



## **ANEXO A: Ensayos EURONCAP**

Hoy más que nunca, la seguridad vende coches. Es un elemento clave en la decisión de compra para los compradores.

Es vital que los consumidores de automóviles puedan obtener información comparativa precisa y fiable sobre el comportamiento de seguridad de los distintos modelos de coches.

Por ley, todos los nuevos modelos de coches deben superar ciertos ensayos de seguridad antes de ponerse a la venta. De este modo, la legislación proporciona un estándar mínimo de seguridad obligatorio para los coches nuevos. El objetivo de Euro NCAP consiste en instar a los fabricantes a superar estos requisitos mínimos.

Esta sección del sitio contiene una explicación de cómo se realizan los distintos ensayos de choque de Euro NCAP y sobre cómo se alcanzan nuestras valoraciones de seguridad.

### **A.1. Frenado de emergencia autónomo – AEB**

Euro NCAP ha llevado a cabo una serie de ensayos para evaluar los sistemas anticolidión.

Euro NCAP divide los sistemas AEB existentes en el mercado en dos categorías: sistemas a baja velocidad (urbanos) y sistemas a alta velocidad (interurbanos). Estos sistemas pueden constar de dos funciones: una función de frenado automático y una función de advertencia de colisión frontal. Según el tipo de sistema, puede ofrecer ambas funciones o solo una.

La función de frenado automático acciona los frenos cuando el conductor no reacciona y el choque con el vehículo frontal es inevitable.

La función de advertencia de colisión frontal activará un aviso acústico para advertir al conductor de que va a producirse una colisión. El conductor tendrá tiempo de accionar los frenos e intentar evitar el accidente. En la mayoría de las ocasiones, el vehículo preparará los frenos al mismo tiempo para proporcionar un frenado máximo en caso de que el conductor reaccione ante la advertencia. Euro NCAP lleva a cabo estos ensayos con un robot de frenado, que reacciona ante la advertencia de la misma forma que lo haría un conductor para garantizar una buena repetitividad de las pruebas.

### A.1.1 Sistema AEB para ciudad

Euro NCAP evalúa los sistemas AEB para ciudad a un rango de velocidades de entre 10 y 50 km/h. Incluso a velocidades menores, el conductor no dispone de tiempo suficiente para reaccionar ante la advertencia. Por lo tanto, Euro NCAP solo evalúa la función de frenado automático en situaciones de conducción a baja velocidad.

Durante la realización de las pruebas, el vehículo sometido a ensayo se conduce hacia la parte trasera de un vehículo objetivo de Euro NCAP, que reproduce un vehículo parado situado justo delante, al que el conductor no ha visto debido a una distracción. La reducción de velocidad, que ha alcanzado el vehículo gracias a la función de frenado automático, se utiliza para la evaluación.



Figura 178 - Sistema AEB para ciudad

## A.1.2 AEB interurbano

En el caso de los sistemas AEB interurbanos, Euro NCAP evalúa la función de frenado automático y la función de advertencia de colisión frontal en tres escenarios diferentes:

1. Aproximación a un vehículo que está parado (de 30 a 80 km/h)



Figura 179 - AEB interurbano

2. Aproximación a un vehículo que circula delante a menor velocidad (de 30 a 80 km/h).



Figura 180 - AEB interurbano

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

3. Conducción detrás de un vehículo que empieza a frenar bruscamente (a 50 km/h, conducción suave y frenado brusco)



Figura 181 - AEB interurbano

La función de frenado automático se evalúa solo en los dos escenarios ya mencionados porque forma parte de la evaluación del sistema AEB para ciudad con vehículos estacionarios. El vehículo sometido a ensayo se conduce hacia la parte trasera de un vehículo a baja velocidad o en situación de frenado, y se evalúa la reducción de velocidad alcanzada sin reacción por parte del conductor.

En el caso de la función de advertencia de colisión frontal, el robot de frenado accionará el freno 1,2 segundos después de emitirse la advertencia, el tiempo habitual de reacción de un conductor distraído. De nuevo, la reducción de velocidad alcanzada se utiliza para la evaluación.

El conductor no debe confiar únicamente en la tecnología AEB. En situaciones más exigentes, la activación del sistema AEB podría resultar insuficiente o demasiado lenta para evitar por completo la colisión, aunque la velocidad de impacto final se reduciría significativamente. La protección adecuada de los pasajeros sigue siendo vital para evitar consecuencias graves.



## A.2. Impacto frontal

El ensayo de impacto frontal se basa en el desarrollado por el Comité europeo para el incremento de la seguridad en los vehículos como base para la legislación, aunque la velocidad de impacto se ha aumentado en 8 km/h.

El impacto frontal tiene lugar a 64 km/h (40 mph), el coche choca contra una barrera deformable con solape parcial.

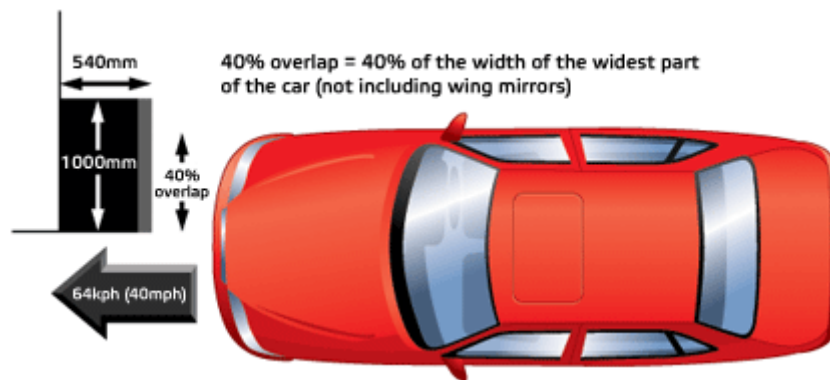


Figura 182 - Impacto frontal

40% solape = 40% del ancho de la parte más ancha del coche (sin incluir los retrovisores)

Las lecturas tomadas de los dummies se utilizan para evaluar la protección con la que cuentan los adultos que ocupan la parte delantera.

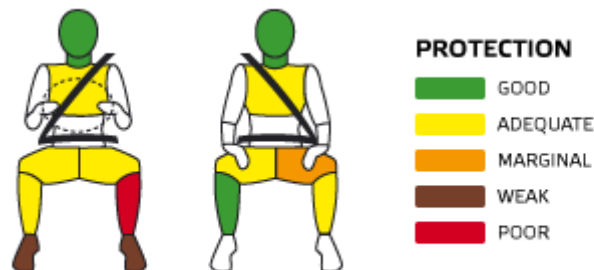


Figura 183 - Lecturas dummies



Protección: Buena, Correcta, Aceptable, Débil, Deficiente

Cada coche probado se somete a un impacto con solape parcial contra un bloque inamovible con una estructura de panal de abeja deformable en una de sus superficies. Este impacto está destinado a representar los accidentes de tránsito más frecuentes, que tienen como resultado lesiones graves o mortales. Se simula un coche que tiene un impacto frontal con otro coche de masa similar. Como la mayoría de los choques frontales sólo implican una parte del frontal del coche, en el ensayo se pretende simular un choque en el que se vea involucrado la mitad del frontal del vehículo. Esto se consigue haciendo que solo impacte contra la barrera el 40% del vehículo. La pared de la barrera deformable sirve para representar la naturaleza deformable de los coches. Este ensayo es una dura prueba de la capacidad del coche para sobrevivir al impacto sin intrusión de espacio del compartimiento del pasajero.

El contacto entre el ocupante y la intrusión de partes del compartimiento de pasajeros es la causa principal de lesiones graves y mortales para el ocupante adulto del vehículo. El ensayo de velocidad de 64 km/h representa una colisión del vehículo con otro vehículo en la que cada coche circula en torno a 55 km/h. La diferencia en velocidad se debe a la energía absorbida por la pared deformable. La investigación de accidentes ha demostrado que esta velocidad de impacto está directamente relacionada con una parte importante de los accidentes graves y mortales. Al impedir la intrusión de espacio, las posibilidades de que el ocupante resulte impactado en el interior del coche se minimizan y el sistema de retención puede funcionar con eficacia al disponer de espacio suficiente.

Los airbags equipados en el volante constituyen una parte importante del sistema de retención del conductor. Euro NCAP ha fomentado los diseños en los que la cabeza del conductor tiene un apoyo estable desde el airbag y en los que la cabeza no “sale para fuera”. Para un ocupante sujeto, las fuerzas de desaceleración, generadas en el accidente, se transmiten al ocupante a través del sistema de retención. Euro NCAP ha fomentado la adopción de pretensores



de cinturón de seguridad, limitadores de carga y airbags de doble fase para ayudar a atenuar las fuerzas transmitidas a los ocupantes. También ha ayudado a evitar situaciones en las que el volante carga directamente el pecho del ocupante.

En la mayoría de los coches, el sistema de retención no puede impedir que las rodillas de los ocupantes del asiento delantero impacten con el salpicadero. Euro NCAP ha fomentado la eliminación de las estructuras peligrosas de las zonas en que las rodillas puedan impactar. Unas fuerzas elevadas en la rodilla pueden causar lesiones a la propia rodilla que, a su vez, se pueden transmitir por el muslo hasta la articulación de la cadera. Estas partes de soporte del esqueleto son susceptibles de convertirse a largo plazo en graves lesiones discapacitantes.

Con el actual diseño de vehículos, no hay ninguna posibilidad de impedir el contacto entre los pies de los ocupantes y la zona de pies. A fin de minimizar las lesiones, Euro NCAP ha fomentado la reducción de la intrusión de espacio de la zona de los pies y un mayor control del desplazamiento de los pedales.

### **A.3. Impacto lateral del vehículo contra otro vehículo**

La segunda configuración de choque más importante es la del impacto lateral del vehículo contra otro vehículo. Euro NCAP simula este tipo de impacto con una barrera deformable móvil (MDB) que impacta contra la puerta del conductor a 50 km/h. La protección ante lesiones se evalúa mediante la colocación de un dummy en el lado de ensayo del impacto, en el asiento del conductor.

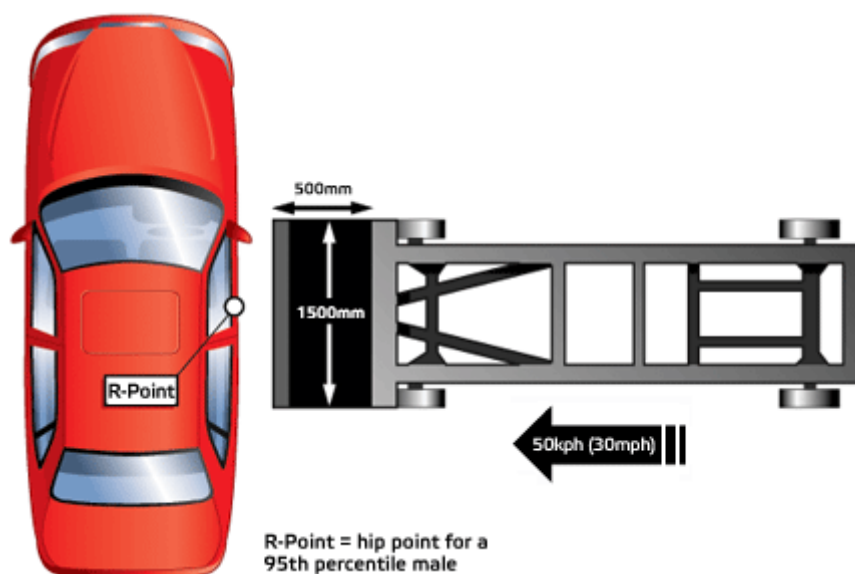


Figura 184 - Impacto lateral

Aunque resulta difícil juzgar el nivel de protección procedente de la extensión de la intrusión de espacio, el control de cómo se produce esta intrusión es importante. A través del programa, Euro NCAP ha experimentado grandes mejoras en el comportamiento del impacto lateral. La provisión de airbags de impacto lateral ha supuesto una ayuda. Ahora es normal que los coches sometidos a ensayo por Euro NCAP estén equipados con airbags de impacto lateral.

## A.4. Impacto lateral de poste

Los patrones de accidentes varían de país a país en Europa, pero aproximadamente un cuarto de todas las lesiones graves y mortales se producen en colisiones de impacto lateral. Muchas de estas lesiones tienen lugar cuando un coche embiste lateralmente a otro o contra un objeto fijo de poco grosor, como un árbol o un poste.

Para fomentar que los fabricantes adapten los dispositivos de protección de la cabeza, se puede realizar el ensayo de poste, si se incorporan estas características de seguridad. Los airbags laterales o de cortina ayudan a proteger la cabeza y el torso superior, proporcionando un efecto relleno y de protección, al impedir que la cabeza pase a través de la abertura de la ventana.

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

En el ensayo, el vehículo examinado es impulsado a 29 km/h (18 mph) contra un poste rígido. El poste es relativamente estrecho, por lo que la penetración es mayor en la parte lateral del coche.

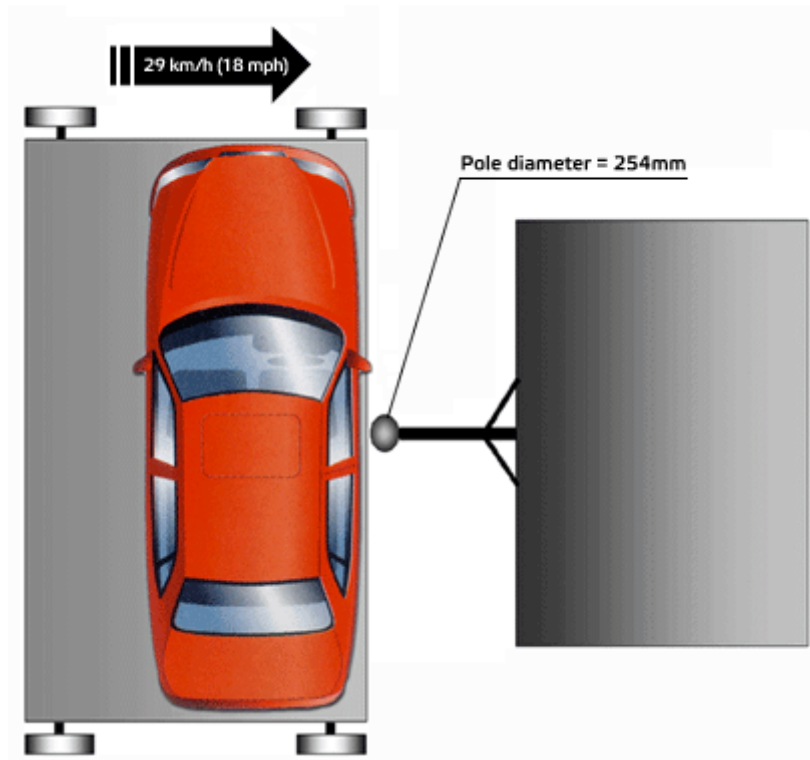


Figura 185 - Impacto lateral contra poste

En un impacto, sin los airbags de protección de cabeza, la cabeza de un conductor podría golpear el poste con la fuerza suficiente para causar una lesión mortal en la cabeza.

Normalmente, un criterio de lesión cerebral (HIC) de 5.000 es posible, cinco veces más que la que indica la probabilidad de lesión cerebral grave. Por el contrario, el criterio de lesión cerebral (HIC) en nuevos ensayos de choque con airbags de protección de la cabeza es alrededor de 100 a 300, muy por debajo del valor de referencia de la lesión. Un airbag de impacto lateral con protección de la cabeza permite sobrevivir a este tipo de accidentes, a pesar de su gravedad.

Antes de 2009, Euro NCAP permitía al fabricante realizar un ensayo de poste para demostrar la eficacia del sistema de protección de la cabeza si se incluía

esta característica. La evaluación se centraba únicamente en la cabeza y el resultado se utilizó para aumentar la puntuación del impacto lateral obtenida en el ensayo de impacto lateral MDB. A partir de 2009, el ensayo de poste se ha convertido en algo obligatorio y ahora incluye evaluaciones en otras zonas críticas del cuerpo que se pueden ver afectadas, como el pecho y el abdomen.

## **A.5. Protección de niños**

### **A.5.1 Ensayos de choque**

En los ensayos de choque con impacto frontal y lateral, se colocan dummies que representan niños de entre 1 año y medio y 3 años en el asiento trasero del vehículo, en los asientos de seguridad para niños recomendados por el fabricante del vehículo. Los principales criterios que se miden en el dummy durante los ensayos son los siguientes: movimiento de la cabeza, cargas en el cuello y aceleraciones del tórax. El vehículo se premiará si la puntuación de los parámetros sometidos a ensayo es baja y si ningún dummy sale despedido del asiento ni entra en contacto con el interior del vehículo durante la colisión.



Figura 186 - Ensayos de choque

### **A.5.2 Comprobación de la instalación del asiento de seguridad para niños (CRS)**

Para comprobar la instalación del CRS, se ha instalado una selección de los asientos de seguridad para niños más conocidos a fin de evaluar la capacidad

que tiene el vehículo para poder instalar en él de forma segura y correcta los asientos para niños. Los asientos seleccionados han demostrado que ofrecen un nivel de protección adecuado en ensayos independientes. La longitud del cinturón de seguridad, la ubicación de la hebilla del cinturón, la accesibilidad de los anclajes ISOFIX y la estabilidad del CRS son las características típicas que se verifican en un vehículo. Además, Euro NCAP promueve el transporte de niños pequeños en asientos orientados hacia atrás y comprueba si los vehículos permiten la instalación de dichos asientos. El vehículo se premiará si es posible instalar de forma sencilla y correcta los CRS que figuran en la lista en todas las posiciones adecuadas de los asientos del vehículo. El Manual del vehículo deberá reflejar claramente las posiciones de los asientos donde no puede instalarse un CRS. La comprobación de la instalación del CRS sustituye la evaluación de las instrucciones del CRS, parámetro que se ha utilizado para puntuar los vehículos entre 2003 y 2012.

### **A.5.3 Otras características de protección de niños**

El vehículo recibirá puntos adicionales si ofrece características importantes destinadas a garantizar el transporte seguro de los niños. Tales características incluyen anclajes ISOFIX en diversas posiciones de los asientos, interruptor de desactivación del airbag del asiento delantero con instrucciones claras para el usuario, asientos integrados, etc.

## **A.6. Protección de los peatones**

Se llevan a cabo una serie de ensayos que simulan accidentes en los cuales se ven involucrados peatones niños y adultos que son impactados a 40 km/h (25 millas/h). Luego se evalúa el lugar del impacto para calificar la protección ofrecida como buena, marginal o deficiente.

## A.6.1 Ensayos de subsistemas

No resulta sencillo evaluar la protección de los peatones con un dummy completo. Si bien es posible controlar el punto de impacto del parachoques y la pierna del peatón, es imposible controlar el lugar en el que impactará posteriormente la cabeza del dummy. Se utilizan ensayos de componentes individuales para solucionar este problema. Un ensayo al impactador en forma de pierna evalúa la protección que se pudo ofrecer a la parte inferior de la pierna al impactar contra el parachoques, un impactador en forma de muslo evalúa el borde frontal del capó y los impactadores en forma de cabeza de adulto y niño evalúan la zona superior del capó. La protección puede mejorarse con parachoques preparados para peatones, los cuales se deforman al impactar contra las piernas de los peatones. Se puede mejorar la protección si el impacto contra la pierna se da en la parte baja inferior, lejos de la rodilla, y si las fuerzas se reparten en una longitud mayor de la pierna. En cuanto al borde frontal del capó, se pueden realizar mejoras al quitar estructuras innecesariamente rígidas.



Forma de la parte inferior de las piernas



de las piernas



Forma de la cabeza

Tabla 42 - Ensayos de subsistemas

Para proteger la cabeza, la zona superior del capó necesita poder desviarse. Es importante que se proporcione el espacio necesario sobre las estructuras rígidas inferiores que pudieran impedir esta deformación. En algunos tipos de vehículos, el empaque del compartimiento de motor puede modificarse para crear este espacio libre; en otros vehículos se utiliza tecnología, como sistemas de protección despleables, para lograr espacio.



## **A.6.2 Sistemas de protección despleables**

Un capó desplegable o "de apertura automática" está diseñado para levantarse durante un accidente que involucre a un peatón a fin de crear más espacio para absorber así la energía del impacto de la cabeza y reducir la severidad de la lesión. La mayoría de los sistemas del mercado incluyen sensores de contacto en la zona del parachoques delantero del coche, junto con elevadores de capó como resortes, una carga pirotécnica o un airbag externo. En los vehículos equipados con un sistema de protección desplegable, EURO NCAP realiza ensayos con impactadores en forma de cabeza en capós total o parcialmente desplegados, para ver si el fabricante puede demostrar que los sensores pueden activar el sistema incluso con las estaturas de peatones más difíciles de detectar (por lo general, niños pequeños) y que el tiempo de respuesta del sistema es lo suficientemente veloz para ofrecer protección total antes de que la cabeza colisione con el capó. Además, el diseño debe ofrecer niveles adecuados de protección apenas por debajo del umbral de activación y a altas velocidades.

## **A.7. Latigazo cervical**

El latigazo cervical, causado por una distorsión repentina de la columna vertebral o relacionado con ésta, puede provocar síntomas dolorosos y debilitantes durante años. Aunque el latigazo cervical no resulte poco frecuente en los accidentes de impacto frontal y lateral, se produce más a menudo a baja velocidad, en las colisiones traseras. Las lesiones de latigazo cervical resultan difíciles de diagnosticar y de tratar, y se estima que su coste para la sociedad europea asciende hasta los 10.000 millones de euros al año. La gran frecuencia de lesiones de latigazo cervical, el sufrimiento personal y el coste para la sociedad europea han impulsado a Euro NCAP a integrar un ensayo de impacto trasero en su programa de ensayos de choque.

Si bien no se entienden perfectamente los mecanismos que provocan las lesiones, se sabe que el diseño del asiento y del reposacabezas puede influir

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

en el riesgo de lesiones. El procedimiento de ensayo aplicado por Euro NCAP fomenta unas mejores prácticas en el diseño del asiento, en particular, una buena protección geométrica del reposacabezas, su facilidad de uso y de ajuste, el bloqueo de protección del reposacabezas y la integridad de la seguridad global.

La puntuación del latigazo cervical se basa en los aspectos geométricos del asiento (conductor/pasajero), el tamaño y la forma de la protección del reposacabezas y su proximidad con respecto al ocupante, así como en el comportamiento dinámico del asiento y del reposacabezas durante un ensayo de choque real. Este comportamiento dinámico se valora utilizando un asiento instalado sobre un trineo de ensayo, sometido a ensayos de gravedad de nivel bajo, moderado y muy alto que representan un amplio intervalo de las fuerzas que se cree provocan lesiones. La puntuación del latigazo cervical se incluyó en la puntuación de Protección del adulto a partir de enero de 2009.

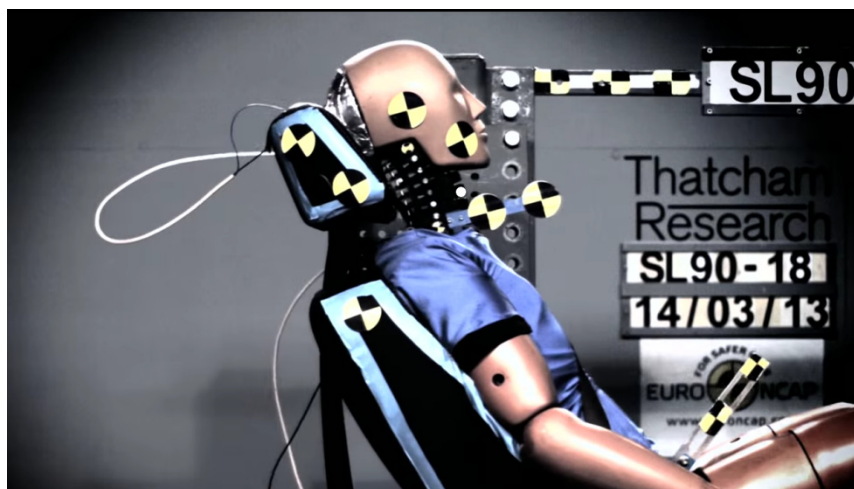


Figura 187 - Latigazo cervical



## A.8. ESC

Euro NCAP lleva promoviendo desde 2008 que se generalice la instalación del control electrónico de estabilidad (ESC) entre todos los fabricantes de vehículos.

Hasta 2012, año en que el ESC se convertirá en un accesorio obligatorio para todos los vehículos nuevos vendidos en la UE, los fabricantes pueden decidir si desean o no incluir el ESC en un modelo en concreto. Esto da lugar a que existan grandes diferencias en los distintos países europeos y entre las diversas categorías de vehículos en cuanto a la instalación del ESC. Para incentivar la instalación de este accesorio, Euro NCAP comenzó a conceder en 2009 tres puntos en Asistencia a la seguridad a los vehículos con ESC de serie en toda la gama, o bien si se incluye como accesorio opcional en toda la gama y el fabricante estima vender al menos un 95% de los vehículos con este sistema como equipamiento de serie. Los requisitos de instalación se irán incrementando constantemente y, en 2012, Euro NCAP solo premiará el equipamiento que se incluya de serie en toda la gama de un modelo.

Además, Euro NCAP lleva a cabo desde 2011 ensayos de "maniobras evasivas con doble cambio de carril" en todos los vehículos que cumplen con los requisitos de instalación del ESC para comprobar su comportamiento. La concesión de puntos por la instalación del ESC solo se realiza si el vehículo supera los criterios de este ensayo.

Los fabricantes de vehículos y sus proveedores efectúan cientos de ensayos durante el desarrollo de los sistemas ESC con los que equipan sus vehículos. El objetivo es garantizar que el sistema funcione bajo cualquier circunstancia posible: diferentes velocidades y estados de la vía, así como distintas maniobras y respuestas del conductor.

Hasta ahora, el análisis de accidentes reales ha demostrado que los vehículos equipados con ESC se ven implicados en menos accidentes o en accidentes

menos graves que aquellos que no cuentan con dicho sistema. No obstante, continúa siendo imposible determinar el nivel de seguridad que ofrecen los distintos tipos de sistemas ESC.

Con los resultados obtenidos en los ensayos dinámicos realizados del año 2011 en adelante, Euro NCAP y sus miembros continuarán trabajando para mejorar en la medida de lo posible los métodos de ensayo y evaluación del ESC. Eche un vistazo a los ensayos que evalúan el comportamiento del ESC.

### **A.8.1 Ensayos que se efectúan para evaluar el ESC**

Para la evaluación de los sistemas ESC se llevan a cabo una serie de ensayos en los que se analizan de forma simultánea la dirección y el índice de guiñada del vehículo. Este ensayo recibe el nombre de "maniobra evasiva con doble cambio de carril" y, como su propio nombre indica, consiste en una maniobra en la que el vehículo cambia de carril en dos ocasiones. Para ello, el volante se gira bruscamente unos 270 grados con el vehículo a 80 km/h.

Los vehículos superan el ensayo de "maniobra evasiva con doble cambio de carril" si cumplen con tres criterios. El primer criterio está relacionado con el desplazamiento lateral, que debe ser superior a 1,83 m. En otras palabras, debe producirse un desplazamiento lateral suficiente como para cambiar realmente de carril y evitar el objeto que se ha interpuesto en la trayectoria del vehículo.

Para realizar el doble cambio de carril, el vehículo debe reaccionar al cambio de dirección; el sistema ESC se encarga de garantizar este cambio, que se verificará con los criterios de desplazamiento lateral. No obstante, la estabilidad del vehículo no debe verse comprometida tras la maniobra de cambio de dirección. Esto se verifica con otros dos criterios que determinan el índice de guiñada tras haber realizado la maniobra de cambio de dirección. El índice de guiñada durante la maniobra de cambio de dirección solo puede ser un

pequeño porcentaje del índice máximo para garantizar que el vehículo mantiene una trayectoria recta tras haber accionado el volante.

## **A.9. Testigo de aviso del cinturón de seguridad**

El cinturón de seguridad sigue siendo el elemento más eficaz del equipamiento de seguridad de cualquier coche. Es la parte más importante de cualquier sistema de retención y los fabricantes continúan desarrollando nuevos y mejores sistemas de cinturón de seguridad para proporcionar una protección cada vez mayor. Sin embargo, muchas personas siguen conduciendo sin usar el cinturón de seguridad, y esas personas aparecen representadas en exceso en las estadísticas de lesiones graves y mortales.

Muchas de las personas que no suelen usar el cinturón de seguridad lo harían si alguna señal se lo indicase. La investigación muestra que los ocupantes son mucho más propensos a usar los cinturones en los vehículos equipados con un testigo de aviso del cinturón de seguridad (SBR) que en aquellos que no lo tienen. Euro NCAP premia cualquier esfuerzo para asegurar que se usan los cinturones de seguridad.

Euro NCAP evalúa los sistemas SBR de los fabricantes para asegurarse de que son resistentes y de que ofrecen una información clara y sin ambigüedades a los ocupantes sobre el estado de los cinturones de seguridad. Unos inspectores cualificados realizan una multitud de ensayos de cada sistema: el coche se conduce en una pista de ensayos, y los cinturones se abrochan y desabrochan; se evalúa el volumen y la duración de la señal acústica; se comprueba la posición y la claridad de cualquier aviso visual para garantizar que resulta visible para todos los ocupantes, independientemente de su tamaño. La evaluación intenta recrear todas las situaciones posibles en que un ocupante podría ser vulnerable por no ponerse cinturón de seguridad, y comprueba si el sistema responde adecuadamente. Hay un punto disponible para cada asiento (del conductor, del copiloto o trasero) que ha superado la evaluación.

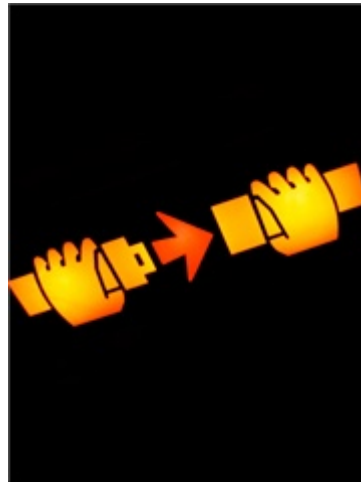


Figura 188- Testigo de cinturón

## A.10. Sistemas de control de velocidad

La velocidad excesiva es un factor clave en la gravedad de la mayoría de los accidentes de tránsito y suele ser una de las principales causas de estos. Los límites de velocidad pretenden mantener las velocidades del tránsito por debajo de un máximo considerado adecuado en una situación dada, lo cual garantiza la seguridad de los usuarios de los automovilistas y otros usuarios de la vía pública. Si están correctamente marcados, estos límites de velocidad deberían facilitar un flujo de tránsito eficiente y promover condiciones de conducción seguras.

Si se cumplieran en mayor medida los límites de velocidad, se reduciría el número de accidentes y la gravedad de los que se producen. Euro NCAP alienta el uso voluntario de sistemas de control de velocidad que ayuden a los conductores a controlar la velocidad a la que conducen.



Figura 189 – Sistemas de control de velocidad

## **A.10.1 Evaluación funcional**

Euro NCAP evalúa distintas funciones de los sistemas de control de velocidad:

- Cómo se informa al conductor sobre el límite de velocidad actual.
- Cómo se advierte al conductor que la velocidad del coche está por encima del máximo permitido.
- Cómo se evita que el coche exceda el umbral de velocidad establecido.

Los sistemas más avanzados combinan todas estas funciones, lo cual permite establecer la velocidad simplemente confirmando el límite de velocidad detectado y que se muestra en el vehículo según la información que se detectó en los letreros de velocidad o la información del mapa digital.

Se considera, además, la funcionalidad del sistema para asegurarse de que se lo puede utilizar sin que suponga una distracción indebida para el conductor. Asimismo, se evalúa la claridad de la advertencia dada al conductor para garantizar que exista una advertencia apropiada cuando la velocidad del vehículo sobrepasa el límite de velocidad máxima establecido.

## **A.10.2 Ensayo**

Para los sistemas que controlan de manera activa las velocidades máximas, se realizan ensayos a fin de asegurar que el sistema limita la velocidad del coche al nivel máximo que ha establecido el conductor. En cada una de las tres velocidades, se determina la precisión con la cual se mantiene la velocidad máxima establecida.



