

03-019

**ASSESSMENT OF SEMI-TRAILER REAR UNDERRUN PROTECTION SYSTEM
CONSIDERING CRASH SITUATIONS WITH PARTIAL CAR OVERLAP BY MEANS OF THE
F.E.M.**

Valladares Hernando, David; Carrera Alegre, Marco; Malón Litago, Hugo; Castejón
Herrer, Luis Universidad de Zaragoza

The current European regulation concerning rear underrun protection systems in semi-trailers collected in Directives 79/490/CEE and 2006/20/CEE, requires the fulfilment of several tests consisting in the application of an increasing force at three different points without exceeding a maximum deformation value. Nevertheless there are variables not taken into account such as the mass of the impacting vehicle, its speed, its position in the impact or its dimensions, which generate a multitude of possible situations that are necessary to assess in order to improve the safety and the protection capability of these systems. In the present paper it has been assessed the behaviour of a semi-trailer rear underrun protection system in crash situations with partial car overlap and considered at different impact speeds. Numerical simulations by the F.E.M. have been carried out, which will allow to obtain the energy and deformation involved in each case. This methodology will make possible to propose and introduce design modifications in the protection system for increasing its safety when unfavourable impact situations take place.

Keywords: *Semi-trailer; rear underrun protection system; numerical analysis; road safety*

**EVALUACIÓN DE SISTEMA DE PROTECCIÓN TRASERA ANTIEMPOTRAMIENTO EN
SEMIRREMOLQUE ANTE IMPACTOS CON SOLAPAMIENTO PARCIAL DE AUTOMÓVIL
UTILIZANDO EL M.E.F.**

La actual regulación europea para sistemas de protección trasera contra el empotramiento en semirremolques recogida en las directivas 79/490/CEE y 2006/20/CEE requiere superar varios ensayos consistentes en la aplicación de una fuerza en tres puntos diferentes sin llegar a superar un valor de deformación. No tienen en cuenta sin embargo variables como la masa del vehículo que impacta, la velocidad, la posición del mismo en el impacto o sus dimensiones, las cuales generan multitud de escenarios posibles que es preciso evaluar para mejorar la seguridad y la capacidad de protección de estos sistemas. En el presente artículo se evalúa el comportamiento de un sistema de protección trasera antiempotramiento de semirremolque ante posiciones de impacto con diferentes valores de solapamiento del automóvil y para diferentes velocidades de impacto del mismo. Para ello se han realizado simulaciones numéricas por el método de los elementos finitos que van a permitir obtener los diferentes valores de energía y de deformación de los vehículos en cada caso. A través de esta metodología será posible proponer e introducir modificaciones en el diseño del sistema de protección que repercutirán en una mayor seguridad del sistema de protección ante situaciones de impacto desfavorables

Palabras clave: *Semirremolque; protección trasera; antiempotramiento; análisis numérico; seguridad vial*

Correspondencia: Hugo Malón Litago hml@unizar.es

Agradecimientos: El presente artículo se enmarca en el ámbito de actuación del grupo consolidado de investigación VEHIVIAL, reconocido oficialmente por el Gobierno de Aragón, y ha sido financiado a través de fondos FEDER.

1. Introducción

La mejora de la seguridad en accidentes de tráfico en los que se produce el impacto entre varios vehículos es un tema fundamental actualmente en la industria de la automoción, dado que puede ayudar tanto a salvar gran cantidad de vidas humanas como a reducir el nivel de lesividad sobre los pasajeros. A nivel regional (Europa, Estados Unidos, Canada, etc) se han desarrollado directivas y regulaciones dónde se marcan unos requisitos de seguridad de obligado cumplimiento para permitir el tránsito de un vehículo por un determinado territorio. Además existe una gran exigencia por parte del consumidor actual en materia de seguridad en vehículos. Por ejemplo a nivel europeo, organizaciones como Euro NCAP integradas por gobiernos, asociaciones y consumidores plantean ensayos de impacto en diferentes condiciones para evaluar la seguridad de los automóviles existentes en el mercado. La propia competencia entre fabricantes obliga a los mismos a mejorar la seguridad en sus nuevos diseños de acuerdo a los criterios de estos ensayos y a poner a prueba sus prototipos antes de comenzar la producción de un nuevo modelo de coche.

En lo relativo a los sistemas de protección trasera contra empotramiento en semirremolques, a nivel europeo se aplican las directivas europeas 79/490/CEE y 2006/20/CEE, las cuales especifican unos niveles máximos de deformación en el dispositivo instalado en el semirremolque ante la aplicación de una fuerza cuasi-estática creciente hasta alcanzar un cierto valor (50 kN ó 100 kN según el ensayo) en tres puntos diferentes del paragolpes. Con ello se pretende evitar que en un caso de impacto de automóvil contra la parte trasera de un semirremolque, el primero no pueda deslizar bajo el mismo. Carrera et al (2010) estudiaron la correspondencia de los ensayos planteados en las directivas con los resultados obtenidos en la simulación del impacto de un automóvil de tamaño medio a diferentes velocidades contra un sistema de protección trasera de semirremolque específico homologado en España. A partir de simulaciones dinámicas se concluyó que en ese diseño el criterio de deformación de la directiva europea ya se alcanzaba en impactos con velocidades del automóvil inferiores a 30 km/h, considerando el semirremolque en reposo. En este sentido el documento informal GRSG-100-25 (2011) presentado en el grupo de trabajo GRSG del WP.29 (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations) de la UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) indica tras una investigación de los accidentes de estas características ocurridos en Alemania y recogidos en la base GIDAS (German In Depth Accident Study) que la mayoría de accidentes relevantes de estas características tuvieron lugar para una diferencia de velocidad entre automóvil y semirremolque de entre 40 y 45 km/h. También se indica que en ensayos realizados con un solapamiento del 100% a 35 km/h y 56 km/h con coches familiares de tamaño pequeño y mediano, las máximas fuerzas de impacto fueron 200 kN y 370 kN para la categoría pequeña y de 490 kN y 715 kN para los de categoría mediana respectivamente.

De estos estudios se desprende que el nivel de exigencia de la actual regulación europea se corresponde a una capacidad de protección que no resultaría suficiente en una gran parte de los accidentes de estas características que tienen lugar.

