares.
- Amortiguadores de impacto, diseñados para un choque frontal.
- Lechos de frenado, situados en los márgenes de la carretera, sobre todo en pendientes prolongadas, y rellenos de un material especial.

Dentro de las barreras de seguridad y, en menor grado, de los pretilos, se pueden establecer otras clasificaciones atendiendo a otros criterios, tales como:

- Rígidas o deformables.
- Definitivas o provisionales.
- Simples o dobles.
- Según el material empleado:
 - Metálicas.
 - De hormigón.
 - Mixtas.
 - De otros materiales.

2. Exigencias funcionales

No es suficiente la comprobación de la resistencia estructural de un sistema de contención de vehículos frente a un choque: es preciso conocer también su funcionamiento, y especialmente el comportamiento dinámico de un vehículo al chocar con él; no todos los tipos de sistema de contención de vehículos funcionan bien en caso de choque. Este comportamiento, del que dependen las sollicitaciones a que se verán sometidos los ocupantes del vehículo, sólo se puede deducir con fiabilidad:

- De ensayos a escala real, muy costosos y, por tanto, de ámbito y difusión limitados.
- De modelos matemáticos de simulación de fenómenos extrema-

damente complejos y en los que intervienen muchísimas variables.

Todo sistema de contención de vehículos debe cumplir los siguientes requisitos funcionales ante el choque de un vehículo con él:

- El vehículo no volcará ni antes ni después del choque.
- El habitáculo del vehículo no sufrirá deformaciones ni intrusiones.
- La detención o guía del vehículo no provocará lesiones graves a sus ocupantes.
- Si el vehículo vuelve a la calzada, no lo hará de modo que cree riesgos adicionales a otros usuarios de la carretera.
- En el choque no se desgajarán partes ni piezas del sistema de contención de vehículos, que puedan quedar en la calzada.

También se deben tener en cuenta:

- La deformabilidad del sistema de contención de vehículos tras el choque. Si hay limitaciones de espacio disponible, debe ser menos deformable, pero las consecuencias del choque serán más graves.
- La franqueabilidad del sistema de contención por el vehículo que choque con él.

“

N

o es

suficiente la comprobación de la resistencia estructural de un sistema de contención de vehículos frente a un choque: es preciso conocer también su funcionamiento, y especialmente el comportamiento dinámico de un vehículo al chocar con él.”

- La facilidad de montaje y desmontaje, especialmente en sistemas provisionales de contención de vehículos, generalmente prefabricados.
- La facilidad de reparación tras un choque.

3. Comportamiento

Las diferencias de tamaño y masa de los vehículos que circulan por carreteras con tráfico mixto producen con frecuencia exigencias contradictorias. Es difícil que un mismo sistema de contención acomode por igual a los distintos tipos de vehículo.

El comportamiento estructural de un sistema de contención de vehículos debe identificar su estado límite con las condiciones más favorables para los ocupantes del vehículo, determinadas por la gravedad de las lesiones que éstos puedan sufrir, y que dependen de tres factores:

- Las fuerzas de contacto entre las diversas partes del cuerpo y el interior del vehículo.
- Las deceleraciones y las fuerzas de inercia y momentos asociados a aquéllas.
- La susceptibilidad individual a las lesiones.

Los dos primeros factores están relacionados, de forma compleja, con las deceleraciones del vehículo, con la deformabilidad de éste, y con el empleo de elementos de seguridad pasiva: cinturones de seguridad, bolsas de aire, etc. El tercer factor introduce una gran dispersión.

Resulta difícil valorar la gravedad de un choque considerando tan sólo

las características cinemáticas del vehículo, con frecuencia las únicas medidas en los ensayos a escala real. No obstante, se han desarrollado algunos criterios empíricos aceptados casi generalmente, que definen umbrales de aceptación para diferentes parámetros, calculados a partir de las deceleraciones o velocidades lineales en ciertos puntos del vehículo, y establecidos por el estudio de la influencia directa de acciones violentas sobre el cuerpo humano.

4. Dinámica del choque

4.1. Trayectoria fuera de control

4.1.1. En alineaciones rectas.

En alineaciones rectas, se puede admitir que un vehículo fuera de

control sigue rodando hasta el punto de impacto, apartándose de su trayectoria original recta y paralela al eje de la carretera, a velocidad constante v (m/s), y girando la dirección de sus ruedas a una velocidad angular ω (rad/s) también constante; por lo que su trayectoria será una clotoide en la que, aproximadamente,

$$2*(v*\alpha)' = 3*g*(f+i)*y$$

siendo: g (m/s²) la aceleración de la gravedad.

i (m/m) la inclinación transversal del terreno



Unidades "containers" rellenos de arena para barreras de seguridad.

control sigue rodando hasta el punto de impacto, apartándose de su trayectoria original recta y paralela al eje de la carretera, a velocidad constante v (m/s), y girando la dirección de sus ruedas a una velocidad angular ω (rad/s) también constante; por lo que su trayectoria será una clotoide en la que, aproximadamente,

$$\frac{\alpha^2}{y^2} = \frac{9*\omega}{2*b*v}$$

siendo: α (rad) el ángulo de giro de la trayectoria.

y (m) el apartamiento de la dirección recta original.

b (m) la batalla del vehículo (distancia entre eje delantero y trasero).

