

Avances en la seguridad pasiva de los vehículos para la protección de peatones



Improvements of the passive safety in vehicles for the pedestrian protection

• Fco. Javier Páez-Ayuso
• Manuel Sánchez-Sanz
• Fco. Javier Sánchez-Alejo
• Francisco Aparicio-Izquierdo

Doctor Ingeniero Industrial
Ingeniero Industrial
Doctor Ingeniero Industrial
Doctor Ingeniero Industrial

Insia (Instituto Universitario de Investigación del Automóvil)
Insia (Instituto Universitario de Investigación del Automóvil)
Insia (Instituto Universitario de Investigación del Automóvil)
Insia (Instituto Universitario de Investigación del Automóvil)

Recibido: 15/04/08 • Aceptado: 15/07/08

ABSTRACT

• The high number of pedestrian accidents produced in the Spanish urban and rural zones, jointed together with their severity, increases the relevance of the injury mechanisms analysis for developing less aggressive frontal shapes of vehicles, and passive safety devices that could help to reduce the pedestrian injuries. This document shows figures of pedestrian accidents at the present time, and the most frequent injury mechanisms, as well as the testing methods used by vehicle manufacturers and the devices they are introducing in their automobiles.

• **Key words:** Pedestrian accident, Automobile, Passive safety.

RESUMEN

El elevado número de atropellos que se producen en áreas urbanas e interurbanas españolas, unido a la gravedad de estos accidentes, hace que resulte de gran importancia el estudio de los mecanismos de generación de lesiones producidas, de manera que se puedan desarrollar geometrías de frontales de vehículos menos agresivas y sistemas de seguridad pasiva que igualmente ayuden a reducir los daños sobre los peatones. El presente artículo repasa las cifras actuales de atropellos y los mecanismos más habituales de generación de lesiones, así como los métodos de ensayo utilizados por los fabricantes de vehículos, y los sistemas que se están diseñando e incorporando en automóviles.

Palabras Clave: Atropello, Peatón, Automóvil, Seguridad pasiva.

1.- INTRODUCCIÓN

Si bien el peatón ha estado desde la antigüedad amenazado por el posible atropello de un caballo o un carruaje, es desde finales del siglo XIX, con la aparición y extensión de los automóviles por ciudades y carreteras, cuando empieza a sufrir un mayor número de atropellos, resultando la mayor parte de ellos muy graves o mortales.

Desgraciadamente, hoy en día tenemos claro que el peatón es el usuario más débil de la vía. En el *Código de la Circulación*, la *Dirección General de Tráfico* (DGT) hace alusión a su vulnerabilidad, definiendo a los peatones como “la parte más frágil”; y ahonda afirmando que “sin la protección de carrocería alguna, los peatones son las piezas más vulnerables del tráfico, con acento especial en los niños y las personas mayores”.

Peatones y ciclistas se encuentran completamente desvalidos en caso de accidente con automóviles. Las estadísticas muestran que en la mayor parte de los casos las lesiones para éstos son graves o mortales, mientras que los ocupantes de los automóviles resultan generalmente ilesos. Según datos de la DGT, uno de cada tres fallecidos en accidente de circulación era peatón.

La reducción de los accidentes de tráfico es un asunto prioritario para la *Comisión Europea*. En el *Libro Blanco*, publicado en 2001, se propuso el ambicioso objetivo de reducir a la mitad del número total de fallecidos en accidentes de carretera antes del 2010, y prestaba una especial atención a los usuarios más vulnerables de la vía, los peatones.

Una de las medidas adoptadas recientemente por la UE para el cumplimiento de este difícil objetivo ha sido el desarrollo de la *Directiva DC2004/90* de protección de los

peatones, que actualmente a sido derogada por el Reglamento (CE) nº 78/2009. Por su parte, los fabricantes de vehículos están adoptando medidas para conseguir que los automóviles resulten menos lesivos en caso de atropello.