## **ANEXO B: Directiva 96/27/CE del Parlamento Europeo**

---

1996L0027 — ES — 28.07.1996 — 000.001 — 1

Este documento es un instrumento de documentación y no compromete la responsabilidad de las instituciones

►**B**

**DIRECTIVA 96/27/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO**

**de 20 de mayo de 1996**

**sobre la protección de los ocupantes de los vehículos de motor en caso de colisión lateral y por la que se  
modifica la Directiva 70/156/CEE**

(DO L 169 de 8.7.1996, p. 1)

Rectificada por:

►**C1**

Rectificación, DO L 102 de 19.4.1997, p. 46 (96/27)





▼B

**DIRECTIVA 96/27/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL  
CONSEJO**

**de 20 de mayo de 1996**

**sobre la protección de los ocupantes de los vehículos de motor en caso de  
colisión lateral y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE**

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN  
EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea y, en particular, su  
artículo 100 A,

Vista la Directiva 70/156/CEE del Consejo, de 6 de febrero de 1970, relativa a  
la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre la  
homologación de vehículos a motor y de sus remolques <sup>(1)</sup>, y, en particular, el  
apartado 4 de su artículo 13,

Vista la propuesta de la Comisión <sup>(2)</sup>,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social <sup>(3)</sup>,

De conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 189 B del  
Tratado <sup>(4)</sup>,

Considerando que la armonización total de los requisitos técnicos para los  
vehículos a motor es necesaria para alcanzar tal fin;

Considerando que, con el fin de reducir el número de víctimas en accidentes  
de carretera en Europa, es necesario introducir medidas legislativas que  
mejoren en la medida de lo posible la protección de los ocupantes de los  
vehículos en caso de colisión; que la presente Directiva introduce una serie de  
requisitos para los ensayos de colisión lateral, incluidos criterios biomecá-  
nicos, con objeto de garantizar un nivel razonable de resistencia en caso de  
colisión lateral;

Considerando que es preciso considerar tales requisitos como una medida  
provisional que será necesario revisar a la luz de las investigaciones futuras y  
de la experiencia adquirida durante los dos primeros años de ensayos de  
homologación realizados con arreglo a la presente Directiva; que conviene  
prever un mayor nivel de seguridad en el futuro mediante la elaboración de  
normas más rigurosas;

Considerando que la presente Directiva debe añadirse a la lista de Directivas  
específicas que deben cumplirse para ajustarse a la normativa de  
homologación comunitaria establecida en la Directiva 70/156/CEE; que,  
por lo tanto, son aplicables a la presente Directiva las disposiciones de la  
Directiva 70/156/CEE ►C1 referente a los sistemas, a los componentes y a  
las unidades ◄ técnicas independientes de los vehículos;

Considerando que el procedimiento para determinar el punto de referencia en  
la posición de sentado en los vehículos a motor figura en el Anexo III de la  
Directiva 77/649/CEE del Consejo, de 27 de septiembre de 1977, relativa a la  
aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el campo de  
visión del conductor de los vehículos a motor <sup>(5)</sup>, y que, por lo tanto, no es  
necesario repetirlo en la presente Directiva; que ésta debe referirse a las  
Directivas 70/387/CEE del Consejo, de 27 de julio de 1970, relativa a la  
aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las puertas  
de los vehículos a motor y sus remolques <sup>(6)</sup>, 74/483/CEE del Consejo, de 17  
de septiembre de 1974, relativa a la aproximación de las legislaciones de los

<sup>(1)</sup> DO n° L 42 de 23. 2. 1970, p. 1. Directiva cuya última modificación la constituye  
la Directiva 95/54/CE de la Comisión (DO n° L 266 de 8. 11. 1995, p. 1).

<sup>(2)</sup> DO n° C 396 de 31. 12. 1994, p. 1.

<sup>(3)</sup> DO n° C 256 de 2. 10. 1995, p. 18.

<sup>(4)</sup> Dictamen del Parlamento Europeo de 12 de julio de 1995 (DO n° C 249 de 25. 9.  
1995, p. 47). Posición Común del Consejo de 23 de noviembre de 1995 (DO n° C  
353 de 30. 12. 1995, p. 1). Decisión del Parlamento Europeo de 29 de febrero de  
1996 (DO n° C 78 de 18. 3. 1996, p. 17), y Decisión del Consejo de 6 de mayo de  
1996.

<sup>(5)</sup> DO n° L 267 de 19. 10. 1977, p. 1. Directiva cuya última modificación la  
constituye la Directiva 90/630/CEE de la Comisión (DO n° L 341 de 6. 12. 1990, p.  
20).

<sup>(6)</sup> DO n° L 176 de 10. 8. 1970, p. 5.



▼B

Estados miembros sobre los salientes exteriores de los vehículos de motor<sup>(1)</sup>, y 76/115/CEE del Consejo, de 18 de diciembre de 1975, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los anclajes de los cinturones de seguridad de los vehículos a motor<sup>(2)</sup>, y a la norma ISO 6487:1987;

Considerando que los requisitos técnicos de la presente Directiva se basan en el documento TRANS/SC1/WP29/396 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas,

HA ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

*Artículo 1*

A efectos de la presente Directiva, la definición de «vehículo» será la incluida en el artículo 2 de la Directiva 70/156/CEE.

*Artículo 2*

1. Los Estados miembros no podrán, por motivos relacionados con la protección de los ocupantes de los vehículos en caso de colisión lateral:

- denegar, respecto de un tipo de vehículo, la homologación CE o nacional,
- prohibir la matriculación, venta o puesta en circulación de un vehículo,

si cumple los requisitos de la presente Directiva.

2. A partir del 1 de octubre de 1998, los Estados miembros dejarán de conceder:

- la homologación CE de un tipo de vehículo, de conformidad con el artículo 4 de la Directiva 70/156/CEE,
- la homologación nacional de un tipo de vehículo,

salvo que el vehículo cumpla los requisitos de la presente Directiva.

3. El apartado 2 no se aplicará a los tipos de vehículos que no hayan sido homologados antes del 1 de octubre de 1998 en aplicación de lo dispuesto en dos cualesquiera de las Directivas siguientes: 70/387/CEE (cerraduras y bisagras), 74/483/CEE (salientes exteriores) y 76/115/CEE (anclaje de los cinturones de seguridad) ni, en su caso, a las ampliaciones ulteriores de dichas homologaciones.

4. A partir del 1 de octubre del año 2003, los Estados miembros deberán dejar de considerar válidos a los efectos de la aplicación del apartado 1 del artículo 7 de la Directiva 70/156/CEE los certificados de conformidad que acompañen a los vehículos nuevos de conformidad con lo dispuesto en dicha Directiva, cuando no certifiquen la conformidad de los vehículos a las disposiciones de los Anexos de la presente Directiva.

*Artículo 3*

En la parte I del Anexo IV de la Directiva 70/156/CEE el cuadro se completará del siguiente modo:

Asunto	Número de Directivas	Referencia del Diario Oficial n°	Aplicable a											
			M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>		
54. Resistencia a la colisión lateral	►C1 96/27/CE	L 169 de 8. 7. 1996, p. 1 ◀	×			×								

(<sup>1</sup>) DO n° L 266 de 2. 10. 1974, p. 4. Directiva cuya última modificación la constituye la Directiva 87/354/CEE (DO n° L 192 de 11. 7. 1987, p. 43).

(<sup>2</sup>) DO n° L 24 de 30. 1. 1976, p. 6. Directiva cuya última modificación la constituye la Directiva 90/629/CEE de la Comisión (DO n° L 341 de 6. 12. 1990, p. 14).



▼B

*Artículo 4*

En el marco de la adaptación de la presente Directiva al progreso técnico, la Comisión efectuará una revisión en el plazo de dos años desde la fecha mencionada en el apartado 2 del artículo 2. Ésta se basará en una revisión de los criterios técnicos y, en concreto, de la norma de viscosidad, la posición del asiento delantero y la altura de la barrera. Entre otros, los criterios de revisión incluirán datos estadísticos sobre accidentes, resultados de los ensayos entre vehículos a escala real y consideraciones de rentabilidad. La revisión examinará los avances potenciales en la protección del ►C1 ocupante ◄ y la viabilidad industrial de incrementar la altura de la barrera. Los resultados de esta revisión se comunicarán al Parlamento Europeo y al Consejo en un informe de la Comisión.

*Artículo 5*

1. Los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para cumplir la presente Directiva el 20 de mayo de 1997 a más tardar. Informarán inmediatamente de ello a la Comisión.

Cuando los Estados miembros adopten dichas disposiciones, éstas harán referencia a la presente Directiva o irán acompañadas de dicha referencia en su publicación oficial. Los Estados miembros establecerán las modalidades de la mencionada referencia.

2. Los Estados miembros comunicarán a la Comisión el texto de las disposiciones básicas de Derecho interno que adopten en el ámbito regulado por la presente Directiva.

*Artículo 6*

La presente Directiva entrará en vigor el vigésimo día siguiente al de su publicación en el *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*.

*Artículo 7*

Los destinatarios de la presente Directiva serán los Estados miembros.



## ▼B

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO I	<i>Disposiciones administrativas de la homologación</i>
	1. Solicitud de homologación CE
	2. Homologación CE
	3. Modificación del tipo y de la homologación
	4. Conformidad de la producción
	Apéndice 1: ficha de características
	Apéndice 2: certificado de homologación CE
ANEXO II	<i>Requisitos técnicos</i>
	1. Ámbito de aplicación
	2. Definiciones
	3. Especificaciones y ensayos
	Apéndice 1: Procedimiento de ensayo de colisión
	Apéndice 2: Características de la barrera deformable móvil
	Apéndice 3: Descripción técnica del maniquí de colisión lateral
	Apéndice 4: Instalación del maniquí de colisión lateral
	Apéndice 5: Ensayo parcial



▼B

ANEXO I

DISPOSICIONES ADMINISTRATIVAS DE LA HOMOLOGACIÓN

1. **SOLICITUD DE HOMOLOGACIÓN CE**
  - 1.1. De conformidad con el apartado 4 del artículo 3 de la Directiva 70/156/CEE, será el fabricante quien presente la solicitud de homologación CE de la protección de los ocupantes de los vehículos a motor en caso de colisión lateral de un tipo de vehículo.
  - 1.2. El modelo de la ficha de características figura en el Apéndice 1.
  - 1.3. Se entregará un vehículo representativo del tipo que se quiera homologar al servicio técnico responsable de los ensayos de homologación.
  - 1.4. El fabricante tendrá derecho a presentar cualesquiera datos y resultados de los ensayos que haya realizado que permitan verificar con un grado suficiente de fiabilidad que pueden cumplirse los requisitos.
2. **HOMOLOGACIÓN CE**
  - 2.1. Si se cumplen los requisitos pertinentes, se concederá la homologación CE con arreglo al apartado 3 del artículo 4 o, en su caso, con arreglo al apartado 4 del mismo artículo de la Directiva 70/156/CEE.
  - 2.2. En el Apéndice 2 figura el modelo del certificado de homologación CE.
  - 2.3. De conformidad con el Anexo VII de la Directiva 70/156/CEE, se asignará un número de homologación a cada tipo de vehículo homologado. Un mismo Estado miembro no podrá asignar ese mismo número a otro tipo de vehículo.
  - 2.4. En caso de duda, se tendrán en cuenta, al verificar si el vehículo cumple los requisitos de la presente Directiva, cualesquiera datos y resultados de los ensayos realizados por el fabricante que puedan tomarse en consideración para validar los ensayos de homologación realizados por el organismo responsable de ésta.
3. **MODIFICACIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN**
  - 3.1. En caso de modificarse una homologación concedida con arreglo a la presente Directiva, se aplicará lo dispuesto en el artículo 5 de la Directiva 70/156/CEE.
  - 3.2. Toda modificación del vehículo que afecte a la forma de la estructura de éste o suponga un aumento de su masa superior al 8 %, y que tenga, a juicio del organismo responsable de la homologación, una influencia marcada en los resultados de los ensayos, exigirá la repetición de los ensayos con arreglo al Apéndice 1 del Anexo II.
  - 3.3. Si el servicio técnico, previa consulta al fabricante del automóvil, considera que las modificaciones del tipo de vehículo son insuficientes para justificar la repetición completa del ensayo, podrá realizarse uno parcial. Será este el caso cuando la masa de referencia no varíe en más de un 8 % respecto de la del vehículo original y si el número de asientos delanteros permanece invariable. La modificación del tipo de asiento o del acondicionamiento interior no entraña necesariamente un nuevo ensayo completo. En el Apéndice 5 del Anexo II se presenta un ejemplo de cómo resolver una situación semejante.
4. **CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN**
  - 4.1. Como norma general, las medidas para garantizar la conformidad de la producción se tomarán de conformidad con lo dispuesto en el artículo 10 de la Directiva 70/156/CEE.



▼B

Apéndice I

Ficha de características nº ...

de conformidad con el Anexo I de la Directiva 70/156/CEE del Consejo<sup>(1)</sup> relativa a la homologación de vehículos a motor y de sus remolques en lo que se refiere a la protección de los ocupantes de los vehículos a motor en caso de colisión lateral.

Si procede aportar la información que figura a continuación, ésta se presentará por triplicado e irá acompañada de una lista de los elementos incluidos. Los planos, en su caso, se presentarán a la escala adecuada, suficientemente detallados y en formato A4 o doblados de forma que se ajusten a dicho formato. Las fotografías, si las hubiere, serán suficientemente detalladas.

Si los sistemas, componentes o unidades técnicas independientes tienen funciones controladas electrónicamente, se suministrará información sobre sus prestaciones.

0. GENERALIDADES
  - 0.1. Marca (razón social del fabricante): .....
  - 0.2. Tipo y denominación(es) comercial(es) general(es): .....
  - 0.3. Medio de identificación del tipo de vehículo, si va marcado en éste<sup>(b)</sup>: .....
  - 0.3.1. Emplazamiento de estas marcas: .....
  - 0.4. Categoría de vehículo<sup>(c)</sup>: .....
  - 0.5. Nombre y dirección del fabricante: .....
  - 0.8. Dirección(es) de la(s) planta(s) de montaje: .....
1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE FABRICACIÓN DEL VEHÍCULO
  - 1.1. Fotografías y/o planos de un vehículo tipo: .....
  - 1.6. Emplazamiento y disposición del motor: .....
  2. MASAS Y DIMENSIONES<sup>(d)</sup> (kg y mm) (en su caso, referencia a los planos) .....
  - 2.4. Gama de dimensiones del vehículo (solo): .....
  - 2.4.2. Bastidores carrozados: .....
  - 2.4.2.1. Longitud<sup>(e)</sup>: .....
  - 2.4.2.2. Anchura<sup>(f)</sup>: .....
  - 2.4.2.6. Distancia al suelo (según la definición del punto 4.5.4 de la Sección A del Anexo II): .....
  - 2.4.2.7. Distancia entre ejes: .....
  - 2.6. Masa del vehículo carrozado en orden de marcha, o masa del bastidor con cabina, si el fabricante no suministra la carrocería (incluidos el líquido de refrigeración, los lubricantes, el combustible, las herramientas, la rueda de repuesto y el conductor)<sup>(g)</sup> (masa máxima y masa mínima de cada versión): .....
  - 2.6.1. Distribución de dicha masa entre los ejes y, en caso de un semirremolque con eje central, la carga en el punto de acoplamiento (masa máxima y masa mínima de cada versión): .....
9. CARROCERÍA
  - 9.1. Tipo de carrocería: .....
  - 9.2. Material y métodos de fabricación: .....
  - 9.3. Puertas de los ocupantes, cerraduras y bisagras: .....
  - 9.3.1. Configuración y número de puertas: .....
  - 9.3.1.1. Dimensiones, sentido y ángulo máximo de apertura: .....

<sup>(1)</sup> Los números de los puntos y las notas a pie de página empleados en la presente ficha de características corresponden a los que se utilizan en el Anexo I de la Directiva 70/156/CEE. Se han omitido los puntos que no guardan relación con el propósito de la presente Directiva.



▼B

- 9.3.2. Plano de las cerraduras y bisagras y de su posición en las puertas: .....
- 9.3.3. Descripción técnica de las cerraduras y bisagras: .....
- 9.10. Acondicionamiento interior: .....
- 9.10.3. Asientos: .....
- 9.10.3.1. Número: .....
- 9.10.3.2. Emplazamiento y disposición: .....
- 9.10.3.3. Masa: .....
- 9.10.3.4. Características: descripción y planos: .....
- 9.10.3.4.1. de los asientos y de sus puntos de anclaje: .....
- 9.10.3.4.2. del sistema de ajuste: .....
- 9.10.3.4.3. de los sistemas de desplazamiento y bloqueo: .....
- 9.10.3.4.4. de los puntos de anclaje del cinturón de seguridad (si están incorporados a la estructura del asiento): .....
- 9.10.3.5. Coordenadas o plano del punto R (\*): .....
- 9.10.3.5.1. Asiento del conductor: .....
- 9.10.3.6. Inclinación prevista del respaldo: .....
- 9.10.3.6.1. Asiento del conductor: .....
- 9.10.3.7. Gama de ajuste del asiento: .....
- 9.10.3.7.1. Asiento del conductor: .....
- 9.12. Cinturones de seguridad u otros sistemas de retención: .....
- 9.12.1. Número y localización de los cinturones de seguridad y sistemas de retención, y asientos sobre los cuales pueden utilizarse:  
►<sup>(1)</sup> (R = asiento derecho, C = asiento central, L = asiento izquierdo) ◀

R/C/L	Marca completa de homologación CE	Variante (en su caso)
	Primera fila de asientos Segunda fila de asientos, etc. Dispositivo opcional (por ejemplo, ajuste de la altura de los asientos, dispositivo de pretensado, etc.)	

- 9.12.2. Número y emplazamiento de los puntos de anclaje de los cinturones de seguridad, prueba de su conformidad con la Directiva 76/115/CEE, modificada (es decir, número de homologación o acta del ensayo): .....
- 9.21. La resistencia al impacto lateral .....
- 9.21.1. Una descripción detallada, con inclusión de las fotografías o planos, del tipo de vehículo por lo que respecta a su estructura, dimensiones, concepción y materiales constitutivos, de los laterales del habitáculo (exterior e interior), incluidas precisiones sobre el sistema de protección, en su caso: .....

Fecha, expediente

►<sup>(1)</sup>C1





## ▼B

## Apéndice 2

## MODELO

[formato máximo: A4 (210 × 297 mm)]

## CERTIFICADO DE HOMOLOGACIÓN

SELLO DE LA  
ADMINISTRACIÓN

Comunicación relativa a:

- homologación,
- extensión de homologación<sup>(1)</sup>,
- denegación de homologación<sup>(1)</sup>,
- retirada de homologación<sup>(1)</sup>,

de un tipo de vehículo/componente/unidad técnica independiente<sup>(1)</sup> en virtud de la Directiva .../CE, cuya última modificación la constituye la Directiva .../CE<sup>(1)</sup>.

Número de homologación: .....

Motivos de la extensión: .....

## SECCIÓN I

- 0.1. Marca (razón social del fabricante): .....
- 0.2. Tipo y denominación comercial general: .....
- 0.3. Medios de identificación del tipo de vehículo/componente/unidad técnica independiente<sup>(1)</sup><sup>(2)</sup>, si están marcados en éste: .....
- 0.3.1. Emplazamiento de estas marcas: .....
- 0.4. Categoría de vehículo<sup>(3)</sup>: .....
- 0.5. Nombre y dirección del fabricante: .....
- 0.7. Emplazamiento y forma de colocación de la marca de homologación CE en componentes y unidades técnicas independientes: .....
- 0.8. Dirección(es) de la(s) planta(s) de montaje: .....

## SECCIÓN II

1. Información complementaria (si procede) (véase la Adenda): .....
2. Servicio técnico encargado de la realización de los ensayos: .....
3. Fecha del acta del ensayo: .....
4. Número del acta del ensayo: .....
5. Observaciones (si las hubiere) (véase la Adenda): .....
6. Lugar: .....
7. Fecha: .....
8. Firma: .....
9. Se adjunta el índice del expediente de homologación en posesión de ►<sup>(1)</sup> la autoridad encargada de la homologación◄, el cual puede obtenerse a petición del interesado.

<sup>(1)</sup> Táchese lo que no proceda.

<sup>(2)</sup> Si el medio de identificación del tipo contiene caracteres no pertinentes para la descripción del tipo de vehículo, componente o unidad técnica independiente incluidos en el presente certificado de homologación, tales caracteres se sustituirán en la documentación por el símbolo «?» (por ejemplo: ABC??123??).

<sup>(3)</sup> Según se define en el Anexo II A de la Directiva 70/156/CEE.

►<sup>(1)</sup>C1





## ▼B

## ADENDA

del certificado de homologación CE nº ...  
relativo a la homologación CE de un vehículo conforme a la Directiva .../.../CE

1. Información complementaria
  - 1.1. Descripción sucinta de la estructura, dimensiones, líneas y materiales del tipo de vehículo: .....
  - 1.2. Descripción del sistema de protección instalado en el habitáculo: .....
  - 1.3. Descripción de las disposiciones y accesorios interiores que pudieran influir en el ensayo: .....
  - 1.4. Emplazamiento del motor: delantero/trasero/central<sup>(1)</sup>: .....
  - 1.5. Tracción: delantera/trasera<sup>(1)</sup>: .....
  - 1.6. Masa del vehículo presentado a ensayo:  
Eje delantero: .....  
Eje trasero: .....  
Total: .....
2. Tipo de barrera utilizada para el ensayo de homologación: .....
5. Observaciones (por ejemplo, válido tanto para vehículos con el puesto de conducción a la derecha como a la izquierda)

<sup>(1)</sup> Táchese lo que no proceda.



▼B

ANEXO II

REQUISITOS TÉCNICOS

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN  
La presente Directiva se aplicará al comportamiento en caso de colisión lateral de la estructura del habitáculo de los vehículos a motor de las categorías M<sub>1</sub> y N<sub>1</sub>, cuyo punto R del asiento más bajo esté, como máximo, a 700 mm del nivel del suelo cuando el vehículo esté en las condiciones correspondientes a la masa de referencia definida en el punto 2.10, salvo los vehículos de fabricación multifásica y los fabricados en cantidades que no superen las fijadas para las series cortas.
2. DEFINICIONES  
Para los fines de la presente Directiva se entenderá por:
  - 2.1. «Homologación del vehículo», la homologación de un tipo de vehículo respecto del comportamiento de la estructura del habitáculo en caso de colisión lateral;
  - 2.2. «Tipo de vehículo», los vehículos a motor que no difieran entre sí en aspectos esenciales como:
    - 2.2.1. la longitud, anchura y distancia al suelo del vehículo, en la medida en que repercutan negativamente en las prestaciones prescritas en la presente Directiva,
    - 2.2.2. la estructura, dimensiones, líneas y materiales de los laterales del habitáculo, en la medida en que repercutan negativamente en las prestaciones prescritas en la presente Directiva,
    - 2.2.3. las líneas y las dimensiones interiores del habitáculo y el tipo de sistema de protección, en la medida en que repercutan negativamente en las prestaciones prescritas en la presente Directiva,
    - 2.2.4. el emplazamiento (delantero, trasero o central) del motor,
    - 2.2.5. la masa en vacío, en la medida en que repercuta negativamente en las prestaciones prescritas en la presente Directiva,
    - 2.2.6. las opciones y accesorios opcionales de acondicionamiento interior, en la medida en que repercutan negativamente en las prestaciones prescritas en la presente Directiva,
    - 2.2.7. el tipo de asientos delanteros y la posición del punto R, en la medida en que repercutan negativamente en las prestaciones prescritas en la presente Directiva;
  - 2.3. «Habitáculo», el espacio destinado a acomodar a los ocupantes y delimitado por el techo, el suelo, los laterales, las puertas, el acristalamiento exterior, la mampara delantera y el plano de la mampara del compartimento trasero o el plano de soporte del respaldo del asiento trasero;
  - 2.4. Punto «R» o «punto de referencia de cada asiento», el punto de referencia establecido por el fabricante que:
    - 2.4.1. tenga unas coordenadas determinadas en relación con la estructura del vehículo,
    - 2.4.2. se corresponda con la posición teórica del punto de rotación torso/muslos (punto H) para la posición de conducción normal más baja y más retrasada o la posición de utilización dada por el fabricante del automóvil para cada posición del asiento especificada;
  - 2.5. Punto «H», el punto definido según la Directiva 77/649/CEE;
  - 2.6. «Capacidad del depósito de combustible», la capacidad del depósito de combustible especificada por el fabricante del vehículo;
  - 2.7. «Plano transversal», el plano vertical perpendicular al plano vertical longitudinal medio del vehículo;
  - 2.8. «Sistema de protección», los dispositivos destinados a sujetar o proteger a los ocupantes;
  - 2.9. «Tipo de sistema de protección», la categoría de dispositivos de protección que no difieran entre sí en aspectos esenciales como:  
la tecnología,  
la geometría,  
los materiales constituyentes;
  - 2.10. «Masa de referencia», la masa en vacío del vehículo más una masa de 100 kg (equivalente a la masa del maniquí de colisión lateral con su instrumentación);



▼B

- 2.11. «Masa en vacío», la masa del vehículo en disposición de marcha sin conductor, pasajeros ni carga, pero con el depósito de combustible lleno hasta el 90 % de su capacidad y con el juego habitual de herramientas y rueda de repuesto a bordo, si ha lugar;
- 2.12. «Barrera deformable móvil», el aparato que impacta contra el vehículo; consiste en un carro y un impactador;
- 2.13. «Impactador», la sección aplastable montada en la parte delantera de la barrera deformable móvil;
- 2.14. «Carro», el bastidor rodante que se desplaza sobre su eje longitudinal en el punto de impacto y cuya parte delantera acoge el impactador;
- 2.15. «Fabricación multifásica», el procedimiento de fabricación por el que dos o más fabricantes participan separada y consecutivamente en la fabricación de un vehículo.

3. ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS

- 3.1. El vehículo será sometido a ensayo con arreglo al Apéndice 1 del presente Anexo

- 3.1.1. El ensayo se llevará a cabo en el lado del conductor, salvo cuando existan estructuras laterales asimétricas que puedan afectar al comportamiento en caso de una colisión lateral, en cuyo caso se recurrirá a una de las alternativas de los puntos 3.1.1.1 o 3.1.1.2 previo acuerdo entre el fabricante y el servicio responsable del ensayo.

- 3.1.1.1. El fabricante facilitará al organismo competente en materia de homologación la información pertinente sobre la compatibilidad de las prestaciones en comparación con el lado del conductor cuando el ensayo se efectúe en tal lado.

- 3.1.1.2. El organismo competente en materia de homologación, si le presenta dudas la fabricación del vehículo, decidirá la realización del ensayo en el lado opuesto al del conductor, que se considerará el más desfavorable.

- 3.1.2. El servicio responsable del ensayo, previa consulta del fabricante, exigirá la realización del ensayo con el asiento en una posición distinta de la indicada en el punto 5.5.1 del Apéndice 1<sup>(1)</sup>. Esta posición se precisará en el informe de ensayo.

- 3.1.3. El resultado del presente ensayo se considerará satisfactorio cuando se cumplan los requisitos especificados en los puntos 3.2 y 3.3.

3.2. Criterios de referencia

- 3.2.1. Los criterios de referencia que se determinan para el ensayo de colisión de conformidad con la Adenda al Apéndice 1 del presente Anexo deberán ajustarse a las siguientes condiciones:

- 3.2.1.1. Los criterios de referencia en el ensayo de resistencia de la cabeza (HPC) será inferior o igual a 1 000; cuando no haya contacto con la cabeza, el HPC no se medirá ni calculará, sino que se registrará como «Sin contacto con la cabeza».

- 3.2.1.2. El criterio de referencia en el ensayo de resistencia de la caja torácica será:

- a) en el caso del criterio de deformación de la caja torácica (RDC), inferior o igual a 42 mm;
- b) en el caso del criterio relativo a las vísceras (V\*C), inferior o igual a 1,0 m/s.

Durante un período transitorio de dos años a contar desde la fecha señalada en el apartado 2 del artículo 2 de la presente Directiva, el valor V\*C no se considerará un valor determinante de la aptitud o no del ensayo de homologación, sino que el organismo competente en materia de homologación deberá mencionarlo y registrarlo en el informe de ensayo. Pasado el período transitorio, el valor V\*C de 1,0 m/s se considerará un criterio determinante de apto/no apto, a menos que sea aprobado otro valor por el Comité de adaptación al progreso técnico o mientras que no se apruebe otro.

- 3.2.1.3. El criterio de referencia en el ensayo de resistencia de la pelvis será:

La fuerza máxima de la sínfisis púbica (PSPF)-inferior o igual a 6 kN.

- 3.2.1.4. El criterio de referencia en el ensayo de resistencia del abdomen será:

La fuerza máxima del abdomen (APF)-inferior o igual a 2,5 kN de fuerza interna (equivalente a 4,5 kN de fuerza externa).

<sup>(1)</sup> Hasta el 30 de septiembre del año 2000, a efectos de los requisitos de ensayo, la gama de ajustes longitudinales normales se limitará de tal modo que el punto H quede comprendido en la longitud de la apertura de la puerta.



▼B

- 3.3. *Requisitos particulares*
- 3.3.1. Durante el ensayo no deberá abrirse puerta alguna.
- 3.3.2. Después de la colisión deberá ser posible, sin utilizar herramientas:
  - 3.3.2.1. abrir un número suficiente de puertas previstas para la entrada y salida normal de los ocupantes y, si procede, inclinar los respaldos de los asientos o los propios asientos para evacuar a todos los ocupantes;
  - 3.3.2.2. liberar al maniquí del sistema de protección;
  - 3.3.2.3. extraer al maniquí del vehículo.
- 3.3.3. Ningún componente ni dispositivo interior deberá desprenderse de tal forma que aumente manifiestamente el riesgo de lesión por proyección de objetos cortantes o afilados.
- 3.3.4. Se admiten las roturas como consecuencia de la deformación permanente, siempre que no aumenten el riesgo de lesión.
- 3.3.5. Si se produjera una fuga continua de líquido del circuito de alimentación de combustible después de la colisión, el índice de fuga no deberá superar los  $5 \times 10^{-4}$  kg/s; si el líquido del circuito de alimentación de combustible se mezcla con líquidos de otros circuitos y no pudieran separarse ni distinguirse fácilmente unos de otros, se tendrán en cuenta todos ellos al evaluar la fuga continua.



▼B

Apéndice 1

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE COLISIÓN

1. INSTALACIONES

1.1. *Terreno de ensayo*

El área de ensayo será lo suficientemente amplia como para dar cabida al sistema de propulsión de la barrera deformable móvil y para permitir el desplazamiento, tras la colisión, del vehículo impactado y la instalación técnica necesaria para el ensayo. La parte en que tengan lugar la colisión y el desplazamiento del vehículo será horizontal, plana y regular, y representativa de una calzada normal, seca y regular.

2. CONDICIONES DE ENSAYO

2.1. El vehículo sometido a ensayo se encontrará inmóvil.

2.2. La barrera deformable móvil poseerá las características que figuran en el Apéndice 2 del Anexo II. Los requisitos del ensayo figuran en la Adenda al Apéndice 2. La barrera deformable móvil irá equipada con un dispositivo adecuado que evite una segunda colisión con el vehículo impactado.

2.3. La trayectoria del plano medio vertical longitudinal de la barrera deformable móvil será perpendicular al plano medio vertical longitudinal del vehículo impactado.

2.4. El plano medio vertical longitudinal de la barrera deformable móvil coincidirá, dentro de un margen de  $\pm 25$  mm, con un plano vertical transversal que atraviese el punto R del asiento delantero situado en el lado de impacto del vehículo sometido a ensayo. El plano medio horizontal limitado por los planos verticales laterales externos de la parte delantera se encontrará, en el momento de la colisión, entre dos planos determinados antes del ensayo y situados a 25 mm por encima y debajo del plano definido anteriormente.

2.5. Los equipos de medición cumplirán la norma ISO 6487:1987, salvo especificación en contrario en la presente Directiva.

2.6. La temperatura estabilizada del maniquí de ensayo en el momento del ensayo de colisión lateral será de  $22 \pm 4$  °C.

3. VELOCIDAD DE ENSAYO

La velocidad de la barrera deformable móvil en el momento del impacto será de  $50 \pm 1$  km/h. Dicha velocidad deberá ser estable al menos 0,5 m antes del impacto. Exactitud de la medición: 1 %. Sin embargo, si el ensayo se efectuara a mayor velocidad de impacto y el vehículo cumple los requisitos, se considerará que los resultados son satisfactorios.

4. ESTADO DEL VEHÍCULO

4.1. *Requisito general*

El vehículo de ensayo será representativo de la producción en serie, incluirá todo el equipamiento normal y estará en condiciones de funcionamiento normal. Se podrá omitir algún componente o sustituirlo por su masa equivalente cuando sea evidente que tal omisión o sustitución no afecta a los resultados obtenidos en el ensayo.

4.2. *Especificación del equipamiento del vehículo*

El vehículo de ensayo irá provisto de todos los dispositivos y acondicionamientos opcionales que puedan influir en los resultados del ensayo.

4.3. *Masa del vehículo*

4.3.1. La masa del vehículo durante el ensayo será la masa de referencia definida en el punto 2.10 del Anexo II de la presente Directiva y se ajustará a la masa de referencia  $\pm 1$  %.

4.3.2. El depósito de combustible estará lleno de una masa de agua igual al 90 % de la masa del depósito lleno especificada por el fabricante.

4.3.3. Los demás circuitos (frenos, refrigeración, etc.) podrán estar vacíos; en tal caso, se compensará la masa de los líquidos.

4.3.4. En caso de que la masa de los aparatos de medición dentro del vehículo sea superior a los 25 kg autorizados, podrá compensarse mediante reducciones que no afecten a los resultados del ensayo.

4.3.5. La masa de los aparatos de medición no modificará la carga de referencia de los ejes en más del 5 %; cada variación en ningún caso será superior a 20 kg.



