



# Trabajo fin de grado

(TIPO B)

## INGENIERÍA MECÁNICA

### ANÁLISIS DINÁMICO

### DE ABSORBEDORES FRENTE A IMPACTO

### EN BARRERAS NEW JERSEY

**AUTOR:**

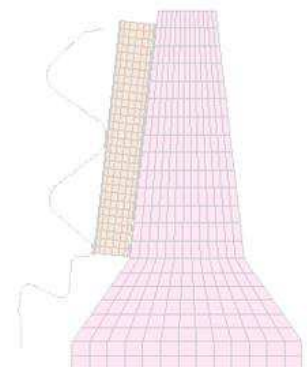
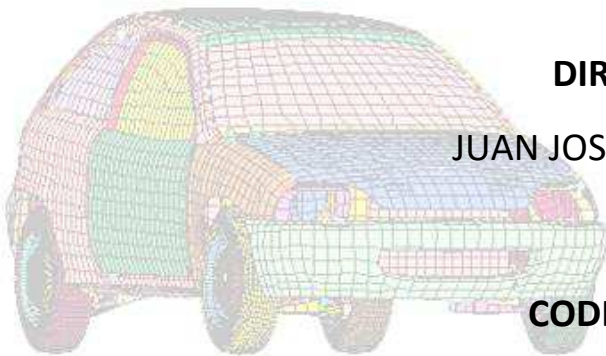
DAVID ARMENGOL NICOLAU

**DIRECTOR:**

JUAN JOSÉ ALBA LÓPEZ

**CODIRECTOR:**

DAVID VALLADARES HERNANDO





DECLARACIÓN DE  
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. DAVID ARMEINGOL NICOLAU

con nº de DNI 25207762-S en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

\_\_\_\_\_, (Título del Trabajo)

"ANÁLISIS DINÁMICO DE ABSORBEDORES FRENTE A IMPACTO EN BARRERAS NEW JERSEY"

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 24/11/2017

Fdo: \_\_\_\_\_

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. DESARROLLO .....	5
2.1. ESQUEMA EXPLICATIVO DEL DESARROLLO .....	6
2.2 PRIMER IMPACTO: COCHE .....	7
2.2.1 SIN PROTECCIÓN .....	7
2.2.2 MATERIAL: ACERO S235JR.....	13
2.2.2.1 Absorbedor en U .....	13
2.2.2.2 Absorbedor alternativo.....	23
2.2.3 MATERIAL: ACERO S450JO .....	33
2.2.3.1 Absorbedor en U .....	33
2.2.3.2 Absorbedor alternativo.....	38
2.3 SEGUNDO IMPACTO: MOTORISTA .....	43
2.3.1 SIN PROTECCIÓN .....	43
2.3.2 CASOS ÓPTIMOS.....	48
3. CONCLUSIONES .....	69
4. BIBLIOGRAFÍA .....	82
5. ANEXOS .....	83



# 1. INTRODUCCIÓN

La protección frente al choque de vehículos y motoristas contra cualquier elemento de la carretera, es totalmente necesaria para poder salvaguardar la vida de los ocupantes.

Incluyendo así en caso de accidente, se deben tener en cuenta las barreras que se llevan a estudio en este TFG, las barreras New Jersey.

Éstas barreras, cuya aportación en las carreteras es esencialmente para establecer el límite entre la carretera y la mediana, también pueden ser fuente de ciertos riesgos para la vida humana.

El objetivo de este trabajo consiste en aportar ciertas soluciones mediante el uso de absorbedores y barreras, todo ello conformado con chapa de acero. Analizando distintos espesores y aceros en estos dos elementos, e incluso con modelos de absorbedores de distintas geometrías.

Todo esto con el fin de reducir las desaceleraciones de los ocupantes del vehículo en el momento del impacto.

Principalmente, el programa LS-DYNA es la herramienta utilizada para llevar cabo estas operaciones y el modelado final. En un ámbito más secundario, los programas Solid-Works y Patran son los requeridos para el modelado y mallado respectivamente tanto de la barrera New Jersey, así como de los absorbedores y la chapa de acero.

## 2. DESARROLLO

Cómo se ha comentado anteriormente es el programa LS-DYNA el que soporta todo el cálculo y del que se muestran las imágenes explicativas, así como todos los gráficos y resultados.

Se han llevado a cabo distintos modelos de ensayo, con y sin la protección diseñada. Se divide el proyecto en diferentes situaciones de impacto, la primera exclusivamente se toma medida del impacto del vehículo contra la barrera y las distintas opciones propuestas. La segunda, es el motorista el objeto a ensayo.

La severidad del impacto de los vehículos que impactan contra los terminales y transiciones se estima mediante el índice de severidad de la aceleración (ASI), la velocidad teórica de choque de la cabeza (THIV), y la deceleración de la cabeza tras el choque (PHD).

De estos últimos, los resultados más importantes llevados a evaluación son el coeficiente ASI, que indica las desaceleraciones por parte de los ocupantes del vehículo de una forma más concreta y fácil de comparar.