2.- ALGUNOS DATOS DE ACCIDENTALIDAD EN PEATONES

Datos recientes en Europa muestran que alrededor de 8.400 peatones y ciclistas mueren en las carreteras anualmente, y alrededor de 17.000 resultan gravemente heridos. Estos mismos datos revelan como causas principales de los accidentes las siguientes:

- La diferente capacidad de los peatones en función de la edad (los niños, por su falta de experiencia, y los ancianos por la disminución de sus facultades).
- La falta de visibilidad mutua entre peatón y conductor.
- Acceso del peatón a la calzada de manera precipitada o por un lugar inapropiado.
- Consumo de alcohol (un elevado porcentaje de peatones atropellados había consumido alcohol, especialmente por la noche).

La mayoría de los peatones son golpeados por los frontales de turismos, en áreas residenciales y urbanas. Se ha comprobado que la reducción de la velocidad a 20 ó 30 km/h en zonas urbanas donde transitan asiduamente los viandantes, disminuye drásticamente el número de atropellos.

En Europa, la disminución en el número de peatones fallecidos por atropello ha sido del 50 % en los últimos 20 años. En España, el número de atropellos en ciudades es cinco veces superior al de carretera, y la relación de heridos es casi siete veces superior en la ciudad. Sin embargo, el número de

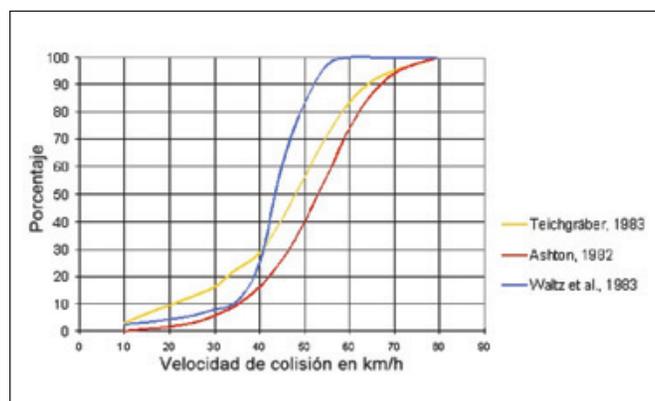


Figura 1. Riesgo de muerte en función de la velocidad de colisión.

fallecidos por atropello en ciudad y en carretera es muy similar.

Una de las principales variables determinante de la gravedad de las lesiones en caso de atropello es la velocidad de impacto. Aún en caso de atropello a baja velocidad, las lesiones sufridas por los ciclistas y los peatones son de gravedad considerable pues su única protección es la ropa que llevan puesta. La Figura 1 muestra la probabilidad de fallecimiento en función de la velocidad. Se observa que por debajo de los 30 km/h hay elevadas posibilidades de sobrevivir, cambiando la tendencia hacia los 45 km/h, velocidad a partir de la cual la

posibilidad de supervivencia resulta especialmente difícil.

3.- PRINCIPALES MECANISMOS DE GENERACIÓN DE LESIONES EN ACCIDENTES DE ATROPELLO

El estudio en profundidad de los atropellos resulta de gran utilidad para hacer una correcta valoración de la localización y gravedad de las lesiones del peatón, y la determinación de la parte del vehículo causante de las mismas. Las partes del cuerpo humano que resultan más frecuentemente lesionadas en caso de accidente son la cabeza, piernas, cara, cuello, y pecho. Las partes del vehículo que causan más lesiones son el parachoques delantero, el capó, el cristal del parabrisas y su marco.

Para la codificación de la gravedad de las lesiones en accidentes de tráfico se suele utilizar la escala AIS (*Abbreviated Injury Scale*), que asigna a la lesión un valor numérico entero comprendido entre el 1 y el 6, asignando el 1 para lesiones leves; 2, 3, y 4 para lesiones graves; 5 para lesiones críticas y 6 para lesiones no compatibles con la vida.