▼B

5. PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO
  - 5.1. Las ventanillas laterales permanecerán cerradas, al menos las del lado impactado.
  - 5.2. Las puertas estarán cerradas, pero no con llave.
  - 5.3. La transmisión estará en punto muerto y el freno de estacionamiento desactivado.
  - 5.4. De existir, los ajustes de comodidad de los asientos estarán en la posición especificada por el fabricante del vehículo.
  - 5.5. El asiento que acoja al maniquí y los elementos regulables del asiento se ajustarán como sigue:
    - 5.5.1. El dispositivo de regulación longitudinal se colocará con el dispositivo de bloqueo activado en la posición más próxima a la posición intermedia entre la posición más avanzada y la más alejada; si tal posición estuviera situada entre dos muescas, se elegirá la muesca más atrasada de ambas.
    - 5.5.2. El apoyacabezas estará regulado de tal forma que su superficie superior esté en el mismo nivel que el centro de gravedad de la cabeza del maniquí; cuando no sea posible, el apoyacabezas estará fijo en su posición más elevada.
    - 5.5.3. Salvo especificación en contrario del fabricante, el respaldo estará situado de tal modo que la línea de referencia del torso de la máquina tridimensional del punto H esté en un ángulo de  $25 \pm 1^\circ$  respecto de la parte posterior.
    - 5.5.4. Todos los demás ajustes estarán en el punto medio del recorrido; no obstante, la regulación de la altura estará en la posición correspondiente al asiento fijo, si el tipo de vehículo está provisto de asientos ajustables y fijos. De no existir posiciones de bloqueo en la respectiva posición intermedia, se utilizarán las posiciones inmediatamente anterior, posterior o exterior del punto intermedio. En cuanto a la regulación de la rotación (inclinación), la posición anterior será la dirección de ajuste que desplace la cabeza del maniquí hacia atrás. Si el maniquí excede el volumen normal de un pasajero, por ejemplo por tener la cabeza en contacto con el techo, deberá dejarse un espacio intermedio de 10 mm, ya sea modificando (por este orden) los ajustes secundarios, el ángulo del respaldo del asiento o el desplazamiento del asiento hacia delante o detrás.
  - 5.6. Salvo especificación en contrario del fabricante, los demás asientos delanteros estarán regulados, en lo posible, en la misma posición que el asiento en que se instale el maniquí.
  - 5.7. En caso de ser regulable, el volante estará en la posición intermedia del recorrido disponible.
  - 5.8. Los neumáticos estarán hinchados con la presión que indique el fabricante del vehículo.
  - 5.9. El vehículo de ensayo estará en posición horizontal respecto de su eje de balanceo y se fijará con calzos en tal posición hasta que el maniquí de colisión lateral esté colocado y hasta que hayan terminado todos los preparativos.
  - 5.10. El vehículo estará en su estado normal correspondiente a las condiciones especificadas en el punto 4.3. Los vehículos provistos de suspensión de altura regulable se ensayarán en las condiciones normales de uso a 50 km/h según defina el fabricante del vehículo. Para ello se reforzará la sujeción, si es necesario, por medio de más calzos; dichos calzos no deberán influir en el comportamiento del vehículo de ensayo durante el impacto.
6. EL MANIQUÍ UTILIZADO EN ENSAYOS DE COLISIÓN LATERAL Y SU INSTALACIÓN
  - 6.1. El maniquí de colisión lateral deberá cumplir las especificaciones que figuran en el Apéndice 3, y deberá instalarse en el asiento delantero del lado impactado con arreglo al procedimiento señalado en el Apéndice 4 del presente Anexo.
  - 6.2. Deberá hacerse uso de los cinturones de seguridad o de los otros sistemas de retención especificados para el vehículo. Los cinturones serán de un tipo homologado de conformidad con la Directiva 77/541/CEE e irán montados en anclajes de conformidad con la Directiva 76/115/CEE.
  - 6.3. El cinturón de seguridad o sistema de retención se regulará de modo que se ajuste al maniquí con arreglo a las especificaciones del fabricante; de no haberlas, el ajuste de altura, de existir, estará situado en su posición intermedia; de no existir tal posición, se utilizará la inmediatamente inferior.
7. MEDICIONES QUE SE EFECTUARÁN EN EL MANIQUÍ DE COLISIÓN LATERAL
  - 7.1. Se registrarán las lecturas de los dispositivos de medición siguientes:
    - 7.1.1. Mediciones en la cabeza del maniquí



▼**B**

La aceleración triaxial resultante estará referida al centro de gravedad de la cabeza. La instrumentación del canal de la cabeza deberá ajustarse a la norma ISO 6487:1987, con:

CFC: 1 000 Hz y

CAC: 150 g.

7.1.2. Mediciones en el tórax del maniquí

Los tres canales de deformación de la caja torácica deberán ajustarse a la norma ISO 6487:1987, con:

CFC: 1 000 Hz y

CAC: 60 mm.

7.1.3. Mediciones en la pelvis del maniquí

► **C1** En el canal de medida del esfuerzo sobre la pelvis deberá ajustarse ◀ a la norma ISO 6487:1987, con:

CFC: 1 000 Hz y

CAC: 15 kN.

7.1.4. Mediciones en el abdomen del maniquí

► **C1** Los canales de medida ◀ del esfuerzo sobre el abdomen deberán ajustarse a la norma ISO 6487:1987, con:

CFC: 1 000 Hz y

CAC: 5 kN.





▼B

Apéndice 1 — Adenda 1

DETERMINACIÓN DE LOS DATOS DE COMPORTAMIENTO

Los resultados que deben arrojar los ensayos figuran en el punto 3.2 del Anexo II.

1. CRITERIO DE COMPORTAMIENTO DE LA CABEZA (HPC)

Cuando haya contacto con la cabeza, este criterio de comportamiento se calculará para la duración total entre el contacto inicial y el último instante de contacto.

La norma HPC es el máximo valor de la expresión:

$$(t_2 - t_1) \left[ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a \cdot dt \right]^{2,5}$$

en la que  $a$  es la aceleración resultante en el centro de gravedad de la cabeza ( $m/s^2$ ) dividida entre 9,81 y medida en función del tiempo y filtrada a una clase de frecuencia de 1 000 Hz;  $t_1$  y  $t_2$  son dos instantes temporales escogidos al azar que limitan el intervalo entre el contacto inicial de la cabeza y el último instante de contacto.

2. CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO DEL TÓRAX

2.1. Deformación de la caja torácica: la deformación máxima del tórax es el valor máximo de deformación en cualquier costilla según determinen los transductores de desplazamiento del tórax, filtrada a un canal de clase de frecuencia 180 Hz.

2.2. Criterio relativo a las vísceras: el resultado máximo de viscosidad es el valor máximo del  $V \cdot C$  en cualquier costilla calculado a partir del producto instantáneo de la compresión relativa del tórax respecto del semitórax y la velocidad de compresión derivada por diferenciación de la compresión, filtrada a un canal de clase de frecuencia asignada 180 Hz. A los efectos de dicho cálculo, la anchura normalizada de la mitad de la caja torácica será de 140 mm.

$$V \cdot C = \text{MAX} \left[ \left( \frac{D}{0,140} \right) \cdot \left( \frac{dD}{dt} \right) \right]$$

en la que  $D$  = deformación de las costillas (en m).

El algoritmo de cálculo que deberá utilizarse figura en la Adenda 2 del presente Apéndice.

3. CRITERIO DE PROTECCIÓN DEL ABDOMEN

El esfuerzo máximo sobre el abdomen es el valor máximo de la suma de las tres fuerzas medidas mediante transductores montados a 39 mm de distancia bajo la superficie del lado impactado, con una CFC de 600 Hz.

4. NORMA DE COMPORTAMIENTO DE LA SÍNFISIS PÚBLICA

El esfuerzo máximo sobre la sínfisis púbica es el valor máximo medido mediante una célula dinamométrica en la sínfisis púbica, filtrada a un canal de clase de frecuencia 600 Hz.



▼B

Apéndice 1 — Adenda 2

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL CRITERIO DE VISCOSIDAD ( $V^*C$ ) PARA EL MANIQUÍ UTILIZADO EN EL ENSAYO DE COLISIÓN LATERAL

El criterio de viscosidad se calcula como el producto instantáneo de la compresión y el índice de desviación del esternón. Ambos se derivan de la medición de la desviación del esternón.

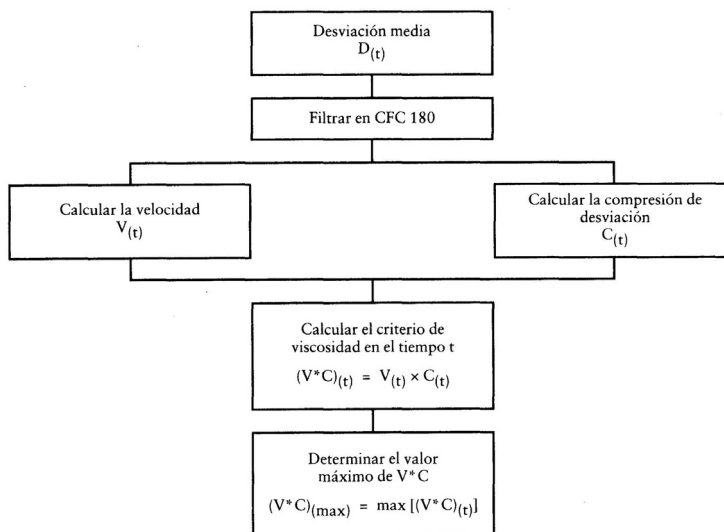
La respuesta a la desviación del esternón se filtra una vez en la clase de canal de frecuencia 180. La compresión en el tiempo  $t$  se calcula a partir de esta señal filtrada como:

$$C_{(t)} = \frac{D_{(t)}}{0,14}$$

La velocidad de desviación del esternón en el tiempo  $t$  se calcula a partir de la desviación filtrada como:

$$V_{(t)} = \frac{8 \times (D_{(t+1)} - D_{(t-1)}) - (D_{(t+2)} - D_{(t-2)})}{12 \delta t}$$

donde  $D_{(t)}$  es la desviación en el momento  $t$  en metros y  $\delta t$  es el intervalo de tiempo en segundos transcurrido entre las mediciones de la desviación. El valor máximo de  $\delta t$  será de  $1,25 \times 10^{-4}$  segundos. Este procedimiento de cálculo se muestra en el diagrama siguiente:





▼B

Apéndice 2

CARACTERÍSTICAS DE LA BARRERA DEFORMABLE MÓVIL

1. CARACTERÍSTICAS DE LA BARRERA
  - 1.1. La masa total será de  $950 \pm 20$  kg.
  - 1.2. La anchura de los ejes delantero y trasero del carro será de  $1\,500 \pm 10$  mm.
  - 1.3. La distancia entre ejes del carro será de  $3\,000 \pm 10$  mm.
  - 1.4. El centro de gravedad estará situado en un margen de 10 mm respecto del plano medio vertical longitudinal,  $1\,000 \pm 30$  mm detrás del eje frontal y  $500 \pm 30$  mm encima del suelo.
  - 1.5. La distancia entre la cara delantera del impactador y el centro de gravedad de la barrera será de  $2\,000 \pm 30$  mm.
2. CARACTERÍSTICAS DEL IMPACTADOR
  - 2.1. *Características geométricas*
    - 2.1.1. El impactador se compondrá de seis partes independientes juntas, cuyas formas, dimensiones y posiciones se presentan en la figura 1.
    - 2.1.2. La zona de impacto deformable tendrá un ancho de  $1\,500 \pm 10$  mm y una altura de  $500 \pm 5$  mm.
    - 2.1.3. La distancia al suelo de la barrera en la zona de impacto será de  $300 \pm 5$  mm medida en posición estática antes del impacto, con sujeción a lo dispuesto en el artículo 4 de la presente Directiva.
    - 2.1.4. Habrá seis elementos deformables, divididos en dos series de tres elementos. Todos los elementos tendrán la misma anchura ( $500 \pm 5$  mm) y la misma altura ( $250 \pm 3$  mm); los elementos de la serie superior tendrán una profundidad de  $440 \pm 5$  mm y los de la serie inferior  $500 \pm 5$  mm.
  - 2.2. *Características del material*

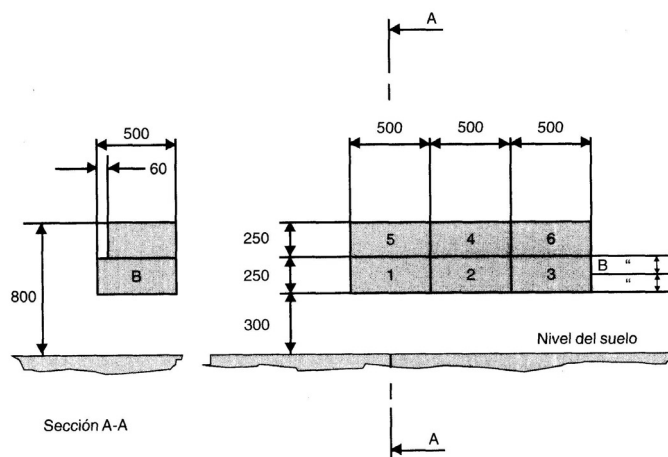
El material del impactador será una rejilla de aluminio en nido de abeja. Se podrán emplear otros materiales si se demuestra al servicio técnico la equivalencia de los resultados con los descritos en el apartado 2.3. En todo caso, debe indicarse el tipo de impactador en el informe de ensayo.
  - 2.3. *Características de deformación*
    - 2.3.1. Se autorizará una desviación de los límites de los corredores de esfuerzo-deformación que caracterizan la rigidez del impactador, descritos en la figura 2 del presente Apéndice, siempre que:
      - 2.3.1.1. la desviación que tiene lugar después de comenzar el impacto y antes de la deformación del impactador sea igual a 150 mm;
      - 2.3.1.2. la desviación no exceda del 50 % del límite instantáneo más próximo prescrito del corredor;
      - 2.3.1.3. cada desplazamiento correspondiente a cada desviación no exceda 35 mm de la deformación y la suma de dichos desplazamientos no exceda 70 mm (véase la figura 2), y
      - 2.3.1.4. la suma de la energía derivada de la desviación fuera del corredor no exceda del 5 % de la energía bruta de dicho bloque.
    - 2.3.2. Las partes 1 y 3 serán idénticas. Su rigidez será tal que sus respectivas curvas de esfuerzo-deformación coincidirán con el área rayada del gráfico 2a de la figura 2.
    - 2.3.3. Las partes 5 y 6 serán idénticas. Su rigidez será tal que sus respectivas curvas de esfuerzo-deformación coincidirán con el área rayada del gráfico 2d de la figura 2.
    - 2.3.4. La rigidez de la parte 2 será tal que su curva de esfuerzo-deformación coincidirá con el área rayada del gráfico 2b de la figura 2.
    - 2.3.5. La rigidez de la parte 4 será tal que su curva de esfuerzo-deformación coincidirá con el área rayada del gráfico 2c de la figura 2.
    - 2.3.6. La curva de esfuerzo-deformación del impactador en su conjunto deberá coincidir con el área rayada del gráfico 2e de la figura 2.
    - 2.3.7. Las curvas de esfuerzo-deformación se verificarán mediante el ensayo que se detalla en la Adenda al presente Apéndice y que consiste en un impacto contra una barrera dinamométrica a  $35 \pm 2$  km/h.

▼B

- 2.3.8. La energía disipada <sup>(1)</sup> contra las partes 1 y 3 durante el ensayo será de  $10 \pm 2$  kJ en cada una de dichas partes.
- 2.3.9. La energía disipada contra las partes 5 y 6 durante el ensayo será de  $3,5 \pm 1$  kJ en cada una de dichas partes.
- 2.3.10. La energía disipada contra la parte 4 será de  $4 \pm 1$  kJ.
- 2.3.11. La energía disipada contra la parte 2 será de  $14 \pm 2$  kJ.
- 2.3.12. La energía disipada total durante la colisión será de  $45 \pm 5$  kJ.
- 2.3.13. La deformación del impactador medida después del ensayo en el nivel B (figura 1) será igual a  $\blacktriangleright$  CI  $330 \pm 20$  mm  $\blacktriangleleft$ .

Figura 1

Diseño del impactador de la barrera deformable móvil



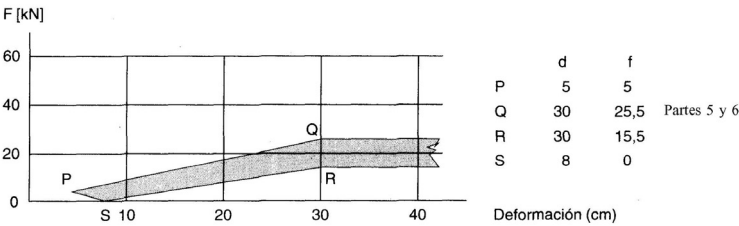
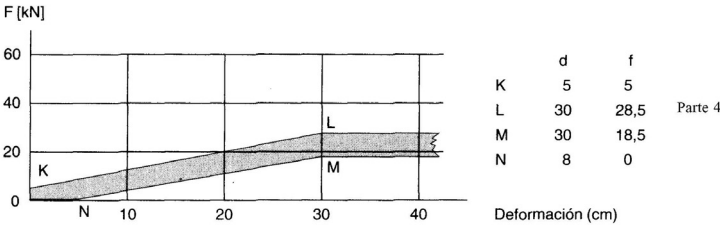
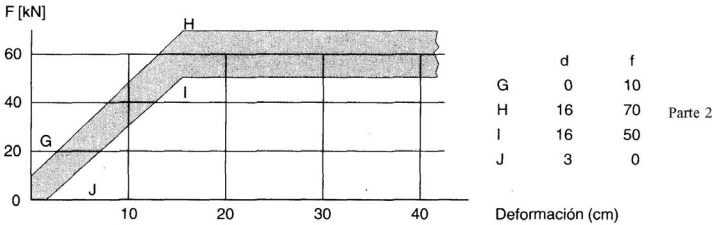
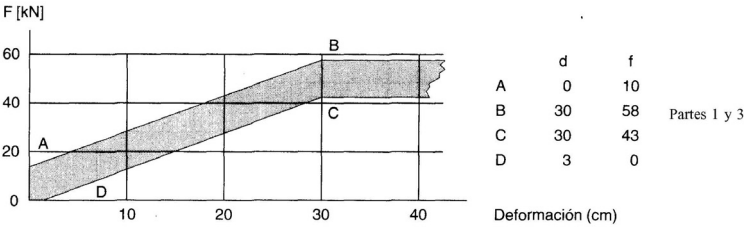
<sup>(1)</sup> Las cantidades energéticas indicadas son las cantidades de energía que disipa el sistema cuando es mayor la extensión en que es aplastado el impactador.



▼B

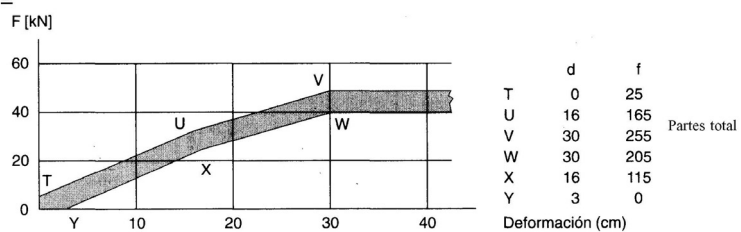
Figura 2

Curvas de esfuerzo-deformación





▼B



*Nota:* Durante el ensayo de verificación, las cargas medidas en las partes 1 y 3 y en las partes 5 y 6 respectivamente no podrán diferir en más de un 10 % con respecto a una deformación dada.



▼B

Apéndice 2 — Adenda

ESTUDIO DE LA BARRERA DEFORMABLE MÓVIL

1. OBJETO

Figura en esta Adenda la prescripción para el estudio de la barrera deformable móvil. Incumbe al servicio responsable del ensayo asegurarse de que la barrera deformable móvil cumple las especificaciones con ayuda de un ensayo contra una pared dinamométrica soportada por una barrera rígida fija.

2. INSTALACIÓN

2.1. *Terreno de ensayo*

El área de ensayo será lo suficientemente amplia como para dar cabida al recorrido de la barrera deformable móvil, la barrera rígida y la instalación técnica necesaria para el ensayo. La parte final del recorrido, al menos los últimos 5 m antes de la barrera rígida, será horizontal, plana y lisa.

2.2. *Barrera rígida fija y pared dinamométrica*

2.2.1. La barrera fija consistirá en un bloque de hormigón armado con un ancho frontal no inferior a 3 m y una altura no inferior a 1,5 m. El grosor de la barrera rígida será el necesario para que su peso sea de al menos 70 toneladas. La cara anterior estará en posición vertical, perpendicular al eje del recorrido y cubierta de células dinamométricas capaces de medir la carga total en cada parte del impactador de la barrera deformable móvil en el momento del impacto. Los puntos centrales de la placa de impacto estarán alineados con los de la barrera deformable móvil que se haya escogido, y sus bordes estarán a una distancia de 20 mm de las áreas adyacentes. El montaje de las células y las superficies de las placas se ajustarán a las especificaciones contenidas en la norma ISO 6487:1987. Cuando se añada una protección superficial, ésta no deberá degradar el rendimiento de los transductores.

2.2.2. La barrera rígida estará o bien anclada en el suelo o bien colocada en el suelo, si ha lugar, mediante dispositivos de sujeción adicionales para impedir su desplazamiento. Se podrá utilizar una barrera rígida con células dinamométricas de características distintas, pero que arrojen unos resultados que sean al menos igual de concluyentes.

3. PROPULSIÓN DE LA BARRERA DEFORMABLE MÓVIL

En el momento del impacto, la barrera deformable móvil deberá dejar de estar sometida a la acción de cualquier dispositivo adicional conductor o propulsor. Alcanzará el obstáculo en un recorrido perpendicular a la barrera de colisión. La alineación del impacto se ajustará con una precisión de 10 mm.

4. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

4.1. *Velocidad*

La velocidad de impacto será de  $35 \pm 2$  km/h. El instrumento empleado para medir la velocidad de impacto tendrá una precisión del 1 %.

4.2. *Cargas*

Los instrumentos de medición se ajustarán a las especificaciones que figuran en la norma ISO 6487:1987, con:

CFC para todas las partes = 60 Hz,  
CAC para las partes 1 y 3 = 120 kN,  
CAC para las partes 4, 5 y 6 = 60 kN,  
CAC para la parte 2 = 140 kN.

4.3. *Aceleración*

La aceleración en dirección longitudinal se medirá en un punto no sujeto a deformación. La instrumentación se ajustará a la norma ISO 6487:1987 con las especificaciones siguientes:

CFC: 1 000 Hz (antes de integración),  
CFC: 60 Hz (después de integración),  
CAC: 50 g.

5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA BARRERA

5.1. Los rasgos particulares de cada barrera se ajustarán al apartado 1 del Apéndice 2 y serán registrados.



**▼B**

6. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TIPO DE IMPACTADOR
- 6.1. La adecuación de un tipo de impactador será confirmada cuando las seis células dinamométricas produzcan como resultado unas señales que cumplan los requisitos indicados en el apartado 2.2 del Apéndice 2 en el momento del registro.
- 6.2. Los impactadores irán provistos de números de serie consecutivos que incluirán la fecha de fabricación.



▼B

Apéndice 3

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL MANIQUÍ DE COLISIÓN LATERAL

1. OBSERVACIONES GENERALES
  - 1.1. Las dimensiones y masas del maniquí de colisión lateral representan a un varón adulto del 50º percentil, sin los antebrazos.
  - 1.2. El maniquí de colisión lateral consiste en un esqueleto de metal y plástico recubierto de goma, materia plástica y espuma que imita el tejido muscular.
  - 1.3. El maniquí de colisión lateral prescrito en la presente Directiva, incluidos su instrumentación y calibrado, se describen en los planos técnicos y en el manual del usuario<sup>(1)</sup>.
2. CONSTRUCCIÓN
  - 2.1. Para una visión de síntesis del maniquí de colisión lateral, véase la figura 1 y el cuadro 1 de este Apéndice.
  - 2.2. *Cabeza*
    - 2.2.1. La cabeza aparece con el nº 1 en la figura 1 de este Apéndice.
    - 2.2.2. La cabeza consiste en un cascarón de aluminio recubierto de piel de vinilo flexible. El interior del cascarón es una cavidad que contiene unos acelerómetros triaxiales y lastre.
  - 2.3. *Cuello*
    - 2.3.1. El cuello aparece con el nº 2 en la figura 1 de este Apéndice.
    - 2.3.2. El cuello consiste en una pieza de unión entre la cabeza y el cuello, una pieza de unión entre el cuello y el tórax y una sección central que une a las dos piezas de unión entre sí.
    - 2.3.3. La pieza de unión entre la cabeza y el cuello (parte nº 2a) y la pieza de unión entre el cuello y el tórax (parte nº 2c) consisten en sendos discos de aluminio unidos entre sí por medio de un tornillo semiesférico y ocho topes de goma.
    - 2.3.4. La sección central cilíndrica (parte nº 2b) es de goma.
    - 2.3.5. El cuello va montado sobre el soporte cervical, que figura como parte nº 3 en la figura 1 de este Apéndice.
    - 2.3.6. El ángulo entre ambas caras del soporte cervical es de 25°. Dado que el bloque escapular está inclinado 5° hacia atrás, el ángulo resultante entre el cuello y el torso es de 20°.
  - 2.4. *Hombros*
    - 2.4.1. Los hombros aparecen con el nº 4 en la figura 1 de este Apéndice.
    - 2.4.2. El hombro se compone de un bloque escapular, dos clavículas y una tapa.
    - 2.4.3. El bloque escapular (parte nº 4a) consiste en un bloque separador de aluminio, una placa de aluminio en la parte superior y una placa de aluminio en la parte inferior del bloque separador.
    - 2.4.4. Las clavículas (parte nº 4b) son de polipropileno y están sujetas en su posición neutra mediante dos cordones elásticos (parte nº 4c) fijados en la parte posterior del bloque escapular. El borde exterior de ambas clavículas está diseñado para permitir la posición normal de los brazos.
    - 2.4.5. La tapa del hombro (parte nº 4d) está hecha de espuma de poliuretano de baja densidad y está sujeta al bloque escapular.
  - 2.5. *Tórax*
    - 2.5.1. El tórax aparece con el nº 5 en la figura 1 de este Apéndice.
    - 2.5.2. El tórax consiste en una caja tórax-espina dorsal rígida y tres módulos de costillas idénticos.
    - 2.5.3. La caja tórax-espina dorsal (parte nº 5a) es de acero; en su superficie posterior lleva una placa de plástico rellena de plomo (parte nº 5b).

<sup>(1)</sup> Hasta tanto no se publiquen las normas ISO apropiadas, los documentos señalados (Eurosid-1 User's Manual, de noviembre de 1990) se pueden solicitar al TNO — Road Vehicles Research Institute, P.O. Box 6033, 2600 JA Delft, Schoenmakerstraat 97, 2628 VK Delft, Países Bajos.





▼B

- 2.5.4. La superficie superior de la caja tórax-espina dorsal presenta una inclinación de 5 grados hacia atrás.
- 2.5.5. Cada módulo de costillas (parte nº 5c) consiste en una costilla de acero recubierta de espuma de poliuretano que imita el tejido muscular (parte nº 5d), una pieza pistón-cilindro (parte nº 5e) que une la costilla con la caja de la espina dorsal, un amortiguador hidráulico (parte nº 5f) y un muelle amortiguador rígido (parte nº 5g).
- 2.5.6. En la pieza pistón-cilindro hay un muelle de ajuste (parte nº 5h).
- 2.5.7. En la cara anterior del cilindro se puede montar un transductor de desplazamiento (parte nº 5i) y conectarlo al interior de la costilla.
- 2.6. *Brazos*
- 2.6.1. Los brazos aparecen con el nº 6 en la figura 1 de este Apéndice.
- 2.6.2. Los brazos tienen un esqueleto de plástico recubierto de «tejido muscular» de poliuretano y piel de PVC.
- 2.6.3. La articulación entre el hombro y el brazo permite posiciones discretas de los brazos a 0°, 40° y 90° de la línea del torso.
- 2.6.4. La articulación del hombro y del brazo permite solamente una rotación de flexión/extensión.
- 2.7. *Espina lumbar*
- 2.7.1. La espina lumbar aparece con el nº 7 en la figura 1 de este Apéndice.
- 2.7.2. La espina lumbar consiste en un cilindro macizo de goma con dos placas de unión de acero en cada extremo y en un cable de acero en el interior del cilindro.
- 2.8. *Abdomen*
- 2.8.1. El abdomen aparece con el nº 8 en la figura 1 de este Apéndice.
- 2.8.2. El abdomen consiste en un molde metálico recubierto de espuma de poliuretano.
- 2.8.3. La parte central del abdomen es una pieza fundida metálica (parte nº 8a), en cuya parte superior se monta una placa que lo cubre.
- 2.8.4. El revestimiento (parte nº 8b) es de espuma de poliuretano. A ambos lados de la misma se integrará una pastilla curva de goma rellena de bolas de plomo.
- 2.8.5. Entre la cubierta de espuma y la pieza fundida rígida a ambos lados del abdomen se pueden montar o bien tres transductores de fuerza (parte nº 8c), o bien tres unidades de «maniquí» sin aparatos de medición.
- 2.9. *Pelvis*
- 2.9.1. La pelvis aparece con el nº 9 en la figura 1 de este Apéndice.
- 2.9.2. La pelvis consiste en un bloque del sacro, dos alas iliacas, dos articulaciones de cadera y un revestimiento de espuma.
- 2.9.3. El sacro (parte nº 9a) consiste en un bloque de aluminio relleno de plomo y en una placa de aluminio montada en la parte superior de dicho bloque.
- 2.9.4. Las alas iliacas (parte nº 9b) son de poliuretano.
- 2.9.5. Las articulaciones de la cadera (parte nº 9c), hechas de acero, consisten en una parte superior que hace de fémur y una articulación de rótula conectada a un eje que atraviesa el punto H del maniquí.
- 2.9.6. El revestimiento que imita el tejido muscular (parte nº 9d) está hecho de una piel de PVC rellena de espuma de poliuretano. En el lugar del punto H, la piel se sustituye por un gran cilindro de espuma de poliuretano de estructura celular abierta (parte nº 9e), unido a una placa de acero fijada sobre el ala iliaca por un eje que atraviesa la articulación de rótula.
- 2.9.7. Las alas iliacas están unidas entre sí en la sínfisis púbica mediante un transductor de fuerza (parte nº 9f) o un transductor «de maniquí».
- 2.10. *Piernas*
- 2.10.1. Las piernas aparecen con el nº 10 en la figura 1 de este Apéndice.
- 2.10.2. Las piernas consisten en un esqueleto metálico recubierto de espuma de poliuretano, que imita el tejido muscular, y una piel de material plástico.



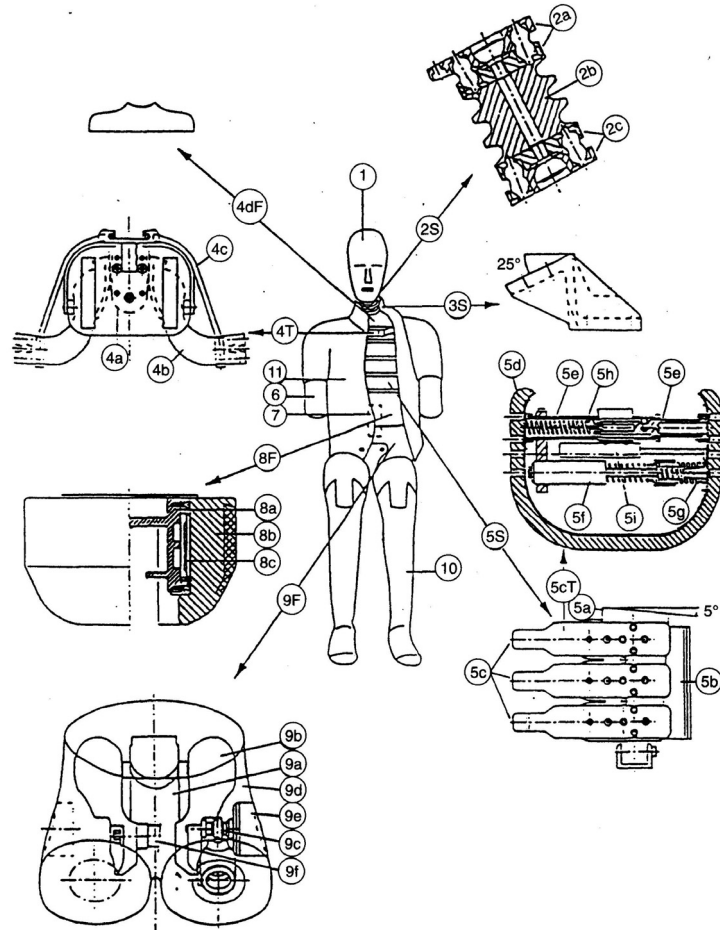
▼**B**

- 2.10.3. Las articulaciones de las rodillas y tobillos solamente permiten una rotación de flexión/extensión.
- 2.11. *Vestimenta*
  - 2.11.1. La vestimenta aparece con el nº 11 en la figura 1 de este Apéndice.
  - 2.11.2. La vestimenta es de goma y recubre los hombros, el tórax, la parte superior de los brazos, el abdomen y la espina lumbar, la parte superior de la pelvis.

