

NUEVOS REQUISITOS Y AVANCES EN SEGURIDAD PASIVA EN AUTOBUSES Y AUTOCARES: SITUACIÓN ACTUAL Y NECESIDADES

**M^a Teresa Vicente Corral, Ángel Martín López, Rocío Grimaldi Pastoril, Francisco Aparicio
Izquierdo***

Instituto Universitario de Investigación del Automóvil, Universidad Politécnica de Madrid (INSIA-UPM),
Investigadores, *Ponente, Director del INSIA-UPM, Madrid, España, Ctra. de Valencia, km 7 tño +34 91
336 53 00 FAX +34 91 336 53 02, CP: 28031, email: secdir1.insia@upm.es; teresa.vicente@upm.es

RESUMEN

La seguridad pasiva en los autobuses y autocares viene marcada fundamentalmente por la aparición de reglamentación que impone requisitos a las estructuras y sistemas de retención de estos vehículos para garantizar la seguridad de sus ocupantes.

En los últimos años se han realizado numerosos avances en seguridad que han conllevado (y siguen arrastrando) la necesidad de estudios de investigación para determinar qué requisitos hay que imponer sobre los mismos (niveles de esfuerzos, deformación, energía...). En la reglamentación Europea destacan:

- Seguridad ante impactos frontales, con la incorporación de cinturones de seguridad, que ha conllevado un gran esfuerzo y modificaciones tanto a los fabricantes de asientos, carroceros como a las oficinas técnicas.
- Seguridad ante vuelco, con el aumento en los requisitos de resistencia estructural a vuelco, que está suponiendo hoy por hoy nuevas soluciones técnicas para las carrocerías.

El trabajo presenta un resumen de la situación actual así como de los principales estudios prelegislativos realizados por el INSIA-UPM para determinar que requisitos deben cumplir estos vehículos, en función de la accidentalidad existente, fundamentalmente a vuelco y ante impacto frontal. Se destacan también las carencias existentes actualmente. Por ejemplo tenemos reglamentación que verifique la resistencia estructural a vuelco y la correcta retención de los pasajeros ante impacto frontal. Pero no hay nada que garantice la resistencia estructural ante impacto frontal ni la correcta retención en caso de vuelco. Este trabajo presenta algunas ideas en estos aspectos (cálculos y ensayos).

PALABRAS CLAVE: autocares, seguridad pasiva, estructura.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se presenta la situación actual y últimos avances en materia de seguridad pasiva de autobuses y autocares llevados a cabo a través de la reglamentación europea, así como algunos resultados y propuestas a partir de estudios llevados a cabo en el INSIA-UPM. Antes de comenzar la lectura del mismo, conviene recordar que viajar en autocar en Europa sigue siendo, con mucha diferencia, el medio de transporte más seguro por carretera. Según datos de de la Unión Europea (“Energy & Transport in Figures. 2006”. European Commission. Directorate-General for Energy and Transport y “CARE Database/EC, Octubre 2006), el índice de riesgo (número de fallecidos en función de la movilidad) entre el año 1993 y el 2004 es entre 11 y 17 veces superior para un ocupante de turismo que para un ocupante de autobús o autocar (unas 13 veces en España en los últimos 5 años). El total de accidentes con al menos un fallecido y un autobús o autocar implicado es tan bajo en cada país, que un solo accidente desvía el “ranking” de riesgo de cada año de un país frente a otro.

Los fabricantes de autobuses y autocares (vehículos de categoría M2 y M3) a nivel mundial son empresas con menor producción que las grandes empresas de automóvil (vehículos de categoría M1), por lo que no pueden dedicar grandes inversiones en nuevas tecnologías para garantizar la seguridad. Por otro lado son el modo más seguro con diferencia de transporte por carretera, aunque al ser transporte público requiere siempre un grado más de atención. La seguridad pasiva en los autobuses y autocares viene marcada fundamentalmente por la aparición de reglamentación que impone requisitos a las estructuras y sistemas de retención de estos vehículos para garantizar la seguridad de sus ocupantes.

El presente artículo se centra en la seguridad pasiva, fabricación y reglamentación de autobuses y autocares españoles y europeos. La reglamentación europea es generada a nivel técnico fundamentalmente en Ginebra [UNECE] y transmitida a las Directivas de Bruselas [European Comisión]. La reglamentación de Ginebra puede ser aplicada en cualquier país que se adscriba a cada reglamento en concreto, existiendo actualmente

un grupo de estudio para transformar esta reglamentación en reglamentos globales o mundiales. Las Directivas Europeas son de obligado cumplimiento para cualquier miembro de la Unión Europea. Los últimos avances en materia reglamentaria a nivel europeo, se han realizado para mejorar la seguridad ante los accidentes más lesivos en este modo de transporte: accidentes interurbanos destacando el vuelco (más por la severidad que por la frecuencia) y el impacto frontal ó fronto-lateral [Páez et al 2004]:

- **IMPACTO FRONTAL:** La incorporación de cinturones de seguridad (en aquellos vehículos sin pasajeros de pie) para garantizar la correcta retención de los pasajeros ante impacto frontal. Requisitos dentro de la Directiva 2001/85/CE para los sistemas de retención de sillas de ruedas y sus ocupantes.
- **VUELCO:** La implantación del Reglamento 66 que garantiza la resistencia estructural a vuelco respetando un espacio de supervivencia definido para los pasajeros. La incorporación dentro de la Directiva 2001/85/CE de ensayos de verificación de estabilidad lateral.

Frente a cada uno de estos dos tipos de accidente, vamos a analizar la situación actual en cuanto a la mejora en seguridad pasiva, la existencia o no de requisitos reglamentarios en dos aspectos: sistema de retención y resistencia estructural, puntos abiertos y algunas propuestas.

2. IMPACTO FRONTAL

Antes de comenzar a analizar los siguientes apartados conviene tener en cuenta la clasificación de los autobuses y autocares, pues dependiendo de la categoría y clase de vehículo la situación es bastante diferente.

En primer lugar, serán categoría M2 aquellos vehículos de más de 9 plazas (incluido el conductor) de hasta 5 toneladas y M3 aquellos vehículos de más de 9 plazas (incluido el conductor) de más de 5 toneladas. Dentro de estos, denominaremos autocares a los vehículos sin pasajeros de pie (clase III con capacidad mayor de 22 viajeros y clase B

menor de 22 viajeros), y autobuses (o autobuses urbanos) a los vehículos con pasajeros de pie (clases I, II cuando tengan capacidad mayor de 22 viajeros y clase A con capacidad menor de 22 viajeros).