Al recorrer esta clotoide, el radio de curvatura va disminuyendo pro-

gresivamente, y la fuerza centrífuga va aumentando; pero sin que el rozamiento transversal movilizado entre ruedas y terreno pueda rebasar la resistencia al deslizamiento f , en cuyo caso el vehículo deslizaría y ya no se aumentarían al mismo ritmo ni el radio de curvatura ni el ángulo de giro. El caso más desfavorable corresponde a que el vehículo empiece a deslizarse precisamente en el punto de impacto.

$$y = \left(\frac{v}{37.66} \right)^2$$

La distancia máxima de la barrera al centro del carril para que, a una velocidad dada, el ángulo de choque no rebase 15°, está dada por la tabla 1.

1. Aptas sólo para el choque por uno de sus lados.
2. Aptas para choques por ambos lados.
3. Incluso algunos bastante difundidos.
4. Tanto interior como exterior.
5. En el obstáculo o en la barrera.
6. Del orden de 0.5.
7. Que es el que proporciona, para un apartamiento y dado, el máximo ángulo α de giro.

Tabla 1

Velocidad (km/h)	50	60	70	85	100	120	140
Distancia máxima de la barrera al eje del carril (m)	1,76	2,54	3,45	5,09	7,05	10,15	13,82



Conjunto celular Hi-Dro, especialmente utilizado en ciudades.

4.1.2. En alineaciones curvas.

En alineaciones curvas, se puede admitir que un vehículo fuera de control sigue, deslizándose y no rodando, una trayectoria recta tangente a la original en la sección de pérdida del control.

4.2. Velocidad de impacto.

4.2.1. Generalidades.

La velocidad del choque contra un sistema de contención de vehículos depende de:

- La velocidad de recorrido^a a partir de la cual se pierde el control.
- Si la trayectoria recorrida fuera de control se recorre rodando o deslizando sobre el suelo.

4.2.2. Vehículo rodante.

Si el vehículo fuera de control sigue rodando, se puede admitir que la velocidad se mantiene constante hasta el choque.

4.2.3. Vehículo deslizante.

Si el vehículo desliza sobre el suelo, se puede admitir que su movimiento es uniformemente decelerado, con un coeficiente de rozamiento igual a 0,5: con lo que la

velocidad v (km/h) al cabo de recorrer una distancia d (m) está dada por la ecuación

$$V = \sqrt{V_{pi}^2 - (125 + 2,5 \cdot i) \cdot d}$$

siendo: i (%) la inclinación longitudinal media de la trayectoria.

4.3. Angulo de impacto

4.3.1. Generalidades.

El ángulo bajo el cual una barrera de seguridad intercepa las trayectorias de los vehículos fuera de control no debe ser superior al límite para el cual la barrera ha sido diseñada, ensayada y homologada, que es del orden de 15° para barreras de hormigón, y 25° para barreras metálicas.

Los vehículos veloces impactan con ángulos pequeños, pero la barrera de seguridad debe soportar ángulos de choque mayores con pequeñas velocidades.

4.3.2. Alineaciones rectas.

En alineaciones rectas se puede admitir que, si la distancia de una barrera de seguridad paralela a la carretera no es superior a la indicada por la tabla 2, el ángulo de choque con ella no rebasará 20°. (1)

4.3.3. Alineaciones curvas.

En alineaciones curvas el ángulo de choque con barreras de seguridad paralelas a la carretera resulta mayor, lo que puede aconsejar disponer la barrera de seguridad con otras configuraciones, de modo que el ángulo de choque no exceda del límite.

En vías de giro y ramales en nudos, al ser pequeño el radio de curvatura, suele resultar más conveniente la eliminación del obstáculo o desnivel que motivaría la colocación de la barrera.

Tabla 2

(1)

Máxima distancia (m) entre el borde de la calzada y una barrera de seguridad paralela a ella

Número de carriles	Velocidad de recorrido V_{pi} (km/h)					
	50	60	70	85	100	120
Barreras metálicas						
1	3,3	5,5	8,0	> 10	> 10	> 10
2	0,3	2,0	4,5	9,2	> 10	> 10
3	0,3	0,3	1,0	5,7	> 10	> 10
4	0,3	0,3	0,3	2,2	7,7	> 10
Barreras de hormigón						
1	0,5	0,8	1,7	3,3	5,3	8,4
2	0,5	0,5	0,5	0,5	1,8	4,9
3	0,5	0,5	0,5	2,2	7,7	1,4

“

E

l ángulo bajo el cual una barrera de seguridad intercepta las trayectorias de los vehículos fuera de control no debe ser superior al límite para el cual la barrera ha sido diseñada, ensayada y homologada, que es del orden de 15° para barreras de hormigón, y 25° para barreras metálicas.”

5. Descripción de las barreras de seguridad.

5.1. Funcionamiento.

Las barreras de seguridad están diseñadas para choques tangenciales. Además de las generales detalladas en el apartado 2, deben cumplir las siguientes exigencias funcionales específicas:

- La trayectoria del vehículo se modificará con suavidad.
- La barrera mantendrá al menos una parte de su eficacia después del choque.

La guía visual que proporcionan las barreras de seguridad contribuye a reducir la accidentalidad; pero también pueden representar un impedimento para la visibilidad, o para el acceso de servicios de asistencia en caso de emergencia.

Las barreras de seguridad deben ser capaces de:



Circunvalación de Alicante. Doble barrera rígida de cemento con plantaciones.

- Detener o anular la componente transversal del movimiento del vehículo, a través de las fuerzas desarrolladas en su contacto con él.
- Guiar o mantener su trayectoria tras el choque paralela a la barrera, sin que retorne a la calzada donde podría chocar con otros vehículos.