▼B

Figura 1

Montaje del maniquí de colisión lateral





## ▼B

Cuadro 1

## Componentes del maniquí de colisión lateral

Parte nº	Descripción	Número
1	Cabeza	1
2	Cuello	1
2a	Unión cabeza/cuello	1
2b	Sección central	1
2c	Unión cuello/tórax	1
3	Soporte cervical	1
4	Hombro	1
4a	Bloque escapular	1
4b	Clavículas	2
4c	Cordones elásticos	2
4d	Tapa de los hombros	1
5	Tórax	1
5a	Caja tórax-espina dorsal	1
5b	Placa posterior	1
5c	Módulo de costillas	3
5d	Costilla recubierta de tejido muscular	3
5e	Pieza pistón-cilindro	3
5f	Amortiguador	3
5g	Muelle del amortiguador	3
5h	Muelle de ajuste	3
5i	Transductor de desplazamiento	3
6	Brazo	2
7	Espina lumbar	1
8	Abdomen	1
8a	Pieza fundida central	1
8b	Revestimiento de tejido muscular	1
8c	Transductor de fuerza	3
9	Pelvis	1
9a	Bloque del sacro	1
9b	Ala iliaca	2
9c	Articulación de cadera	2
9d	Revestimiento de tejido muscular	1
9e	Bloque de espuma punto H	2
9f	Transductor de fuerza	1
10	Pierna	2
11	Vestimenta	1



▼B

3. MONTAJE DEL MANIQUÍ
  - 3.1. *Cabeza-cuello*
    - 3.1.1. El momento de torsión necesario en los tornillos semiesféricos para el montaje del cuello es de 10 Nm.
    - 3.1.2. La cabeza va montada mediante tres tornillos sobre la placa cervical interpuesta entre la cabeza y el cuello.
    - 3.1.3. La placa cervical interpuesta entre el cuello y el tórax va montada sobre el soporte cervical mediante cuatro tornillos.
  - 3.2. *Cuello-hombros-tórax*
    - 3.2.1. El soporte cervical va montado sobre el bloque escapular mediante cuatro tornillos.
    - 3.2.2. El bloque escapular va montado sobre la superficie superior de la caja torácica-espina dorsal mediante tres tornillos.
  - 3.3. *Hombros-brazos*
    - 3.3.1. Los brazos pueden montarse sobre las clavículas y ajustarse mediante un tornillo y un cojinete. El momento de torsión necesario para sujetar el brazo en la posición normal es de 0,6 Nm.
  - 3.4. *Tórax-espina lumbar-abdomen*
    - 3.4.1. Mediante dos tornillos se monta un adaptador de la espina lumbar a la parte inferior de la espina torácica.
    - 3.4.2. El adaptador de la espina lumbar va montado sobre el extremo superior de la espina lumbar mediante dos tornillos.
    - 3.4.3. El saliente superior del molde abdominal central va sujeto entre el adaptador de la espina lumbar y ésta.
  - 3.5. *Espina lumbar-pelvis-piernas*
    - 3.5.1. La espina lumbar va montada sobre la placa inferior de la misma mediante tres tornillos.
    - 3.5.2. La placa inferior de la espina lumbar va montada sobre el bloque del sacro de la pelvis mediante tres tornillos.
    - 3.5.3. Las piernas van montadas sobre la articulación cadera/fémur de la pelvis mediante un tornillo.
    - 3.5.4. Las piernas pueden montarse y ajustarse por medio de articulaciones de bisagra en las rodillas y los tobillos.
4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
  - 4.1. *Masa*
    - 4.1.2. Las masas respectivas de los componentes del maniquí figuran en cuadro 2 de este Apéndice.

▼B

Cuadro 2

Masas de los componentes del maniquí

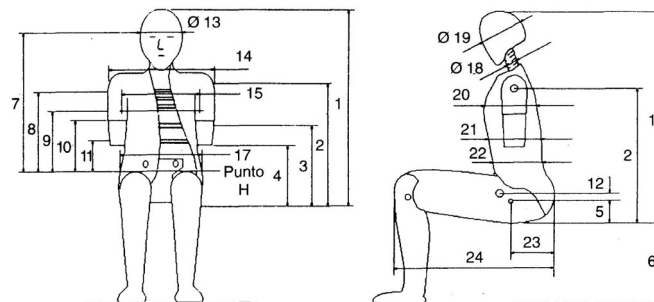
Componente	Masa (kg)	Posición principal
Cabeza	$4,0 \pm 0,4$	Cabeza completa, incluido el acelerómetro triaxial
Cuello	$1,0 \pm 0,1$	Cuello, excepto soporte cervical
Tórax	$22,4 \pm 1,5$	Soporte cervical, hombros, tornillos de sujeción de los brazos, caja de la espina dorsal, placa posterior de la espina dorsal, módulos de costillas, transductores de deformación de las costillas, adaptador de la espina lumbar, tapa de los hombros, pieza fundida central del abdomen, transductores de fuerza del abdomen, 2/3 de la vestimenta
Brazo	$1,3 \pm 0,1$	Parte superior de los brazos, incluida placa de posición del brazo (cada brazo)
Abdomen	$5,0 \pm 0,5$	Revestimiento de tejido abdominal y espina lumbar
Pelvis	$12,0 \pm 1,0$	Bloque del sacro, placa inferior de la espina lumbar, articulaciones de rótula de la cadera, fémures, alas ilíacas, transductores de fuerza pélvicos, revestimiento de tejido muscular de la pelvis, 1/3 de la vestimenta
Pierna	$12,5 \pm 1,0$	Pie, pierna y muslo con el revestimiento de tejido muscular hasta la unión con el fémur (cada pierna)
Total	$72,0 \pm 0,5$	

4.2. Dimensiones principales

- 4.2.1. Las dimensiones principales del maniquí de colisión lateral (incluida la vestimenta), incluidas en la figura 2 de este Apéndice, figuran en el cuadro 3 del mismo.

Figura 2

Medidas de las dimensiones principales del maniquí



## ▼B

Cuadro 3

## Dimensiones principales del maniquí

Nº	Parámetro	Dimensión (mm)
1	Altura en posición de sentado	904 ± 7
2	Asiento — junta del hombro	557 ± 5
3	Asiento — costilla inferior	357 ± 5
4	Asiento — brazo	242 ± 5
5	Asiento — punto H	98 ± 2
6	Planta del pie — asiento, en posición de sentado	456 ± 5
7	Punto H — centro de gravedad de la cabeza	687 ± 5
8	Punto H — centro de la costilla superior	393 ± 3
9	Punto H — centro de la costilla mediana	337 ± 3
10	Punto H — centro de la costilla inferior	281 ± 3
11	Punto H — centro del transductor de fuerza del abdomen	180 ± 3
12	Punto H — centro del transductor de fuerza de la sínfisis púbica	14 ± 2
13	Anchura de la cabeza	154 ± 2
14	Anchura hombro/brazo	482 ± 5
15	Anchura del tórax	330 ± 5
16	Anchura del abdomen	290 ± 5
17	Anchura de la pelvis	355 ± 5
18	Diámetro del cuello	80 ± 2
19	Profundidad de la cabeza	201 ± 5
20	Profundidad del tórax	276 ± 5
21	Profundidad del abdomen	204 ± 5
22	Profundidad de la pelvis	245 ± 5
23	Parte posterior de los glúteos — punto H	157 ± 2
24	Parte posterior de los glúteos — parte anterior de la rodilla	610 ± 5

## 5. HOMOLOGACIÓN DEL MANIQUÍ

## 5.1. Lado impactado

5.1.1. Según el lado del vehículo que haya de sufrir el impacto, las partes del maniquí se homologarán en el lado izquierdo o en el derecho.

5.1.2. La configuración de los módulos de las costillas (incluida la instrumentación) y de los transductores de fuerza del abdomen y de la sínfisis púbica se adaptará al lado que deba recibir el impacto.

## 5.2. Instrumentación

Toda la instrumentación estará calibrada de acuerdo con los requisitos de la documentación que figura en el punto 1.3.

5.2.1. Todos los canales de la instrumentación se ajustarán a la norma ISO 6487:1987.



▼B

5.3. *Control visual*

5.3.1. Se procederá a un control visual de todas las partes del maniquí; en caso de daños, se sustituirá la parte correspondiente antes de empezar el ensayo de homologación.

5.4. *Disposición general de ensayo*

5.4.1. La figura 3 del presente apéndice presenta la disposición para efectuar todos los ensayos de homologación con el maniquí de colisión lateral.

5.4.2. Los ensayos de la cabeza, cuello, tórax y espina lumbar se efectuarán desmontando previamente las partes correspondientes del maniquí.

5.4.3. Los ensayos de los hombros, el abdomen y la pelvis se efectuarán con el maniquí completo (sin vestir). En tales ensayos, el maniquí estará sentado sobre una superficie plana con dos láminas de Teflon, de un grosor inferior o igual a 2 mm, situadas entre el maniquí y la superficie.

5.4.4. Todas las partes que vayan a ser homologadas deberán mantenerse en el lugar donde se efectúe éste durante un período de al menos 4 horas a una temperatura entre 18° y 22° C antes del ensayo.

5.4.5. El tiempo que transcurra entre dos ensayos repetidos de homologación será de al menos 30 minutos.

5.5. *Cabeza*

5.5.1. La cabeza se dejará caer desde una altura de  $200 \pm 1$  mm sobre una superficie plana y rígida.

5.5.2. El ángulo entre la superficie de impacto y el plano sagital medio de la cabeza será de  $35 \pm 1^\circ$ , de modo que el lado superior de la cabeza pueda sufrir un impacto.

5.5.3. La aceleración máxima resultante de la cabeza, filtrada con ayuda de una CFC 1 000, se situará entre 100 y 150 g.

5.5.4. El comportamiento de la cabeza podrá regularse para ajustarse a las condiciones modificando las características de fricción de la unión entre el tejido muscular y el cráneo (por ejemplo, lubricando con talco o pulverización de PTFE).

5.6. *Cuello*

5.6.1. La unión entre la cabeza y el cuello se montará sobre una pieza simétrica especial con forma de cabeza utilizada a efectos de certificación con una masa de  $3,9 \pm 0,05$  kg (véase la figura 4).

5.6.2. Dicha pieza y el cuello se montarán de forma invertida sobre el extremo inferior de un péndulo con flexión cervical y que permita un movimiento lateral del conjunto.

5.6.3. El péndulo cervical estará equipado con un acelerómetro uniaxial montado a  $1\,655 \pm 5$  mm del pivote del péndulo.

5.6.4. El péndulo cervical debe poder caer libremente desde una altura escogida para alcanzar una velocidad de impacto de  $3,4 \pm 0,1$  m/s medida en la posición del acelerómetro.

5.6.5. El péndulo cervical desacelerará de la velocidad de impacto a cero mediante un dispositivo apropiado que arroje una curva de desaceleración dentro de los límites especificados en la figura 5 del presente Anexo. Todos los canales deberán registrarse utilizando filtros con una CFC 1 000 ajustados a la norma ISO y filtrarse por medios digitales utilizando la CFC 60.

5.6.6. El ángulo máximo de flexión de la forma de cabeza en relación con el péndulo será de  $51 \pm 5^\circ$  y deberá darse entre los 50 y los 62 ms.

5.6.7. Los desplazamientos máximos del centro de gravedad de la cabeza en dirección lateral y vertical serán de  $97 \pm 10$  mm y de  $26 \pm 6$  mm respectivamente.

5.6.8. El comportamiento del cuello podrá regularse sustituyendo los topes de sección circular por unos topes de una dureza Shore diferente.

5.7. *Hombros*

5.7.1. La longitud del cordón elástico se ajustará de tal modo que, para mover la clavícula hacia adelante, se requiera una fuerza entre 27,5 y 32,5 N aplicada hacia adelante a  $4 \pm 1$  mm del borde exterior de la clavícula en el mismo plano que el movimiento de ésta.





▼B

- 5.7.2. El maniquí estará sentado sobre una superficie plana, horizontal y rígida, sin respaldo. El tórax estará en posición vertical y los brazos se colocarán formando con la vertical un ángulo de  $40 \pm 2^\circ$  hacia adelante. Las piernas se colocarán horizontalmente.
- 5.7.3. El impactador consistirá en un péndulo de  $23,5 \pm 0,2$  kg y  $152 \pm 2$  mm de diámetro. El impactador estará suspendido de un soporte rígido mediante cuatro cables metálicos, con la línea media del impactador al menos a 3,5 m por debajo del soporte rígido.
- 5.7.4. El impactador estará equipado con un acelerómetro con sensibilidad en la dirección del impacto, colocado en el eje del impactador.
- 5.7.5. El impactador deberá poder golpear libremente el hombro del maniquí con una velocidad de impacto de  $4,3 \pm 0,1$  m/s.
- 5.7.6. La dirección del impacto será perpendicular al eje anterior-posterior del maniquí y el eje del impactador coincidirá con el eje del pivote de la parte superior del brazo.
- 5.7.7. La aceleración máxima del impactador, filtrada con ayuda de una CFC 180, se situará entre 7,5 y 10,5 g.
- 5.8. *Brazos*
- 5.8.1. Para los brazos no se define ningún procedimiento de homologación dinámico.
- 5.9. *Tórax*
- 5.9.1. Cada módulo de costillas se homologará por separado.
- 5.9.2. El módulo de costillas se colocará verticalmente sobre un banco de pruebas de resistencia a la colisión y el cilindro de las costillas se fijará sólidamente a dicho banco.
- 5.9.3. El impactador es una masa de caída libre de  $7,8 \pm 0,1$  kg, con una cara plana y un diámetro de  $150 \pm 2$  mm.
- 5.9.4. La línea media del impactador se alineará con la línea media del pistón de las costillas.
- 5.9.5. La velocidad de impacto será de 1,0, 2,0, 3,0 y 4,0 m/s respectivamente, y no diferirá de las indicadas en más de un 2 %.
- 5.9.6. Se medirá el desplazamiento de las costillas, por ejemplo mediante el transductor de desplazamiento de las propias costillas.
- 5.9.7. Los requisitos de homologación de las costillas figuran en el cuadro 4 del presente Anexo.
- 5.9.8. El rendimiento del módulo de las costillas se podrá regular sustituyendo el resorte regulable dentro del cilindro por uno de rigidez distinta.

Cuadro 4

Requisitos de homologación del módulo completo de costillas

Velocidad de impacto (m/s)	Desplazamiento (mm)	
	mínimo	máximo
1,0	10,0	14,0
2,0	23,5	27,5
3,0	36,0	40,0
4,0	46,0	51,0

5.10. *Espina lumbar*

- 5.10.1. La espina lumbar se montará sobre una forma de cabeza especial simétrica, concebida para la homologación, con una masa de  $3,9 \pm 0,05$  kg (véase la figura 4).
- 5.10.2. La forma de cabeza y la espina lumbar se montarán de forma invertida sobre el extremo inferior de un péndulo con flexión del cuello, que permite un movimiento lateral del conjunto.
- 5.10.3. El péndulo cervical estará equipado con un acelerómetro uniaxial montado a  $1\,655 \pm 5$  mm del pivote del péndulo.



▼B

- 5.10.4. El péndulo cervical debe dejarse caer libremente desde una altura escogida para alcanzar una velocidad de impacto de  $6,05 \pm 0,1$  m/s medida en la posición del acelerómetro.
- 5.10.5. El péndulo cervical desacelerará de la velocidad de impacto a cero mediante un dispositivo apropiado que arroje una curva de desaceleración dentro de los límites especificados en la figura 6 del presente Anexo. Todos los canales deberán registrarse utilizando filtros con una CFC 1 000 ajustados a la norma ISO y filtrarse por medios digitales utilizando la CFC 60.
- 5.10.6. El ángulo máximo de flexión de la forma de cabeza en relación con el péndulo será de  $50 \pm 5^\circ$  y deberá darse entre los 39 y los 53 ms.
- 5.10.7. Los desplazamientos máximos del centro de gravedad de la forma de cabeza en dirección lateral y vertical serán de  $104 \pm 7$  mm y de  $33 \pm 7$  mm respectivamente.
- 5.10.8. El comportamiento de la espina lumbar puede regularse modificando la longitud de ésta.
- 5.11. *Abdomen*
- 5.11.1. El maniquí estará sentado sobre una superficie plana, horizontal y rígida, sin respaldo. El tórax estará en posición vertical y los brazos y las piernas se colocarán en posición horizontal.
- 5.11.2. El impactador consistirá en un péndulo de  $23,5 + 0-0,2$  kg y  $152 \pm 2$  mm de diámetro.
- 5.11.3. El péndulo estará equipado con un impactador horizontal a modo de reposabrazos de  $1,0 \pm 0,01$  kg. La masa total del impactador con dicho reposabrazos será de  $24,5 + 0-0,2$  kg. El reposabrazos rígido tendrá una altura de  $70,0 \pm 1$  mm, una anchura de  $150 \pm 1$  mm y deberá poder penetrar en el abdomen al menos 60,0 mm. La línea central del péndulo coincidirá con el centro del reposabrazos.
- 5.11.4. El impactador estará equipado con un acelerómetro con sensibilidad hacia la dirección de colisión y colocado en el eje del impactador.
- 5.11.5. El impactador deberá poder golpear libremente el abdomen del maniquí con una velocidad de impacto de  $6,3 \pm 0,1$  m/s.
- 5.11.6. La dirección del impacto será perpendicular al eje anterior-posterior del maniquí y el eje del impactador estará alineado con el centro del transductor medio de fuerzas.
- 5.11.7. La fuerza máxima del impactador, obtenida a partir de la aceleración del impactador filtrada mediante una CFC 180 y multiplicada por la masa del impactador/reposabrazos, deberá situarse entre 9,5 y 11,1 kN y tener lugar entre los 9,8 y los 11,4 ms.
- 5.11.8. Los registros de fuerza-tiempo medidos por los tres transductores de fuerza del abdomen se sumarán y filtrarán mediante una CFC 600. La fuerza máxima de tal suma se situará entre 5,9 y 7,9 kN.
- 5.12. *Pelvis*
- 5.12.1. El maniquí estará sentado sobre una superficie plana, horizontal y rígida, sin respaldo. El tórax estará en posición vertical y los brazos y las piernas se colocarán en posición horizontal.
- 5.12.2. El impactador consistirá en un péndulo de  $23,5 + 0-0,2$  kg y  $152 \pm 2$  mm de diámetro.
- 5.12.3. El impactador estará equipado con un acelerómetro con sensibilidad en la dirección del impacto, colocado en el eje del impactador.
- 5.12.4. El impactador deberá poder golpear libremente la pelvis del maniquí con una velocidad de impacto de  $4,3 \pm 0,1$  m/s.
- 5.12.5. La dirección de colisión es perpendicular al eje anterior-posterior del maniquí y el eje del impactador estará alineado con el centro del cilindro de espuma del punto H.
- 5.12.6. La fuerza máxima del impactador, obtenida a partir de la aceleración del impactador filtrada mediante una CFC 180 y multiplicada por la masa del impactador, deberá situarse entre 4,4 y 5,4 kN y tener lugar entre los 10,3 y los 15,5 ms.
- 5.12.7. La fuerza de la sínfisis púbica, filtrada a CFC 600, deberá estar situada entre los 1,04 y los 1,64 kN y producirse entre los 9,9 y los 15,9 ms.



▼**B**

5.13. *Piernas*

5.13.1. Para las piernas no se ha definido ningún procedimiento de homologación dinámico.

▼B

Figura 3

Sinopsis de la disposición general del ensayo de homologación con maniquí de colisión lateral

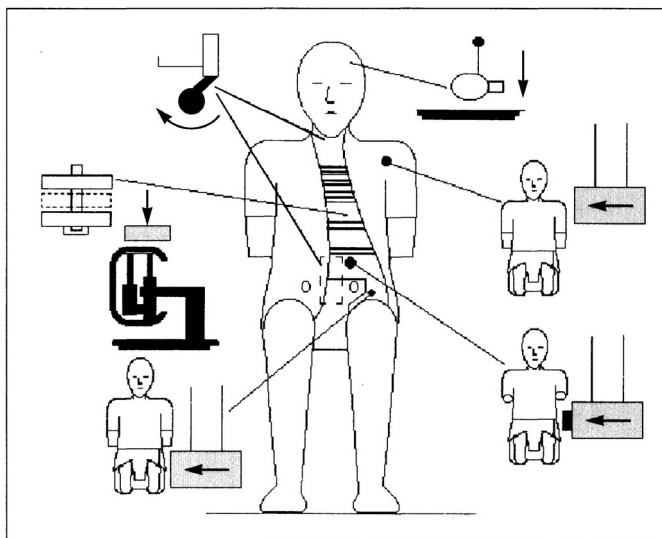
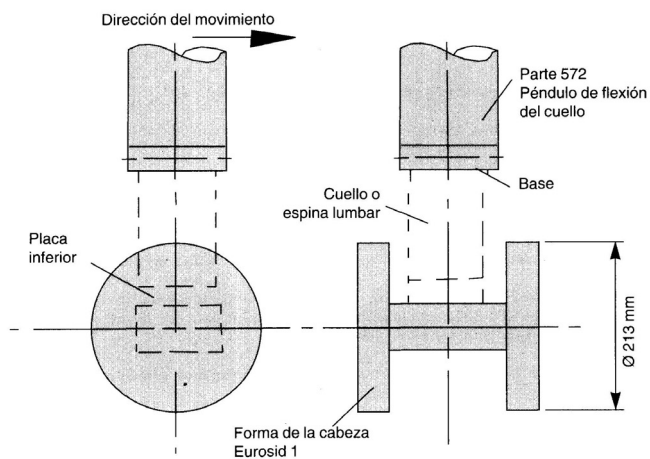


Figura 4

Disposición general del ensayo de homologación del cuello y de la espina lumbar



▼B

Figura 5

Ensayo de homologación de la desaceleración del péndulo — límites de tiempo para el cuello

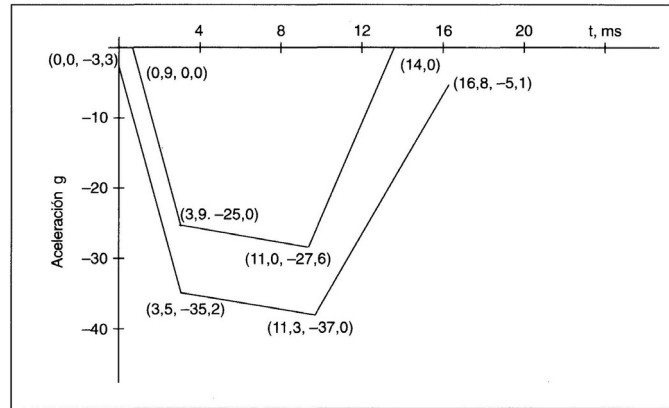
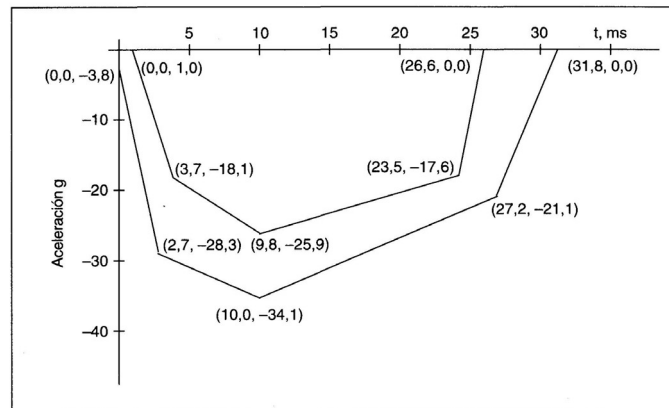


Figura 6

Ensayo de homologación de la desaceleración del péndulo — límites de tiempo para la espina lumbar





▼B

Apéndice 4

INSTALACIÓN DEL MANIQUÍ DE COLISIÓN LATERAL

1. OBSERVACIONES GENERALES
- 1.1. El maniquí de colisión lateral que se empleará para el procedimiento de instalación que se detalla a continuación figura descrito en el Apéndice 3 del Anexo II de la presente Directiva.
2. INSTALACIÓN
- 2.1. Regular las articulaciones de las piernas ►C1 de modo que se limiten a sostener las piernas cuando éstas estén extendidas ◄ en posición horizontal (1 a 2 g).
- 2.2. Vestir el maniquí con ropa interior ajustada de algodón elástico de manga corta y con pantalones de media pierna. Los pies irán calzados con zapatos.
- 2.3. Colocar el maniquí en el asiento delantero lateral del lado impactado, con arreglo a la descripción del procedimiento de ensayo de colisión lateral.
- 2.4. El plano simétrico del maniquí coincidirá con el plano medio vertical de la posición de asiento especificada.
- 2.5. La pelvis del maniquí estará colocada de tal modo que la línea lateral que atraviesa los puntos H del maniquí sea perpendicular al plano central longitudinal del asiento. La línea a través de los puntos H del maniquí será horizontal con una inclinación máxima de  $\pm 2^\circ$ .
- 2.6. La parte superior del torso estará ligeramente inclinada hacia adelante y apoyada firmemente contra el respaldo del asiento. Los hombros del maniquí estarán totalmente reclinados hacia atrás.
- 2.7. Sea cual fuere la posición sentada del maniquí, el ángulo entre la parte superior del brazo y la línea de referencia torso-brazo de cada lado deberá ser de  $40 \pm 5^\circ$ . La línea de referencia torso-brazo estará definida por la intersección del plano tangente a la superficie delantera de las costillas y el plano vertical longitudinal del maniquí que contiene el brazo.
- 2.8. En cuanto a la posición sentada del conductor, y sin inducir movimiento alguno de la pelvis o del torso, situar el pie derecho del maniquí sobre el pedal del acelerador, sin presionar, procurando que el talón se mantenga sobre el suelo, lo más adelantado posible. Colocar el pie izquierdo perpendicular a la antepierna con el talón mantenido sobre el suelo en la misma línea lateral que el talón derecho. Colocar las rodillas del maniquí del tal modo que sus superficies externas estén a una distancia de  $150 \pm 10$  mm del plano simétrico del maniquí. Si es posible dentro de estas limitaciones, poner los muslos del maniquí en contacto con el almohadillado del asiento.
- 2.9. En cuanto a las demás posiciones sentadas, y sin provocar movimiento alguno de la pelvis o del torso, colocar los talones del maniquí lo más adelantados posible en el suelo, sin comprimir el almohadillado del asiento más de la compresión debida al peso de la pierna. Colocar las rodillas del maniquí del tal modo que sus superficies externas estén a una distancia de  $150 \pm 10$  mm del plano simétrico del maniquí.



▼B

Apéndice 5

ENSAYO PARCIAL

1. OBJETIVO

El propósito de estos ensayos es el de verificar si el vehículo modificado presenta al menos las mismas (o mejores) características de absorción de energía que el tipo de vehículo homologado con arreglo a la presente Directiva.

2. PROCEDIMIENTO E INSTALACIONES

2.1. *Ensayos de referencia*

2.1.1. Se realizarán dos ensayos dinámicos utilizando los materiales de relleno ensayados durante la homologación del vehículo, montándolos en una nueva estructura lateral del vehículo que se vaya a homologar y utilizando dos impactadores distintos (figura 1).

2.1.1.1. El impactador con forma de cabeza definido en el apartado 3.1.1 golpeará a 24,1 km/h en el área impactada por la cabeza Eurosid durante la homologación del vehículo. Se registrarán los resultados del ensayo y se calculará la HPC. No obstante, no se ejecutará este ensayo cuando, durante los ensayos descritos en el apéndice 1 del Anexo II de la presente Directiva:

- no haya habido contacto con la cabeza, o
- la cabeza haya tocado solamente la luna, siempre que ésta no sea de vidrio estratificado.

2.1.1.2. El impactador en forma de cuerpo, definido en el apartado 3.2.1, golpeará a 24,1 km/h en el área lateral empastada por el hombro, brazo o tórax Eurosid durante la homologación del vehículo. Se registrarán los resultados del ensayo y se calculará la HPC.

2.2. *Ensayo de homologación*

2.2.1. Se repetirán los ensayos especificados en los apartados 2.1.1.1 y 2.1.1.2 utilizando los nuevos materiales de relleno, asientos, etc., presentados para la extensión de la homologación del vehículo, montados en una nueva estructura lateral de éste. Se registrarán los resultados de los ensayos y se calculará la HPC.

2.2.1.1. En el caso de que las HPC calculadas a partir de los resultados de ambos ensayos de homologación sean inferiores a las HPC obtenidas durante los ensayos de referencia (llevados a cabo utilizando los materiales de relleno y asientos homologados del tipo original), se concederá la extensión.

2.2.1.2. Si las nuevas HPC son superiores a las HPC obtenidas durante los ensayos de referencia, se llevará a cabo un nuevo ensayo a escala real (utilizando los materiales de relleno, asientos, etc., que se proponen).

3. EQUIPO DE ENSAYO

3.1. *Impactador con forma de cabeza (figura 1)*

3.1.1. Este aparato consiste en un impactador lineal completamente guiado, rígido, con una masa de 6,8 kg. Su superficie de impacto será semiesférica y de 165 mm de diámetro.

3.1.2. La forma de cabeza irá provista de dos acelerómetros y un dispositivo de medición de la velocidad, instrumentos todos ellos capaces de medir valores en la dirección del impacto.

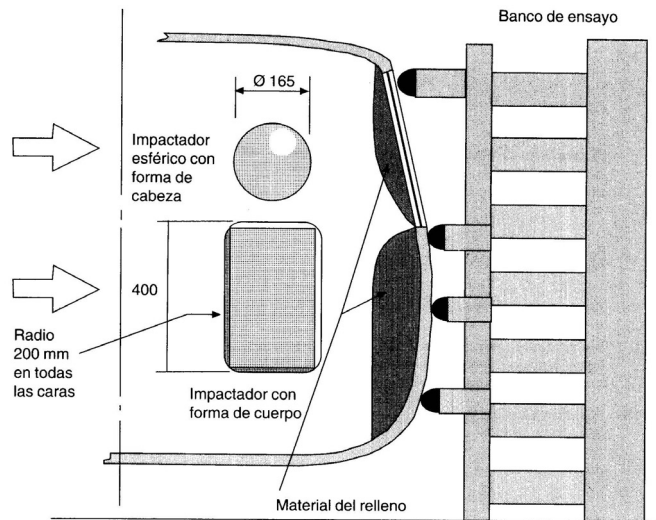
3.3. *Impactador con forma de cuerpo (figura 1)*

3.2.1. Este aparato consistirá en un impactador lineal completamente guiado, rígido, con una masa de 30 kg. Sus dimensiones y sección transversal aparecen en la figura 1.

3.2.2. El cuerpo irá provisto de dos acelerómetros y de un dispositivo de medición de la velocidad, instrumentos todos ellos capaces de medir valores en la dirección de la colisión.

▼B

Figura 1





## ANEXO C: Calculo de densidad de las partes

En este anexo se ha desarrollado el proceso de cálculo de las densidades necesarias para que la barrera deformable simplificada cumpla con los requisitos exigidos por la normativas respecto al centro de gravedad y la masa de esta. Los cuales son:

- Masa total de  $950 \pm 20$  kg.
- Centro de gravedad situado 10 mm respecto del plano medio vertical longitudinal y  $500 \pm 30$  mm encima del suelo.

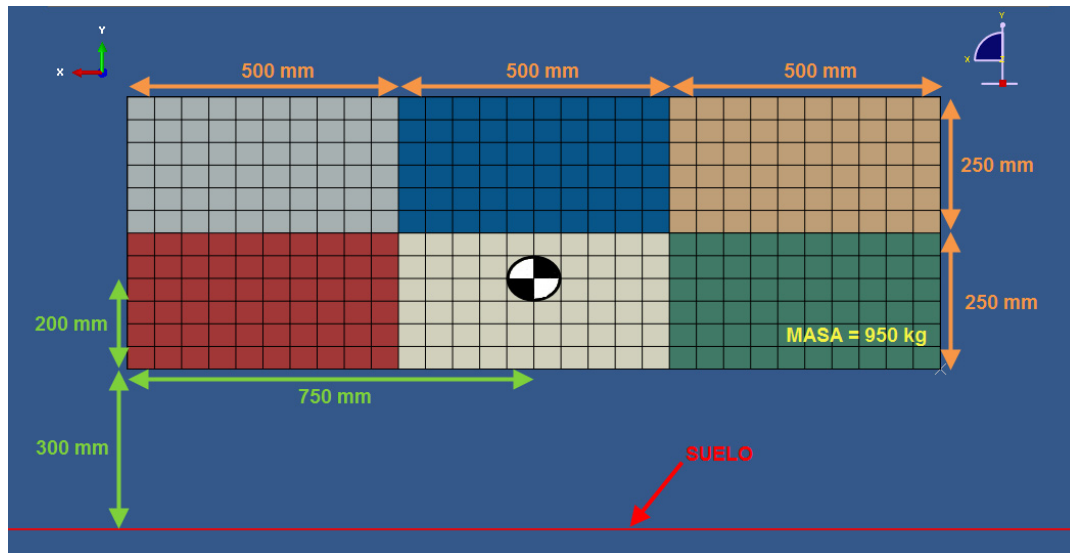
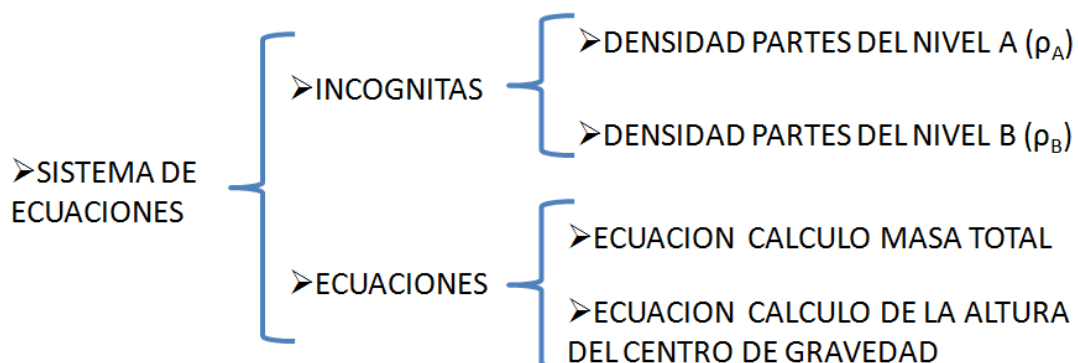


Figura 190 - Posición del centro de gravedad y masa total de la barrera

Este cálculo se ha realizado mediante un sistema de ecuaciones el cual consta de dos ecuaciones y dos incógnitas:



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

Las ecuaciones se han visto simplificadas gracias al uso de elementos sólidos para el mallado de cada una de las partes del impactador. Esto es debido a que cada parte tiene forma de poliedro rectangular solido, los cuales tienen unas ecuaciones más simples.