La mayor diferencia en cuanto a situaciones de riesgo, se dará por la utilización en zona urbana o interurbana, es decir entre autobuses y autocares. En cuanto a comportamiento del vehículo, además de la diferencia anterior (que marca diseños diferentes debido a los diferentes requisitos funcionales y reglamentarios), también cambiará según la categoría.

En el caso del impacto frontal, este es más grave en situación interurbana, debido a las mayores velocidades. Es en este tipo de vehículos donde, por tanto, se han introducido mayores requisitos, en concreto, la instalación de cinturones de seguridad y sistemas de retención.

2.1. Requisitos: cinturones de seguridad y sistemas de retención en autocares

2.1.1. Requisitos reglamentarios

Siempre teniendo en cuenta que hablamos de un modo de transporte con una siniestralidad muy baja, como ya se ha visto en el análisis accidentológico, la instalación de cinturones colaborará en incrementar la seguridad en el transporte interurbano, disminuyéndose fundamentalmente las lesiones ocasionados por proyección del pasajero dentro del vehículo. Por ello es beneficiosa su utilización en todo vehículo que lo lleve instalado y, por lo tanto, que estará diseñado para garantizar la retención con el cinturón puesto.

Para la homologación completa se deben superar diversos requisitos que conllevan obligatoriamente la realización de ensayos de verificación según las siguientes Directivas ó Reglamentos equivalentes:

- Resistencia de asientos y sus anclajes.** Directiva 74/408-2005/39/CE ó Reglamento 80R01. Requisitos para garantizar que los asientos y su fijación al vehículo presentan una adecuada retención del pasajero que va en él y el que va detrás ante impactos frontales, sin que los criterios de lesión superen unos límites. El fabricante puede escoger entre ensayo dinámico o ensayo estático “equivalente”. Las mediciones tienen por objeto garantizar la ausencia de lesiones así como la resistencia del asiento y sus anclajes, aunque existe la opción de ensayar por separado el asiento (sobre módulo rígido) y el anclaje (con asiento rígido).

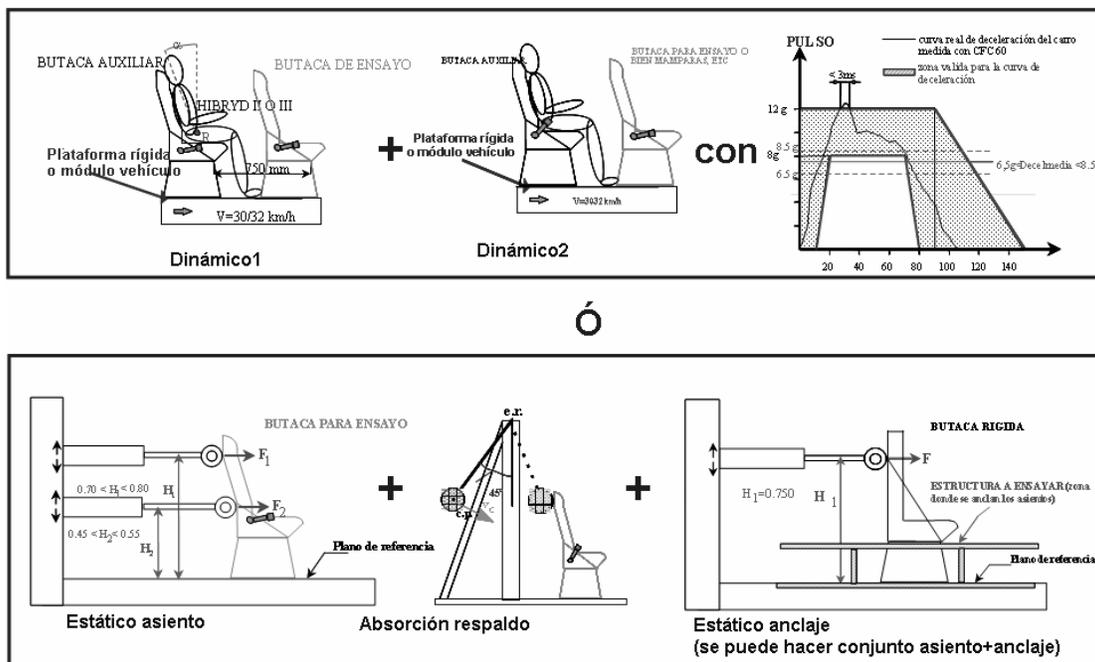


Fig. 1. Ensayos dinámicos y estáticos sobre asientos y anclajes (a escoger)

- Anclajes de cinturón de seguridad.** Directiva 76/115-2005/41/CE ó Reglamento 14R06. Requisitos para garantizar que los cinturones no se desprenden de su anclaje y retienen adecuadamente al pasajero ante impactos frontales (en los autocares van en el asiento por tanto se verifica el propio asiento y la zona del vehículo donde va instalado).

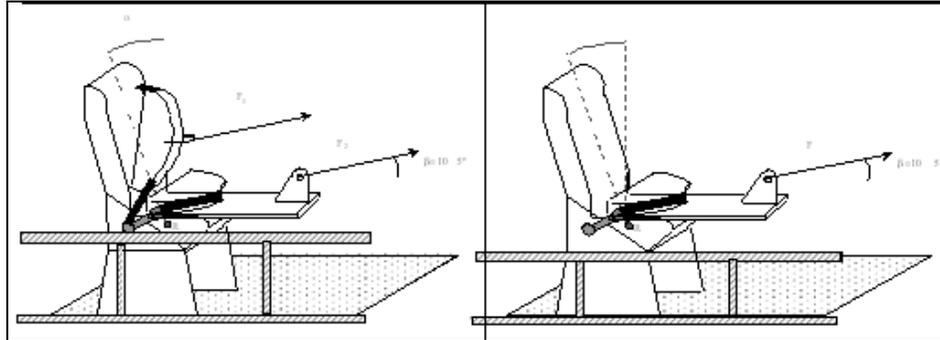


Fig. 2. Ensayos de anclaje de cinturón

El valor de la fuerza F , que debe aplicarse rápidamente y mantenerse 200 ms, depende de la categoría del vehículo pues debido a las diferentes masas puestas en juego, los niveles de deceleración son distintos: 10 g's para vehículos categoría M2 y 6.6 g's para vehículos categoría M3. Según esos niveles de deceleración y para un valor de masa del pasajero $Q = 68$ kg, los valores de fuerza resultan aproximadamente de 675 y 450 daN para M2 y M3 respectivamente. Estos son los valores de fuerza que se aplican en la diagonal del torso y en el subabdominal para asientos con cinturón de tres puntos. En asientos con cinturón de dos puntos el valor de la fuerza es 1.64 veces mayor, resultando 1110 y 740 daN para M2 y M3 respectivamente.