Además de la velocidad de impacto (o la diferencia de velocidades entre vehículos), la masa del automóvil también va a determinar el valor de la energía cinética presente en el impacto, de modo que diferentes categorías de automóviles a diferentes velocidades van a corresponder a un amplio rango de posibilidades de impacto que sería preciso tener en cuenta en la mejora de la seguridad de los sistemas de protección contra el empotramiento.

Otro factor fundamental a considerar es la posición relativa o el solapamiento que tiene lugar entre los vehículos durante el impacto. Atahan (2003) plantea impactos a 48 km/h y 56 km/h con los vehículos alineados y con descentramientos del 50% para verificar el funcionamiento de los sistemas de protección contra el empotramiento. Para comprobar el funcionamiento

estructural en automóviles, EuroNCAP plantea un ensayo de choque frontal con solapamiento parcial del 40% contra una barrera deformable, en una situación que recrea un choque frontal entre dos automóviles de la misma masa circulando a 50 km/h. Si bien se trata de una situación diferente, este ensayo da cuenta de la importancia de comprobar la capacidad de absorción de energía de las estructuras vehiculares en situaciones lo más desfavorables posibles.

En este sentido, en un reciente estudio realizado en 2013 por el IIHS (Institute Insurance for Highway Safety, USA) se ensayaron los sistemas de protección contra empotramiento en ocho trailers diferentes de las marcas más comercializadas en Estados Unidos teniendo en cuenta diferentes condiciones de solapamiento en el impacto. Se comprobó que impactando contra ellos un automóvil a 56.3 km/h todos ellos funcionaron correctamente en el caso de solapamiento al 100%. Para el caso de un solapamiento del 50% tan sólo uno de los sistemas falló, produciéndose intrusión en el habitáculo por parte de la parte trasera del trailer. Sin embargo para un solapamiento del 30% del automóvil fallaron todos los dispositivos con la excepción de uno de ellos que evitó que el automóvil quedara empotrado bajo el trailer. De este estudio se concluyó que aunque todos estos sistemas cumplieron la reglamentación de Canadá en ensayos previos, mucho más exigente en cuanto a fuerza a soportar que la Estadounidense y la Europea, aún queda mucho que mejorar en la seguridad de estos sistemas, dado que con solapamientos a partir del 30% estos accidentes pueden resultar fatales para el conductor o para el pasajero situado en la parte delantera.

2. Objetivos

En el presente artículo se pretende comprobar el funcionamiento de un sistema de protección trasera contra empotramiento en semirremolque para diferentes condiciones de impacto alineado longitudinalmente pero con solapamiento parcial del automóvil en el impacto. Se ha partido de un diseño previo cuyo comportamiento fue verificado conforme a la directiva europea 79/490/CEE por Carrera et al (2007), resultando satisfactorio para los ensayos cuasi-estáticos recogidos en dicha directiva. Dadas las limitaciones existentes en la misma y que han sido descritas previamente, el presente estudio supone un paso adelante en la mejora de la seguridad y la protección de los pasajeros del automóvil y se va a plantear una metodología basada en simulaciones dinámicas de impacto entre automóvil y semirremolque, que permita evaluar el nivel de protección aportado por el dispositivo. De este modo a través de esta herramienta numérica será posible estudiar y plantear alternativas en el diseño que mejoren la seguridad en situaciones desfavorables de impacto. Por otro lado esto permitirá también realizar la optimización del dispositivo de protección conforme a criterios más exigentes, pero necesarios si se pretende mejorar la seguridad en accidentes de estas características. Los objetivos se pueden concretar en los siguientes puntos:

- Evaluación numérica de la seguridad de un sistema de protección trasera contra empotramiento en semirremolque frente a impactos en condiciones de solapamiento parcial.
- Planteamiento de una metodología numérica para abordar tanto la mejora de la seguridad como la optimización estructural frente a impacto en estos sistemas.
- Propuesta y evaluación numérica de modificaciones y mejoras sobre el diseño inicial.
- Incidir en la necesidad de profundizar en la mejora de la seguridad en los proyectos de desarrollo de estos dispositivos, de forma que se contemplen situaciones de impacto más desfavorables al nivel de exigencia de la reglamentación europea vigente.

3. Metodología

En primer lugar se definieron las condiciones en que se desea evaluar el impacto. Parámetros como la velocidad de impacto, la masa del automóvil y la posición de los vehículos se fijaron a partir de datos procedentes de estudios anteriores. Dada la infinidad de posibilidades que pueden darse en un accidente de estas características ha sido preciso acotar estas variables a un valor concreto o a un rango de valores. Para mayor simplicidad se consideró que el semirremolque se encontraba parado en el momento del impacto, con lo cual únicamente se tuvo en cuenta la velocidad del automóvil. En concreto se eligieron las siguientes situaciones:

- Automóvil de tamaño medio, con masa 1073 kg.
- Semirremolque cisterna.
- Se contemplan dos valores de velocidad de impacto: 40 km/h y 56.3 km/h, aplicadas al automóvil.
- Se evaluarán impactos centrados y alineados e impactos alineados con solapamiento parcial del automóvil del 80, 70, 60, 50, 40 y 30% (porcentajes referentes al solapamiento del ancho del automóvil con respecto al paragolpes del semirremolque).

A continuación se crearon modelos de elementos finitos, para el análisis dinámico de estas situaciones con el software ABAQUS Explicit. Se utilizó el modelo de elementos finitos de automóvil Geo Metro del National Crash Analysis Center (NCAC) de la Universidad George Washington en Virginia (EEUU). Para el modelo del semiremolque cisterna se consideró únicamente la porción trasera del vehículo y se restringieron los desplazamientos en la sección de corte. De esta forma el semirremolque se considera con velocidad 0 y toda la energía del impacto la absorberán los componentes de la parte trasera del vehículo. También así se simplificó notablemente la simulación, reduciéndose el tiempo de cálculo necesario para cada simulación de impacto. Se analizó un tiempo total de impacto de 0.2 segundos, el cual se consideró suficiente tras varias simulaciones preliminares y se aplicó una condición de autocontacto entre todos los elementos de la simulación. También se consideró la aceleración de la gravedad de 9.8 m/s^2 aplicada verticalmente hacia abajo a todos los elementos del modelo.