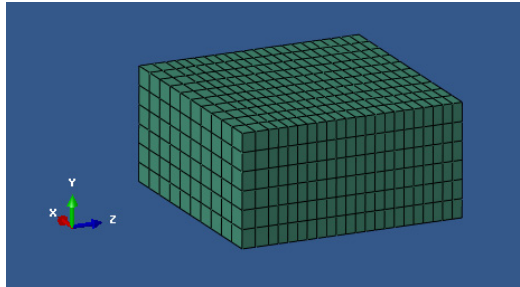


Figura 191 - Modelo solido de una de las partes

### C.1. Ecuación masa total

La masa total de la barrera viene determinada por la masa de cada uno de los bloques en que está dividido el impactador:

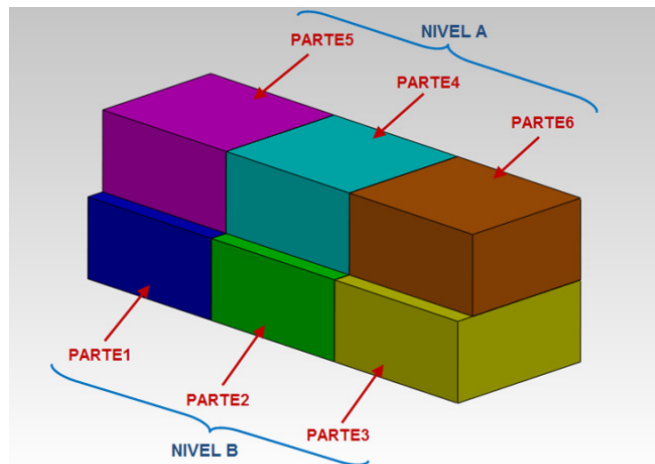


Figura 192 - Partes del impactador

$$m_t = m_a + m_b$$

$$m_a = \rho_A \cdot v_a$$

$$m_b = \rho_b \cdot v_b$$

$$m_t = \rho_A \cdot v_a + \rho_b \cdot v_b$$

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

Donde:

$m_t$  = Masa total de la barrera

$m_a$  = Masa total del nivel A del impactador

$m_b$  = Masa total del nivel B del impactador

$v_a$  = Volumen total del bloque A del impactador

$v_b$  = Volumen total del bloque B del impactador

$\rho_A$  = Densidad del nivel A

$\rho_B$  = Densidad del nivel B

Donde las incógnitas son:

$\rho_A$  = Densidad del nivel A

$\rho_B$  = Densidad del nivel B

Donde conocemos:

$m_t$  = Masa total de la barrera = 950 kg

$v_a$  = Volumen total del bloque A del impactador

$v_b$  = Volumen total del bloque B del impactador

Debido a que cada bloque está compuesto por tres tetraedros regulares rectangulares:

$$v_a = 3 \cdot v_s$$

$$v_b = 3 \cdot v_i$$

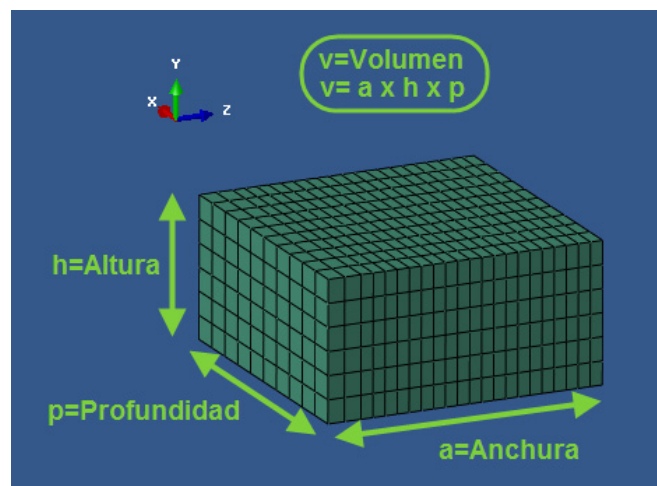


Figura 193 - Dimensiones de las partes del impactador

$$v_s = a_s \cdot h_s \cdot p_s$$

$$v_i = a_i \cdot h_i \cdot p_i$$

Donde:

$v_a$  = Volumen total del bloque A del impactador

$v_b$  = Volumen total del bloque B del impactador

$v_s$  = Volumen de una parte del bloque A del impactador

$v_i$  = Volumen de una parte del bloque B del impactador

$a_s$  = Anchura de una parte del bloque A del impactador

$h_s$  = Altura de una parte del bloque A del impactador

$p_s$  = Profundidad de una parte del bloque A del impactador

$a_i$  = Anchura de una parte del bloque B del impactador

$h_i$  = Altura de una parte del bloque B del impactador

$p_i$  = Profundidad de una parte del bloque B del impactador

Donde conocemos:

$$a_s = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$h_s = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$$

$$p_s = 440 \text{ mm} = 0,44 \text{ m}$$

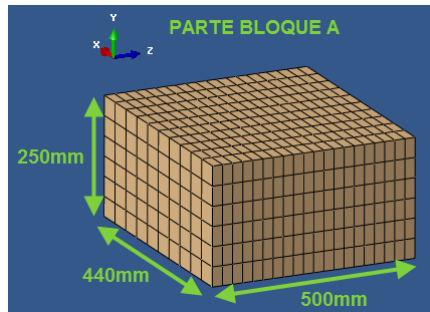


Figura 194 - Dimensiones parte del bloque A

$$a_i = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$h_i = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$$

$$p_i = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

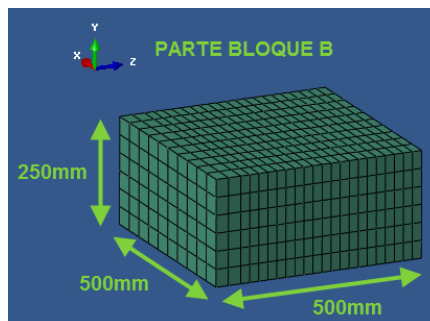


Figura 195 - Dimensiones parte del bloque B

Con lo que:

$$v_s = 0,5 \cdot 0,25 \cdot 0,44 = 0,055 \text{ m}^3$$

$$v_i = 0,5 \cdot 0,25 \cdot 0,5 = 0,0625 \text{ m}^3$$

$$v_a = 3 \cdot 0,055 = 0,165 \text{ m}^3$$

$$v_b = 3 \cdot 0,0625 = 0,1875 \text{ m}^3$$

Con lo cual la ecuación de la masa total queda:

$$950 = \rho_A \cdot 0,165 + \rho_b \cdot 0,1875$$

## C.2. Ecuación centro de gravedad

Debido a la simetría de la barrera y a que todas las partes de cada bloque tienen las mismas propiedades, la posición del centro de gravedad respecto a la anchura de la barrera siempre estará en la mitad de la anchura total. Con lo cual sea cual sea los valores de las densidades de cada bloque siempre se cumplirá la condición que el centro de gravedad esté en el plano medio longitudinal que corta al impactador.

Por lo cual solo hay que asegurarse por medio del valor de las densidades que el centro de gravedad se encuentre a  $500 \pm 30$  mm encima del suelo o lo que es lo mismo a  $200 \pm 30$  mm de la base del impactador como se ve en la **Figura 190**.

Puesto que la cota del centro de gravedad que debe cumplir el modelo se encuentra en este en el eje Y, hay que aplicar la ecuación para el cálculo de la coordenada Y del centro de gravedad de un volumen compuesto.

Momentos en el eje Y de la barrera deformable:

$$y_G \cdot m_t = \sum_{j=1}^n y_j \cdot m_j$$



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

Donde:

$y_G$  = Coordenada en el eje Y del centro de gravedad de la barrera

$m_t$  = Masa total de la barrera

$y_j$  = Coordenada en el eje Y del centro de gravedad de cada nivel

$m_j$  = Masa total de cada nivel

Como en este caso el volumen total de la barrera está compuesto por los volúmenes de cada nivel:

$$y_G \cdot m_t = y_a \cdot m_a + y_b \cdot m_b$$

$$m_a = \rho_A \cdot v_a$$

$$m_b = \rho_b \cdot v_b$$

$$y_G \cdot m_t = y_a \cdot \rho_A \cdot v_a + y_b \cdot \rho_b \cdot v_b$$

Donde:

$y_G$  = Coordenada en el eje Y del centro de gravedad de la barrera

$m_t$  = Masa total de la barrera

$y_a$  = Coordenada en el eje Y del centro de gravedad del nivel A

$m_a$  = Masa total del nivel A del impactador

$v_a$  = Volumen total del bloque A del impactador

$\rho_A$  = Densidad del nivel A

$y_b$  = Coordenada en el eje Y del centro de gravedad del nivel B

$m_b$  = Masa total del nivel B del impactador

$v_b$  = Volumen total del bloque B del impactador

$\rho_B$  = Densidad del nivel B

Donde las incógnitas son:

$\rho_A$  = Densidad del nivel A

$\rho_B$  = Densidad del nivel B

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

Donde conocemos:

$$y_G = 0,2 \text{ m}$$

$$m_t = 950 \text{ kg}$$

$$y_a = 0,375 \text{ m}$$

$$v_a = 0,165 \text{ m}^3$$

$$y_b = 0,125 \text{ m}$$

$$v_b = 0,1875 \text{ m}^3$$

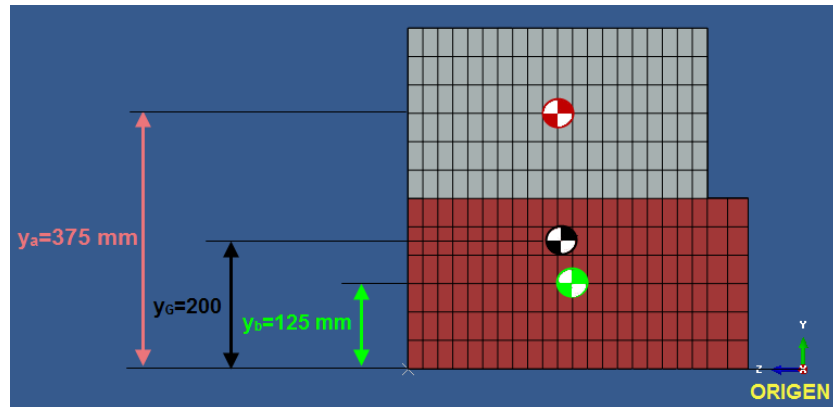


Figura 196 – Centros de gravedad

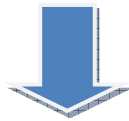
Con lo cual la ecuación de la queda:

$$0,2 \cdot 950 = 0,375 \cdot \rho_A \cdot 0,165 + 0,125 \cdot \rho_b \cdot 0,1875$$

Una vez determinadas las dos ecuaciones se resolvieron obteniendo el valor las densidades para cada uno de los bloques:

$$950 = \rho_A \cdot 0,165 + \rho_b \cdot 0,1875$$

$$0,2 \cdot 950 = 0,375 \cdot \rho_A \cdot 0,165 + 0,125 \cdot \rho_b \cdot 0,1875$$



$$\text{Densidad nivel A } (\rho_A) = 1727.273 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad nivel B } (\rho_B) = 3546.666 \text{ kg/m}^3$$

## **ANEXO D: Definición de la curva tensión deformación de las partes del impactador**

Debido a que la normativa exige unos niveles de rigidez para cada una de las partes se ha realizado un proceso de iteración para la obtención de estas.

A demás de los niveles de rigidez, la directiva define las características de cómo debe ser el ensayo donde se midan estas curvas:

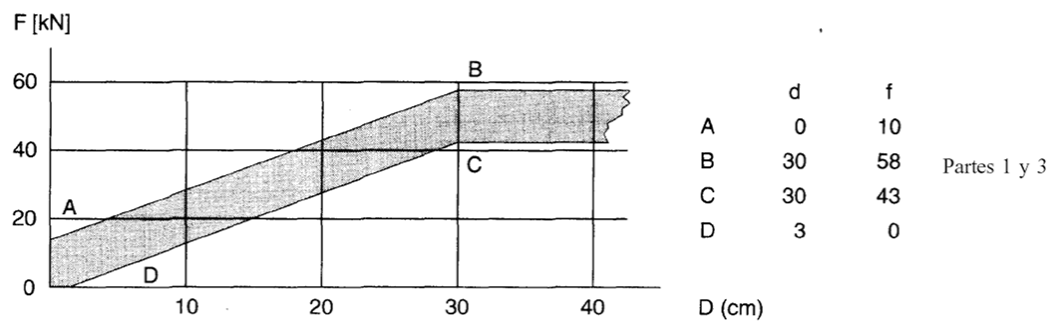
- La medición de las curvas fuerza-desplazamiento se realizaran en un impacto de la barrera deformable contra una barrera fija.
- La barrera fija consistirá en un bloque de hormigón armado con un ancho frontal no inferior a 3 m y una altura no inferior a 1,5 m. El grosor de la barrera rígida será el necesario para que su peso sea de al menos 70 toneladas.
- La barrera rígida estará o bien anclada en el suelo o bien colocada en el suelo, si ha lugar, mediante dispositivos de sujeción adicionales para impedir su desplazamiento
- La velocidad de impacto será de  $35 \pm 2$  km/h.



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

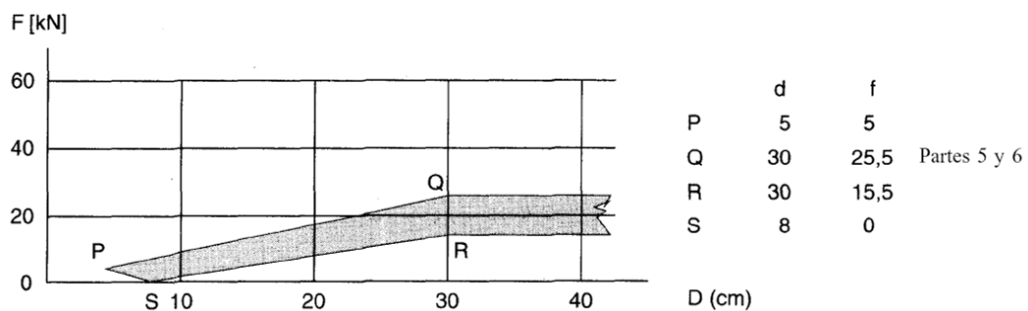
Las características de rigidez exigidas por la directiva para el modelo diseñado son:

- e. Las partes 1 y 3 serán idénticas. Su rigidez será tal que sus respectivas curvas de fuerza-desplazamiento coincidan con el área rayada del siguiente grafico:



Grafica 22 - Curvas de fuerza-desplazamiento exigidas para las partes 1 y 3

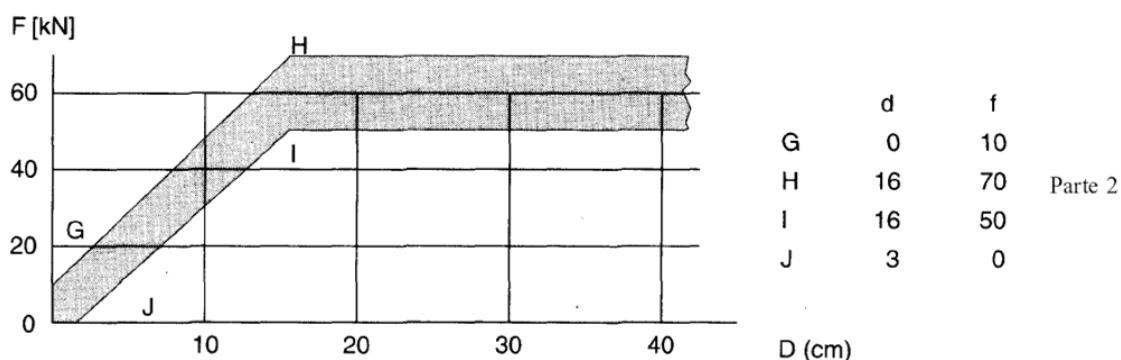
- f. Las partes 5 y 6 serán idénticas. Su rigidez será tal que sus respectivas curvas de fuerza-desplazamiento coincidan con el área rayada del siguiente grafico:



Grafica 23 - Curvas de fuerza-desplazamiento exigidas para las partes 5 y 6

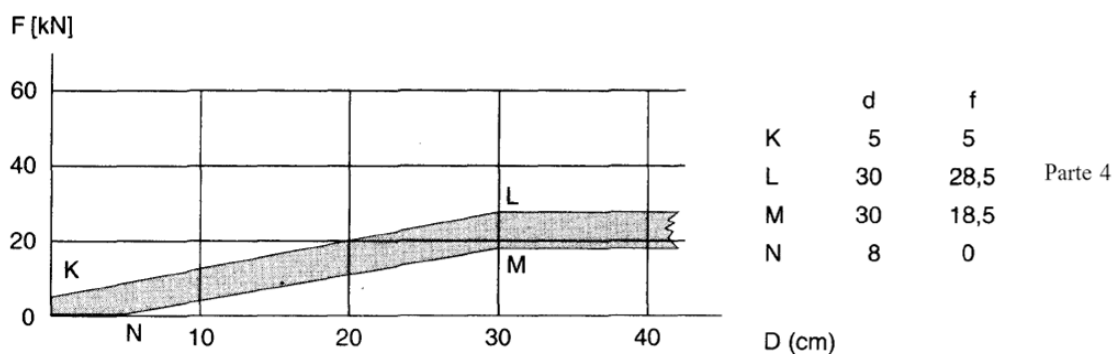
## TRABAJO FIN DE MÁSTER

- g. La rigidez de la parte 2 será tal que su curva de fuerza-desplazamiento coincidirá con el área rayada del siguiente grafico:



Grafica 24 - Curvas de fuerza-desplazamiento exigidas para las parte 2

- h. La rigidez de la parte 4 será tal que su curva de fuerza-desplazamiento coincidirá con el área rayada del siguiente grafico:



Grafica 25 - Curvas de fuerza-desplazamiento exigidas para las partes 4

Debido a que la directiva define tanto los resultados como el proceso del ensayo para la obtención de estos. Por esta razón, el proceso de interacción para conseguir los resultados se ha basado en un cálculo dinámico mediante Abaqus en el cual se simula el ensayo de la directiva.

## D.1. Ensayo para la obtención de las curvas fuerza-desplazamiento

Como se ha comentado antes, la obtención de las curvas fuerza-desplazamiento exigidas por la directiva para cada una de las partes del impactador se ha realizado mediante un cálculo explícito. El cual recrea las condiciones que exige la normativa para la obtención de las curvas.

### D.1.1 Modelo de elementos finitos de los componentes del ensayo

El modelo de elementos finitos utilizado para simular el ensayo de obtención de las curvas de rigidez consta principalmente de dos elementos:

- **Pared rígida:** Debido a que la barrera de hormigón debe ser rígida se ha utilizando un elemento Shell con propiedades de rigid body para su modelización. Este elemento tiene unas dimensiones de 3x1.5 m como se especificadas en la normativa.

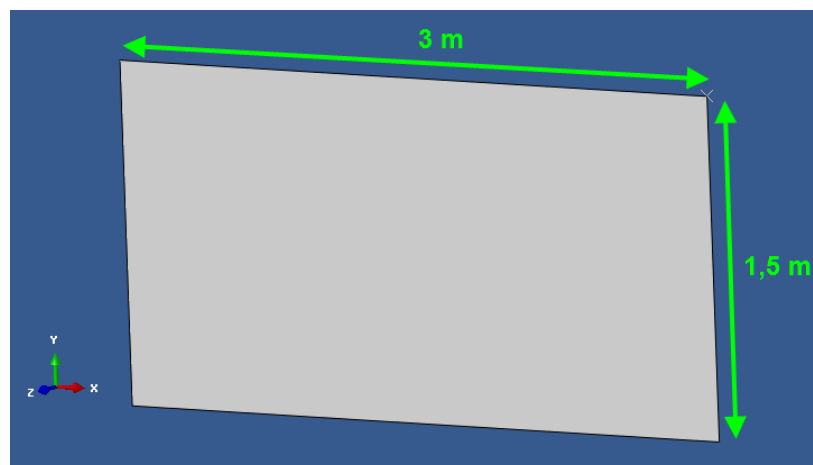


Figura 197 - Dimensiones del elemento Shell de la pared

- **Barrera deformable:** El modelo utilizado para este ensayo es el mismo modelo de barrera deformable, que se ha descrito en **Apartado 7.3.3** de la memoria, pero al cual se han realizado una serie de modificaciones para simplificar el proceso de obtención de las curvas.

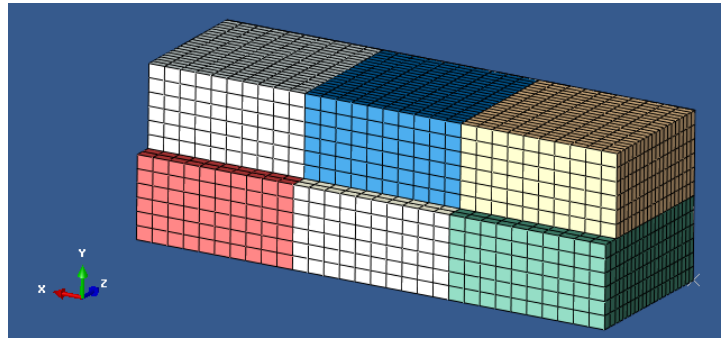


Figura 198 - Mallado Barrera deformable

#### D.1.1.1. Modificaciones sobre el modelo de la barrera deformable

Las modificaciones realizadas sobre el modelo de la barrera deformable son mínimos, debido a que prácticamente no se modifica el modelo. Esto hace que el comportamiento de este sea prácticamente el mismo en tanto en el ensayo de impacto lateral como en el ensayo para la obtención de las curvas, facilitando la obtención de estas últimas.

Las modificaciones realizadas son:

- a) **Modificación equivalencia:** Para poder medir de forma individual las curvas de cada una de las partes y que estas curvas no se vean afectadas por las partes contiguas. Se ha realizado la equivalencia entre los nodos próximos de de las partes del modelo de la barrera menos para los nodos finales donde va colocada la plancha.

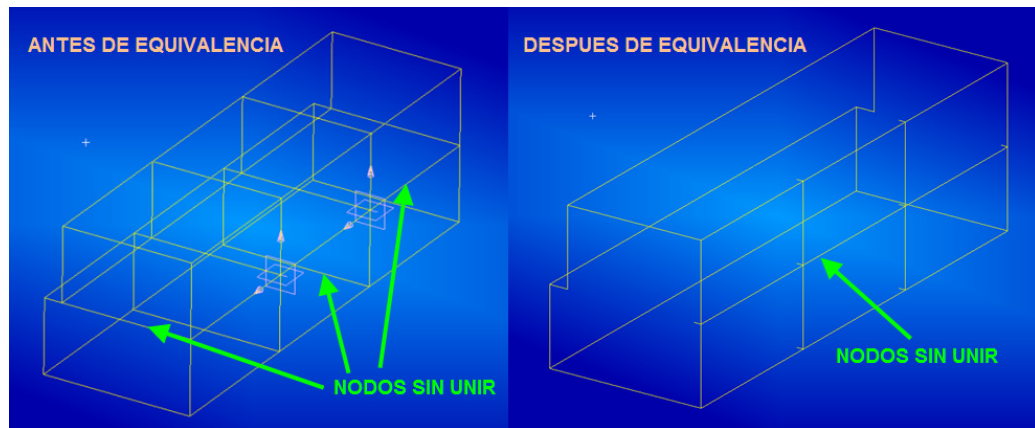


Figura 199 - Modificación de la unión entre elementos

De esta forma en todo el modelo donde antes de realizar la equivalencia había dos nodos en la misma posición geométrica, debido a que pertenecían a diferentes elementos del modelo, ahora solo existe un único nodo con lo que los elementos a los que pertenecen se encuentran unidos. Esto no ocurre en los nodos sin unir del final de cada parte que aunque visual mente parece que hay un único nodo en realidad existen dos con lo que estos elementos no están unidos.

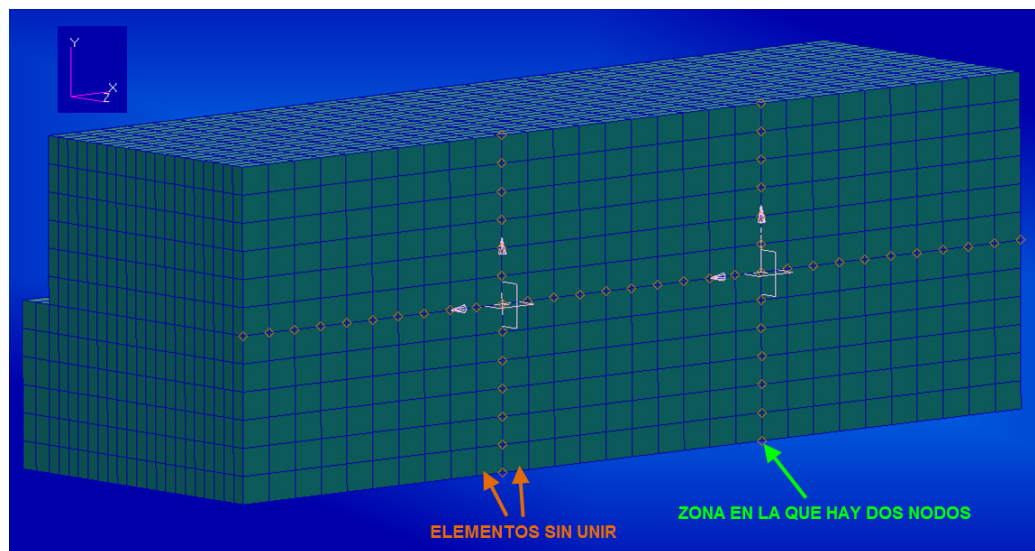


Figura 200 - Elementos sin unir

- b) **Modificación plancha:** Debido a la modificación en la equivalencia no se puede emplear la pachana diseñada para el impacto lateral, puesto que en ese modelo se han empleado todos los nodos de la zona posterior del impactador para crear los elementos. Por lo cual, deberían estar todos los nodos del modelo unidos por medio de equivalencia y no es así para este ensayo.

Con lo cual el modelo de la plancha se ha modificado de tal forma que ahora esta se encuentra modelizada por un único elemento Shell. Este elemento se ha creado utilizando los nodos de las esquinas de la parte posterior del impactador. Al la cual al igual que la plancha del impacto lateral se le aplicaran propiedades de cuerpo rígido.

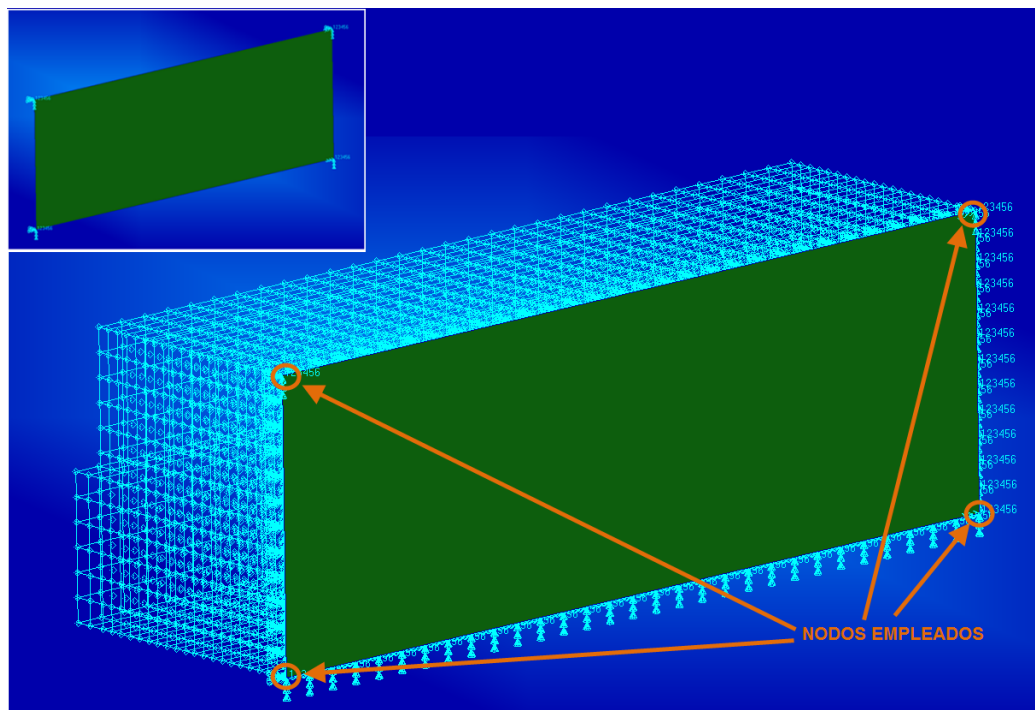


Figura 201 - Modelo plancha

## D.1.2 Cálculo de los valores iniciales

Para poder realizar la simulación del ensayo se necesitan tener unos valores iniciales de las propiedades de las partes y ver si el comportamiento de estos están dentro de los límites establecidos de rigidez. Más concretamente se necesitan los puntos de la curva tensión deformación y el modulo elástico de cada material para poder realizar la simulación en Abaqus.

Para el cálculo de las propiedades de rigidez de cada una de las partes se ha utilizado las características de un material hiperelástico.

La razón para utilizar este tipo de material fue debida a que cuando se utilizo un material elástico no se conseguían alcanzar los niveles de rigidez definidos por la normativa debido a que se producía una distorsión excesiva de algunos elementos y el software de cálculo se detenía.

La principal diferencia entre un material elástico e hiperelástico es que estos últimos recuperar toda la deformación que se les produce debido a que no tienen zona plástica. Esto no influye en nuestro modelo puesto que lo que nos interesa es la rigidez de estos a la hora de comprimirse en el impactado, donde ambos materiales tienen un comportamiento muy similar. A demás en el momento de máxima deformación en el impacto, el vehículo tiene una mayor velocidad de desplazamiento que la barrera con lo que mientras esta tiene la recuperación elástica no toca en ningún momento al vehículo.

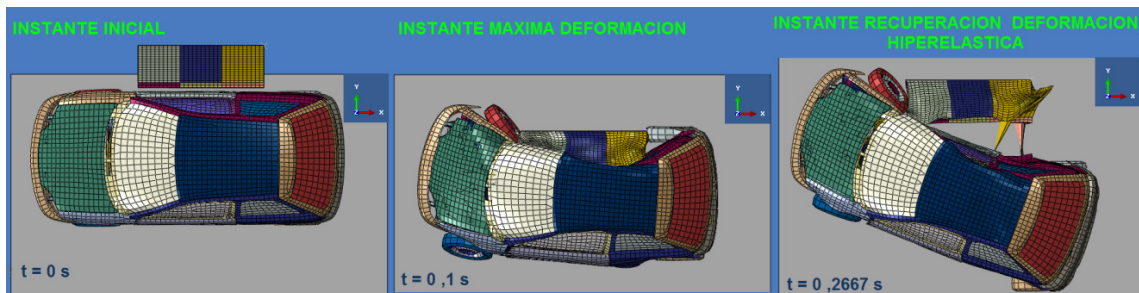


Figura 202 - Principales instantes del impacto de choque lateral



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

La forma de obtener unos valores iniciales fue utilizando las curvas de fuerza-desplazamiento como si fueran los resultado de un ensayo de tracción al cual se han sometido cada una de las partes.

A continuación se va a describir el proceso para la obtención de la curva de tensión deformación para dos de las partes 1 y 3, a partir del área en la que se tiene que encontrar su curva fuerza-deformación. Estas partes tienen los mismos valores, puesto que son idénticas. Para el resto de partes se ha seguido el mismo proceso.

Los pasos del proceso son:

1. Se ha seleccionado la curva más rígida posible dentro del área especificada según la normativa. Para ello se han seleccionado los 3 puntos principales que definen una curva de este tipo: Origen(O), límite elástico (Re) y tensión de rotura (Rm).