**FUERZAS DE ENSAYO
(mantener + 0.2 seg.)**

	3 PUNTOS superior y subabdom. (daN)	2 PUNTOS subabdom. (daN)	anclaje en estructura de asiento
M2 y N2 superior	675 20	-	+ 10 * peso plaza asiento
inferior	675 20	1110 20	
M3 y N3 superior	450 20	-	+ 6.6 * peso plaza asiento
inferior	450 20	740 20	

Tabla 1 Valores de fuerza para ensayos anclaje cinturón (frontal)

- **Cinturones de seguridad, sistemas de retención e instalación.** Directiva 77/541-2005/3 ó Reglamento 16R04. Requisitos para los propios cinturones, hebillas y demás, que normalmente se compran homologados. En la misma reglamentación

se incluyen los requisitos relativos a la correcta instalación de los cinturones en el asiento/vehículo concreto, así como el número mínimo de puntos de anclaje que deben tener. Para autocares de más de 3.5 toneladas lo mínimo obligatorio es instalar cinturón subabdominal o de 2 puntos, salvo en plazas expuestas donde es obligatorio instalar cinturón de 3 puntos. Las plazas expuestas vienen a ser las que no tengan delante algo que garantice la correcta retención del pasajero de detrás (como un asiento), por ejemplo la plaza trasera central frente a pasillo o las butacas de guía. Para autocares de menos de 3.5 toneladas deberán llevar cinturón de 3 puntos en todas las plazas en sentido de la marcha (2 puntos en las de sentido contrario a la marcha).

- **Retención de sillas de ruedas y sus ocupantes.** En la Directiva 2001/85/CE, dentro de su Anexo VII se recogen los requisitos para garantizar la correcta retención de la silla de ruedas y su ocupante dentro de un espacio destinado a ellos. Se obliga a la realización de ensayos de resistencia de los sistemas de retención.

2.1.2. Repercusiones en el diseño y fabricación del vehículo

Quizá el mayor reto en cuanto a instalación de cinturones de seguridad en autocares haya sido para los fabricantes de asientos. La razón fundamental es que, a diferencia de los automóviles (vehículos categoría M1), los anclajes de los cinturones de seguridad no se encuentran fijados en zona estructural resistente del vehículo, sino en el propio asiento. Esto se hace fundamentalmente para facilitar la ubicación de asientos en cualquier posición a lo largo del vehículo. Por lo tanto se tiene el asiento con su cinturón, que se fija en el vehículo normalmente a lo largo de guías situadas tanto en la zona de pasillo como en el lateral del vehículo (por debajo del nivel de ventana).

Los fabricantes de asientos han modificado sus estructuras para ubicar los cinturones de seguridad y para soportar dos tipos de esfuerzos contradictorios: por un lado ser suficientemente resistentes para sujetar a los pasajeros (especialmente los respaldos cuando se instala cinturón de tres puntos) y por otro lado lo suficientemente

deformables para que los criterios de lesión del pasajero situado detrás estén por debajo de los límites.

Sin embargo para poder superar los requisitos los fabricantes de vehículos también han tenido que rediseñar sus zonas de fijación y elementos de anclaje de los asientos al vehículo, debido al aumento de las cargas a soportar por esa zona (puesto que al final toda la carga se transmite al punto de anclaje del asiento al vehículo al ir el pasajero retenido al propio asiento). La metodología para un buen diseño de los sistemas de anclaje sería:

- El fabricante del asiento presenta su diseño. Normalmente lo habrá verificado anclándolo en una superficie rígida.
- El fabricante del vehículo diseña su sistema y zona de anclaje, entendiendo como tal los elementos de unión entre el asiento y el vehículo (tornillos, pernos, tuercas, arandelas, pinzas...), los elementos para fijación en el vehículo (guías, unión de estas guías a parte estructural, zonas roscadas...) y la zona estructural resistente que va a absorber finalmente los esfuerzos que llegan a través del asiento. Debe ser el fabricante del vehículo quién garantice que el asiento que instala, con su cinturón de seguridad (2 ó 3 puntos) anclado al vehículo en la forma y zona indicadas, es adecuado para garantizar la correcta retención del pasajero y de la butaca.

El primer aspecto que puede ayudar al fabricante en su diseño, es saber cuál de todos los requisitos incluidos en la reglamentación es el más exigente. En el INSIA-UPM se ha determinado mediante simulación por elementos finitos de un asiento paramétrico que nos permite estimar los esfuerzos en los puntos de anclaje. El asiento se representa mediante su estructura incluyendo: bancada (o barras sobre las que se fijan butacas y soportes), respaldo (barras o tubos principales y espumas y carcasas de plástico representadas mediante un elemento de rigidez a ajustar a partir de los ensayos), chapas de unión respaldo-bancada (central y laterales) a las que, además, se fijarán los cinturones y los apoyabrazos, pletinas, patas o chapa como elementos soporte, elementos de unión bancada/soportes y soportes/anclajes, así como los cinturones

(subabdominal o de tres puntos). Se representan también los utillajes para aplicación de carga al cinturón. En este modelo simplificado, no se tienen en cuenta otros elementos como cojines, tapizados o embellecedores. En la Fig. 3 se muestra un ejemplo de un asiento con distintas configuraciones de unión al vehículo. El modelo de cálculo es paramétrico permitiendo variar dimensiones y rigideces, lo que permitiría obtener en cada caso los esfuerzos.