Figura 1: Modelo de elementos finitos del semirremolque cisterna y del automóvil Geo Metro del NCAC

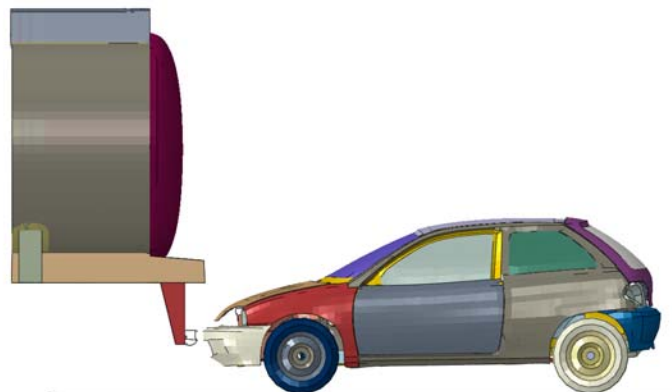
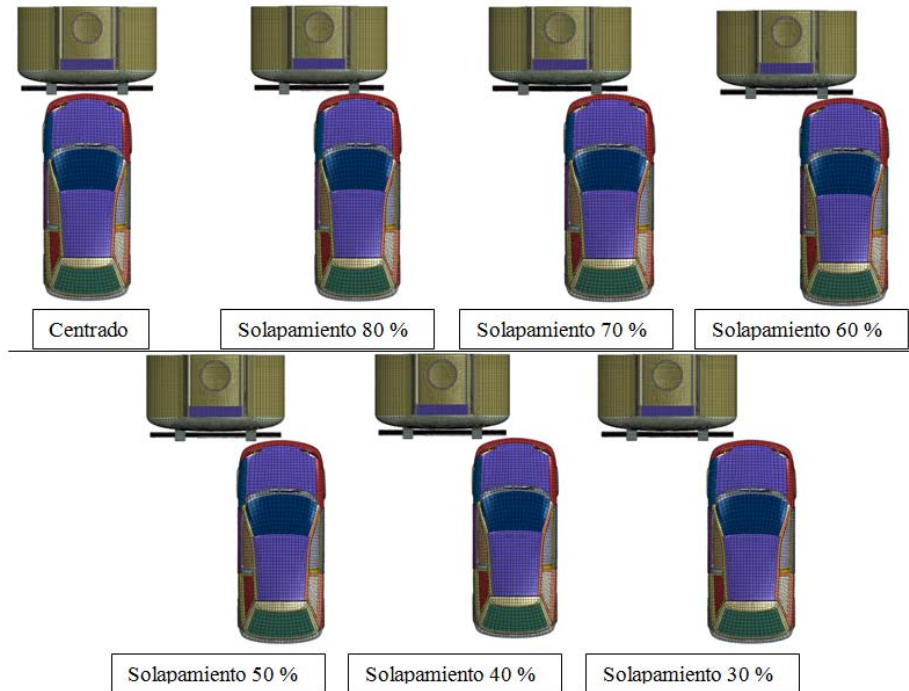


Figura 2: Modelos de elementos finitos con las posiciones de solapamiento consideradas



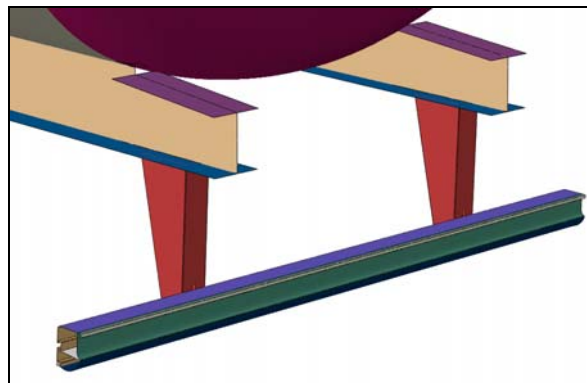
Para el postproceso de los resultados, se evaluó el comportamiento y el nivel de protección alcanzado con el dispositivo, la penetración del automóvil bajo el semirremolque, así como los siguientes parámetros y dimensiones resultantes de la simulación:

- Energía absorbida en forma de energía de deformación por parte del sistema de protección contra empotramiento trasero.
- Energía absorbida en forma de energía de deformación por parte del automóvil.
- Nivel de deformación en el interior del habitáculo del automóvil.

4. Caso de estudio

El punto de partida para llevar a cabo el presente estudio ha sido un diseño ya existente de sistema de protección contra el empotramiento en el que cual ha sido comprobada la adecuación a la directiva europea 79/490/CEE.

Figura 3: Sistema de protección contra el empotramiento estudiado



La configuración del sistema consiste en un perfil fabricado en aleación de aluminio extruido AW 5053, con sección transversal con diferentes espesores de pared comprendidos entre 2

y 5 mm. Este perfil se atornilla a dos soportes de acero fabricados en chapa plegada de acero S355 los cuales se unen por unión soldada al ala inferior de los largueros del semirremolque, en este caso fabricados en acero inoxidable AISI 304L. El comportamiento mecánico de los materiales se caracterizó con un modelo clásico de plasticidad de metal de Mises (definiéndose como isótropo y elasto-plástico bilineal) (Abaqus, 2011). Asimismo se asignó un criterio de rotura según el cual al superarse el alargamiento de rotura del material en un elemento, ese elemento deja de participar estructuralmente en el análisis y a partir de ese instante aparece en el post-proceso con tensión equivalente de Von Mises nula.

Se creó un modelo de elementos finitos del sistema de protección ensamblado a la parte trasera de un semirremolque cisterna. En una primera fase se ha sometido este diseño a impacto contra el automóvil circulando a 40 km/h impactando en las posiciones recogidas en la figura 2. En función de los resultados obtenidos en el postproceso se propusieron modificaciones en el diseño con objeto de conseguir una mejora de la seguridad en situaciones de impacto descentrado y a mayor velocidad (concretamente a 56.3 km/h). Estas propuestas fueron incorporadas a los modelos de elementos finitos y evaluadas de nuevo frente a las condiciones de impacto planteadas.