Los datos muestran que los jóvenes menores de 15 años tienen un porcentaje de lesión tipo AIS 1 y AIS 2 más elevado que los adultos, mientras que las personas mayores de 61 años tienen porcentajes más elevados de lesiones moderadas y graves.

Respecto al vehículo, la forma de su delantera determina en gran medida la cinemática del peatón durante y después de la colisión. Para los adultos, el cristal del parabrisas es la localización del vehículo que más frecuentemente causa traumatismo craneal, seguido del marco del parabrisas y el pilar A. En el caso de los niños, más bajos, la parte superior de la superficie del capó es la zona que principalmente causa lesiones en la cabeza. Tanto para niños como para adultos las lesiones en las extremidades inferiores son ocasionadas por la parte frontal de los vehículos, especialmente por el parachoques.

Debido a esta evidencia, la forma de la parte delantera de los vehículos ha sido analizada y clasificada en tres grandes grupos por algunos autores (*IHRA Pedestrian Safety Working Group*): turismos, todo terreno, y furgonetas (Figura 2).

La simplificación de estos diagramas consiste en distinguir tres perfiles de frontales:

- Frontal bajo: el borde superior del frontal del vehículo está a una altura inferior a 0,55 m (altura de la rodilla de un varón percentil 50).

- Frontal alto: el borde superior del frontal está a una altura entre 0,55 y 1,05 m (que se corresponden con las alturas de las rodillas y del centro de gravedad de un varón percentil 50).

- Frontal plano: el frontal del vehículo es plano y casi vertical. El borde superior está por encima de 1,05 m (altura del centro de gravedad de un varón percentil 50).

En función de estas alturas, se diferencian cuatro tipos de trayectorias de los peatones posteriores a la colisión. Las trayectorias posibles son las siguientes:

- 1) Trayectoria de transporte (borde superior del frontal de vehículo superior al centro de gravedad del peatón), en la que el peatón es proyectado hacia delante del vehículo. Lo más característico de este tipo de accidentes es que se produce un único impacto.

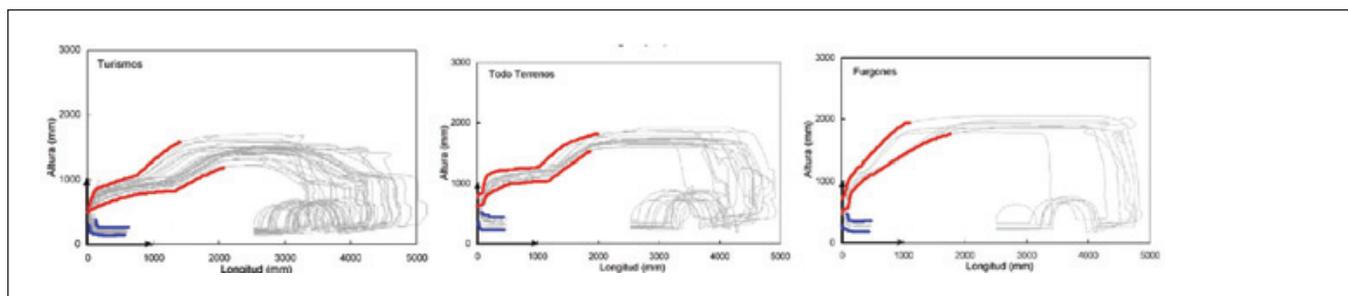


Figura 2. Clasificación de formas de los frontales de los vehículos (fuente: IHRA Pedestrian Safety Working Group).

2) Trayectoria de proyección (borde superior del frontal del vehículo inferior o a la altura del centro de gravedad). Durante la colisión, el centro de gravedad del peatón se desplaza y/o gira sobre el vehículo, por lo que existen varios impactos del peatón contra el vehículo.