Sobre estos asientos, se aplican las diversas condiciones de carga. A modo de ejemplo se muestran los resultados de cálculo y alguno de los ensayos de validación para configuración pata-pata

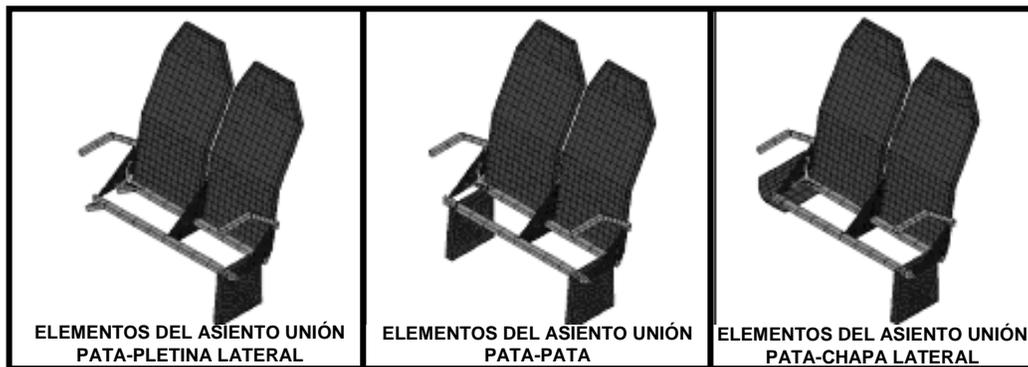
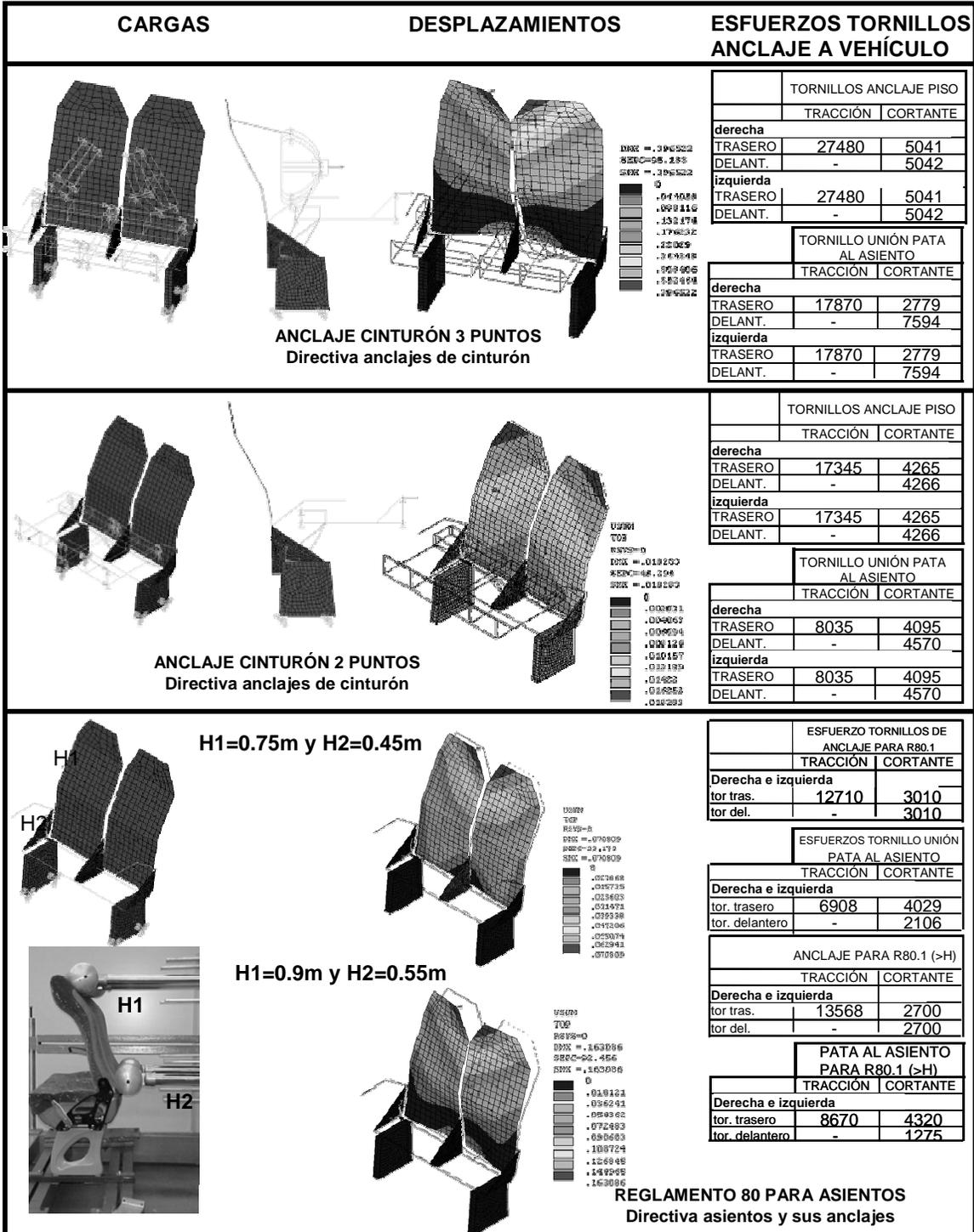


Fig. 3. Ejemplo de asiento con distintos anclajes

En cuanto a los tornillos de unión pata/bancada, se comparan los esfuerzos de tracción y cortadura para cada uno de los estados de carga.