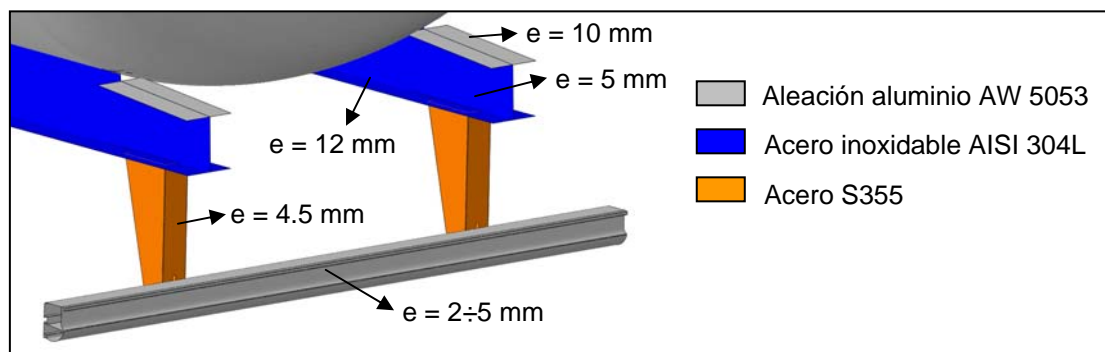
A partir de los resultados obtenidos se obtuvieron una serie de conclusiones y recomendaciones que serán de relevancia en el diseño de nuevos dispositivos de protección trasera contra el empotramiento en semirremolques.

5. Resultados

5.1 Modelo 1: Diseño inicial. Impacto a 40 km/h

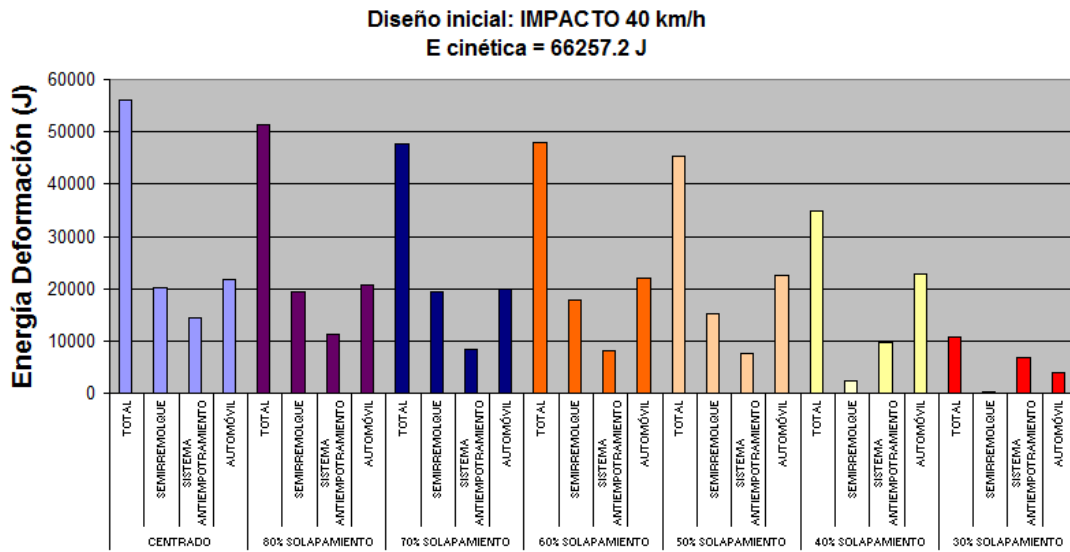
Se analizaron los casos de impacto centrado y con solapamientos parciales indicados para este modelo inicial.

Figura 4: Diseño inicial de sistema antiempotramiento



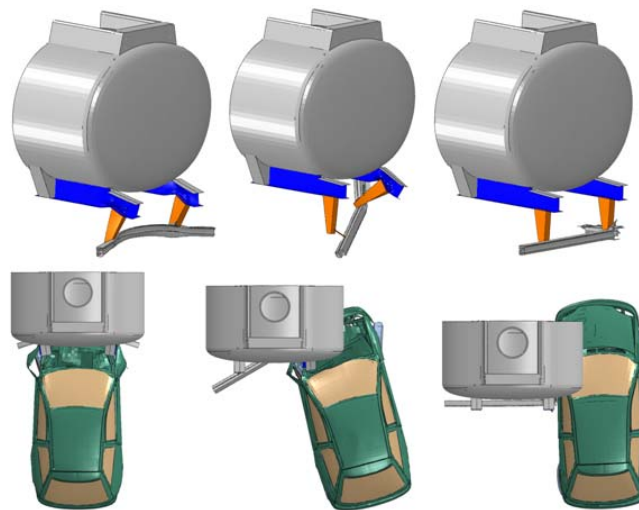
Para una velocidad de 40 km/h y masa del automóvil de 1073 kg se tiene una energía cinética inicial de 66257.2 J. La mayor parte de esta energía es disipada en forma de energía de deformación de los componentes de los vehículos implicados en el impacto, y es por ello que el estudio de las energías de deformación va a aportar información relevante para el diseño del sistema de protección. Como requisito básico de partida interesa que ambos vehículos absorban parte de esta energía sin llegar a alcanzarse valores de deformación que afecten a los ocupantes del habitáculo del automóvil. A continuación en la figura 5 se muestran los resultados obtenidos de energía de deformación total, energía de deformación del semirremolque (sin considerar el sistema antiempotramiento), energía de deformación del sistema antiempotramiento y energía de deformación del automóvil, correspondientes a valores máximos obtenidos en las posiciones de impacto analizadas.

Figura 5: Energías de deformación. Modelo inicial



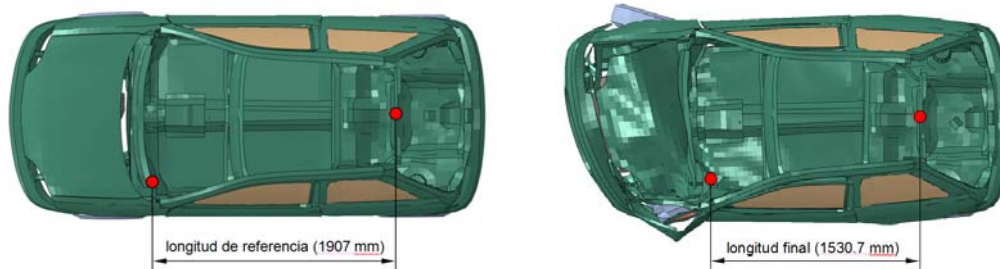
En cuanto a comportamiento mecánico del semirremolque con el sistema antiempotramiento se observó un funcionamiento correcto en el caso de impacto centrado, en el que una parte importante de la deformación se produjo en los largueros principales del semirremolque. Sin embargo los casos de impacto con solapamiento parcial no resultaron satisfactorios, produciéndose por un lado en los casos del 80%, 70%, 60% y 50% una excesiva deformación en el larguero principal del semirremolque que se enfrenta más directamente al impacto y que propició una excesiva penetración del automóvil bajo el semirremolque. Por otro lado los casos de solapamiento 40 y 30% tampoco fueron satisfactorios, produciéndose el plegado del paragolpes de aluminio y absorbiéndose una porción muy reducida de la energía cinética inicial. En estos últimos casos, el automóvil penetra bajo el semirremolque encontrando tan solo una oposición muy reducida a su movimiento.