3) Trayectoria de volteo sobre el parabrisas (cuando la velocidad de circulación del peatón es suficiente para que éste se desplace rápidamente o contacte cerca de la esquina del vehículo). Se provoca un único impacto con el vehículo, y una vez golpeado, el peatón puede elevarse por encima del capó y salir por el lateral de vehículo antes de golpear con el parabrisas, por lo que la cabeza no suele golpearse con el vehículo pero sí con el suelo.

4) Trayectoria de volteo sobre el techo o vuelta de campana (cuando la velocidad del vehículo es muy elevada o bien el vehículo acelera en el momento del impacto y el frontal del mismo está por debajo del centro de gravedad del peatón). En este tipo de accidentes el peatón rueda sobre el parabrisas y el techo del vehículo y se producen golpes de gravedad que en la mayoría de los casos son mortales.

4.- EVALUACIÓN DE LOS FRONTALES DE LOS VEHÍCULOS

Existen básicamente dos procedimientos para evaluar la protección de los frontales de los vehículos: el procedimiento del EEVC “European Enhanced Vehicle Safety Committee” WG 17; y el del IHRA “International Harmonized Research Activities”. Ambos se basan en ensayos sobre el frontal del vehículo mediante bastidores que simulan una determinada parte de la anatomía humana. La ventaja es que se asegura la repetibilidad de la prueba, pero no tiene en cuenta la relación de los componentes que forman el frontal ya que sólo los evalúa de manera conjunta.

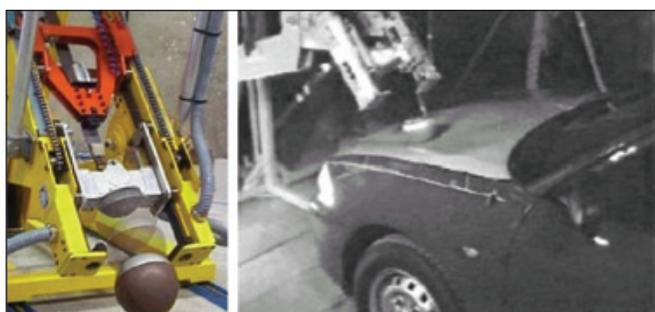


Figura 3. Bastidor antropomórfico de cabeza.

El método del EEVC WG17 con su bastidor antropomórfico son las siguientes:

1. Prueba de la parte superior del capó y el simulador de cabeza de niño.
2. Prueba de la parte superior del capó y el simulador de cabeza de adulto.

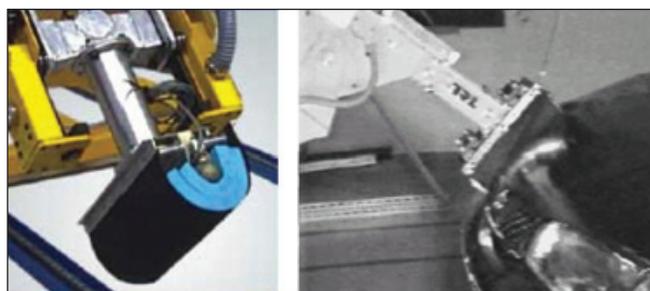


Figura 4. Bastidor antropomórfico de la parte superior de la pierna.

3. Prueba del parabrisas y el simulador de la pierna (hasta alturas del parabrisas de 500 mm.; en el caso de superar esta altura se puede realizar una prueba opcional con el simulador de la parte superior de la pierna).

4. Prueba del borde delantero del capó y el simulador de la parte superior de la pierna.



Figura 5. Bastidor antropomórfico de la pierna.

El grupo de trabajo de IHRA tiene actualmente diseñadas sólo las pruebas de protección de la cabeza del peatón, tanto de adulto como infantil. En estas pruebas el ángulo y la velocidad de impacto del simulador de cabeza dependen de la categoría del vehículo, al contrario que en las pruebas de EEVC WG17, en las que se toman unas condiciones estándar para todos los vehículos aceptándose esta solución como de compromiso.