	R80.1	R80.2	2P	3P
F. TRACCIÓN	6908	10680	8035	17870
	R80.1	R80.2	2P	3P
F.CORTADURA	4029	4825	4570	7594

Tabla 2 Valores de fuerza (N) en los tornillos de unión pata-bancada



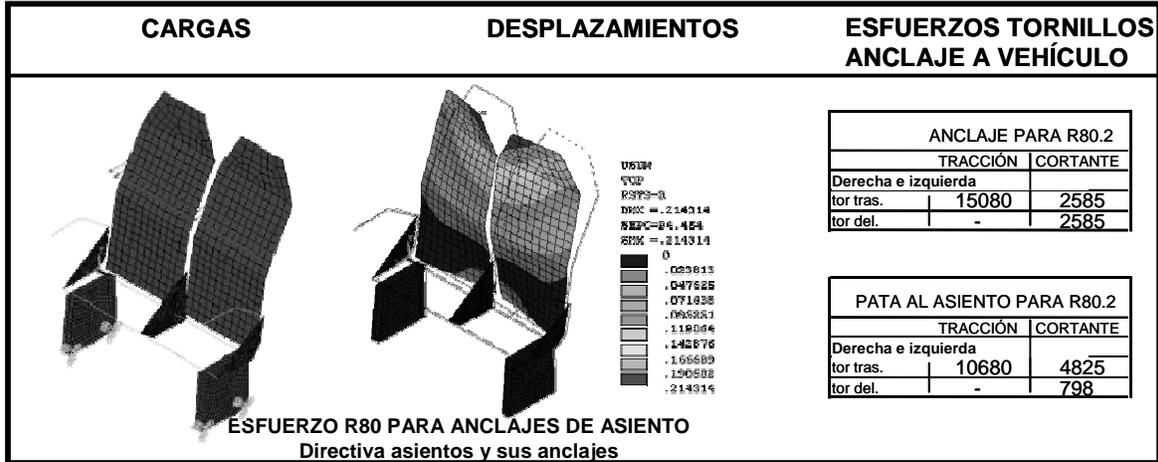


Fig. 4. Resultados ante distintas condiciones de carga

La bancada para asientos provistos de cinturón, soporta mayores esfuerzos para el ensayo correspondiente a 3P (cinturón de tres puntos).

Esto se repite en las diversas configuraciones, siendo diferentes los valores según sea el tipo de asiento y anclaje.

Por lo tanto el ensayo más crítico en cuanto a esfuerzos sobre los puntos de anclaje, es el correspondiente a ensayo sobre anclaje de cinturón de 3 puntos, puesto que si el sistema de anclaje soporta estos esfuerzos, debe soportar todos los demás.

Se diseñan por tanto los sistemas de anclaje para superar este requisito. Una vez estimados los valores de esfuerzos para este caso, se seleccionan los tornillos, guías. Teniendo en cuenta este valor, se determinarán los tornillos, pernos y elementos de fijación suficientes para soportar la carga aplicada. Posteriormente se calcula la guía y la zona estructural adyacente, así como la distancia entre elementos de fijación de la guía y la estructura.

Para verificación de este diseño se puede realizar un cálculo detallado previo (ver Fig. 5) o un ensayo de anclaje de cinturón empleando una estructura rígida. Finalmente se deben realizar obligatoriamente todos los ensayos para homologación. Hay que hacer notar que normalmente resulta beneficioso el ensayo dinámico del asiento montado

sobre un módulo del vehículo en lugar de sobre estructura rígida. La deformación de la zona de anclaje ayuda a superar los requisitos de lesión del maniquí.

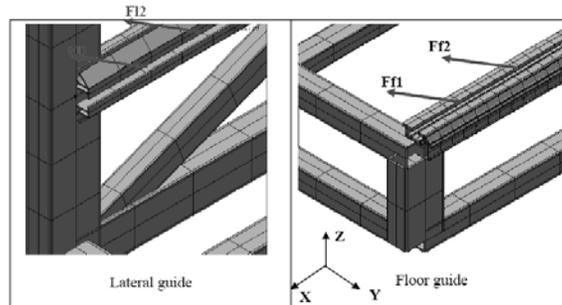


Fig. 5. Modelo detallado para diseño de zonas de anclaje

2.2. Puntos abiertos en impactos frontales

Los principales puntos abiertos en materia de seguridad pasiva ante impacto frontal se pueden recoger en:

2.2.1. Sistemas de retención.

Los sistemas de retención para autocares se diseñan y verifican para maniqués de percentil 50% masculino. Quedan varias configuraciones no cubiertas actualmente por la reglamentación:

- Actualmente no se ensaya la configuración más estricta. La mejor propuesta sería garantizar la seguridad ante la peor situación que podría darse, verificando resistencia y criterios de lesión correspondiente a un ensayo con la siguiente configuración: una fila vacía, seguida de una fila con maniquí retenido y de una fila con maniqués percentil 95% sin retener. De esta forma se garantizaría la seguridad del pasajero que utiliza su cinturón de seguridad aunque existan pasajeros detrás (en su peor situación) que no lo lleven.
- Queda abierto el debate de la utilización de cinturones en transporte escolar y de menores. En España, la utilización de cinturones de seguridad o sistemas de

retención en autocares ya es obligatoria en todo vehículo que los lleve instalados, tanto para el conductor como para pasajeros de más de tres años. Existen condiciones especiales de utilización (que no de instalación) para el Transporte Escolar y de Menores, según el Real Decreto 965/2006, donde se indica que los pasajeros de más de 3 años y menos de 135 cm de altura deberán utilizar los cinturones de seguridad o sistemas de retención que el vehículo lleve instalado siempre que sean “adecuados a su talla y peso”. Sin embargo están sin definir así como los sistemas que se podrían instalar para niños de menos de 3 años. Aunque se están realizando numerosos diseños y adaptaciones de transporte en M1 (turismo), deberían verificarse los requisitos para autocar.

2.2.2. Compatibilidad

Actualmente en la reglamentación europea se tienen requisitos en cuanto a resistencia estructural del vehículo a vuelco, pero no hay ningún requisito en cuanto a resistencia estructural ante impactos frontales. Existen los siguientes aspectos abiertos:

Compatibilidad contra peatones: especialmente importante en transporte urbano, donde el riesgo de atropello o golpes en paradas (por ejemplo con retrovisor) es mayor. Se podría diseñar el frontal del vehículo teniendo en cuenta este aspecto (siempre relacionado con el campo de visión del conductor), si bien no es un aspecto fácil de abordar.

Compatibilidad contra automóvil y camiones ligeros: En caso de impacto, la diferencia de masas puestas en juego implica mayores daños en el vehículo menor. Por otro lado, en caso de intrusión contra zonas importantes del autocar (como elementos de la dirección o depósitos) se pueden producir daños por accidentes secundarios (una salida de vía con colisiones posteriores importantes o un incendio provocado por rotura de los depósitos). Resultaría interesante la introducción de dispositivos antiempotramiento delantero como se propone en [García et al, 2006]. Actualmente son de obligada instalación para vehículos industriales, con requisitos recogidos en el

Reglamento No. 93 de Ginebra o la Directiva 2000/40/CE. No sería complicada la extrapolación e incorporación en el caso de autocares, permitiendo por un lado cierta deformación y absorción de energía (protegiendo a los ocupantes del turismo) y por otro lado protegerían los sistemas clave del autocar.