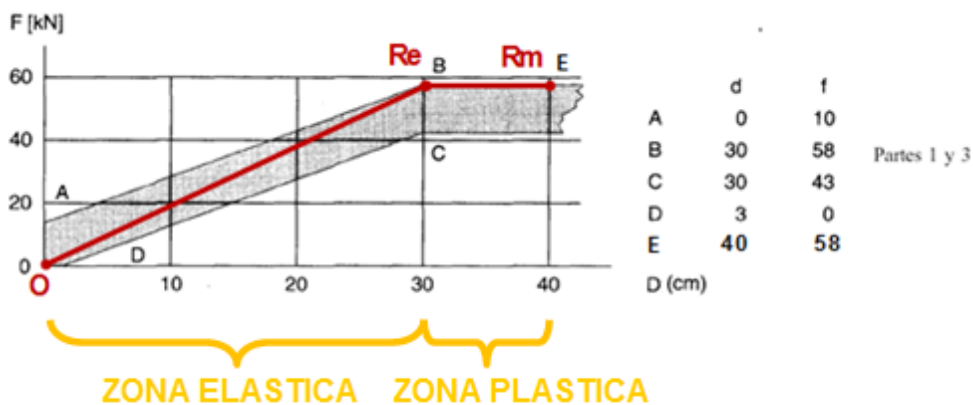


Figura 203 - Puntos característicos de la curva fuerza-deformación

PARTE 1 Y 3	FUERZA (kN)	DESPLAZAMIENTO (cm)
Origen (O)	0	0
Límite elástico (Re)	58	30
Tensión de rotura (Rm)	58	40

Tabla 43 - Puntos característicos de la curva fuerza-deformación



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

2. Se han pasado los valores de los puntos característicos de fuerza (F)-desplazamiento (d) a tensión ( $\sigma$ )-deformación unitaria ( $\epsilon$ ).

Para ello se ha utilizado las formulas que relaciona estas expresiones:

$$\sigma_j = F_j/A$$

$$\epsilon_j = \Delta l_j/l_0$$

$$A = a \cdot h$$

Donde:

$d_j$  = desplazamiento en el punto  $j$

$\sigma_j$  = Tension en el punto  $j$

$F_j$  = Fuerza en el punto  $j$

$A$  = Area transversal de la parte

$\epsilon_j$  = Defomacion unitaria en el punto  $j$

$\Delta l_j$  = Alargamiento en el punto  $j$

$l_0$  = Longitud inicial

$a$  = Anchura de la parte del impactador

$h$  = Altura de la parte del impactador

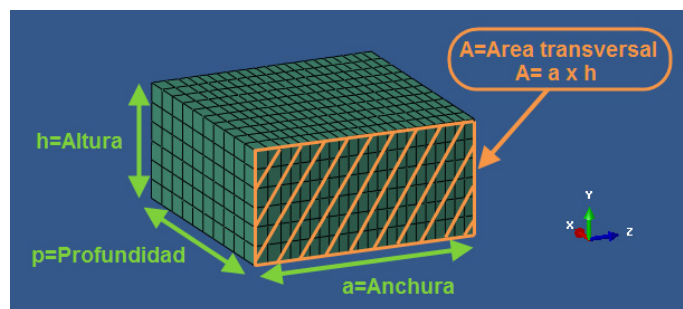


Figura 204 - Área transversal de una parte del impactador



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

Donde conocemos:

$$\Delta l_j = d_j$$

$$l_0 = \text{Longitud inicial} = p$$

$$p = \text{Profundidad de la parte del impactador}$$

$$p = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$a = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$h = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$$

$$\Delta l_B = \text{Alargamiento en Re} = 0,3 \text{ m}$$

$$F_B = \text{Fuerza en Re} = 58 \text{ kN} = 58000 \text{ N}$$

$$\Delta l_E = \text{Alargamiento en Rm} = 0,4 \text{ m}$$

$$F_E = \text{Fuerza en Rm} = 58 \text{ kN} = 58000 \text{ N}$$

Con lo cual en el punto B (Re):

$$A = a \cdot h = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125 \text{ m}^2$$

$$\sigma_B = F_B/A = \frac{58000}{0,125} = 464000 \text{ Pa}$$

$$\varepsilon_B = \Delta l_B/l_0 = \frac{0,3}{0,5} = 0,6$$

$$\sigma_B = 464000 \text{ Pa} \quad \varepsilon_B = 0,6$$

Con lo cual en el punto E (Rm):

$$A = a \cdot h = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125 \text{ m}^2$$

$$\sigma_E = F_E/A = \frac{58000}{0,125} = 464000 \text{ Pa}$$

$$\varepsilon_E = \Delta l_E/l_0 = \frac{0,4}{0,5} = 0,8$$

$$\sigma_E = 464000 \text{ Pa} \quad \varepsilon_E = 0,8$$

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

3. Una vez determinados los valores de tensión ( $\sigma$ )-deformación unitaria ( $\varepsilon$ ) para el Origen (O), límite elástico ( $R_e$ ) y tensión de rotura ( $R_m$ ). Solo queda obtener el Módulo elástico ( $E$ ) para tener completamente caracterizada la curva tensión-deformación unitaria que determina el valor inicial de esta parte.

Para ello se ha utilizado tensión ( $\sigma$ ) y deformación unitaria ( $\varepsilon$ ) en el límite elástico ( $R_e$ ):

$$E = \frac{\sigma_B}{\varepsilon_B}$$

Donde:

$E = \text{Modulo elastico}$

$\sigma_B = \text{Tension en el punto } R_e$

$\varepsilon_B = \text{Defomacion unitaria en el punto } R_e$

Donde conocemos:

$$\sigma_B = 464000 \text{ Pa}$$

$$\varepsilon_B = 0,6$$

Con lo cual:

$$E = \frac{\sigma_B}{\varepsilon_B} = \frac{464000}{0,6} = 773333,3 \text{ Pa} = 0,77333 \text{ MPa}$$

$$\boxed{E = 773333,3 \text{ Pa}}$$

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

Estos cuatro pasos se han repetido para cada parte, con lo que los valores iniciales de la curva tensión deformación para cada parte son:

- Parte 1 y 3:

CURVA PARTE 1 Y 3	TENSION (MPa)	DEFORMACION UNITARIA
Origen (O)	0	0
Limite elástico (Re)	0,464	0,6
Tensión de rotura (Rm)	0,464	0,8

Tabla 44 - Puntos curva tensión deformación de parte 1 y 3

MODULO ELASTICO (E) PARTE 1 Y 3	0,7733 Mpa
---------------------------------	------------

Tabla 45 - Modulo elástico de la curva tensión deformación de parte 1 y 3

- Parte 2

CURVA PARTE 2	TENSION (MPa)	DEFORMACION UNITARIA
Origen (O)	0	0
Limite elástico (Re)	0,560	0,32
Tensión de rotura (Rm)	0,560	0,8

Tabla 46 - Puntos curva tensión deformación de parte 2

MODULO ELASTICO (E) PARTE 2	1,75 Mpa
-----------------------------	----------

Tabla 47 - Modulo elástico de la curva tensión deformación de parte 2

- Parte 4

CURVA PARTE 4	TENSION (MPa)	DEFORMACION UNITARIA
Origen (O)	0	0
Limite elástico (Re)	0,228	0,6818
Tensión de rotura (Rm)	0,228	0,909

Tabla 48 - Puntos curva tensión deformación de parte 4

MODULO ELASTICO (E) PARTE 3	0,3344 Mpa
-----------------------------	------------

Tabla 49 - Modulo elástico de la curva tensión deformación de parte 4

- Parte 5 y 6:

CURVA PARTE 5 Y 6	TENSION (MPa)	DEFORMACION UNITARIA
Origen (O)	0	0
Limite elástico (Re)	0,204	0,6818
Tensión de rotura (Rm)	0,204	0,909

Tabla 50 - Puntos curva tensión deformación de parte 5 y 6

MODULO ELASTICO (E) PARTE 1 Y 3	0,2992 Mpa
---------------------------------	------------

Tabla 51- Modulo elástico de la curva tensión deformación de parte 5 y 6

### D.1.3 Modelización del ensayo

En la modelización del ensayo se ha intentado que se parezca lo máximo posible a al realizado por la directiva, aplicando los criterios que establece. Pero se ha realizado una modificación sobre esta.

En el ensayo real, la pared es el elemento que permanece inmóvil y la barrera es el elemento móvil. En este caso se han invertido los papeles siendo el elemento inmóvil la barrera y el móvil la pared.

Esta decisión se ha tomado debido a que al modificar la barrera deformable y tener la plancha de acero únicamente unida a 4 nodos de la parte posterior, se podría producir excesivas deformaciones en los elementos en los que va unida está al tener que utilizar un material hiperelástico.

Otro aspecto el cual se ve beneficiado con este cambio, es medición de las fuerzas para hallar las curvas. Al mantener fija la barrera, en los nodos que se hayan fijado se podrá medir la fuerza que sufre la barrera en el impacto.

#### D.1.3.1. Disposición geométrica en el modelo

A la hora de posicionar tanto el modelo de la barrera deformable como el de la pared fija para la simulación del ensayo se han seguido los criterios definidos en el **Apartado 7.3.2** de la memoria.

Los criterios para el posicionamiento geométrico son:

- La distancia al suelo de la barrera en la zona de impacto será de  $300\pm 5\text{mm}$  en el eje Y, medida en posición estática antes del impacto.
- Se ha colocado la barrera y la pared a una distancia pequeña en el eje Z para reducir el tiempo de cálculo.

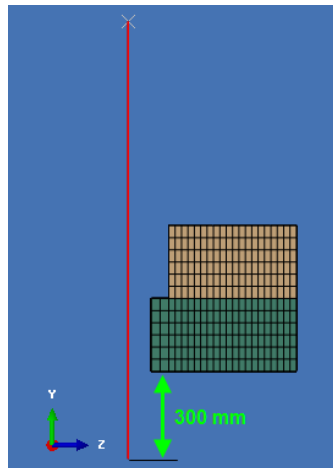


Figura 205 - Posición en el eje Y de la barrera

### D.1.3.2. Condiciones de contorno

La condición de contorno se ha aplicado de tal forma que la simulación del ensayo se aproxime lo máximo posible a las condiciones reales de ensayo exigidas por la directiva. Las cuales se encuentran descritas el inicio de este anexo.

Condiciones de contorno aplicadas:

- Se aplico la aceleración de la gravedad a todas las partes del modelo. Esta tiene un valor de  $9.81 \text{ m/s}^2$  en la dirección negativa del eje Y.

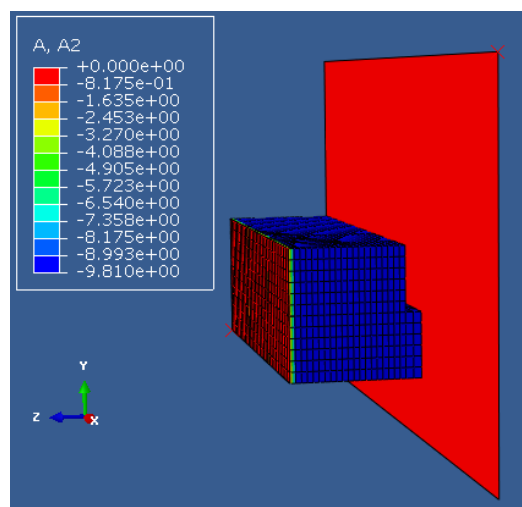


Figura 206 - Aceleración en el eje Y

- Al igual que en el **Apartado 6.2.1** de la memoria, sea aplicado un contacto global a todas las partes del modelo con un coeficiente de rozamiento de 0,3.
- Se han empotrado únicamente los nodos de la parte posterior de la barrera manteniendo a estos en una posición fija, puesto que ha estos se les ha impedido las translaciones y los giros.

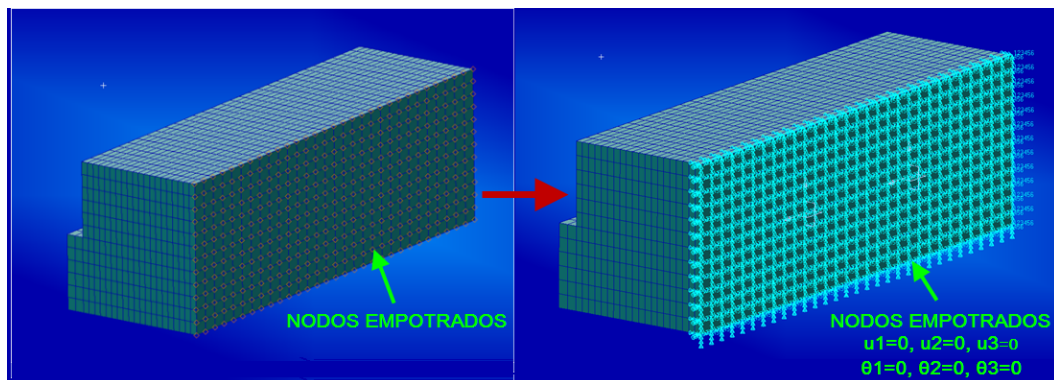


Figura 207 - Empotramiento de los nodos de la parte posterior del impactador

Al solo estar empotrado los nodos finales, el resto de nodos tienen libres los 6 grados de libertad y esto permite la deformación de los elementos del impactador como ocurre en un impacto real.

La principal ventaja de empotrar estos nodos es que cuando se empiece a comprimir el impactador por la acción del impacto aparecerán unas reacciones en los empotramientos las cuales equivalen a las fuerzas que indica la directiva que hay que medir para hallar las curvas fuerza-desplazamiento.

- Debido a que el elemento móvil, en este caso la pared, según la normativa tiene que impactar a una velocidad de 35 km/h. Se le ha aplicado una velocidad inicial de 35 km/h (9,7220 m/s) a los 4 nodos que forman el elemento de la pared.

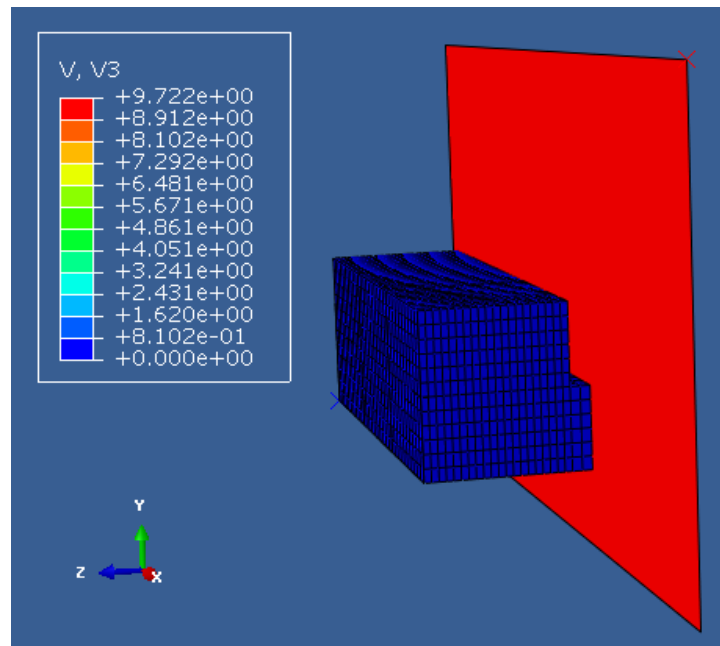


Figura 208 - Velocidad en el eje Z

Con lo que le choque se realizara a la velocidad estipulada por la directiva, debido a que no hay ningún elemento que se oponga al movimiento de la pared y reduzca su velocidad hasta el impacto.

- Para que no se produzcan rotaciones entrañas o desplazamientos de la pared durante la simulación, se han impedido todos los giros y los desplazamientos en las dos direcciones que no se produce el impacto, en los cuatro nodos que forman la pared.



En la **Figura 210** se puede ver todas las condiciones de contorno aplicadas a la pared:

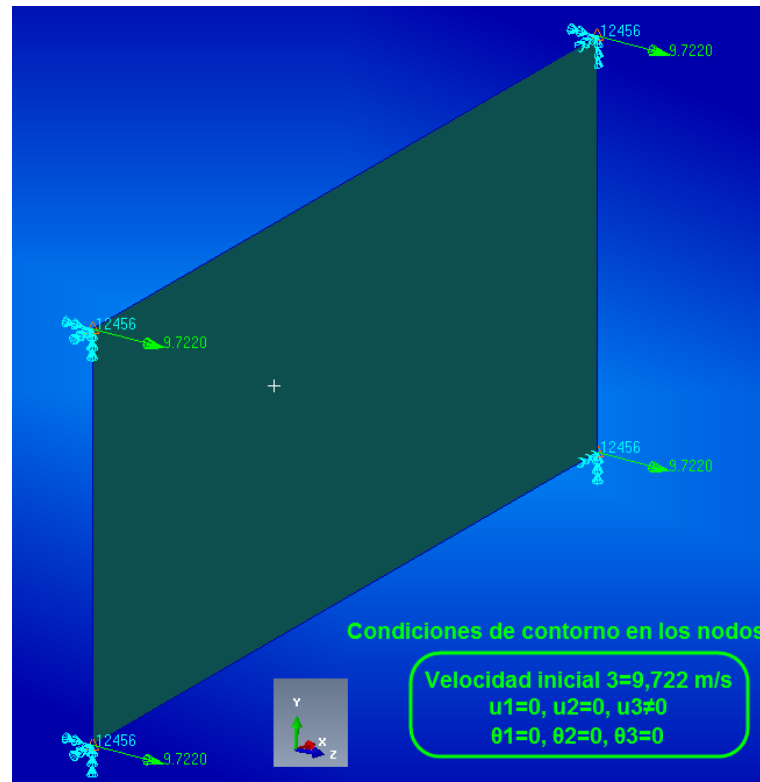


Figura 209 - Condiciones de contorno de la pared

### D.1.3.3. Aplicación de propiedades al modelo

Como el modelo del ensayo para la obtención de las curvas consta únicamente de tres elementos principales, ha sido bastante simple aplicarles unas propiedades para que se comporten como en el crash real.

Las propiedades aplicadas a cada elemento son:

- **Plancha:** Esta pieza está mallada con un elemento Shell, al que se le han aplicado propiedades de cuerpo rígido. Con lo cual el elemento que forma el mallado no podrá sufrir ninguna deformación.

De esta forma la plancha simula la rigidez que transmitiría al impactador el conjunto total del chasis. Puesto que, este se encuentra formado por

una estructura con perfiles con una elevada rigidez y por una plancha de acero de un gran espesor, con lo que hace que esta plancha en la realidad no sufra prácticamente ninguna deformación.

- **Partes del impactador:** El impactador está compuesto por seis partes, las cuales se encuentra malladas como elementos sólidos. A estos elementos se les ha aplicado las propiedades iniciales halladas en el **Apartado D.1.2** y las densidades calculadas en el **Anexo C**.
- **Pared:** Al igual que en la plancha, la pared esta mallada con un único elemento Shell, al cual se le han aplicado propiedades de cuerpo rígido para impedir su deformación. Con lo que esta pared se comportara igual que en la realidad puesto que esta es un pared de hormigón de 3 toneladas la cual no se va a deformar.

Como se ha comentado al inicio del **Apartado D.1.3**, el elemento móvil en esta simulación es la pared. Pero al aplicarle propiedades de cuerpo rígido no tiene masa debida que no se le aplica densidad a los Rigid Body. Con lo cual, para que la simulación sea equivalente a la realidad la pared tiene que tener asociada a ella la masa del elemento móvil en la realidad, es decir los 950 kg que debe tener de masa la barrera deformable.

La forma de conseguir que el elemento rígido que recrea la pared pese esos 950 kg, ha sido colocando elementos masa en los nodos que forman la pared. Más concretamente han sido colocados cuatro elementos masa de 237,5 kg en cada uno de los nodos que forman el elemento Shell, con lo cual estos elementos masa quedan fijados a esos nodos y se moverán de la misma forma que estos.

De esta forma la pared tiene asociada a ella una masa de 950 kg que se moverá de forma homónima a esta.

### D.1.4 Simulación del ensayo

Para simular el ensayo de las curvas de rigidez de las partes se ha realizado mediante Abaqus. El modelo de elementos finitos utilizado tiene todas las características que se han descrito lo largo de todo este anexo.

La simulación se ha realizado mediante un cálculo dinámico el cual se ha calculado durante 0,08 segundos. Se ha escogido este tiempo de cálculo, puesto que a los 0,08 segundos el impactador ya ha frenado completamente a la pared alcanzando su máxima deformación y ya está en el proceso de recuperar su forma original empujando a la pared debido a las propiedades de material hiperelástico.

Con lo cual ya se han procesado los datos que necesitamos para el cálculo de las curvas, los cuales van desde el momento que empieza el contacto entre el impactador y la pared hasta que esta última se ha frenado completamente, que es el punto de máxima deformación del impactador.

En la **Figura 212** se puede ver el desarrollo de la simulación en los instantes más importante.

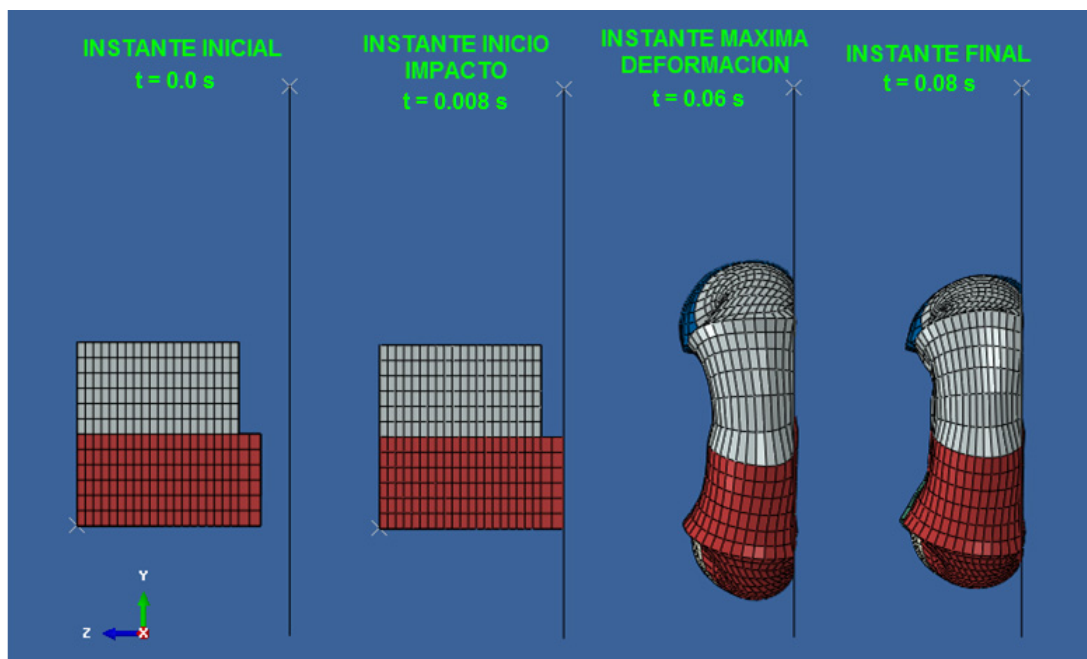


Figura 210 - Instantes de la simulación

## D.2. Calculo curvas fuerza deformación

En este apartado se va a explicar el proceso llevado a cabo para la obtención de las curvas fuerza-deformación, ya que el software Abaqus utilizado en el cálculo no las proporciona directamente.

Para este proceso de obtención de las curvas de rigidez, se ha analizado los datos calculados por el software desde el instante inicial que se produce el impacto en  $t=0.008$  segundos hasta el instante donde se produce la deformación máxima  $t=0.06$  segundos.

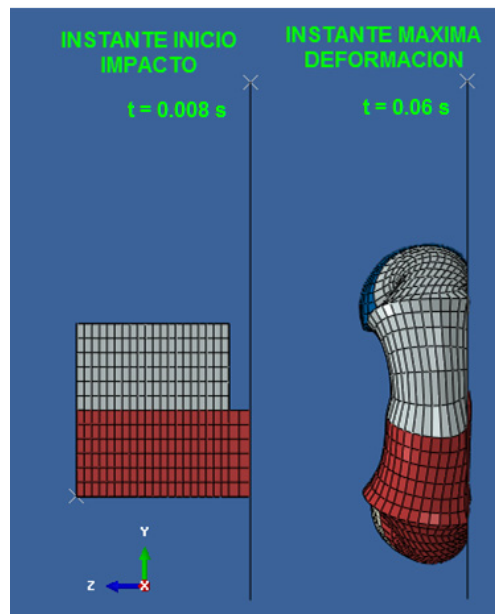


Figura 211 - Instantes más importantes de la simulación

De esta forma se tiene valores de todo el proceso de compresión del impactador, que es donde indica la directiva que hay que sacar los valores para la obtención de la curva en el ensayo real.

Este proceso para la obtención de las curvas se ha dividido en varias etapas en función de los datos obtenidos y como se han tratado, pero estos siempre están dentro del intervalo de 0.008 segundos y 0,06 segundos.

## D.2.1 Etapas del proceso

A continuación se va a explicar las etapas en las que se ha dividido el proceso para la obtención de las curvas de los elementos 1 y 3, los cuales tienen curvas idénticas por estar colocados en posiciones simétricas y tener las mismas propiedades aplicadas. Para el resto de partes se ha seguido el mismo proceso.

### D.2.1.1. Obtención de los valores curva fuerza-tiempo

Para obtener la curva fuerza-tiempo se va a analizar el valor de las reacciones que se generan en los nodos finales de cada parte, los cuales están empotrados.

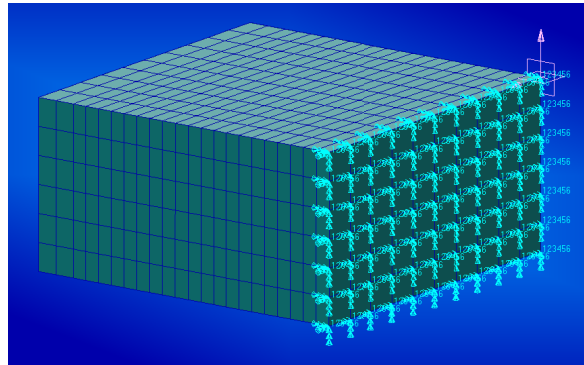


Figura 212 - Nodos finales de cada parte empotrados

Si no fijamos en la **Figura 215**, se puede ver que en el esfuerzo principal al que están sometidas las partes del impactador es de compresión. Con lo cual el impacto se puede asemejar a un ensayo de compresión en el eje Z, puesto es en el eje que se realiza el desplazamiento de la pared.

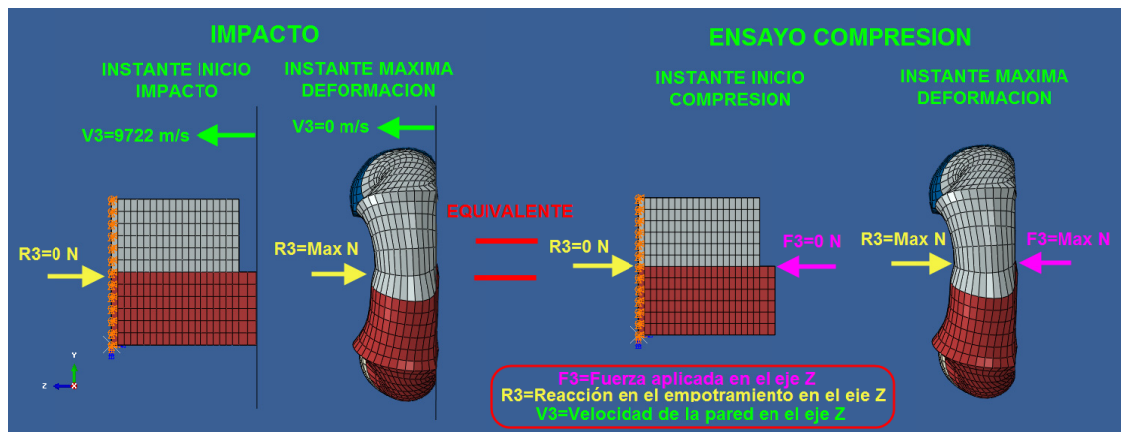


Figura 213 - Equivalencia entre el impacto y un ensayo de compresión

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

En este caso de impacto, cada parte tiene uno de sus extremos en voladizo y el otro empotrado. Con lo cual, si aplicamos una fuerza de compresión en el voladizo en la dirección longitudinal (eje Z) aparecerá una reacción en la misma dirección y con el mismo valor pero de sentido contrario en el empotramiento. Esto provoca que cada elemento este sometido a un esfuerzo de compresión en el eje Z del valor de la fuerza, como se puede ver en la **Figura 216**.

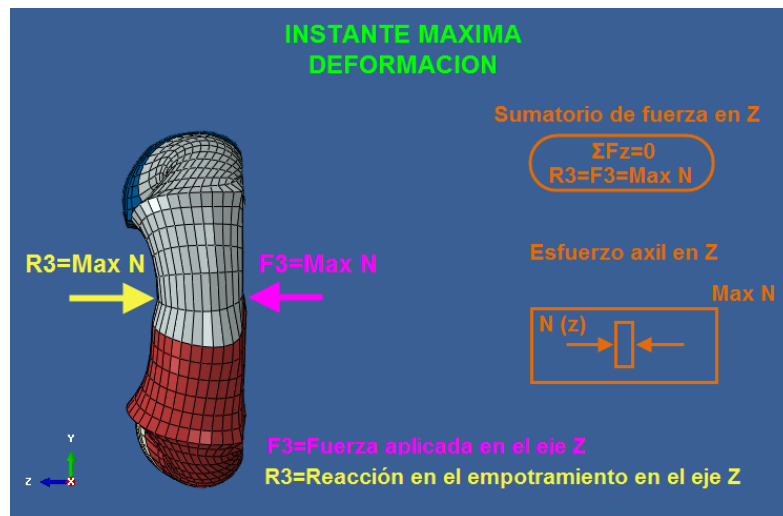


Figura 214 - Esfuerzos durante el ensayo

Como la parte empotrada de cada parte se encuentra dividida en una gran cantidad de nodos, la fuerza total que se ve sometida cada parte se encuentra dividida entre todos estos nodos.

Por lo tanto para conseguir el fuerza en el eje Z que se ve sometido cada parte a lo largo del tiempo, se ha graficado la suma de las fuerzas en Z de todos los nodos que se encuentran empotrados de cada parte. Esta grafica se ha realizado mediante una opción que permite Abacus, cuyos valores fuerza vs tiempo se ha extraído a una tabla Excell.

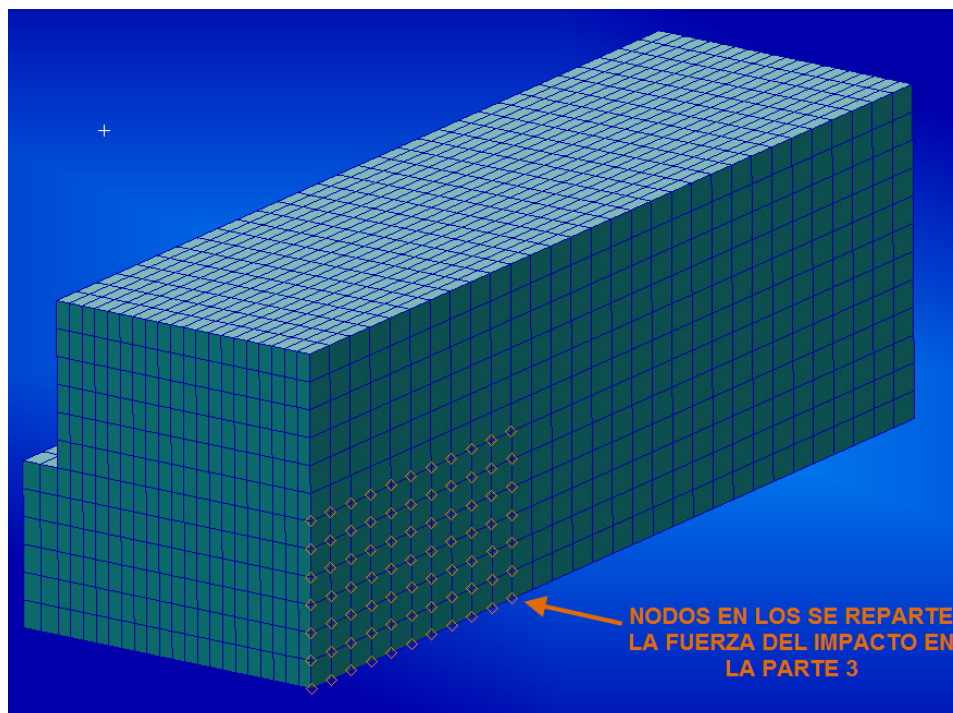


Figura 215 - Nodos de la parte 3 donde aparecen las reacciones

Un aspecto muy importante a destacar en este proceso, es que al no realizar la equivalencia entre los nodos empotrados de cada parte como se explica en el **Apartado D.1.1.1**. A la hora de sumar la fuerza de los nodos empotrados de cada parte, no se suma parte de la fuerza que soportan las partes contiguas puesto que los nodos fronterizos no se encuentran unidos aunque estén en la misma posición geométrica.

#### **D.2.1.2. Obtención de los valores curva desplazamiento-tiempo**

El proceso seguido para la obtención de la curva desplazamiento-tiempo es similar al de la curva fuerza-tiempo pero en este caso, se ha obtenido a partir del desplazamiento de los nodos frontales de cada parte.

Como se ha comentado en el punto anterior, el impacto hace que se vea sometido cada parte a un esfuerzo de compresión. Más concretamente, la fuerza de compresión generada por la pared desplaza los nodos de la parte frontal del impactador reduciendo su cota en el eje Z, esto es debido a que los



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

Los nodos de la parte final se encuentran empotrados. Con lo cual, el desplazamiento total que se produce en cada parte, es el desplazamiento en el eje Z que sufre los nodos de su frontal desde la posición que tiene en el inicio del impacto hasta la posición que tienen cuando se ha frenado completamente la pared.