Figura 6: Deformadas modelo inicial en instante de máxima deformación. Impacto 40 km/h, de izda. a drcha.: solapamiento centrado (t=0.12s), solapamiento 50 % (t=0.2 s) y solapamiento 30 % (t=0.2 s)



Se obtuvieron asimismo los valores de reducción máxima de la distancia longitudinal disponible en el interior del habitáculo. Para la determinación de esta medida se localizaron dos puntos interiores del automóvil, uno situado en la parte izquierda del salpicadero (zona lateral de impacto) y el otro situado en la parte trasera del habitáculo, en un perfil transversal de la zona de ensamblaje de los asientos traseros. El caso más desfavorable de los analizados correspondió a la simulación con solapamiento del 50%, con una reducción en la distancia longitudinal del habitáculo de 376.3 mm.

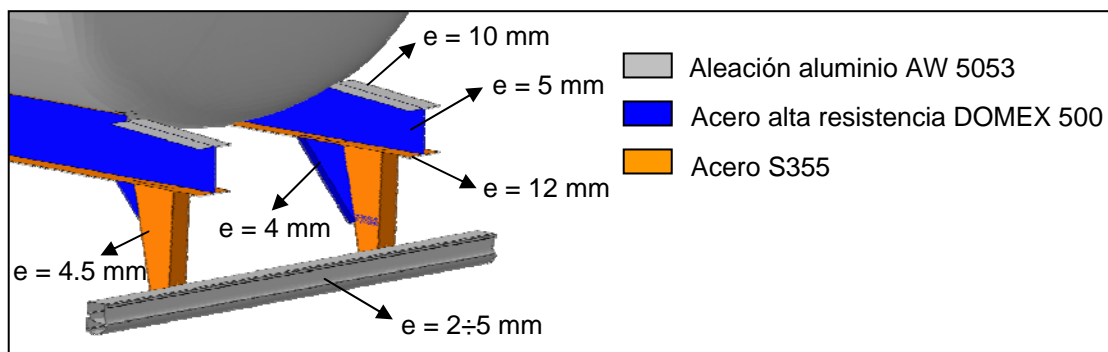
Figura 7: longitud de referencia del interior del habitáculo del automóvil. Caso de solapamiento 50% (reducción máxima de longitud, 376.3 mm)



5.2 Modelo 2. Impacto a 40 km/h

A partir de los resultados obtenidos en el modelo inicial se propusieron varias modificaciones para mejorar el comportamiento frente a impacto del conjunto.

Figura 8: Configuración modelo 2



En concreto se modificó el material del ala inferior de largueros de acero inoxidable AISI 304L a acero convencional S355, se modificó el material del alma de largueros de acero inoxidable AISI 304L a acero de alta resistencia DOMEX 500 y se incluyeron dos componentes de refuerzo en acero DOMEX 500 a modo de cartabón, cada uno situado sobre cada soporte, en la cara externa y hacia el interior del semirremolque.

Al igual que en el modelo inicial, a continuación en la figura 9 se muestran los resultados de energía de deformación obtenidos para los casos de impacto a 40 km/h considerados.

En cuanto al comportamiento del semirremolque, en primer lugar y a diferencia del modelo anterior, para esta configuración se aprecia una reducida energía de deformación en el semirremolque. En este caso la modificación de materiales en los largueros principales permitió evitar el colapso de estos perfiles durante el impacto. También se aprecia un reparto más igualado de la energía de deformación entre el sistema de protección y el automóvil, pasándose de niveles muy igualados en el caso centrado, a un nivel de absorción de energía algo superior en el automóvil (entre 5000 ÷ 8000 J superior) en los casos de solapamientos del 80%, 70%, 60% y 50%. Esta circunstancia se correspondió además con un resultado satisfactorio en cuanto a retención del automóvil para el caso centrado y con

estos solapamientos del 80%, 70%, 60% y 50%. Sin embargo los casos de impacto con solapamientos del 40% y del 30% concluyeron con el fallo a flexión del paragolpes de aluminio de forma similar al modelo anterior, produciéndose la penetración del automóvil bajo el semirremolque.