Compatibilidad contra vehículos pesados: en este caso la situación en caso de accidente es bastante peor para los ocupantes del autocar, especialmente para el conductor y guía que se sitúan en una posición muy expuesta (en caso de estar ocupando su plaza a la altura del conductor). La respuesta de la estructura frontal resulta diferente según sea la ubicación del puesto de conductor (situación en altura, tipo de impacto (frontal o alcance contra un vehículo industrial) y el grado de solapamiento del accidente. En los diseño actuales resulta complicado mantener un espacio de supervivencia para el conductor como se propone en [García et al, 2006] puesto que el espacio entre el conductor y la parte estructural del vehículo es muy pequeña, y la estructura frontal no se ha diseñado con fines de resistencia estructural. Aun así, habría que pensar que la seguridad del conductor es básica no solo para él sino por ser la persona que puede ayudar al resto de pasajeros en caso de colisión. Una ubicación del suelo del conductor por encima de 1.1 m del suelo (para evitar el empotramiento en alcance de la parte rígida de un camión) y aumentar la resistencia estructural de esta zona podría mejorar considerablemente la seguridad.

3. VUELCO

El accidente de vuelco sigue siendo a día de hoy el más severo en el caso de autocares. Es por eso que se ha generado diversa reglamentación para mejorar la seguridad en este tipo de accidentes.

La energía puesta en juego en caso de vuelco depende de la masa y de la posición del centro de gravedad del vehículo. Estos valores están variando considerablemente en la actualidad debido al aumento de requisitos en este tipo de vehículos:

- La instalación de cinturones hace que los propios asientos pesen más debido a las modificaciones estructurales para soportar los esfuerzos de los pasajeros retenidos (anteriormente solamente retenían a los pasajeros situados detrás que golpeaban contra ellos). Esta masa se sitúa generalmente en una posición elevada, aumentando también el centro de gravedad. La instalación de cinturones tiene otro efecto añadido [García Gracia et al, 2006]: parte de la masa de los pasajeros queda fija al vehículo y debe considerarse como masa puesta en juego en caso de vuelco. Antes de llevar cinturones los pasajeros volaban en el interior del vehículo sin aumentar esa masa. Además, por la ubicación de los pasajeros, el centro de gravedad del vehículo también aumento. Esto hace, por un lado, que aumenten los problemas de estabilidad lateral (o el riesgo de vuelco al tener un centro de gravedad más alto). Por otro lado los requisitos energéticos también aumentan.
- La reglamentación europea de reducción de emisiones (Euro 4 y Euro 5) ha generado bastidores en los que también se ha aumentado algo la masa total. La incorporación de plataformas para personas de movilidad reducida y zonas de anclaje de sillas de ruedas, ha modificado las puertas de entrada (más anchas) que debilita la estructura en esa zona. En cuanto a peso, depende del número de plazas modificadas por la incorporación del espacio para la silla de ruedas.
- Los requisitos de funcionalidad cada vez mayores (equipos, WC, asientos más cómodos, confort, vidrios dobles...) tienden también a que los vehículos pesen cada vez más.

3.1. Estabilidad lateral

3.1.1. Requisitos reglamentarios

La Directiva 2001/85/CE incorpora entre sus requisitos el ensayo de estabilidad a vuelco. En su punto 7.4 se establece como requisito que los vehículos deben de soportar sin que se produzca el vuelco del vehículo un ángulo de inclinación lateral

sobre plataforma de 28°, con el vehículo en orden de marcha y unas masas Q indicadas en la Tabla 3 colocadas en cada butaca. En el caso de viajeros de pie, la masa Q se deberá distribuir por el espacio destinado a tal fin colocada a una altura de 875 mm y en el caso de llevar sillas de ruedas, se deberá colocar una masa de 250 kg a una altura de 500 mm del suelo.

<i>Clase de vehículo</i>	<i>Q (kg) masa de un pasajero</i>	<i>Ssp (m² /pasajero) Espacio convencional para un pasajero de pie</i>
<i>Clases I y A</i>	68	0,125
<i>Clase II</i>	71 (*)	0,15
<i>Clases III y B</i>	71 (*)	<i>Ningún pasajero de pie</i>

Tabla 3. Masa de cada pasajero para ensayo

De forma alternativa se puede utilizar un método de cálculo alternativo para demostrar que el vehículo no vuelca en las condiciones descritas, en el que se deben de tener en cuenta al menos los siguientes parámetros; masas y dimensiones, rigidez de la suspensión, centros de balanceo, características del control de presión de la suspensión neumática y la rigidez torsional.

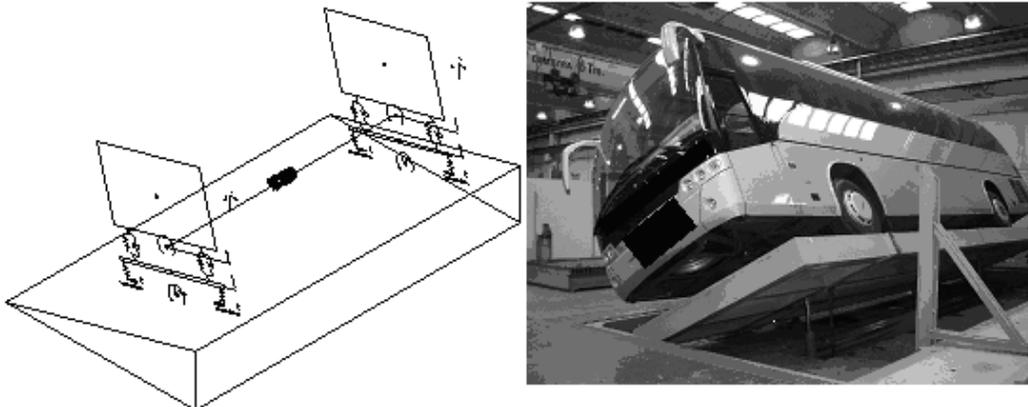


Fig. 6. Modelo de cálculo y ensayo de estabilidad

3.1.2. Repercusiones en el diseño y fabricación

Su aplicación está planteando a los carroceros una serie de problemas o inconvenientes, que se detallan a continuación.