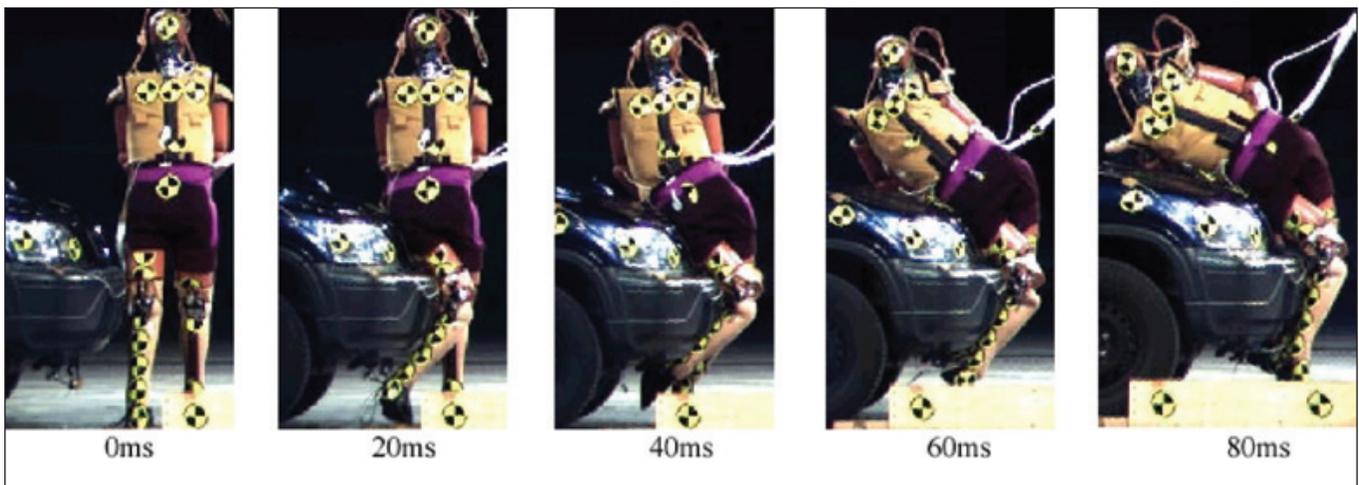


Figura 6. Maniquí de impacto Polar II durante ensayo (fuente).

El riesgo de lesión cerebral se mide mediante el cálculo de HIC (“Head Injury Criterion”), o criterio de traumatismo en la cabeza. Este criterio no tiene en cuenta algunos factores como puede ser la aceleración de giro en la cabeza, pero actualmente se utiliza a nivel mundial en investigación de prevención e investigación de lesiones causadas por colisión. Tanto EEVC como IHRA aceptan el criterio de HIC₁₅ para medir las posibles lesiones en la cabeza. Este criterio consiste en sustituir la aceleración resultante obtenida en el bastidor antropomórfico, expresada en unidades de “g”, y calcular su valor máximo en los posibles intervalos temporales menores o iguales a 15ms. El valor de HIC₁₅, así calculado, no debe exceder de 1000.

$$HIC = (t_2 - t_1) \cdot \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} A_x \cdot dt}{(t_2 - t_1)} \right]^{2.5}$$

Pero para diseñar vehículos que protejan mejor al peatón, estos ensayos no son totalmente suficientes. Si se utiliza el ensayo de un subsistema del vehículo, el funcionamiento de esa parte específica puede ser evaluado mediante el correspondiente objeto de impacto, pudiéndose situar en diferentes posiciones y velocidades de impacto. Pero con la prueba de un subsistema es casi imposible obtener un resultado completo del comportamiento de todo el cuerpo cuando se realizan cambios en el diseño de un vehículo en concreto. Por ejemplo, los cambios en el parachoques pueden afectar a la interacción del comportamiento del resto del cuerpo con el vehículo. Por tanto, para evaluar el comportamiento real de los vehículos es necesario utilizar un maniquí que simule el comportamiento completo de un peatón.