El movimiento transversal del vehículo tiene componentes traslacionales y rotacionales (guiñada, vuelco). Las primeras pueden ser limitadas por la barrera de seguridad si el ángulo que ésta forma con ellas no excede de un cierto límite; mientras que las segundas son anuladas.

Las fuerzas necesarias para detener y guiar el vehículo proceden de la deformación, tanto del propio vehículo como de la barrera de seguridad, y del rozamiento con ésta y con el suelo. La deformabilidad de la barrera, junto con la rotación del

vehículo al abandonarla, determina las condiciones finales: si es pequeña se producirán mayores deceleraciones del vehículo, fuerzas transversales mayores, y por tanto mayores daños.

5.2. Deformabilidad

Las barreras de seguridad se pueden clasificar en:

- a) **Deformables**, o sea que se deforman durante el impacto del vehículo, pudiendo sufrir una deformación permanente. Estas barreras pueden determinar la posición y magnitud de las fuerzas de contacto. Detrás de esta clase de barreras hay que contar con espacio suficiente para su deformación sin que el vehículo que acompaña en ella a la barrera incurra en peligros adicionales. Pertenecen a esta clase las barreras metálicas, y las de hormigón prefabricadas no ancladas al cimiento o de longitud inferior a 4 m.
- b) **Rígidas**, proyectadas de manera que los desplazamientos que puedan sufrir en caso de impacto resulten despreciables. Estas barreras pueden determinar la posición, pero no la magnitud de las fuerzas de contacto, las cuales dependen de la deformación del vehículo. Dependen más del rozamiento entre ellas y el vehículo, y entre éste y el terreno, que las deformables. Pertenecen a esta clase las barreras de hormigón



Amortiguador de Impacto.

8. Como velocidad de recorrido representativa se toma la que es rebasada sólo por el 15% de los vehículos en la sección considerada ($V_{0.15}$).
9. Cf. tabla 7 de la Orden circular.

“**L**a barrera de seguridad ideal sería la que, al principio del choque con un vehículo, fuera más deformable que al final, aumentando progresivamente su rigidez y resistencia. Esto, además, le permitiría adaptarse bien a vehículos de masas diferentes.”

vertido “in situ”, especialmente si están ancladas al cemento, y las prefabricadas de longitud superior a 6 m.

El comportamiento de una barrera de seguridad deformable¹⁰ no es igual que el de otra más rígida¹¹; la gravedad del choque es mayor para ésta¹².

La barrera de seguridad ideal sería la que, al principio del choque con un vehículo, fuera más deformable que al final, aumentando progresivamente su rigidez y resistencia. Esto, además, le permitiría adaptarse bien a vehículos de masas diferentes.

5.3. Fases del choque con una barrera de seguridad

5.3.1. Fases.

En el choque entre un vehículo y una barrera de seguridad se pueden distinguir dos fases:

- 1ª **Contacto principal**, durante el cual el vehículo toca a la barrera, generalmente en un punto situado delante de su centro de gravedad, de forma tal que, además de impedir su movimiento transversal, le imprime una guiñada¹³ contrarrestada por el rozamiento entre barrera y vehículo y entre éste y el terreno.
- 2ª **Contacto secundario** (coletazo), en el que el vehículo golpea a la barrera en un punto situado detrás de su centro de gravedad, deteniendo total o parcialmente la guiñada. Este contacto secundario no siempre tiene lugar, y depende de las condiciones del contacto principal y del rozamiento; generalmente no se produce si el ángulo de choque es inferior a 15°.



Después del choque, el movimiento transversal del vehículo depende de la elasticidad de los contactos principal, en su caso, secundario; la rotación residual es detenida normalmente por rozamiento en la suspensión y con el terreno. Por tanto, la dirección del movimiento después del choque depende de la elasticidad de éste y de las características superficiales del terreno en los alrededores de la barrera.

5.3.2. Modelo.

A continuación se describe un modelo simplificado de la dinámica del contacto principal, en el que desprecia el rozamiento entre vehículo y suelo, y se supone que el centro de gravedad no varía aunque se dañe o deforme el vehículo.

El desplazamiento transversal y_1 del centro de gravedad del vehículo tras el contacto principal es igual, en primera aproximación, a

$$y_1 = A + \text{sen } \alpha - B + (1 - \cos \alpha) + D$$

siendo: A la distancia desde el centro de gravedad del vehículo hasta su parte frontal.
B la mitad de la anchura del vehículo.
 α el ángulo de choque.
D la deformación transversal de la barrera.

Suponiendo una disminución lineal de la componente transversal de la velocidad de choque v hasta anularse, el tiempo t empleado en el desplazamiento y_1 es

$$t = \frac{2 \cdot y_1}{v \cdot \text{sen } \alpha}$$

La aceleración transversal media a_1 , durante esta fase del choque es

$$a_1 = \frac{v \cdot \text{sen } \alpha}{t} = \frac{(v \cdot \text{sen } \alpha)^2}{2 \cdot y_1}$$

La fuerza transversal media F_1 ejercida sobre la barrera es igual a

$$F_1 = \frac{I_1}{y_1}$$

siendo I_1 el índice de gravedad del choque (apartado 5.3.3); mientras que la fuerza longitudinal media F_2 ejercida sobre la barrera es igual a

$$F_2 = \mu \cdot F_1$$

siendo μ el coeficiente de rozamiento medio entre barrera y vehículo.

5.3.3. Índice de gravedad.