Figura 9: Energías de deformación. Modelo 2

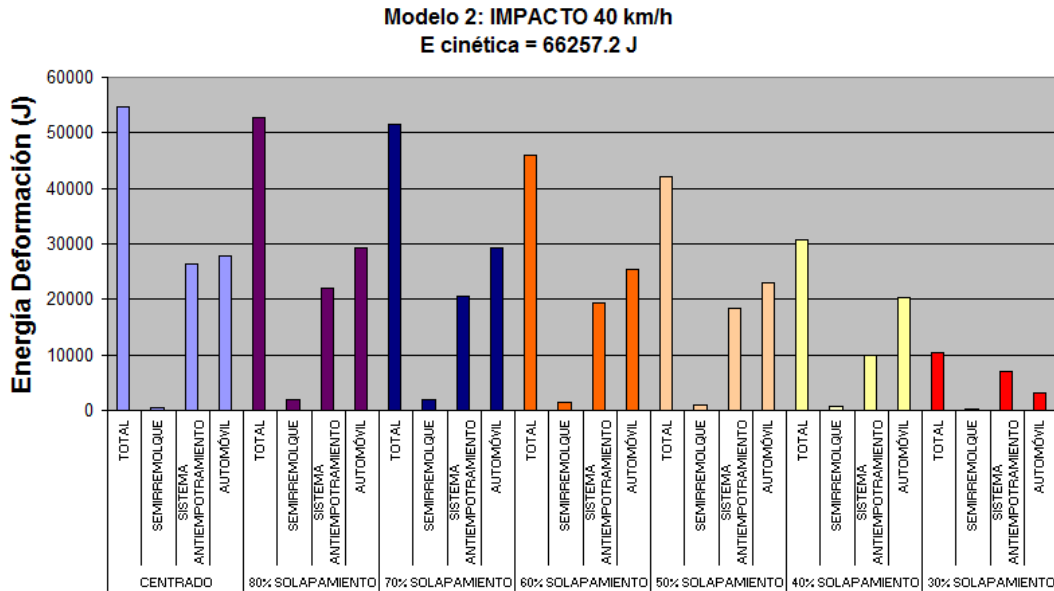
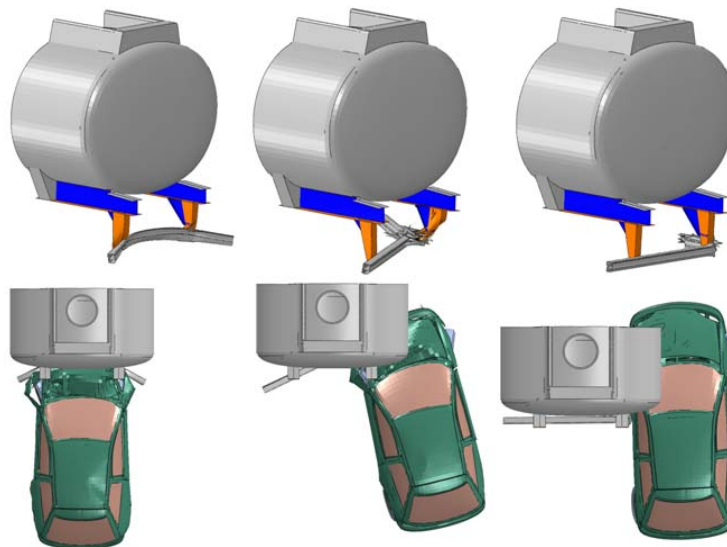


Figura 10: Deformadas modelo 2 en instante de máxima deformación. Impacto 40 km/h, de izda. a drcha.: solapamiento centrado (t=0.095 s), solapamiento 50 % (t=0.2 s) y solapamiento 30 % (t=0.2 s)

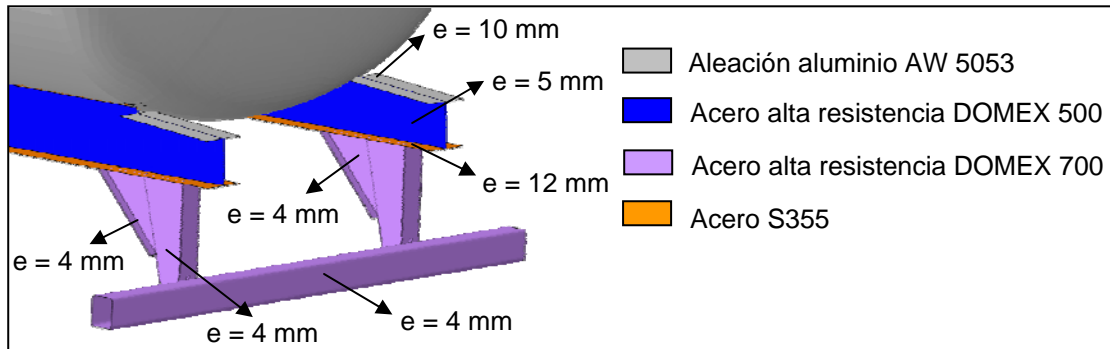


En cuanto a la reducción máxima de la distancia longitudinal disponible en el interior del habitáculo, el caso más desfavorable de los analizados correspondió también a la simulación con solapamiento del 50%, con una reducción en la distancia longitudinal del habitáculo de 265.2 mm. Por tanto, de acuerdo a los resultados indicados, en este modelo 2 se mejoró el comportamiento frente al impacto del sistema de protección. No obstante las simulaciones con solapamientos al 40% y 30% no resultaron favorables y se propusieron nuevas modificaciones en el diseño.

5.3 Modelo 3. Impacto a 40 km/h

La configuración propuesta en el modelo 3 se muestra a continuación.

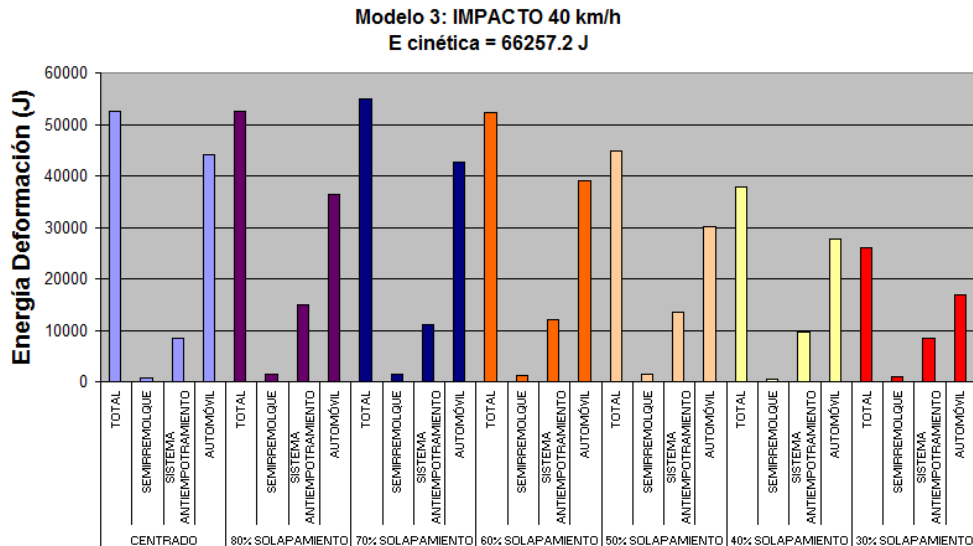
Figura 11: Configuración modelo 3



La principal diferencia es la inclusión de un acero de alta resistencia DOMEX 700 del fabricante SSAB en todos los componentes del sistema de protección contra el empotramiento. Se ha unificado el espesor a 4 mm en todos estos componentes. Se ha incorporado otro refuerzo a modo de cartabón que se ensamblará en la cara hacia el exterior del vehículo sobre cada soporte, disponiendo por tanto de dos refuerzos cada uno de los soportes. El paragolpes de aleación de aluminio extruido se sustituyó por un nuevo perfil hueco de sección rectangular de dimensiones 100x120x4 mm fabricado en acero DOMEX 700. La configuración de materiales y espesores del resto del semirremolque se mantuvo con respecto al modelo 2.