Los maniqués que se han utilizado hasta el momento para la investigación de la seguridad de los peatones son las versiones modificadas de Hybrid II y III, y el RSPD (Rotationally Symmetrical Pedestrian Dummy). Recientemente

se ha desarrollado un maniquí de peatones llamado Polar, con la colaboración de GESAC INC (EE.UU), el Departamento de investigación y desarrollo de Honda, y JARI (Instituto de Investigación del Automóvil en Japón).

El modelo actual, Polar II, es una maniquí diseñado para reproducir el comportamiento del cuerpo humano durante una colisión del tipo atropello, y para ayudar a desarrollar nuevas tecnologías de seguridad que reduzcan las lesiones de los peatones (Figura 6).

LAS PRUEBAS DE EURONCAP

El programa EuroNCAP (European New Car Assessment Program) ha sido diseñado para proporcionar un juicio imparcial, significativo y objetivo de la evaluación del comportamiento de los coches frente al impacto. La intención es informar a los consumidores y así proporcionar un incentivo a los fabricantes los cuales pueden conseguir más crédito en aquellos vehículos que sobresalgan en protección de ocupantes y de peatones. Estas pruebas están basadas en las desarrolladas por el EEVC, para protección de los ocupantes frente a impactos frontales y laterales, y para protección de los peatones que son golpeados con el frontal de los coches.

La protección proporcionada para cada localización de impacto con un peatón se ilustra con un área coloreada sobre

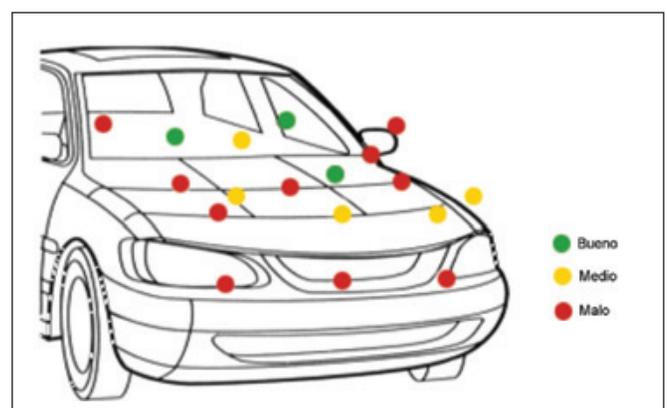


Figura 7. Presentación visual de la puntuación de la protección de peatones (ensayos de EuroNCAP).

Datos recientes en Europa muestran que alrededor de 8.400 peatones y ciclistas mueren en las carreteras anualmente

el perfil del frontal del vehículo. Este color está basado en los puntos concedidos en cada localización de la prueba (redondeada a dos decimales), asignando al verde un valor de 2 puntos, al amarillo entre 0,01 y 1,99 puntos, y al rojo 0 puntos

Existen 18 localizaciones de impacto potenciales (6 para la prueba del simulador de cabeza infantil, 6 para la prueba del simulador de cabeza de adulto, 3 para la prueba del simulador de la parte superior de la pierna y 3 para la prueba del simulador de la pierna) a las que se les pueden otorgar hasta 2 puntos, de manera que la máxima puntuación posible es de 36 puntos. La puntuación final, expresada como número de estrellas (de 0 a 4 para protección de peatones), se asigna como sigue: 4 estrellas para calificaciones entre 28 y 36 puntos, 3 estrellas entre 19 y 27 puntos, 2 estrellas entre 10 y 18 puntos, 1 estrella entre 1 y 9 puntos, 0 estrellas para 0 puntos.

5.- SISTEMAS EMBARCADOS EN VEHÍCULOS PARA LA PROTECCIÓN DE PEATONES

5.1.- SOLUCIONES TÉCNICAS EN EL CAPÓ

Zeller y Glaeser (1994) realizaron pruebas de impacto entre un simulador de cabeza y el capó y obtuvieron como resultado que se necesitaban 70 mm libres de deformación del capó para mantener el valor de HIC por debajo de 1000 en el simulador de cabeza de adulto; y 50 mm libres en el simulador de cabeza de niño.