En barreras de seguridad, a la componente transversal de la energía cinética del vehículo se la denomina índice de gravedad, I_1 :

$$I_1 = \frac{m \cdot (v \cdot \text{sen } \alpha)^2}{2}$$



Circunvalación de Valencia. Barrera rígida con plantación.

siendo:— m la masa del vehículo
— v su velocidad.
— α el ángulo de impacto.

Esta energía se disipa en forma de calor, a través de la deformación del vehículo¹⁴ y de la barrera, y del rozamiento entre ambos, o se transforma (p. ej. en energía de rotación).

El índice de gravedad cuantifica la severidad del-choque: si es inferior a 25 kJ, el choque se considera leve, y si es superior a 250 kJ, severo. Además, permite clasificar las barreras de seguridad en función del choque que son capaces de soportar.

5.4. Fuerzas transmitidas a los cimientos.

En las barreras de seguridad, la totalidad de las fuerzas generadas en el choque es transmitida a sus cimientos. Aunque su componente lateral sea del mismo orden de magnitud, la distribución entre puntos de apoyo difiere: las barreras de hormigón¹⁵ reparten mejor¹⁶ las fuerzas que las metálicas, que las concentran en postes aislados y, por tanto, dependen más de la interacción entre terreno y postes, lo que obliga a establecer un correcto anclaje de éstos. También es mayor la componente longitudinal producida¹⁷ por el rozamiento entre vehículo y barrera si ésta es de hormigón.

Las fuerzas verticales son tam-

bién diferentes; al deformarse una barrera metálica de seguridad, sus postes pueden transmitir a los cimientos tracciones ascendentes, cuya magnitud depende del diseño; mientras que en una barrera de hormigón se producen compresiones sobre el cemento, que éste debe resistir sin deformarse.

5.5. Barreras metálicas de seguridad.

5.5.1. Generalidades.

A lo largo de muchos años se han desarrollado numerosos tipos de barrera metálica de seguridad, algunas de cuyas características se analizan a continuación. La mayoría de ellas tienen vallas de sección abierta, por lo que resultan más peligrosas para los ocupantes de vehículos de dos ruedas que las de sección cerrada como las de hormigón. Por el contrario, resulta más posible que en éstas prever dispositivos desmontables, que permitan a los vehículos de asistencia franquearlas en caso de emergencia.

Las barreras metálicas de seguridad constan generalmente de tres partes principales:

- Una serie continua de vallas longitudinales.
- Unos postes que mantienen las vallas a cierta altura.
- Unos separadores entre unos y otros.

Las barreras metálicas de seguridad requieren mayor conservación que las de hormigón, y deben ser inspeccionadas con regularidad para comprobar no sólo si han sufrido daños, siquiera ligeros, sino también si su altura no ha disminuido a consecuencia de asientos del terreno o de recrecimientos del firme.

5.5.2. Funcionamiento.

Todas las partes principales de una barrera metálica de seguridad pueden, al menos en teoría, participar en la deformación; pero la cantidad de tal participación depende del diseño de la barrera.

Sus funciones durante un choque se pueden describir así:

- La valla se encarga del contacto con el vehículo, y se deforma en dirección transversal y horizontal como consecuencia del choque. Debe ser suficientemente rígida para repartir la deformación en una longitud tal, que se distribuya la absorción de energía entre varios postes; y su forma debe contribuir a guiar el vehículo. Debe absorber también las tracciones longitudinales causadas por su de-

“Las fuerzas verticales son también diferentes: al deformarse una barrera metálica de seguridad, sus postes pueden transmitir a los cimientos tracciones ascendentes, cuya magnitud depende del diseño.”

formación y por su rozamiento con el vehículo. La cantidad de energía absorbida por deformación plástica de la propia valla debe ser limitada, para que no se produzcan roturas ni colapsos localizados.

- Los separadores realizan varias funciones:
 - Sujetar adecuadamente la valla a los postes.
 - Mantener la distancia entre la valla y los postes para evitar el choque del vehículo con éstos.
 - Mantener constante la altura de la valla aunque se deforme el poste.
- Los postes también realizan varias funciones:
 - Mantener constante la altura de la valla.
 - Absorber energía, doblándose en sentido normal a la carretera.
 - Absorber las tracciones de la valla, sin desplazamientos excesivos.

En el caso excepcional de que los postes se anclen en terreno blando, hay que tener en cuenta que la resistencia lateral y vertical de éste puede ser insuficiente, lo que obliga a aumentar la longitud de hinca, o a complementarlos con un pie metálico o un cemento de hormigón no solidario.

10. Deformación transversal tras un choque con $E = 40$ kJ, del orden de 1,5 m.
11. Deformación transversal tras el choque del orden de 0,5 m.
12. ASI, (Cf. Anexo #2) del orden de un 35% mayor.
13. Giro alrededor del eje vertical.
14. Ruedas, frenos, suspensión y carrocería.
15. Tanto si están ancladas a un cemento como si la transmisión de fuerzas se hace por rozamiento.
16. Siempre que el cemento sea suficientemente resistente.
17. Y transmitida al cemento.

“Se debe aumentar la rigidez de las barreras metálicas dobles de seguridad conectando las vallas entre sí a intervalos regulares, además de su unión por los separadores que las sujetan a los postes. Esta disposición disminuye la torsión sobre los postes debida a las fuerzas longitudinales, y favorece la contribución de las dos hileras de vallas en la absorción del impacto.”