- Para la realización del ensayo, en el caso de disponer de pasajeros de pie o sillas de ruedas obliga a la instalar una plataforma de carga suficientemente rígida, para que las masas no se muevan durante el ensayo, lo que obliga a fijarla a la estructura. Esto implica trabajos posteriores de reparación del carrozado.
- En el caso de los vehículos urbanos de piso bajo, en los que el número de viajeros de pie es elevado, este problema se agrava. Además en estos vehículos el centro de gravedad del vehículo es muy bajo, soportando sin problemas el límite de 28°. Hay que hacer notar que quizá en esta clase de vehículos la estabilidad lateral no es uno de los factores más decisivos para la mejora de la seguridad puesto que el mayor número de vuelcos se producen en autocares y no en autobuses.
- Los métodos de cálculo son más sencillos pero requieren una serie de parámetros que no siempre están disponibles para el carroceros. En especial la rigidez de la suspensión al balanceo, la masa no suspendida y la altura del centro de balanceo.

El factor fundamental que determina la estabilidad lateral del vehículo, es la altura de su centro de gravedad. El condicionante de 28° no está planteando problemas ni cambios de diseño en los fabricantes y carroceros españoles, puesto que basándose en la experiencia del INSIA todos los vehículos evaluados cumplen con la Directiva, siendo los valores más usuales del ángulo de vuelco de 29 a 32°.

3.2. Resistencia estructural: influencia de los cinturones de seguridad

3.2.1. Requisitos reglamentarios

La resistencia estructural a vuelco viene definida por el Reglamento No. 66 de Ginebra (incluido también en la Directiva 2001/85/CE). Este reglamento tiene por objeto garantizar que se preserve un espacio de supervivencia para los pasajeros en el ensayo a vuelco definido (Fig. 7).

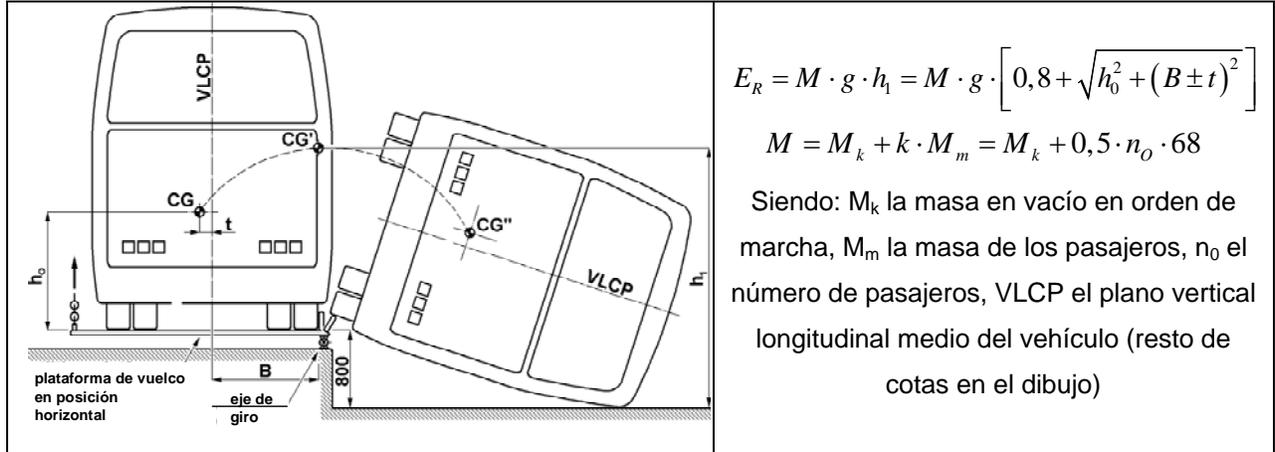


Fig. 7. Ensayo de vuelco y energía requerida

La nueva versión del reglamento (versión 01, en vigor desde el año 2005 y obligatoria para nuevos tipos a partir de noviembre de 2010) tienen en cuenta la influencia de los pasajeros retenidos, incorporando en los cálculos y ensayos parte de la masa de los pasajeros (el 50% de la misma) ubicada en el centro de gravedad de los mismos (lo que eleva el centro de gravedad total). También se aumenta el espacio de supervivencia, protegiendo al conductor y guía y a los pasajeros situados en la última fila.

La verificación se puede hacer mediante ensayo de vehículo completo, ensayo de secciones representativas o cálculo con ensayos de verificación de las uniones estructurales y otras partes a requisito del servicio técnico. Esta última alternativa suele ser la requerida por los fabricantes, pues resulta más económica y permite variar el modelo para nuevas homologaciones calculando y no volcando otro vehículo.

3.2.2. Repercusiones en el diseño y fabricación: metodología propuesta

La entrada en vigor de este reglamento en su versión 00, supuso un considerable avance en seguridad, pero también un gran reto para los carroceros de autobuses que tuvieron que modificar sus superestructuras para cumplir los requisitos.

La entrada en vigor del reglamento en su versión 01, supone un incremento importante para las superestructuras actuales, en torno a un 20-35% de incremento para vehículos de 12 m de longitud. Se podría acudir a:

Reducir la masa y ubicación del centro de gravedad mediante la utilización de nuevos materiales con capacidades funcionales + estructurales (aluminio, aceros de alto límite elástico, materiales compuestos). El problema actualmente está en el coste y en las modificaciones del proceso productivo.

Optimización de los diseños actuales de superestructura en acero: diseño de mecanismos de deformación controlados pensados desde el principio para absorber el máximo de energía con el mismo material, preservando el espacio de supervivencia. Esto requiere el diseño adecuado de las uniones estructurales, que son las zonas más conflictivas de una estructura de acero soldado. Además de verificar el comportamiento a vuelco, conviene siempre verificar que el resto de condiciones de utilización (torsiones, flexión del vehículo, frenazos, vibraciones, etc.) no resulta perjudicado por las modificaciones estructurales).

Para este último caso, se propone la siguiente metodología de diseño: en primer lugar, se analiza la familia de vehículos para determinar la energía objetivo que debe absorber la superestructura. En segundo lugar se genera el modelo de cálculo del diseño de partida, atendiendo a la experiencia del fabricante y sus posibilidades (perfiles, materiales). Una vez generado, se determina cuál sería la deformación "ideal" para aprovechar al máximo el material empleado (pueden ser varias deformaciones). Se ajusta el diseño (perfiles de pilares y costillas principalmente) hasta que la energía absorbida alcance la objetivo (Fig. 8). Se introducen en el modelo las celosías y largueros de techo que pueden afectar a la deformación. En la Fig. 9 se aprecia el incremento de energía de una rótula plástica de pilar (lado de vuelco) por elevar el mecanismo de deformación (debido al mayor ángulo de giro hasta la invasión del espacio de supervivencia).