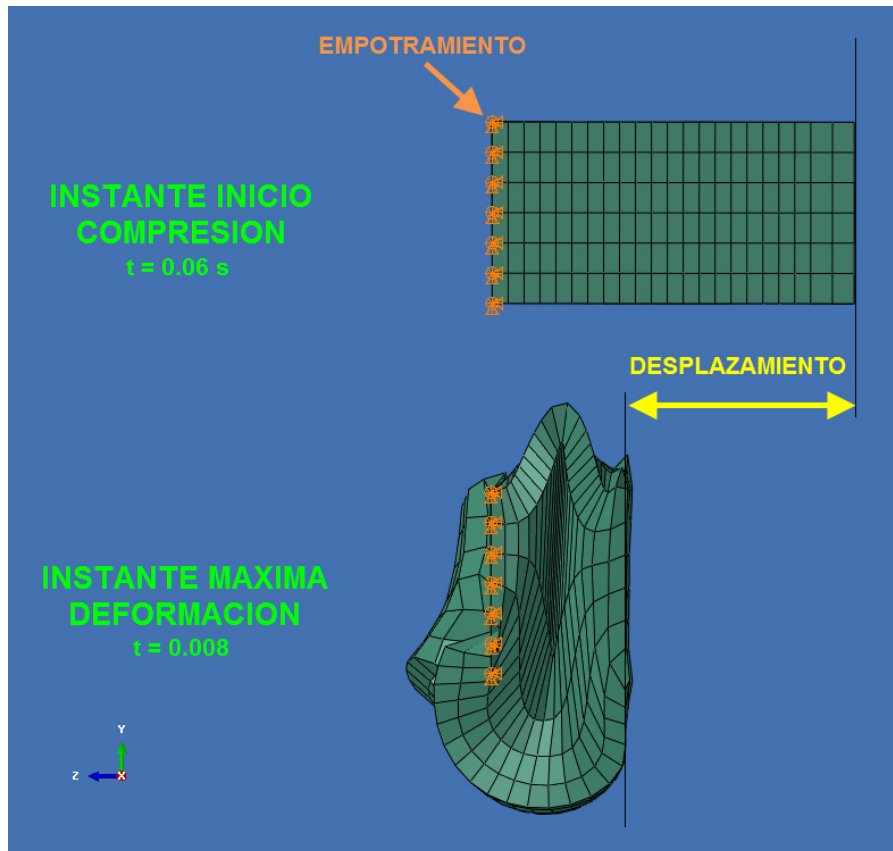


Figura 216 - Desplazamiento de los nodos frontales

En este caso para obtener el desplazamiento en función del tiempo, se ha graficado la media del desplazamiento en el eje Z de todos los nodos que forman el frontal de cada parte. De esta forma, se consigue un valor medio del desplazamiento de la totalidad de los nodos del frontal. Esto evita la distorsión del desplazamiento por valores extremos de nodos puntuales.



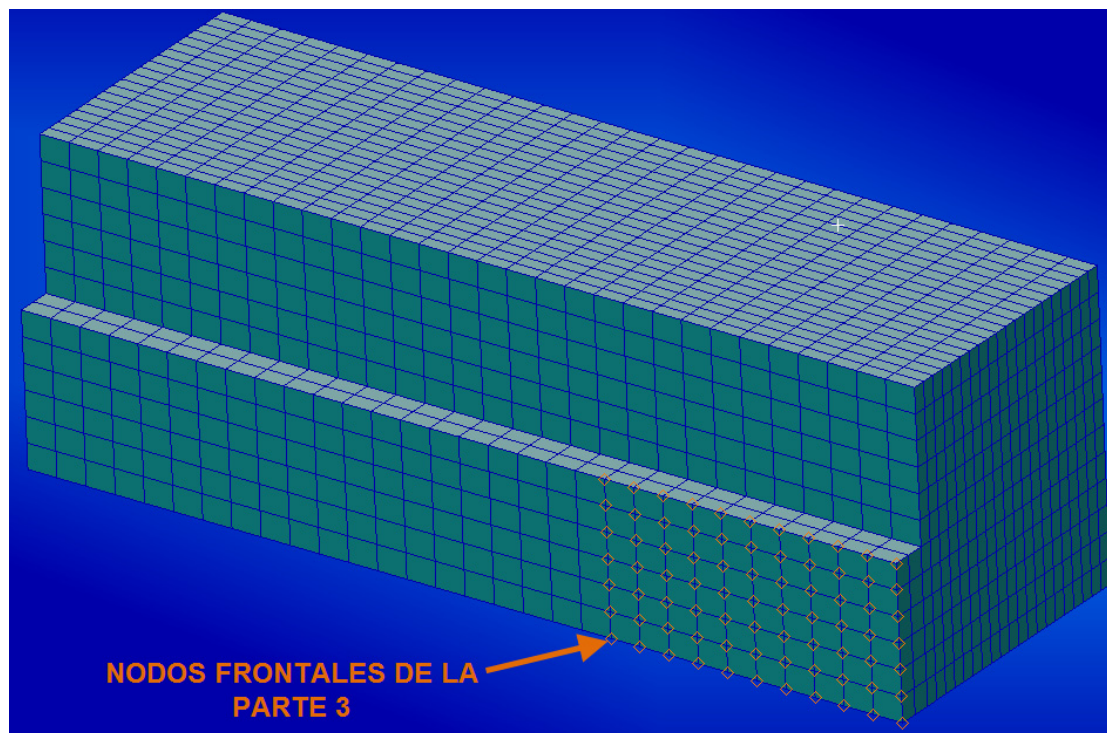


Figura 217 - Nodos frontales en los que se calcula la media del desplazamiento de todos ellos

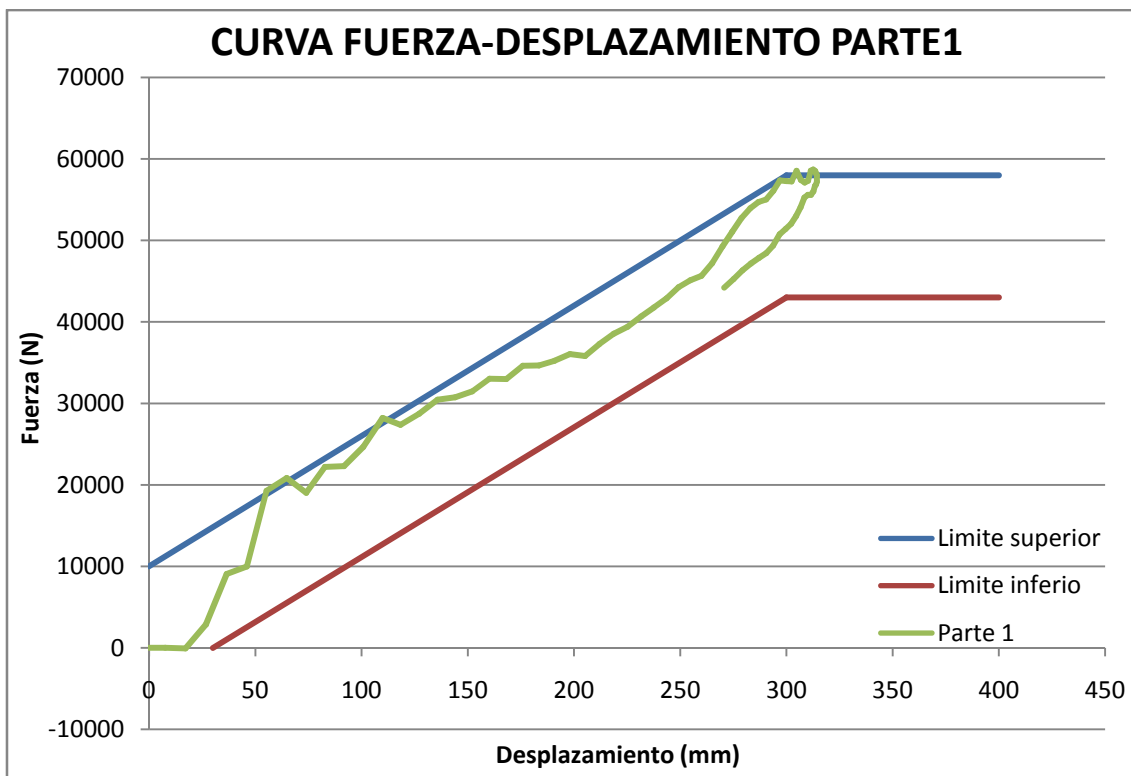
Esta grafica desplazamiento-tiempo se ha realizado mediante una opción que permite Abacus, cuyos valores se ha extraído a una tabla Excell.

#### **D.2.1.3. Obtención de la curva fuerza-desplazamiento**

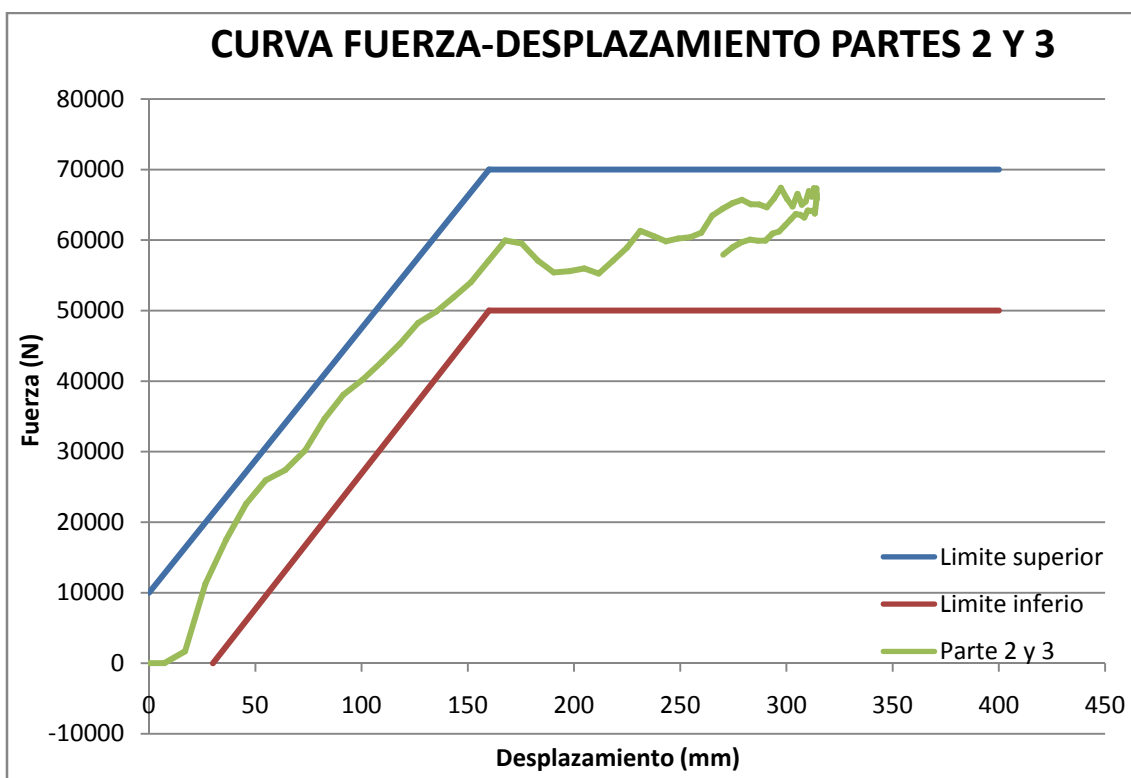
La obtención de la curva esfuerzo-deformación se ha realizado a partir de los valores Excell de las curvas esfuerzo-tiempo y desplazamiento-tiempo.

Primero, se ha seleccionado en ambos caso los valores dentro del intervalo de tiempo que nos interesa de 0.008 a 0.06 segundos. A continuación, se ha creado una tabla en la cual para un mismo instante de tiempo se ha puesto el valor de esfuerzo y de desplazamiento correspondientes a ese instante. Este proceso, se ha realizado para todos los instantes dentro del intervalo de interés y posteriormente se han graficado todos estos valores.

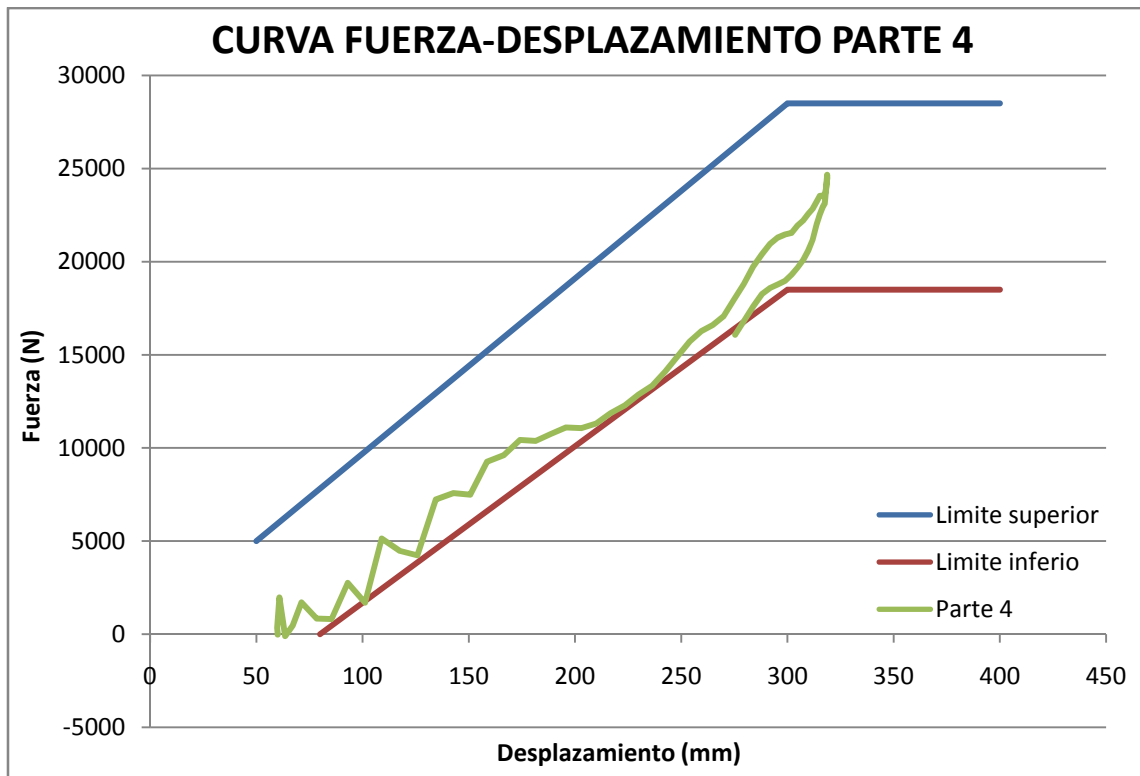
Una vez finalizado este proceso los gráficos de fuerza-desplazamiento obtenidos para cada una de las partes del impactador son:



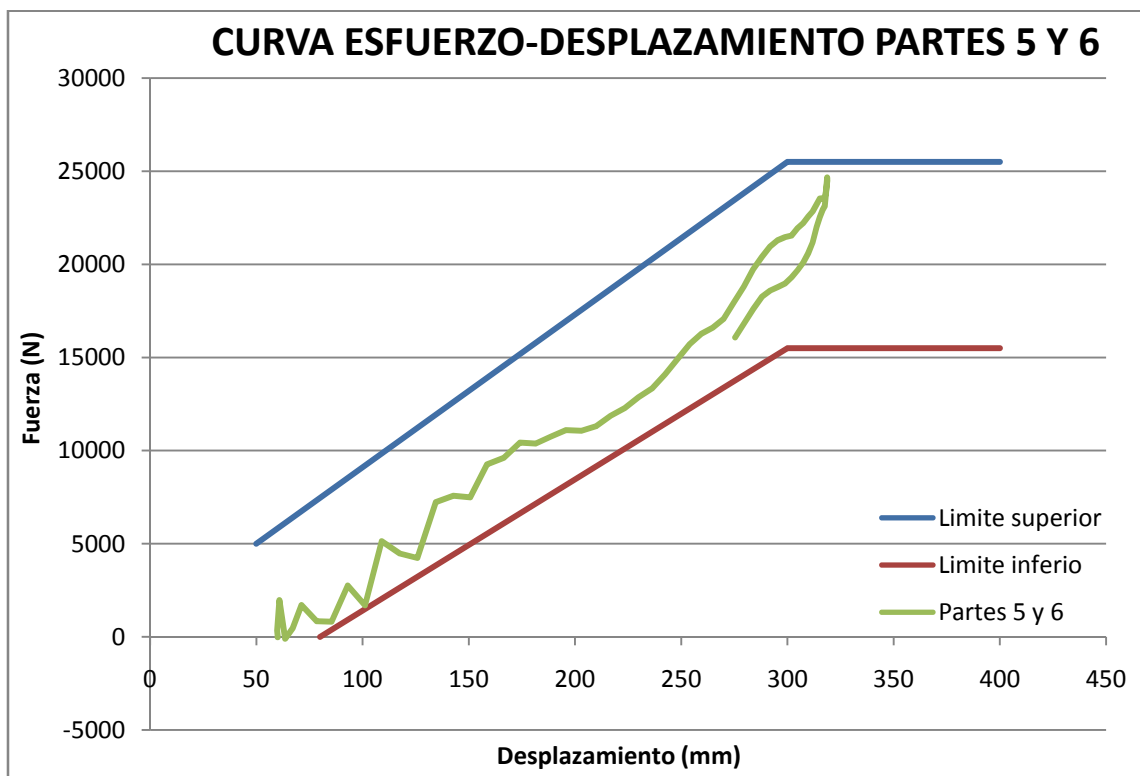
Grafica 26 - Curva fuerza-desplazamiento obtenida para la Parte 1



Grafica 27 - Curva fuerza-desplazamiento obtenida para la Partes 2 y 3



Grafica 28- Curva fuerza-desplazamiento obtenida para la Parte 4



Grafica 29 - Curva fuerza-desplazamiento obtenida para la Parte 5 y 6



## **ANEXO E: Energías Abaqus 6.12**

Abaqus 6.12 es una herramienta de cálculo y post-proceso muy potente, la cual permite obtener una cantidad enorme de resultados en sus cálculos, en la que se encuentran las energías.

Las energías utilizadas a lo largo del trabajo fin de master son:

- ALLAE: Energía de deformación artificial
- ALLCD: Energía disipada por Creep
- ALLWK: Trabajo externo
- ALLFD: Energía disipada por rozamiento
- ALLIE: Energía interna, energía total de deformación
- ALLKE: Energía cinética
- ALLPD: Energía de deformación plástica
- ALLSE: Energía de deformación elástica
- ALLVD: Energía de disipación viscosa
- ETOTAL: Energía total

### **E.1. Energías totales permitidas en un cálculo dinámico en Abaqus:**

#### **Total energy output**

You can request total energy variable output to the results or output database file (see [“Total energy output” in “Output to the data and results files,” Section 4.1.2](#), and [“Total energy output” in “Output to the output database,” Section 4.1.3](#)). All of these variables are written when total energy output is requested. Energy history totals can be requested to the output database for part of the model as well as the whole model.

#### **ALLAE**

“Artificial” strain energy associated with constraints used to remove singular modes (such as hourglass control) and with constraints used to make the drill rotation follow the in-plane rotation of the shell elements.

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

#### **ALLCD**

Energy dissipated by viscoelasticity. (Not supported for hyperelastic and hyperfoam material models).

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

---

### **ALLFD**

Total energy dissipated through frictional effects. (Available only for the whole model).

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLIE**

Total strain energy. ( $ALLIE = ALLSE + ALLPD + ALLCD + ALLAE + ALLDMD + ALLDC + ALLFC$ .)

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLKE**

Kinetic energy.

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLPD**

Energy dissipated by rate-independent and rate-dependent plastic deformation.

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLSE**

Recoverable strain energy.

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLVD**

Energy dissipated by viscous effects.

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLWK**

External work. (Available only for the whole model).

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLIHE**

Internal heat energy.

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLHF**

External heat energy through external fluxes.

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLDMD**

Energy dissipated by damage.

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLDC**

Energy dissipated by distortion control.

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

### **ALLFC**

Fluid cavity energy, defined as the negative of the work done by all fluid cavities. (Available only for the whole model.)

.fil: no .odb Field: no .odb History: yes

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

### ALLPW

Work done by contact penalties, including general contact and penalty/kinematic contact pairs. (Available only for the whole model.)

.fil: no .odb Field: no .odb History: yes

### ALLCW

Work done by constraint penalties. (Available only for the whole model.)

.fil: no .odb Field: no .odb History: yes

### ALLMW

Work done in propelling mass added in mass scaling. (Available only for the whole model.)

.fil: no .odb Field: no .odb History: yes

### ETOTAL

Energy balance defined as:  $ALLKE + ALLIE + ALLVD + ALLFD + ALLIHE - ALLWK - ALLPW - ALLCW - ALLMW - ALLHF$ . (Available only for the whole model.)

.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

Figura 218 - Energías en un cálculo dinámico

## E.2. Recomendaciones energías en cálculos dinámico

Abaqus permite realizar cálculos explícitos o dinámicos, pero necesita emplear o crear una energía artificial para poder finalizar estos cálculos. Más concretamente la energía artificial se denomina ALLAE, la cual crea el programa para poder compensar las deformaciones excesivas de algunos elementos puntuales en este tipo del cálculo y así mantener la energía total ETOTAL constante.

### ALLAE

“Artificial” strain energy associated with constraints used to remove singular modes (such as hourglass control) and with constraints used to make the drill rotation follow the in-plane rotation of the shell elements.

Figura 219 - Energía artificial ALLAE

Esta energía ALLAE es uno de los componentes de la energía total de deformación ALLIE, con lo cual si la energía artificial tiene unos valores muy altos está distorsionando los valores reales de energía de deformación.

### ALLIE

Total strain energy. ( $ALLIE = ALLSE + ALLPD + ALLCD + ALLAE + ALLDMD + ALLDC + ALLFC$ .)

Figura 220 - Energía total de deformación ALLIE

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

También, si analizamos la forma de cálculo de la ETOTAL vemos que esta está compuesta por la ALLIE, la cual a su vez está compuesta por la ALLAE. Por esta razón, el software utiliza la energía ALLAE para compensar las variaciones en la energía total y mantenerla constante.

### ETOTAL

Energy balance defined as:  $ALLKE + ALLIE + ALLVD + ALLFD + ALLIHE - ALLWK - ALLPW - ALLCW - ALLMW - ALLHF$ . (Available only for the whole model.)  
.fil: yes .odb Field: no .odb History: yes

**Figura 221 Energía total ETOTAL**

Debido a esto, Abaqus recomienda que se controle el valor de energía artificial que se produzca durante un cálculo explícito. Recomendado que esta tenga un valor despreciable frente a las energías reales.

Energy output is particularly important in checking the accuracy of the solution in an explicit dynamic analysis. In general, the total energy (ETOTAL) should be a constant or close to a constant; the "artificial" energies, such as the artificial strain energy (ALLAE), the damping dissipation (ALLVD), and the mass scaling work (ALLMW) should be negligible compared to "real" energies such as the strain energy (ALLSE) and the kinetic energy (ALLKE).

**Figura 222 – Recomendación Abaqus**

Por esta razón en el presente trabajo fin de master, se ha intentado que la energía ALLAE no exceda el 10% del valor de la energía total de deformación ALLIE en los diferentes cálculos realizados. Esto ha llevado a tener que realizar algunas modificaciones sobre el modelo del vehículo, que ya se han explicado a lo largo de la memoria.

Las modificaciones en el modelo se encuentran en los **Apartados 6.2.7 y 6.2.9**

Otra recomendación que hace Abaqus, la cual se puede ver en la **Figura 224**, es que la energía total ETOTAL del cálculo explícito debe permanecer constante, para cumplir el principio de conservación de energía en el cálculo. De no ser así habría que analizar el modelo, puesto que estaría ocurriendo fenómenos que no se adaptarían a la realidad.



## **ANEXO F: Método de los elementos finitos**

Al consistir el trabajo en el estudio y evaluación del comportamiento de un pilar B en materiales compuestos frente a un impacto lateral, gracias a programas de análisis numérico basado en el método de los elementos finitos, los pasos que han llevado a cabo son:

- **Pre-Proceso:** Definición de geometría y malla, materiales, propiedades, casos de carga y condiciones de contorno, tipo de análisis. Esta etapa se ha realizado mediante el software comercial Patran.
- **Calculo:** Resolución numérica de las ecuaciones de equilibrio en los puntos de integración. Obtención de resultados. Esta etapa se ha realizado mediante el software comercial Abaqus.
- **Post-Proceso:** Análisis de los resultados de las variables solicitadas. Interpretación gráfica de los mismos. Esta etapa se ha realizado mediante el software comercial Abaqus.

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es un método numérico que se utiliza para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales. Su evolución y desarrollo desde mediados del siglo XX hasta nuestros días ha sido constante y en la actualidad puede considerarse como el método numérico más utilizado en la mayoría de los ámbitos de la ingeniería.

Son muchas las facetas de la ingeniería en las que se precisa determinar la distribución de tensiones y deformaciones en un continuo elástico. Los casos particulares de dichos problemas pueden variar desde problemas bidimensionales de tensión o deformación plana, sólidos de revolución y flexión de placas y láminas, hasta el análisis más general de sólidos tridimensionales.





## TRABAJO FIN DE MÁSTER

---

El MEF consiste en su formulación física en la división del dominio espacial, ya sea uni, bi o tridimensional en una serie de subdominios de geometría simple, a los cuales se les denomina elementos. Estos elementos se encuentran formados por una serie de puntos que definen su geometría y se denominan nodos. En el interior de cada elemento se interpola una función de desplazamientos que se formula en función de los valores de desplazamientos que existen en los nodos.

La forma de trabajo de estos elementos consiste en aplicar las ecuaciones de compatibilidad y comportamiento y obtener una relación entre la fuerza aplicada sobre los elementos y los desplazamientos de los nodos. Esta relación se expresa mediante la matriz elemental, la cual depende del número de nodos, situación de estos, material utilizado, geometría de elementos y tipo de problema.

Dependiendo del tipo de formulación del problema se determina si el problema es lineal (elasticidad lineal) o si no es lineal (grandes desplazamientos o deformaciones, comportamiento del material complejo).

A continuación se expresa el proceso de cálculo con el MEF:

1. Planteamiento de continuidad de desplazamientos y equilibrio de fuerza entre elementos.
2. Sistema de ecuaciones globales de la estructura.
3. Tipo de formulación inicial (lineal o no lineal).
4. Resolución.
5. Obtención de los desplazamientos nodales (incógnitas básicas).
6. Obtención de otras variables: deformaciones y tensiones.

La aproximación de los elementos finitos no requiere la selección del tipo de ecuación que será usada para modelar la estructura. Los códigos disponibles en el mercado han definido previamente los elementos para los cuales la matriz de rigidez individual del elemento ha sido resuelta.



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

---

De esta forma, el usuario necesita definir únicamente el tipo de elemento. Una vez que el elemento ha sido definido el procedimiento es el siguiente:

1. Decidir la geometría requerida para modelar correctamente el problema.
  - 1D (cables, vigas)
  - 2D (tensión o deformación plana)
  - 2D axisimétrica (láminas y sólidos de revolución)
  - 3D (láminas y sólidos)
2. Seleccionar el tipo de elemento y formular la matriz de rigidez del elemento si se requiere
  - Definir la matriz que relaciona las deformaciones del elemento con los desplazamientos nodales  $\{B\}$
  - Definir la matriz de la ley constitutiva  $\{D\}$
  - Aplicar una rutina numérica cuadrática para evaluar la rigidez del elemento sobre el volumen del elemento,  $\int \{B\}^T \{D\} \{B\} dv$

El MEF consiste en dividir un medio continuo en un número finito de partes cuyo comportamiento se especifica con un número finito de parámetros, pasando de un sistema con infinitos grados de libertad a otro con un número fijo, con propiedades físicas y geométricas muy parecidas, en el que las ecuaciones de equilibrio se pueden expresar mediante un sistema algebraico de ecuaciones simultáneas con un determinado número de incógnitas, obteniéndose la solución del sistema completo mediante el ensamblaje de las soluciones para cada elemento finito.

3. Discretizar la geometría en una malla.
  - Definir las localizaciones de los nodos de los elementos.
  - Agudizar el mallado en zonas de concentración de tensiones



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

---

4. Definir las propiedades locales del elemento.
  - Anisótropo
  - Isótropo
  - Ortótropo
5. Siguiendo los pasos anteriores obtenemos la matriz de rigidez del elemento.
6. Transformar la matriz de rigidez local del elemento en coordenadas globales.
7. Obtener el ensamblaje de la matriz de rigidez suponiendo las matrices de rigidez globales de los elementos.
8. Definir las condiciones de contorno aplicadas al sistema y formular el vector de fuerzas nodales  $\{F\}$  así como definir desplazamientos, nodos fijos, contactos, cargas, temperatura, etc.
9. Resolver el conjunto de ecuaciones algebraicas lineales resultante usando los métodos apropiados.
10. Resolver tensiones y deformaciones locales de elementos. Calcular tensiones y deformaciones en lámina y comparar con los criterios de rotura. Una vez que se han establecido las características de los nodos o los elementos, las ecuaciones individuales deben ensamblarse para formar un sistema global de ecuaciones que describa la respuesta general del sistema.

Este ensamblaje, el cual aparece en el punto 9, da lugar a un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales cuya forma básica es la siguiente.

$$[K]\{u\} = \{f\}$$

En donde:

$[K]$  es una matriz ( $n \times n$ ) de rigidez del sistema;

$\{u\}$  es un vector columna ( $n \times 1$ ) que normalmente representa los términos de desplazamiento del sistema que son desconocidos.

$\{f\}$  es un vector columna ( $n \times 1$ ) que normalmente son las cargas aplicadas que son conocidas.

# ANEXO G: Aceros de ultra alta resistencia

**DOCOL®**  
HIGH STRENGTH STEEL

<sup>1(2)</sup>  
Data Sheet 8235en Docol 2014-01-24

## Docol 1000 LCEZE

Electrogalvanized Advanced High Strength Steel

### General Product Description

Docol 1000 LCEZE is an electrogalvanized cold rolled extra high strength dual phase steel with excellent welding ability thanks to a low carbon equivalent.

### Applications

Docol 1000 LCEZE is suitable for applications that require a combination of high strength and corrosion resistance. Typical applications are components in the automotive industry like bumper reinforcements, door beams and waistline reinforcements.

### Dimension

Docol 1000 LCEZE is available in thicknesses of 0.51-2.10 mm and widths of up to 1500 mm. Limitations may occur depending on the thickness, width and coating.

### Mechanical Properties

Steel grade	Yield strength $R_{p0.2}$ (MPa)		Tensile strength $R_m$ (MPa)		Elongation $A_{80}$ %	Min bending radius 90° bend
	min	max	min	max	min	$R/t$ <sup>1) 2)</sup>
Docol 1000 LCEZE	700	900	980	1200	8	2.0

The mechanical properties are valid in the rolling direction.

1)  $t$  = Sheet thickness

2) For rolling direction and transverse direction.

### Chemical Composition

Steel grade	C % max	Si % max	Mn % max	P % max	S % max	Al % min	Nb + Ti % max	CE * Typical
Docol 1000 LCEZE	0.11	0.40	2.50	0.020	0.010	0.015	0.10	0.25

\* CE =  $C + Mn/20 + Si/30 + 2P + 4S$

### Tolerances

#### Thickness and width

Docol 1000 LCEZE is supplied to thickness and width tolerances in accordance with EN 10131. More narrow thickness tolerances according to the SSAB standard are available on request.

[www.docol.com](http://www.docol.com)

/ **SSAB**



## Delivery condition

Annealed and skinpassed.

## Surface treatment

Available surface treatments
Oiled
Chemically passivated ( $\text{Cr}^{3+}$ )
Phosphated
Chemically passivated ( $\text{Cr}^{3+}$ ) and oil
Untreated

## Zinc coating

Docol 1000 LCEZE is available with the following zinc coatings:

Coating designation
ZE 25/25
ZE 50/50
ZE 75/75
ZE 100/100
ZE 25/00
ZE 50/00
ZE 75/00

ZE 50/50 implies that the nominal zinc-coating thickness is 5.0  $\mu\text{m}$  on both the upper and lower side of the strip.

## Fabrication and Other Recommendations

Docol 1000 LCEZE is not sensitive to hydrogen embrittlement in the delivery condition.

For information concerning welding and fabrication, see SSAB's brochures on [www.ssab.com](http://www.ssab.com) or consult Tech Support, [help@ssab.com](mailto:help@ssab.com).

Appropriate health and safety precautions must be taken when welding, cutting, grinding or otherwise working on the product.

## Contact and Information

Tech Support will be pleased to assist you with additional information concerning this SSAB product.

Docol is a registered trademark of SSAB Technology AB, Sweden.