Las fuerzas longitudinales que, durante un choque, actúan sobre la valla se transmiten por los separadores a los postes, originando en éstos esfuerzos de torsión. Si, como consecuencia, los postes se colapsan o giran sobre sí mismos en el terreno, disminuirá la distancia entre ellos y la valla, y la barrera funcionará como si no tuviera separadores.

Las barreras metálicas de seguridad presentan problemas ante un choque si:

- La superficie de contacto entre valla y vehículo disminuye por la deformación de aquélla.
- La valla no permanece a la altura adecuada durante el choque, favoreciendo el vuelco del vehículo o el franqueamiento de la barrera.
- La deformación no resulta progresiva.
- Los postes son alcanzados por el vehículo.

Por lo tanto, interesa que las partes principales de la barrera cumplan determinados requisitos:

- En cuanto a la valla:
 - Que sea lo más rígida posible.
 - Que su resistencia evite el franqueamiento de la barrera.
 - Que proteja a los postes aun cuando la barrera se deforme.
- En cuanto a los postes, que se deformen progresivamente durante el choque, absorbiendo energía cinética.
- En cuanto a los separadores:
 - Que ayuden a la valla a permanecer a una altura adecuada aun cuando la barrera se deforme.

- Que ayuden a los postes a disipar la energía cinética del choque.
- En vallas dobles simétricas, que se consiga un funcionamiento en dos fases, sobre todo ante choques de vehículos pesados, al apoyarse una de las vallas sobre el suelo.

El diseño de las barreras metálicas de seguridad debe lograr que el choque sea lo menos elástico posible y que la energía absorbida no sea devuelta al vehículo, para evitar que éste rebote hacia la carretera y para mantenerlo en contacto con la barrera durante el mayor tiempo posible. Interesan, por tanto, rozamiento y deformaciones plásticas, no elásticas.

Es muy importante que ambos extremos de una barrera metálica de seguridad se anelen al terreno o a una barrera de hormigón, para resistir las elevadas tracciones longitudinales que se producen en caso de choque: no se debe omitir este requisito, sin el cual es probable un mal funcionamiento de la barrera. Por esta razón, todo tramo de barrera metálica debe tener una longitud mínima, que asegure su correcto funcionamiento.

La rigidez de una barrera metálica de seguridad se puede aumentar:

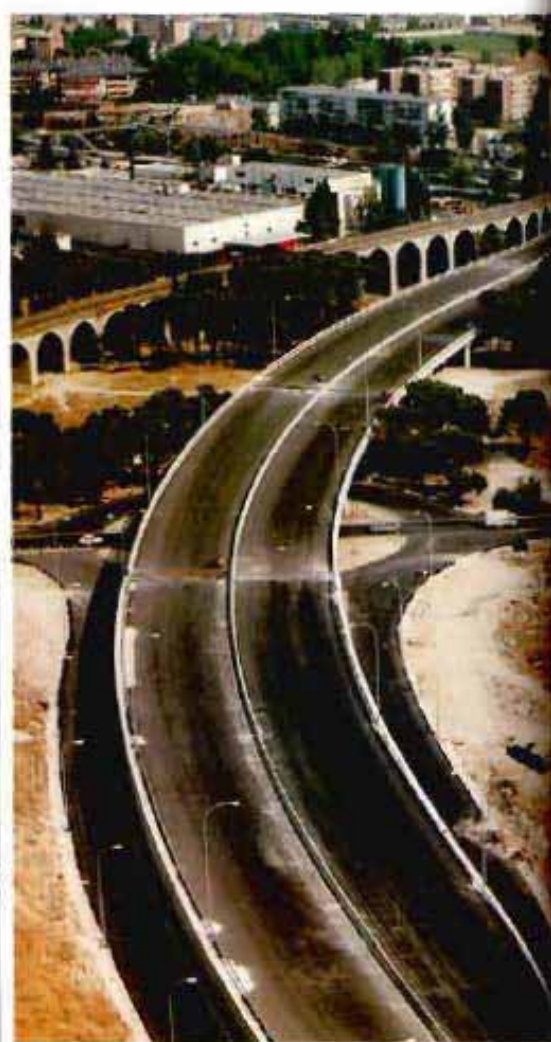
- Aumentando la rigidez o el número de vallas.
- Disminuyendo la distancia entre postes.
- Aumentando la rigidez de los postes.

5.5.3. Barreras metálicas simples de seguridad.

Las barreras metálicas simples sujetas a los postes mediante separadores se comportan bien frente a choques de coches con I_c hasta 120 kJ. La valla se plastifica si la distancia entre postes es del orden de 4 m, produciéndose una gran deformación transversal pero de corta longitud. Con vehículos más pesados y ángulos de choque hasta 15° , el comportamiento es aceptable hasta $I_c = 140$ kJ (camiones) o 90 kJ (autobuses); si I_c aumenta a 350 kJ (camiones) o 225 kJ (autobuses) se necesita aumentar la altura de la barrera a 90 cm, para evitar el vuelco del vehículo.

5.5.4. Barreras metálicas dobles de seguridad.

Se debe aumentar la rigidez de las barreras metálicas dobles de seguridad conectando las vallas entre sí a intervalos regulares, además de su unión por los separadores que las su-



jetan a los postes. Esta disposición disminuye la torsión sobre los postes debida a las fuerzas longitudinales, y favorece la contribución de las dos hileras de vallas en la absorción del impacto.