Los resultados de energía de deformación obtenidos para los casos de impacto a 40 km/h considerados se recogen a continuación.

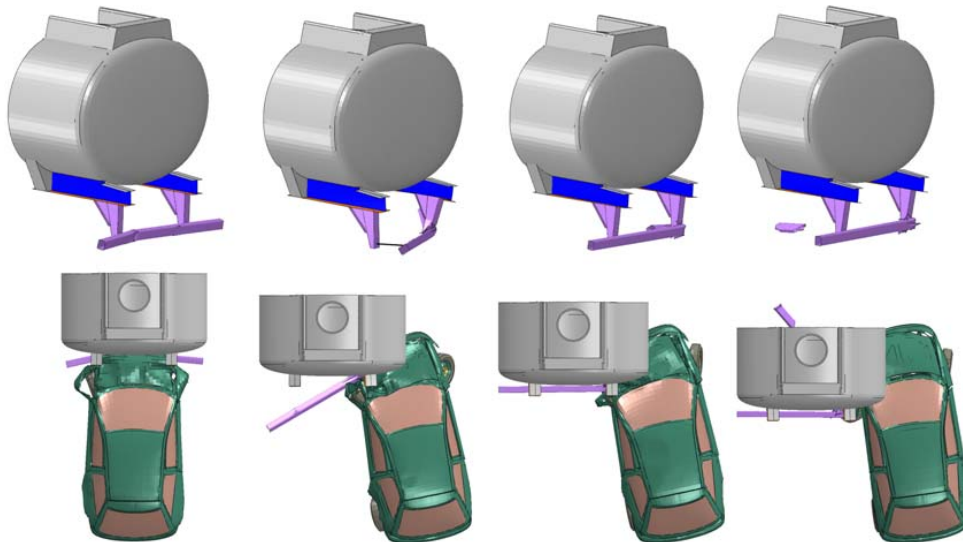
Figura 12: Energías de deformación. Modelo 3



En las simulaciones realizadas con velocidad inicial de 40 km/h se observa una gran desigualdad en el reparto de la energía de deformación entre el sistema de protección y el automóvil, en esta configuración la mayor parte de la energía es absorbida por el automóvil. Sin embargo, se observa una tendencia a reducir esta desigualdad conforme se disminuye

el porcentaje de solapamiento en los casos de solapamiento parcial. En este modelo 3 se consiguió alcanzar un resultado satisfactorio en cuanto a la evitar la penetración del automóvil en todas las simulaciones, con la excepción del caso de impacto con solapamiento del 30%. En este caso se produjo el fallo a flexión del paragolpes y no se logró evitar el avance del automóvil bajo el semirremolque. En el caso de solapamiento al 50%, aunque se produjo el fallo en la unión atornillada izquierda del paragolpes, el sistema retuvo al automóvil.

Figura 13: Deformadas modelo 3 en instante de máxima deformación. Impacto 40 km/h, de izda. a drcha.: solapamiento centrado (t=0.085 s), solapamiento 50 % (t=0.165 s), solapamiento 40 % (t=0.175 s) y solapamiento 30 % (t=0.2 s)



La mayor energía de deformación en el automóvil se tradujo en una mayor deformación en el habitáculo con respecto al modelo 2. La reducción máxima de la distancia longitudinal disponible en el interior del habitáculo se obtuvo en el caso de solapamiento del 40% y alcanzó un valor de 339.2 mm.

5.4 Modelo 3. Impacto a 56.3 km/h

En una etapa siguiente se volvieron a evaluar las configuraciones propuestas para una velocidad del automóvil de 56.3 km/h, correspondiente a una energía cinética inicial de 131200 J (el doble que en los casos anteriores a 40 km/h). Tanto el modelo 1 como el modelo 2 dieron resultados negativos en las diferentes simulaciones realizadas a esta velocidad, produciéndose el fallo tanto de los soportes como del paragolpes y el avance del automóvil bajo el semirremolque. A continuación se indican los resultados obtenidos con el modelo 3 para este nivel de energía de impacto.

Las energías de deformación obtenidas para los casos de impacto a 56.3 km/h considerados fueron las siguientes:

El caso de impacto centrado funcionó correctamente, con un reparto de energía de deformación más equilibrado que en el impacto a 40 km/h. En cuanto a los casos de solapamiento parcial, por un lado se observó que parte de la energía de deformación se transfirió a los largueros del semirremolque en los casos de solapamiento parcial del 80% y del 70%. Por otra parte en los solapamientos del 60% y del 50% se produjo el fallo de la unión atornillada del soporte izquierdo, aunque se llegó a retener el vehículo. Por último en los casos de solapamiento del 40% y del 30% se produjo el plegado a flexión del paragolpes

con un resultado desfavorable. En estos casos la energía de deformación en el automóvil es superior a 60000 J y se obtuvieron niveles superiores de deformación y de reducción de espacio en el habitáculo, con un valor máximo de reducción de 536.3 mm en el caso de solapamiento parcial del 50%.