Conseguir una franja de 50-70 mm libres entre la superficie del capó y los elementos que se sitúan en el habitáculo motor no es sencillo, por lo que se han propuesto diferentes soluciones alternativas, tales como:

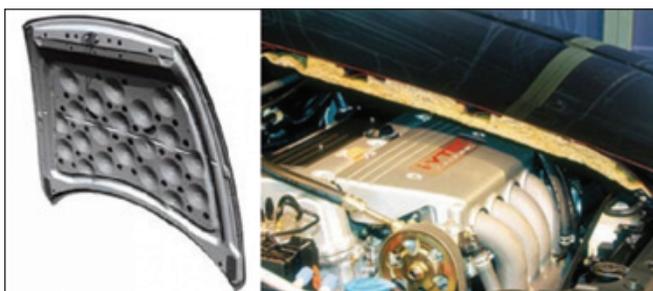


Figura 8. Diseños de capó absorbentes de energía (diseños de Mazda y Honda).

1) Incorporar elementos debajo de la superficie del capó capaces de absorber energía. Por ejemplo, mediante una estructura de la parte interior del capó con superficies cónicas



a modo de cráteres, los cuales absorban la energía del impacto (diseño del fabricante Mazda); o bien insertando una capa de espuma, de manera que las partes rígidas del motor no entren en contacto directamente con el capó en caso que un peatón sea atropellado (diseño de Honda).

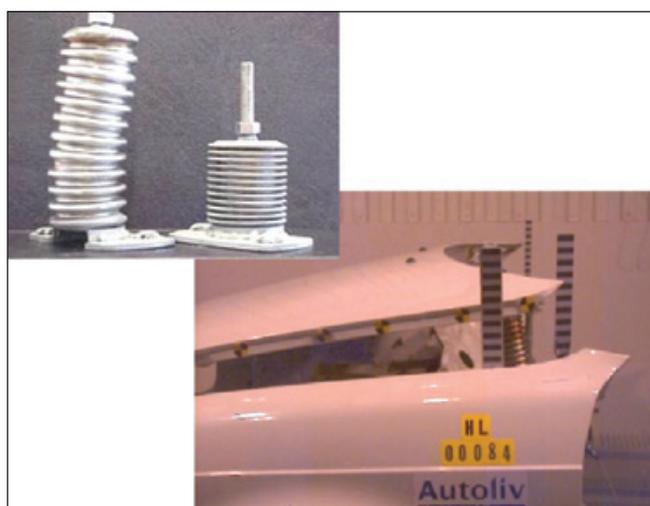


Figura 9. Diseños de capó que se elevan en caso de atropello (diseño de Autoliv).

2) Instalación de un sistema capaz de elevar la parte trasera del capó (diseño de Autoliv). Este sistema de protección de peatones tiene dos partes diferentes. La primera parte es el sistema de sensores (sensores de contacto y acelerómetros), que se sitúan en el parachoques del vehículo de modo que puedan informar lo antes posible de la ocurrencia de un impacto o golpe. La segunda parte comprende dos actuadores (fuelles metálicos que se rellenan de gas) para el levantamiento de la parte trasera del capó. De esta forma se aumenta la distancia libre entre el capó y las piezas rígidas por debajo de éste.

Con este sistema, que ya incorporan de serie algunos modelos, se consigue reducir el HIC entre un 18% y un 90%. Además, en la prueba realizada sobre uno de los actuadores que realizan el levantamiento, el valor de HIC obtenido es 774 (por debajo de 1000).