La permanencia de la valla delantera a la altura correcta depende, en parte, de la rigidez de la unión entre separador y poste. Al unirse oblicuamente¹⁸ la valla al separador, de forma que el impacto inicial del vehículo se produce en su parte inferior, el separador se verá sometido a una torsión hacia arriba. Cuando el poste se haya doblado suficientemente, también entrará en contacto con el vehículo la parte superior de la valla. El movimiento ascendente de la valla delantera mantiene suficientemente alta la zona de contacto entre barrera y vehículo, con lo que es poco probable que aquélla sea empujada hacia abajo por el choque.

Al plastificarse y deformarse los postes transversalmente después de un choque importante la valla trasera llega a apoyarse en el terreno¹⁹, manteniéndose la valla delantera durante más tiempo a la altura correcta, y



Via Borde de Hortaleza (Madrid). Barrero tipo New Jersey.

protegiendo a los postes, y creando la trasera una resistencia adicional frente a deformaciones ulteriores. Después del choque, la barrera retiene una cierta capacidad de funcionamiento.

Los vehículos ligeros no suelen volcar, y los daños que producen a la barrera son pequeños. También es bueno el comportamiento con vehículos pesados y autobuses, con ángulos de choque hasta 20° y velocidades hasta 80 km/h; con valores superiores, la deformación transversal de la barrera es tan grande¹⁸, que el vehículo alcanza los postes. Existe el peligro de que la valla delantera se enganche en el parachoques o en la cabina, y no pueda subir: en este caso se rompe y el vehículo franquea la barrera.

5.6. Barreras de seguridad de hormigón.

5.6.1. Generalidades.

Están formadas por piezas prismáticas de hormigón, con un perfil transversal especial.

Pueden ser simples (con perfil a una cara) o dobles (con perfil a dos caras); y se pueden construir pefa-

bricadas¹⁹ u hormigonadas "in situ", generalmente mediante encofrados deslizantes. Se pueden emplear, en módulos prefabricados, para defensa de zonas de obra e instalaciones provisionales.

En desmontes en roca, el perfil se puede integrar en el parámetro.

Sobre las barreras de hormigón se pueden disponer fácilmente pantallas contra el deslumbramiento o el ruido, y báculos de iluminación. No es aconsejable, sin embargo, cimentar postes no colapsables sobre la barrera, ya que es bastante frecuente que el vehículo que choque se monte en ella; es mejor que los postes se alojen en huecos entre barreras adyacentes, cuya continuidad superficial se debe restituir mediante un manguito metálico.

Se debe tener en cuenta el obstáculo que puede representar la barrera de hormigón para el drenaje superficial.

Las barreras de seguridad de hormigón requieren menos conservación que las metálicas, y sólo después de un choque importante es necesario repararlas.

5.6.2. Perfil.

La mayoría de los perfiles se desarrolló en los EE.UU. (New Jersey y Forma "F"); el perfil denominado "Trie-bloc" es originario de Suecia.

Estos perfiles tienen una altura de unos 80 cm y empiezan por un bordillo vertical de baja altura (8 cm), seguido de un murete inclinado a 55° con la horizontal que, a su vez, desemboca en un muro casi vertical (84° con la horizontal). La altura del murete inclinado es de 18 cm para la Forma "F", y de 25 cm para el perfil New Jersey.

El perfil sueco es algo diferente: su parámetro es curvo, el bordillo inicial es más alto (13 a 20 cm), y también lo es la barrera (97 cm).

5.6.3. Funcionamiento.

El funcionamiento de las barreras de seguridad de hormigón no se basa en que absorben energía por deformación, sino en que durante un choque su forma genera unas fuerzas transversales adecuadas en los contactos principal y secundario, y las transmite al vehículo a través de su suspensión. Dichas fuerzas se generan principalmente guiando a las ruedas de forma que giren en un plano algo inclinado transversalmente, más que por deformación de la carrocería. Esta inclinación produce también componentes verticales que hacen que el vehículo no sólo gire alrededor de su

**“
El
funcionamiento de las
barreras de seguridad de
hormigón no se basa en que
absorben energía por
deformación, sino en que
durante un choque su forma
genera unas fuerzas
transversales adecuadas en
los contactos principal y
secundario, y las transmite
al vehículo a través de su
suspensión.”**

eje vertical (guiñada), sino también alrededor de sus ejes longitudinal (balanceo) y lateral (cabecceo).

La guía del vehículo se debe efectuar principalmente a través de las ruedas, evitando un contacto excesivo entre la barrera y la carrocería del vehículo, que produciría deceleraciones elevadas a sus ocupantes. Esto limita que el ángulo de impacto sea pequeño.

Este tipo de barrera depende más que la metálica del rozamiento entre ella y el vehículo, y entre éste y el terreno. Puesto que la barrera²⁰ no absorbe energía por deformación, los choques son bastante elásticos: virtualmente toda la energía cinética lateral antes del choque, que no haya sido convertida en rotacional, permanece después de él y ha de ser disipada por los amortiguadores, el rozamiento de los neumáticos y la deformación plástica de la suspensión. Con ángulos de impacto grandes, también puede haber contacto entre la barrera y la carrocería, y ésta puede absorber energía por deformación.

Al ser pequeña la deformación de las barreras de hormigón, se producen fuerzas transversales mayores, y por tanto mayores daños al vehículo que con barreras metálicas.

Las ruedas de un vehículo ligero no deben trepar a demasiada altura sobre la barrera, para evitar vuelcos. A este fin, puede ser interesante que

18. Unos 8°.

19. Siempre que la longitud de los separadores sea suficiente.

20. Del orden de 1,5 m.

21. Con longitud suficiente para evitar un mal acabado longitudinal.

22. Y, en menor grado, la suspensión del vehículo, al menos en un primer momento.

el acabado de la barrera sea lo más liso posible.