Figura 14: Energías de deformación impacto 56.3 km/h. Modelo 3

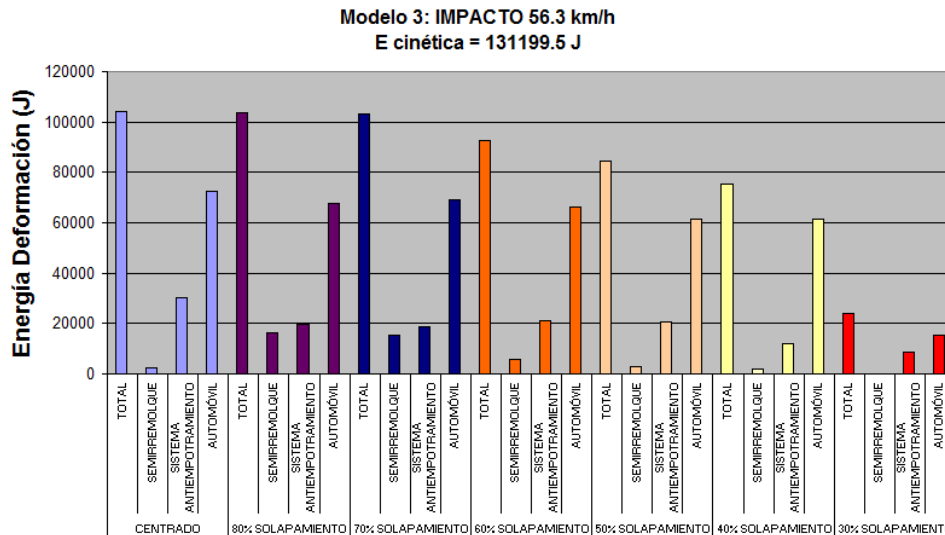
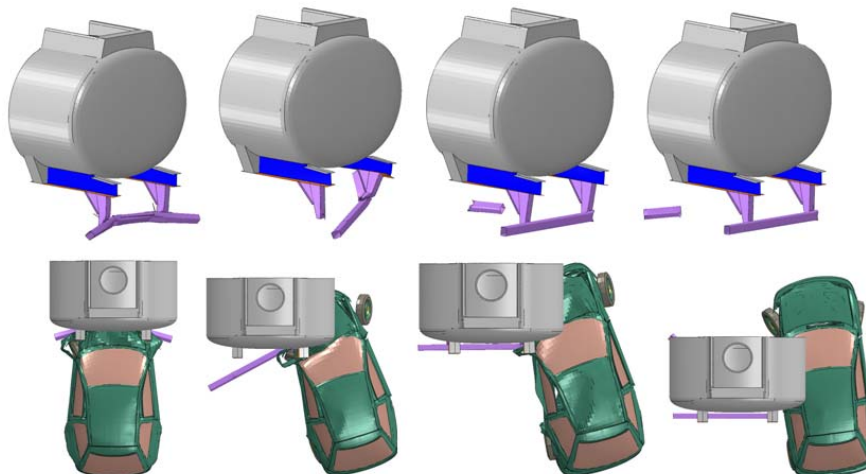


Figura 15: Deformadas modelo 3 en instante de máxima deformación. Impacto 56.3 km/h, de izda. a drcha.: solapamiento centrado (t=0.094 s), solapamiento 50 % (t=0.15 s), solapamiento 40 % (t=0.15 s) y solapamiento 30 % (t=0.2 s)



6. Conclusiones

De los resultados obtenidos se desprenden las siguientes conclusiones:

- Para aumentar la seguridad en automóviles en accidentes de impacto contra la parte trasera de un semirremolque es necesario incorporar mayores exigencias a las vigentes a nivel de reglamentación europea en el diseño de sistemas de protección contra el empujamiento en semirremolques. Los actuales niveles de exigencia se

han mostrado insuficientes en situaciones de impacto con solapamiento parcial del automóvil en las condiciones indicadas.

- La aplicación de la metodología numérica propuesta aportará información de gran relevancia en proyectos futuros de diseño y evaluación de nuevos sistemas de protección y permitirá mejorar la seguridad en este tipo de accidentes.
- La utilización de aceros de alta resistencia resulta de gran interés dado que permiten reforzar el sistema de protección, consiguiéndose un comportamiento adecuado sin un incremento excesivo en el peso del semirremolque (29 kg). En el diseño planteado en el modelo 3 se consiguió retener el automóvil a 56.3 km/h y con solapamientos parciales del automóvil, con la excepción del caso de solapamiento del 30%, para el cual el nuevo diseño se mostró insuficiente.

7. Bibliografía

- Abaqus Inc. (2011). Abaqus Analysis User's Manual, Versión 6.11.2.
- Atahan, AO. (2003). Design simulation of an energy absorbing underride guard for heavy vehicle rear-end impacts. *Heavy Vehicle Systems - International Journal of Vehicle Design*, 10-4, 321-343.
- Carrera, M., Castejon, L., Cuartero, J. & Martin, C. (2007). Design of a Light Semi-Trailer Rear Bumper for Impact Protection According to 79/490/CEE Directive. *Proceedings ASME. 48043, Volume 3: 19th International Conference on Design Theory and Methodology; 1st International Conference on Micro- and Nanosystems; and 9th International Conference on Advanced Vehicle Tire Technologies, Parts A and B*. 1151-1159.
- Carrera, M., Castejon, L., Miralbes, R. & Valladares, D. (2010). Behaviour of rear underrun protection system on car-to-tank vehicle impact used for fuel transportation. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*. 17-3/4. 199-215
- National Crash Analysis Center. www.ncac.gwu.edu/vml/models.html
- New crash tests: Underide guards on most big rigs leave passenger vehicle occupants at risk in certain crashes. IIHS News. 14 de Marzo de 2013. Arlington, Va. EEUU. Desde <http://www.iihs.org/iihs/news/desktopnews/new-crash-tests-underride-guards-on-most-big-rigs-leave-passenger-vehicle-occupants-at-risk-in-certain-crashes>
- UNECE (United nations Economic Commission for Europe). WP.29 (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations). Informal document No. GRSG-100-25 (100th GRSG, 11-15 April 2011 Agenda item 8) submitted by the expert from Germany: Proposal for draft amendments to Regulation No. 58 (Rear Underrun Protection Devices) - Justification for amendments proposed in document GRSG/2011/19.
- Unión Europea. Directiva 79/490/CEE de la Comisión de 18 de abril de 1979 de adaptación al progreso técnico de la Directiva 70/221/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre depósitos de carburante líquido y los dispositivos de protección trasera de los vehículos a motor y sus remolques. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 26 de mayo de 1979, núm. L 128/22, pp. 94-100
- Unión Europea. Directiva 2006/20/CEE de la Comisión de 17 de febrero de 2006 por la que se modifica, para adaptarla al progreso técnico, la Directiva 70/221/CEE del Consejo, sobre los depósitos de carburante y los dispositivos de protección trasera de los vehículos de motor y de sus remolques. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 18 de febrero de 2006, L 48/16-18.
- www.euroncap.com
- www.ssab.com/es/