The English version of this document shall prevail in case of discrepancy. Download the latest version of this document at [www.ssab.com/downloads](http://www.ssab.com/downloads)

[www.docol.com](http://www.docol.com)





1(2)  
Data Sheet 8230en Docol 2012-06-27

## Docol 1400 MZE

### Electrogalvanized Ultra High Strength Steel

#### General Product Description

Docol 1400 MZE is a cold-rolled, Ultra High Strength Steel that is heat-treated in a continuous annealing line and finally electrogalvanized. The surface is supplied with a zinc coating from 2.5–10.0  $\mu\text{m}$ , on one or two sides, with appropriate post-treatment. Docol 1400 MZE provides cost efficient solutions for components requiring high corrosion protection at high strength levels.

#### Applications

Docol 1400 MZE is suitable for applications that require a combination of ultra-high strength and corrosion resistance. Typical applications are safety components in the automotive industry like cross members, bumpers, side impact door beams, sill and tunnel reinforcements as well as battery protection for hybrid/E cars.

#### Dimension

Docol 1400 MZE is available in thicknesses of 0.51–2.10 mm and widths of up to 1527 mm. Limitations may occur depending on the thickness, width and coating.

#### Mechanical Properties

Steel grade	Yield strength $R_{p0.2}$ (MPa)		Tensile strength $R_m$ (MPa)		Elongation $A_{80}$ %	Min bending radius 90° bend
	min	max	min	max	min	Ri/t
Docol 1400 MZE	1150	-	1400	1600	3	4.0 <sup>(1)(2)</sup>

The mechanical properties are valid in transverse direction of rolling

(1) t = Sheet thickness

(2) For rolling direction and transverse direction

#### Chemical Composition

Steel grade	C % max	Si % max	Mn % max	P % max	S % max	Al <sub>tot</sub> % min	Nb + Ti % max
Docol 1400 MZE	0.20	0.4	1.6	0.020	0.01	0.015	0.1

#### Tolerances

##### Thickness and width

Docol 1400 MZE is supplied to thickness and width tolerances in accordance with EN 10131. More narrow thickness tolerances according to the SSAB standard are available on request.

[www.docol.com](http://www.docol.com)





2(2)  
Data Sheet 8230en Docol 2012-06-27

## Delivery condition

Annealed and skinpassed.

## Surface treatment

Available surface treatments
Oiled
Chemically passivated ( $\text{Cr}^{3+}$ )
Phosphated
Chemically passivated ( $\text{Cr}^{3+}$ ) and oil
Untreated

## Zinc coating

Docol 1400 MZE is available with the following zinc coatings.

Coating designation
ZE 25/25
ZE 50/50
ZE 75/75
ZE 100/100
ZE 25/00
ZE 50/00
ZE 75/00

## Fabrication and Other Recommendations

Docol 1400 MZE is not sensitive to hydrogen embrittlement in the delivery condition. On request, each coil can be tested according to SEP 1970.

For information concerning welding and fabrication, see our brochures on [www.ssab.com](http://www.ssab.com) or consult our Tech Support, [help@ssab.com](mailto:help@ssab.com).

Appropriate health and safety precautions must be taken when welding, cutting, grinding or otherwise working on the product.

## Contact and Information

Our SSAB team and our Tech Support will be pleased to assist you with additional information concerning this SSAB product.

Docol is a registered trademark of SSAB Technology AB, Sweden.

The English version of this document shall prevail in case of discrepancy. Download the latest version of this document at [www.ssab.com/downloads](http://www.ssab.com/downloads)

[www.docol.com](http://www.docol.com)




 (1)(2)  
 Data Sheet 8247en Docol 2013-06-18

## Docol 1800 Bor

Hardenable boron steel for the automotive industry

### General Product Description

Docol 1800 Bor is alloyed with a small percentage of boron to improve the hardenability. The steel grade is specially developed to be used for parts and components that are manufactured by both direct hot stamping and indirect hot stamping.

#### Applications

Docol 1800 Bor is used for press hardening of safety parts such as door impact beams, bumper systems and B-pillar reinforcements.

#### Dimension

Docol 1800 Bor is available in thicknesses of 1.00-3.00 mm and widths of up to 1500 mm.

### Mechanical Properties

(Typical values)

Steel grade	Condition	Yield strength $R_e$ (MPa)	Tensile strength $R_m$ (MPa)	Elongation $A_{80}$ %
		Typical	Typical	Typical
Docol 1800 BO	Rolled	830	940	3.5
Docol 1800 B	Annealed	350	500	25
Docol 1800 BO Docol 1800 B	Hot Stamping	1300	1800	6

The mechanical properties are valid in the transverse direction of rolling

### Chemical Composition

C % min - max	Si % min - max	Mn % min - max	P % max	S % max	Cr % min - max	B % min - max
0.27 - 0.33	0.20 - 0.35	1.00 - 1.35	0.030	0.010	0.140 - 0.260	0.0020 - 0.0050

[www.docol.com](http://www.docol.com)





Data Sheet 8247en Docol 2013-06-18<sup>2(2)</sup>

## Tolerances

Docol 1800 Bor is supplied with tolerances in accordance with EN 10131. Customer specific tolerances are available on request.

## Delivery condition

Steel grade	Delivery condition
Docol 1800 BO	Cold rolled
Docol 1800 B	Soft annealed

## Surface treatment

The surface can be treated with anti corrosive oil.

## Fabrication and Other Recommendations

Docol 1800 Bor is suitable for welding using the common welding processes.

For information concerning fabrication, see SSAB's brochures on [www.ssab.com](http://www.ssab.com) or consult Tech Support, [help@ssab.com](mailto:help@ssab.com).

Appropriate health and safety precautions must be taken when bending, welding, cutting, grinding or otherwise working on the product.

## Contact and Information

Tech Support will be pleased to assist you with additional information concerning this SSAB product.

Docol is a registered trademark of SSAB Technology AB, Sweden.

The English version of this document shall prevail in case of discrepancy. Download the latest version of this document at [www.ssab.com/downloads](http://www.ssab.com/downloads)

[www.docol.com](http://www.docol.com)



## **ANEXO H: Elementos de la suspensión unidos mediante MPC Beam**

En este anexo se van a enumerar y mostrar las uniones mediante MPC beam realizadas a la suspensión del coche descritas en la **Segunda subfase** del **Apartado 6.2.2**.

- Conjunto de total de piezas unidas mediante MPC beam en la suspensión.

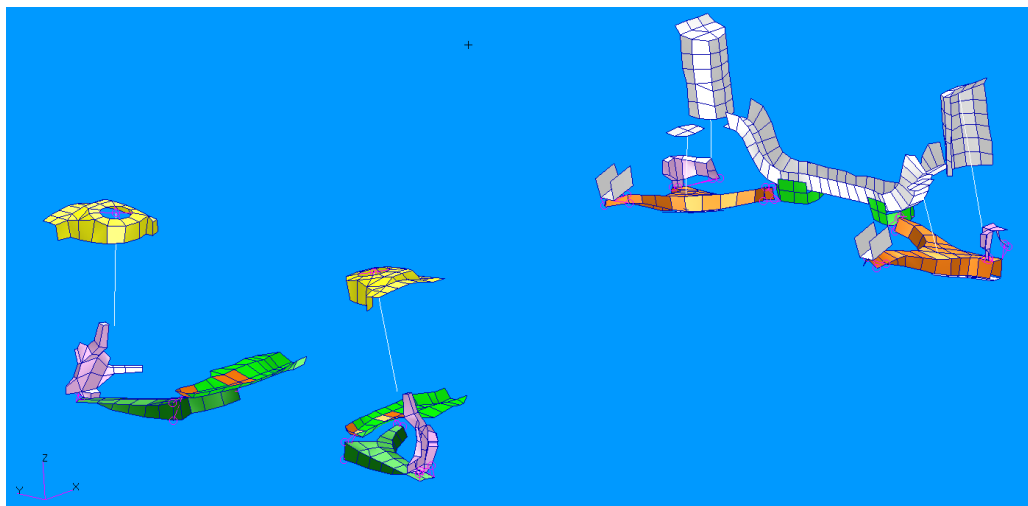


Figura 223 - Conjunto de total de piezas unidas mediante MPC beam en la suspensión

- Uniones en el brazo de suspensión trasero.

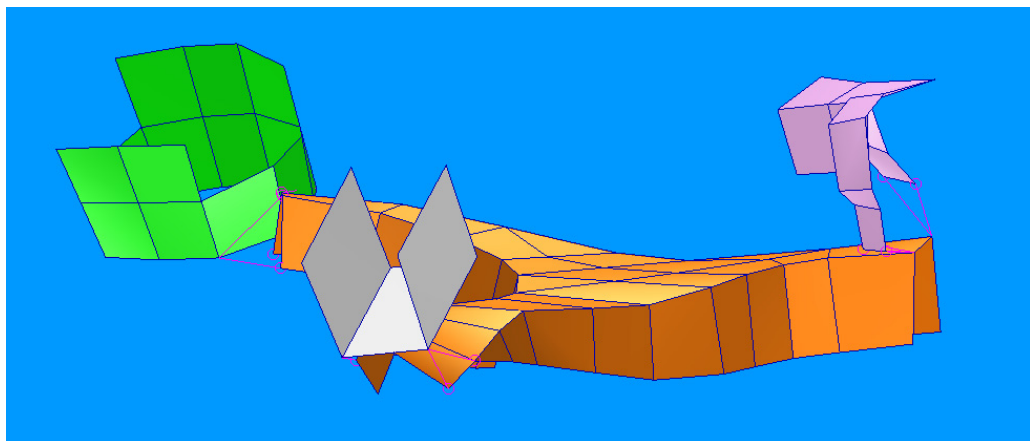


Figura 224 - Uniones en el brazo de suspensión trasero

- Uniones en el brazo de suspensión delantero.

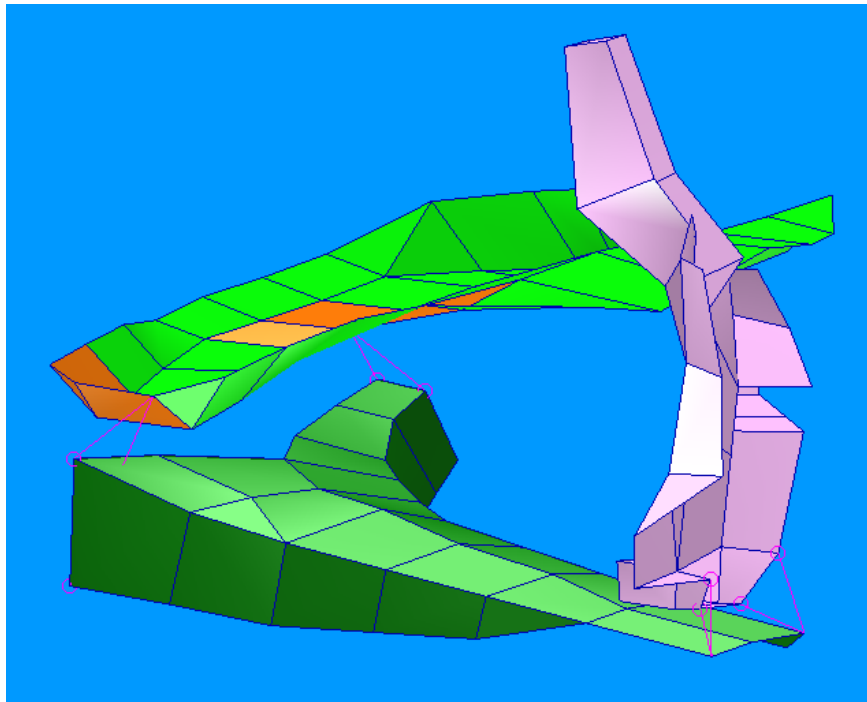


Figura 225 - Uniones en el brazo de suspensión delantero

- Uniones frenos de disco delanteros

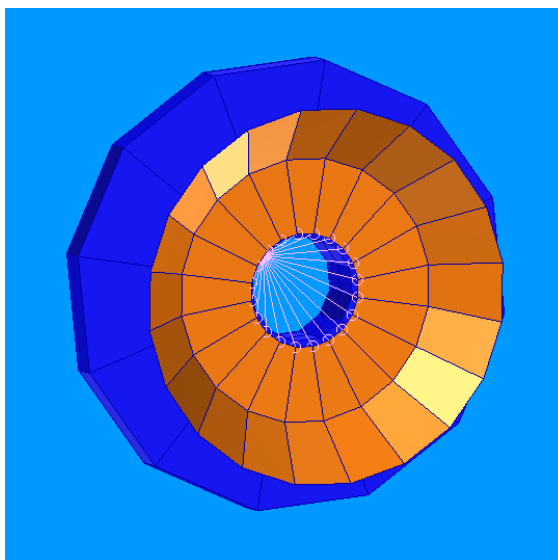


Figura 226 - Uniones frenos de disco delanteros

- Uniones frenos de disco traseros

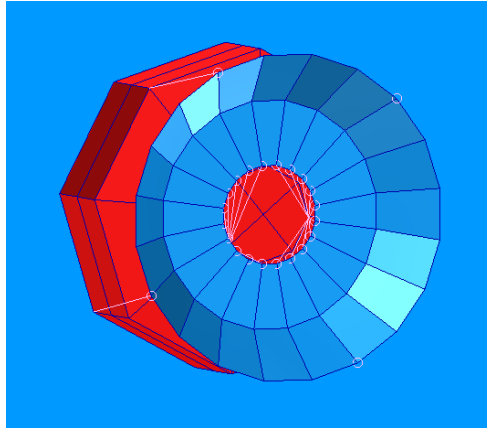


Figura 227 - Uniones frenos de disco traseros

- Unión de suspensión y amortiguador a la carrocería

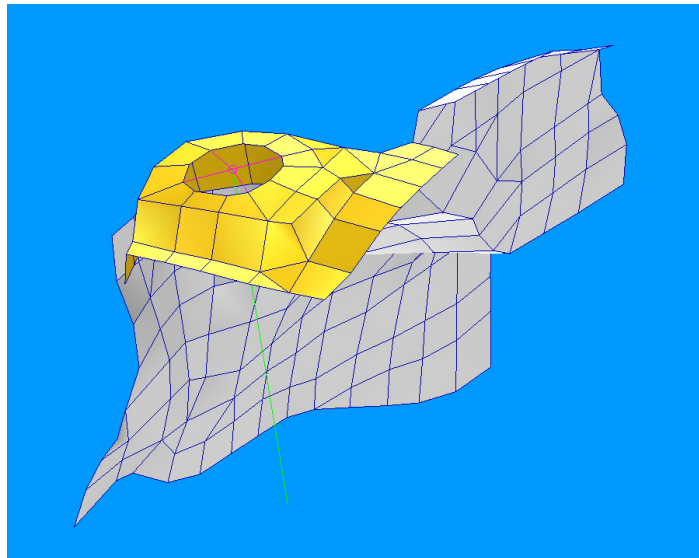


Figura 228 - Unión de suspensión y amortiguador a la carrocería

## **ANEXO I: Piezas del coche unidas mediante elementos Join**

En este anexo se van a enumerar y mostrar las uniones mediante elementos Join realizadas a las piezas sueltas del coche descritas en la **Union mediante elementos Join** del **Apartado 6.2.1**.

- HEADLIGHT-BRKT-L con RAIL-RADIATOR

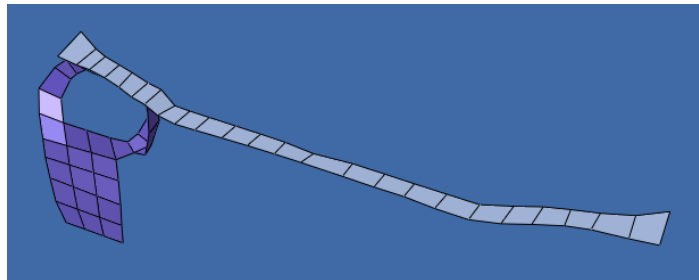


Figura 229 - HEADLIGHT-BRKT-L con RAIL-RADIATOR

- SIDEBM-EC-R con FLOORBOARD-FT, CABIN-MID-PLATE-2, WHEELWELL-RR-O-L

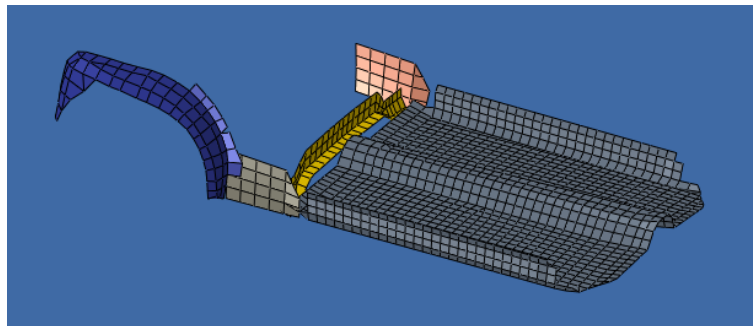


Figura 230 - SIDEBM-EC-R con FLOORBOARD-FT, CABIN-MID-PLATE-2, WHEELWELL-RR-O-L

- RAIL-MNT-RR con FLOORBOARD-RR

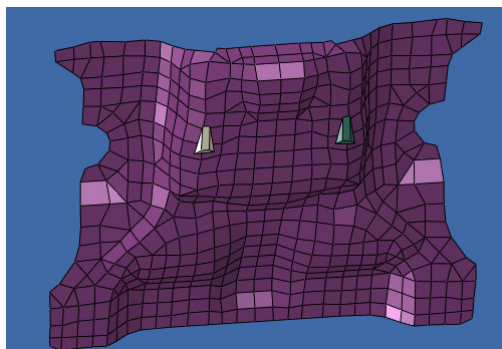


Figura 231 - RAIL-MNT-RR con FLOORBOARD-RR

- RAIL-FT con RAIL-SUPP-FT

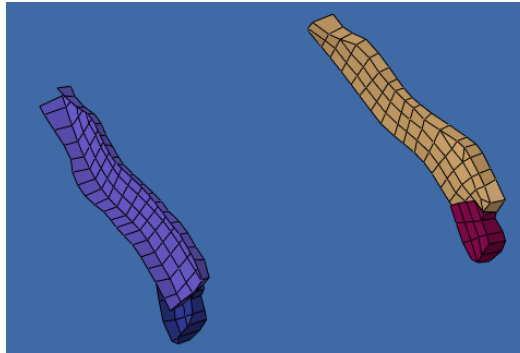


Figura 232 - RAIL-FT con RAIL-SUPP-FT

- RAIL-MNT-RR-R con U-BRKT-RR-MID

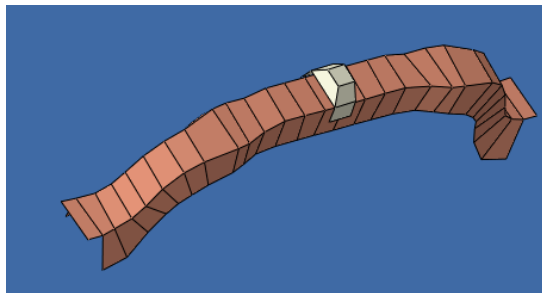


Figura 233 - RAIL-MNT-RR-R con U-BRKT-RR-MID

- WHEELWELL-RR-R con SHOCKTOWER-PLATE-R, RAIL-RR-R

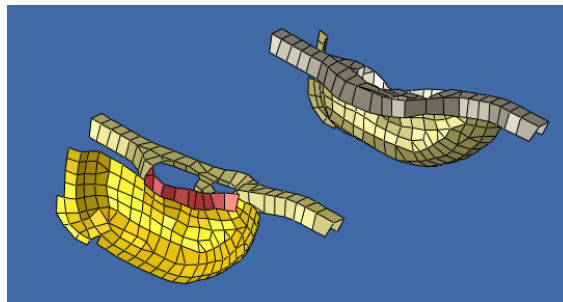


Figura 234 - WHEELWELL-RR-R con SHOCKTOWER-PLATE-R, RAIL-RR-R

- RAIL-BRKT2-FT con RAIL-SUPP-FT-R

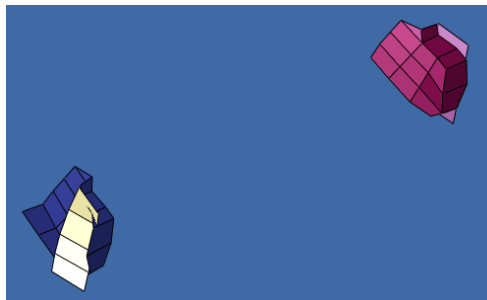


Figura 235 RAIL-BRKT2-FT con RAIL-SUPP-FT-R

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

- RADSUSP-TOP con MC-RADIATOR-SOLIDS

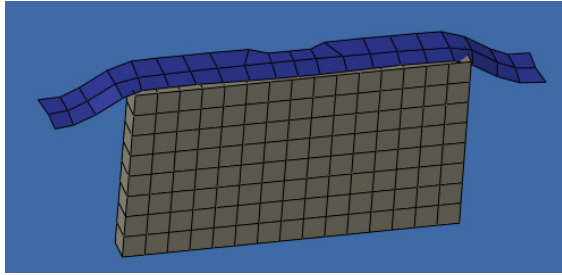


Figura 236 - RADSUSP-TOP con MC-RADIATOR-SOLIDS

- RAIL-RR-L con MC-A-ARM-TOP-RR, SUSPMNT-RR

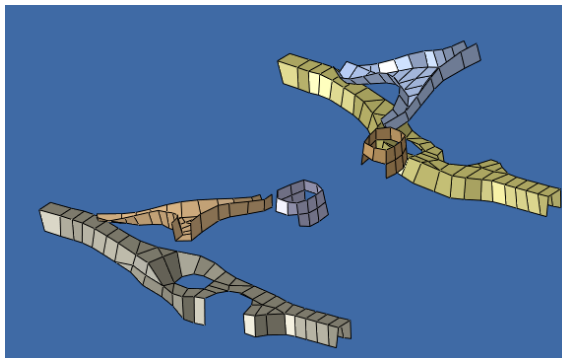


Figura 237 - RAIL-RR-L con MC-A-ARM-TOP-RR, SUSPMNT-RR

- MC-A-ARM-TOP-RR-L con MC-A-ARM-TOP-RR

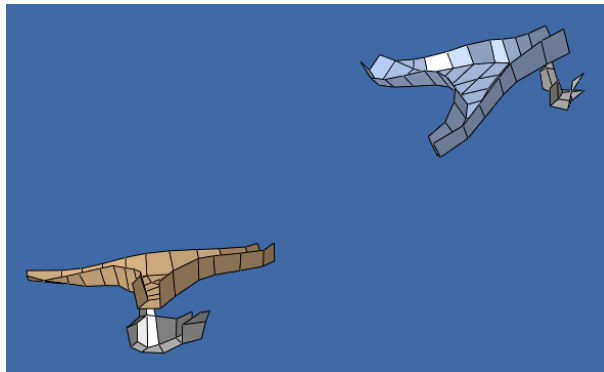


Figura 238 - MC-A-ARM-TOP-RR-L con MC-A-ARM-TOP-RR

- MC-A-ARM-FT con MC-SUSPMNT-FT-L

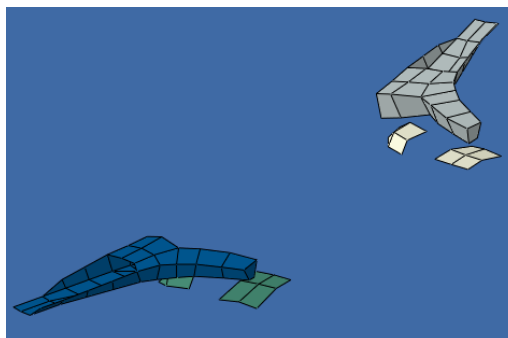


Figura 239- MC-A-ARM-FT con MC-SUSPMNT-FT-L

- MC-A-ARM-FT con MC-UPRIGHT-FT

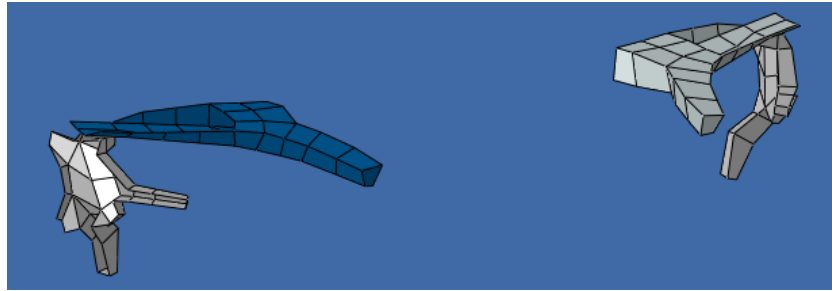


Figura 240 - MC-A-ARM-FT con MC-UPRIGHT-FT

- MC-UPRIGHT-FT con AMORTIGUADOR, MUELLE

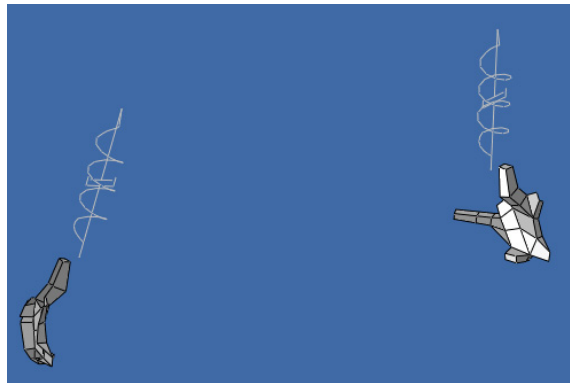


Figura 241 - MC-UPRIGHT-FT con AMORTIGUADOR, MUELLE

- RAIL-RR-MID con SUSPMNT-RR

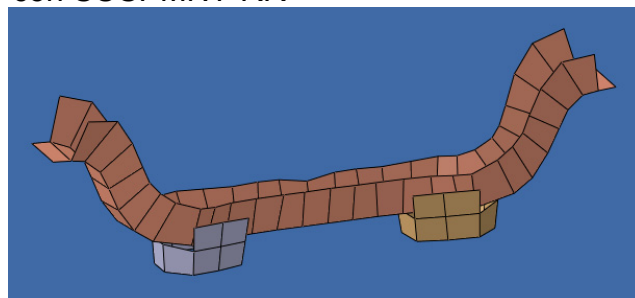


Figura 242 - RAIL-RR-MID con SUSPMNT-RR

- RAIL-RR-MID con ARM-MNT-RR

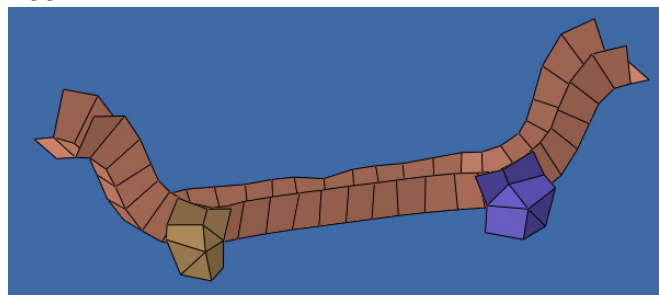


Figura 243 - RAIL-RR-MID con ARM-MNT-RR



## ANEXO J: Proceso de cálculo de las distancias relativas

En este anexo se va a explicar el proceso matemático llevado para el cálculo del Desplazamiento relativo del pilar B respecto al pilar A y C ( $d_{ac}$ ) y del Desplazamiento relativo del pilar B respecto a sus anclajes ( $d_b$ ).

Como se describió en el **Apartado 9.3** ambos procesos son homólogos con lo cual solo se va a proceder a explicar el cálculo de  $d_{ac}$  para el instante inicial de la simulación.

Este proceso se divide en dos fases:

1. **Calculo de la ecuación de una recta:** Como se ha comentado en el Apartado 9.3 se han seleccionado un nodo de cada pilar los cuales se encuentran en el mismo plano XY, de las cuales conocemos sus coordenadas en el plano. Por lo tanto podemos calcular la ecuación de la recta que pasa esos nodos.

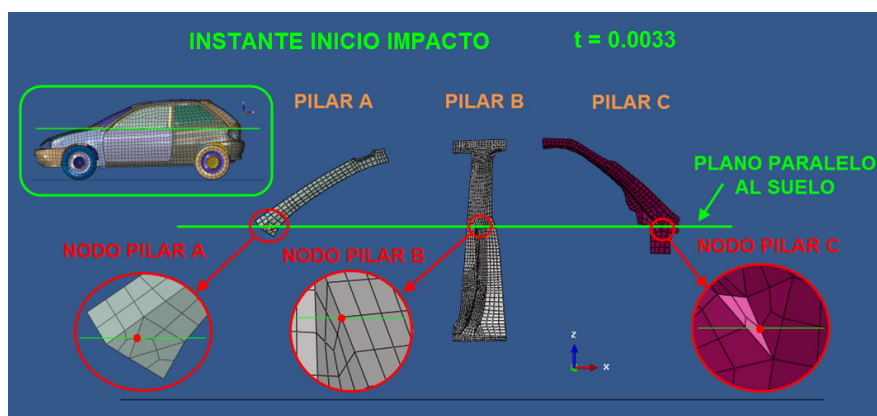


Figura 244- Plano XY donde se encuentran los 3 nodos

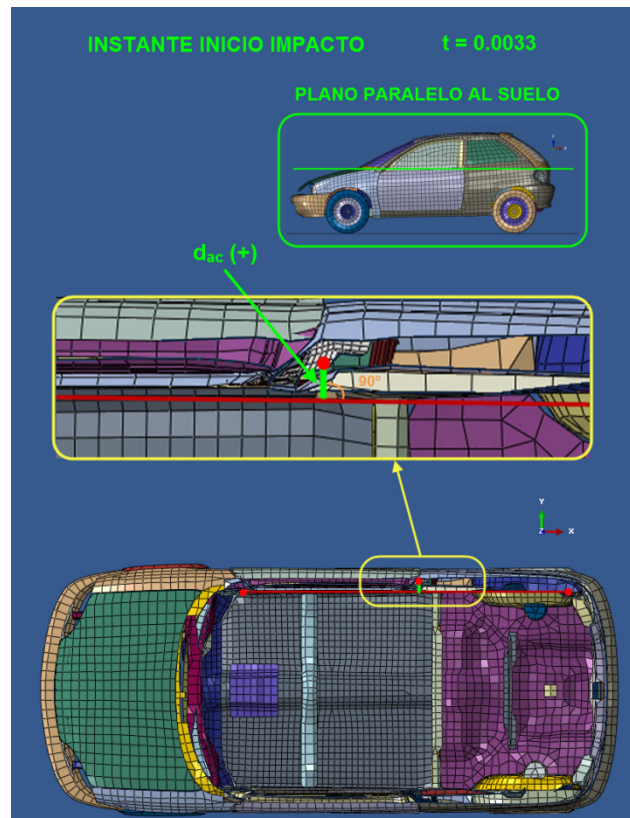


Figura 245 - Desplazamiento relativo del pilar B respecto a sus anclajes ( $d_b$ )

Con lo cual a partir la ecuación de una recta:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$a \cdot x + b \cdot y + c = 0$$

Donde:

$x_1$  = Coordenada del nodo del pilar A en el eje X en  $t = 0s$

$y_1$  = Coordenada del nodo del pilar A en el eje Y en  $t = 0s$

$x_2$  = Coordenada del nodo del pilar C en el eje X en  $t = 0s$

$y_2$  = Coordenada del nodo del pilar C en el eje Y en  $t = 0s$

$a, b$  y  $c$  = Coeficientes de la recta



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

Donde conocemos:

$$x_1 = -0,4439 \text{ m}$$

$$y_1 = 0,6408 \text{ m}$$

$$x_2 = 1,63081 \text{ m}$$

$$y_2 = 0,6178 \text{ m}$$

Con lo cual:

$$\frac{x - (-0,4439)}{1,63081 - (-0,4439)} = \frac{y - 0,6408}{0,6178 - 0,6408}$$

Operando obtenemos la ecuación de la recta:

$$0,4807 \cdot x + 43,5654 \cdot y - 27,7013 = 0$$

$$a \cdot x + b \cdot y + c = 0$$

Igualando obtenemos el valor de los coeficientes de la recta:

$$a = 0,4807$$

$$b = 43,5654$$

$$c = -27,7013$$

**2. Cáculo de la distancia perpendicular de un punto a una recta:** Una vez conocida la ecuación de la recta solo queda calcular la distancia perpendicular desde el nodo del pilar B a la resta, esta distancia es la distancia Desplazamiento relativo del pilar B respecto al pilar A y C ( $d_{ac}$ ).

Con lo cual a partir de la ecuación que permite calcular la ecuación perpendicular de un punto a una recta:

$$d_{ac} = \frac{|a \cdot x_3 + b \cdot y_3 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$



## TRABAJO FIN DE MÁSTER

---

Donde:

$x_3$  = Coordenada del nodo del pilar B en el eje X en  $t = 0s$

$y_3$  = Coordenada del nodo del pilar B en el eje Y en  $t = 0s$

$d_{ac}$  = Desplazamiento relativo del pilar B respecto al pilar A y C

$a, b$  y  $c$  = Coeficientes de la recta

Donde conocemos:

$$x_3 = 0,6608 \text{ m}$$

$$y_3 = 0,672189 \text{ m}$$

$$a = 0,4807$$

$$b = 43,5654$$

$$c = -27,7013$$

Con lo cual:

$$d_{ac} = \frac{|0,4807 \cdot 0,6608 + 43,5654 \cdot 0,672189 + (-27,7013)|}{\sqrt{0,4807^2 + 43,5654^2}} = 0,04362 \text{ m}$$

$$\boxed{d_{ac} = 43,62 \text{ mm}}$$