El anclaje longitudinal de la barrera de hormigón resulta menos necesario que en las metálicas, pues las fuerzas longitudinales en caso de choque son pequeñas. En las prefabricadas se debe cuidar la continuidad resistente, estableciendo uniones adecuadas entre elementos adyacentes, cuyo comportamiento esté refrendado por ensayos.

5.6.4. Comportamiento.

Al parecer, sólo una tercera parte de los choques con una barrera de seguridad de hormigón da lugar a accidentes con víctimas o daños que queden registrados en las estadísticas; los vehículos implicados en choques leves suelen poder proseguir su camino.

La sección cerrada de las barreras de seguridad de hormigón resulta menos peligrosa para los ocupantes de vehículos de dos ruedas que la abierta de las metálicas.

A continuación se examina el comportamiento de los distintos tipos de perfil.

5.6.4.1. Perfil "New Jersey".

Con coches de peso superior a 1 t, si I_1 no rebasa 50 kJ y el ángulo de choque no rebasa 15°, el comportamiento es satisfactorio, con pocos daños al vehículo y ninguno a la barrera. El aumento del ángulo de choque a 25° produce un aumento de la gravedad del accidente y un vuelco casi seguro.

Con coches de peso inferior a 1 t, el comportamiento es algo menos bueno: a 100 km/h, la rueda delantera asciende por la cara inclinada hasta casi la coronación de la barrera, y el vuelco es más posible, aún para ángulos de choque tan pequeños como 10°. Se puede mejorar la situación disminuyendo el rozamiento entre rueda y barrera, haciendo más liso el acabado de ésta.

Con vehículos pesados, cuyo centro de gravedad está situado más alto que la coronación de la barrera, el sentido de la guinada del vehículo es hacia la barrera. Para evitar que esto ayude al franqueamiento de la barrera, se debe aumentar su altura o disponer una baranda metálica sobre ella.

La gravedad de los accidentes es menor para los autobuses que para los camiones; en los vehículos articulados se puede producir un quiebro entre el tractor y el semi-remolque. Sin embargo, ni siquiera con un valor de I_1 del orden de 230 kJ y un

ángulo de choque de 20° la barrera es franqueada, y los daños a ella son moderados.

5.6.4.2. Perfil "Forma F".

La menor altura del murete inclinado a 55° con la horizontal reduce la ascensión de la rueda delantera y, por tanto, el peligro de vuelco, sobre todo para coches ligeros y ángulos pequeños, a costa de unas deceleraciones algo mayores. Esto lo hace preferible al perfil "New Jersey" para las condiciones del parque automovilístico español.

5.6.4.3. Perfil "Tric-bloc".

La forma curva del perfil favorece la ascensión de la rueda delantera del vehículo, hasta casi la coronación de la barrera; y el menor peso de sus elementos individuales lo hacen inadecuado para tráfico pesado. Esto hace que su empleo deba ser restringido a zonas urbanas con predominio de vehículos ligeros.

Se presentan problemas de conservación, pues la barrera se deforma tras un impacto.

6. Descripción de los pretilos.

6.1. Generalidades.

Las consideraciones hechas para las barreras de seguridad en el apartado 5 anterior son válidas, en general, también para los pretilos, con las siguientes particularidades:

- Los pretilos no se pueden desplazar transversalmente en el terreno, sino están anclados a la estructura.
- El peligro que representa el franqueamiento del pretil es grave.
- La resistencia al colapso de la sujeción del pretil al tablero debe ser menor que la resistencia del tablero ante las fuerzas a éste transmitidas; de lo contrario, en un choque se dañaría el tablero.

6.2. Pretilos metálicos.

6.2.1. Normales.

Este tipo de pretil consta, por lo general, de los mismos elementos que las barreras metálicas de seguridad, con una o dos vallas sujetas a los postes mediante separadores cortos. A veces se conectan directamente las vallas a un muro o estribo, constituyéndose un pretil mixto.

Su funcionamiento depende principalmente de las vallas, aunque en choques importantes se absorbe algo de energía por los postes, que se doblan, rompen o sueltan con peligro de que el vehículo choque con ellos. Si las vallas tienen suficiente rigi-



dez, las fuerzas se repartirán entre varios postes, y también se guiará al vehículo; de lo contrario, las vallas sufrirán una gran deformación plástica, y el vehículo chocará de frente con el siguiente poste, con gran probabilidad de graves daños para ambos.

Puesto que las fuerzas sobre los postes son grandes, éstos se deben sujetar adecuadamente: a la cara superior del tablero, a su canto, o frecuentemente a una acera. La última disposición no es aconsejable: las ruedas del vehículo contactan primero con el bordillo, lo que resulta en un par de vuelco que puede imprimir al vehículo un movimiento ascensional imprevisible y difícil de guiar. La presencia de bordillos delante de la barrera aumenta considerablemente los daños a la suspensión del vehículo.

Se pueden presentar problemas si los postes son muy rígidos, pues las deceleraciones causadas a los ocupantes del vehículo pueden resultar muy grandes. La deformación

“**Con coches de peso superior a 1 t, si I_1 no rebasa 50 kJ y el ángulo de choque no rebasa 15°, el comportamiento es satisfactorio, con pocos daños al vehículo y ninguno a la barrera. El aumento del ángulo de choque a 25° produce un aumento de la gravedad del accidente y un vuelco casi seguro.**”



La protectora de poliestireno, rellena de hormigón "in situ".

transversal ante un choque debe ser del orden de 20 a 30 cm.