3) En una elevada cantidad de atropellos de peatones adultos, la cabeza golpea por detrás del área que ocupa el capó. Por este motivo se han diseñado airbags tipo cortina que se

Se están desarrollando prototipos de airbags que se sitúan en la parte delantera de los vehículos para minimizar los impactos

despliegan por detrás del capó, protegiendo la cabeza de impactos sobre los husillos de los limpia-parabrisas, el parabrisas y el pilar A. Se ha patentado un conjunto de cintas que se despliegan sobre la superficie exterior de contacto con la cabeza del peatón y tiene como misión reducir el riesgo de invasión de la cabeza en la bolsa de aire durante impactos a velocidad elevada. Las cintas distribuyen la fuerza del choque de la cabeza sobre todo el área del airbag y además permiten un diseño de éste de manera que pueda ser guardado en un espacio pequeño.

4) Recientemente se están desarrollando prototipos de airbags que se sitúan en la parte delantera de los vehículos para minimizar los impactos con el parachoques y el borde delantero del capó. Sería necesario que los sensores fuesen capaces de detectar el tamaño del peatón, y en función de la velocidad del vehículo realizar el llenado de las bolsas de aire de una manera menos violenta. Si esto no fuese posible, el airbag podría disminuir la severidad del impacto con el vehículo pero podría producirse el efecto de rebote del peatón sobre el airbag y lanzar al peatón contra el suelo, produciéndose igualmente lesiones graves.

5.2.- SISTEMAS DE DETECCIÓN DE PEATONES

En la actualidad se están desarrollando sistemas de detección de peatones antes de impacto, lo que obligatoriamente lleva a la integración de los sistemas de seguridad primaria y secundaria. Para ello es necesario desarrollar un sistema de sensores (fundamentalmente del tipo escáner láser, más sencillos que las cámaras de infrarrojos) y de actuadores. El objetivo principal es evitar el atropello, para lo que se está proponiendo el uso de un chivato que avisa de la presencia del peatón al conductor, pudiendo llegar incluso a activar el sistema de frenos de forma automática.

Otros sistemas, como la mejora de la visibilidad del conductor en condiciones de oscuridad o deslumbramiento mediante la visión a través de una pantalla retráctil que informa del escenario que tiene lugar en ese instante, tienen como inconveniente que la integración en el campo de visión del conductor puede llevar a un comportamiento incorrecto dada la escala de la pantalla y la situación real.

Estos sistemas son demasiado innovadores porque requieren una evaluación del escenario en tiempo real y ésta no siempre es posible. Además, los ambientes de circulación son extraordinariamente diferentes, por lo que este tipo de sistemas no sólo tiene que buscar o detectar a los peatones, sino que es necesario distinguirlos del resto de usuarios y de mobiliario urbano propio de los lugares por los que se circula.



Figura 10. Ensayo del sistema de airbag para la protección de la cabeza del peatón (diseño de Autoliv).

6.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aparicio F, García A, Martínez L, Páez J, Sánchez M, Gómez A. (2002) Accidentes de Tráfico: Investigación Reconstrucción y Costes. INSIA, UPM. Madrid.
- [2] EEVC Working Group 17 Report. (2002) Improved Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Afforded by Passenger Cars. European Enhanced Vehicle-Safety Committee.
- [3] EuroNCAP. (2003) Pedestrian Testing Protocol. European New Car Assessment Programme, Versión 4.0.
- [4] EuroNCAP. (2004) EuroNCAP Protocol Changes and Additions. European New Car Assessment Programme.
- [5] Fredriksson R, Holand Y, Yang J. Evaluation of a New Pedestrian Head Injury Protection System with a Sensor in the Bumper and Lifting of the Bonnet's Rear Edge. Society of Automotive Engineers, Inc. Sweden. Paper Number 131.
- [6] Haland Y, Ödman M, Jarboe P. (2001) Airbags on the Car's Exterior to Provide Pedestrian Protection. Autoliv Inc. Frankfurt.
- [7] Mizuno Y, Ishikawa H. Summary of IHRA Pedestrian Safety WG Activities - Proposed Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Afforded by Passenger Cars. Society of Automotive Engineers, Inc. Paper Number 280.