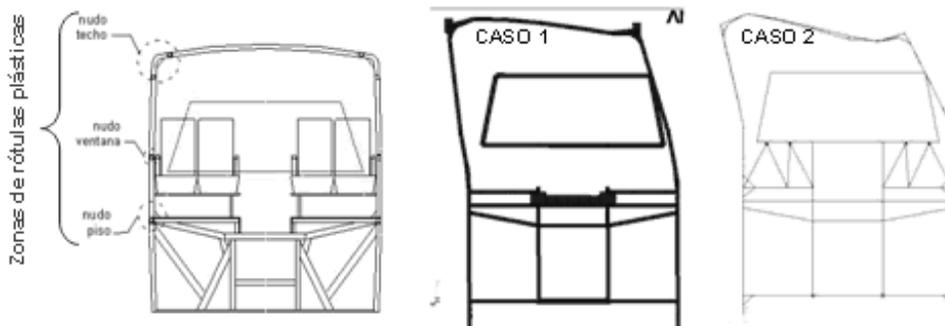


Fig. 8. Diferente deformación de una superestructura hasta invasión del espacio de supervivencia

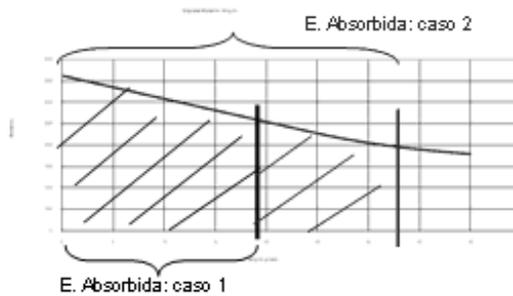


Fig. 9. Incremento de energía en una rótula de pilar

El siguiente paso es diseñar las uniones para conseguir la deformación en la zona requerida, mediante refuerzos interiores o exteriores. La modelización por elementos finitos incluyendo la curva plástica del material se presenta como una herramienta muy adecuada si no se quiere recurrir al ensayo y error (Fig. 10). Además de predecir la formación de rótula plástica, permite obtener las curvas teóricas para introducir en los modelos de cálculo.

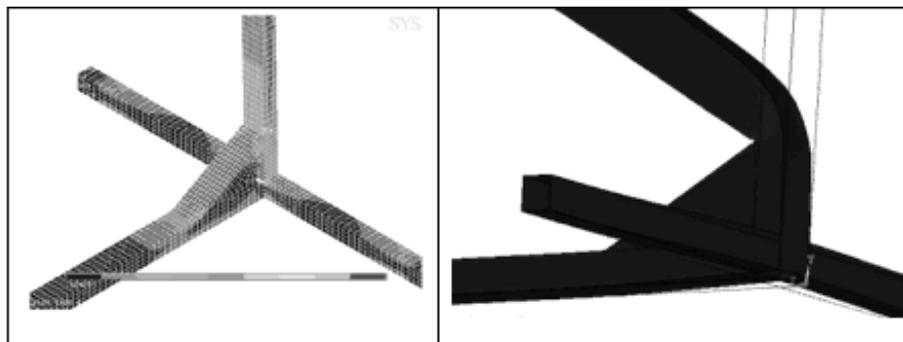


Fig. 10. Incremento de energía en una rótula de pilar

Finalmente, se fabrican las uniones para verificación mediante ensayo tanto de su resistencia, de la zona de fallo y la curva de comportamiento. Esta curva se introduce en los modelos de cálculo (hasta ahora tenían la curva teórica) para determinar la energía total absorbida por la superestructura.

3.3. Puntos abiertos

Pasajeros ubicados en la ventana de vuelco. Aún no hay nada que garantice la seguridad de los pasajeros situados en la ventana del lado de vuelco en caso de este accidente. Aunque estén retenidos (evitada la eyección del pasajero por la ventana), la rotura de ventana hace imposible su eyección parcial y su contacto con el suelo.

Coexistencia de requisitos. Durante un tiempo se va a convivir en la calle con autocares con y sin cinturones (aunque todos los que lleven cinturón de seguridad habrán sido homologados según los requisitos de retención ante impacto frontal citados anteriormente). Igualmente, se tendrán autocares con cinturones de seguridad y homologados según ambas versiones en vigor del Reglamento 66. Esta última situación puede producir que en caso de vuelco no se garantice la no invasión del espacio de supervivencia de una estructura homologada frente

Retención en caso de vuelco. La retención en caso de vuelco evitaría las eyecciones y la proyección de los pasajeros en el interior del vehículo y las lesiones producidas. Pero resulta necesario garantizar esta retención.

Si bien existen requisitos para la resistencia estructural del vehículo a vuelco y requisitos para la retención ante impacto frontal (asientos, sus anclajes y sistemas de retención) no existe reglamentación relacionada con la retención en caso de vuelco. Sería necesaria la determinación de requisitos de verificación de la resistencia de anclajes de cinturón, asientos y sus sistemas de fijación en caso de vuelco. Los criterios de lesión en maniqués resultan más complicados de verificar pues no podrían emplearse los maniqués diseñados para impacto frontal.

BIBLIOGRAFÍA

UNECE, REGLAMENTOS DE GINEBRA, se pueden obtener del sitio web <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs.html>

European Comisión. DIRECTIVAS EUROPEAS, se pueden obtener del sitio web <http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/standardization/harmstds/reflist.html>

Páez, J; Aparicio, F; García, A; Furones, A. 2004. **Spanish accidents with buses involved. Injury mechanism analysis.** FISITA 2004.

García, A; Martín, A; Páez, J. 2006. **Análisis of the driver's workplace in coaches related to passive safety.** International Journal of Vehicle Design. ISSN (Online): 1741-5341 (Print): 0143-3369. Volumen 42, Nos. ½, pp 134-153.

García Gracia, A; Vicente Corral, T; Sánchez Lozano, M. 2006. **Impact of the use of safety belts on the structural requirements Ander rollover of coaches. International Journal of Heavy Vehicle Systems.** ISSN (Online) 1741-5152 (Print) 1744-232X. Volumen 13, Issue 3. pp 163-169