6.2.2. De alta contención.

En casos especiales en que se quiera garantizar la infranqueabilidad de una barrera aun para vehículos pesados²³, se emplean dispositivos muy robustos, con postes inclinados hacia la calzada, y vallas de gran altura contra el vuelco de vehículos con centro de gravedad alto. La deformación máxima de este tipo de barrera es del orden de 1,2 m sin que el vehículo vuelque ni abandone el tablero.

Dado que este tipo de pretil podría resultar peligroso para vehículos ligeros, los ensayos de homologación deben incluir pruebas con vehículos de peso inferior a 1 t.

6.3. Pretil de hormigón.

Son aplicables, en general, las mismas consideraciones hechas para las barreras de seguridad de hormigón.

En túneles y muros, el perfil se puede integrar en el paramento o hastial.

Su elevado peso debe ser considerado en el cálculo estructural. A

“En casos especiales en que se quiera garantizar la infranqueabilidad de una barrera aun para vehículos pesados, se emplean dispositivos muy robustos, con postes inclinados hacia la calzada, y vallas de gran altura contra el vuelco de vehículos con centro de gravedad alto.”

veces se utiliza hormigón aligerado, de resistencia suficiente.

La transmisión de esfuerzos al tablero se puede hacer mediante anclajes dúctiles, mejor que confiar sólo en el rozamiento.

También se han desarrollado modelos de alta contención.

6.4. Pretil mixto.

Están formados por un pretil de hormigón, coronado por una baranda metálica sobre soportes también metálicos, con funciones resistentes y no simplemente decorativas.

7. Descripción de los amortiguadores de impacto.

7.1. Generalidades.

Los amortiguadores de impacto se utilizan para proteger zonas u obstáculos peligrosos contra choques frontales, para los que las barreras de seguridad no resulten adecuadas. Ejemplos de estas situaciones son:

- “Narices” de divergencias o salidas.
- Obstáculos aislados en medianas o márgenes, donde no se puedan disponer barreras de seguridad de forma que el choque contra ellas se haga con un ángulo suficientemente pequeño.

- Obstáculos aislados temporales, como obras o actividades, especialmente movientes o itinerantes. Su finalidad es la de atenuar las consecuencias del choque del vehículo, absorbiendo su energía cinética mediante la deformación del sistema.

Se han desarrollado numerosos tipos, especialmente en los EE.UU., generalmente amparados por patentes; muchos son complejos o caros. Se pueden dividir en dos clases: sistemas telescópicos y conjuntos de bidones.

7.2. Requisitos funcionales específicos.

Los amortiguadores de impacto deben cumplir los siguientes requisitos funcionales específicos:

- Detener al vehículo dentro de la longitud del amortiguador, y sin que aquél quede en la calzada²⁴.
- Ante un choque lateral, funcionar igual que una barrera de seguridad.

7.3. Comportamiento.

Hay que tener en cuenta que la mayoría de los amortiguadores de procedencia norteamericana están diseñados para coches de unas 2 t. de peso y que, para coches más ligeros como los europeos, las deceleraciones durante el choque con aquéllos son mayores y producen ac-

cidentes también más graves. Los modelos norteamericanos más recientes ya están diseñados también para coches ligeros.

El comportamiento²⁵ es bastante satisfactorio para choques totalmente frontales, en los que la totalidad de la energía cinética del vehículo debe ser absorbida por el amortiguador. Si el choque se produce descentrado o bajo o cierto ángulo, el vehículo sufre una guiñada importante que lo puede devolver a la calzada.

7.4. Sistemas telescópicos.

Constan de dos series de paneles laterales verticales²⁶, provistos de travesaños montados sobre ruedas o patines. Entre los travesaños se dispone un material cuya deformación por aplastamiento absorba energía: poliestireno expandido, vejigas rellenas de agua, bidones o envases metálicos de desecho.

Este conjunto se sujeta a un cimiento situado en su parte posterior, y se instalan dispositivos que restringen su movimiento lateral. También se suele disponer una “nariz” que puede absorber algo de energía.

Si el choque contra el sistema es frontal, los paneles laterales se embuten telescópicamente unos en otros, y la energía cinética del vehículo se disipa aplastando el material situado entre los travesaños; si el choque es lateral, el vehículo es guiado por los paneles laterales, con una deformación pequeña²⁷.

7.5. Conjunto de bidones.

Los bidones, generalmente de plástico, se colocan sobre el suelo sin cimentar, en la misma disposición que los sistemas telescópicos pero sin paneles laterales. Están llenos de arena de forma que el centro de gravedad de dicho relleno esté aproximadamente a la misma altura que el del vehículo.

Al chocar un vehículo con el conjunto de bidones, éstos se rompen uno por uno y la inercia de la arena va amortiguando la energía cinética del vehículo; para que la deceleración resulte uniforme, los bidones delanteros²⁸ contienen menos arena que los traseros.

23. Mientras que con vehículos más bajos se aparta de ella.

24. Con más carrocería deformable.

25. Hasta de 50 t, ángulos de choque de 30° y velocidades de 80 km/h (E = 6 200 kJ).

26. Lo que implica limitar la rotación y el rebote.

27. Mejor el de los conjuntos telescópicos que el de los bidones aislados.

28. Con forma de V o U en planta.

29. Gracias a la rigidez del conjunto.

30. Contra los que se choca a mayor velocidad.