Esto también es debido a que los acelerómetros de los que se dispone en el modelo permiten el cálculo exclusivo del ASI.

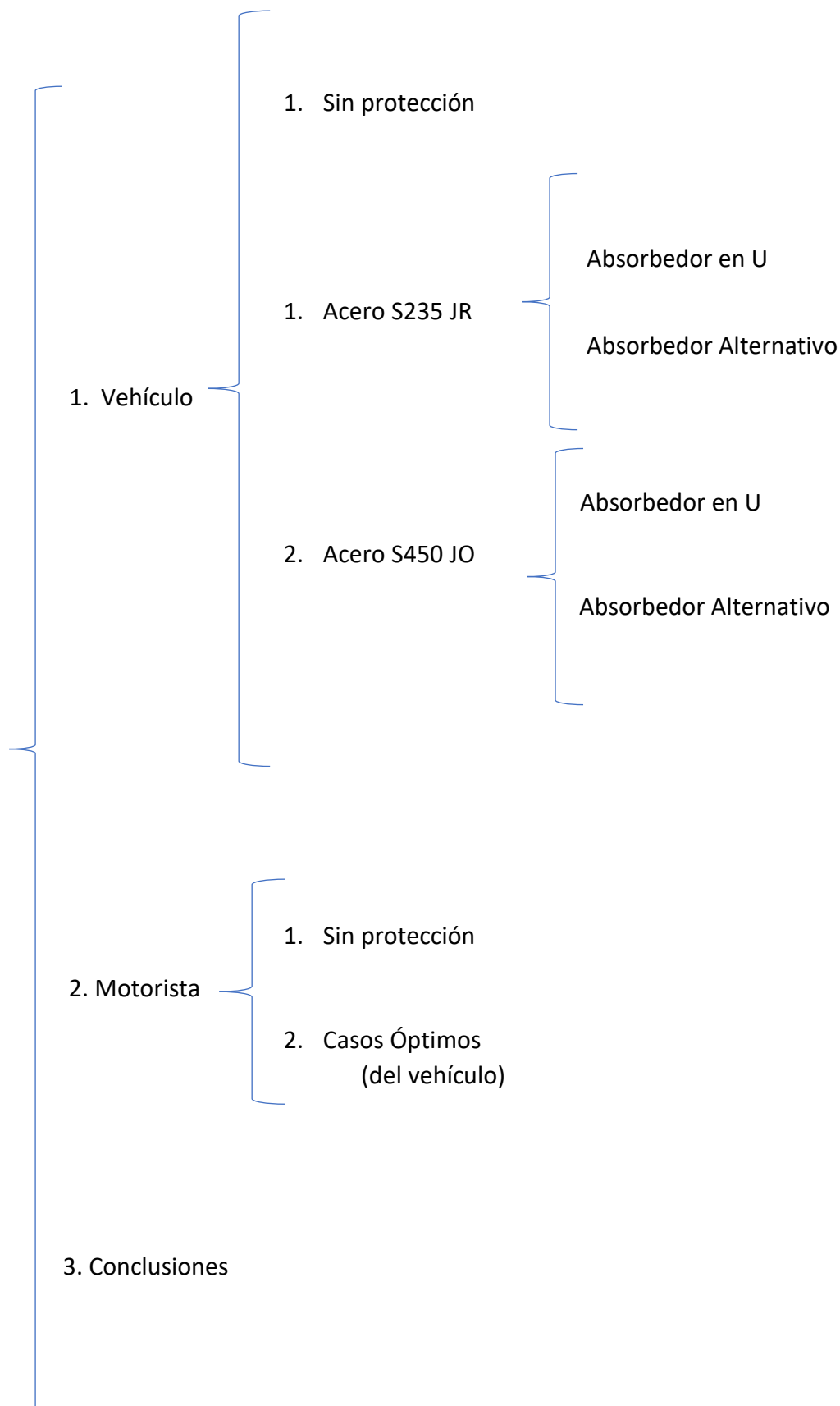
Y el desplazamiento lateral después del impacto, también es calculado. En nuestro caso ese desplazamiento, según la norma EN 1317-2:2010, es evaluado durante un mínimo de 10 metros recorridos en dirección de la carretera.

Por último, se expone al motorista a las opciones que den mejores resultados en los vehículos.

La evaluación a la que va a ser sometido, consistirá en los resultados obtenidos correspondientes al Criterio de lesiones de cabeza ( $HIC_{36}$ ) y los índices representativos del riesgo de lesiones en el cuello (Fuerzas en el cuello y cóndilo occipital). También hay que destacar que existe el índice representativo del riesgo de lesiones en tórax, que no se va a poder determinar dado que no se dispone de los sensores precisos, aunque los dos últimos comentados son suficientes para determinar la viabilidad de la barrera, en los motoristas.

Las normas a las que se hace referencia en este proyecto están citadas en la correspondiente bibliografía.

## 2.1. ESQUEMA EXPLICATIVO DEL DESARROLLO



## 2.2 PRIMER IMPACTO: COCHE

### 2.2.1 SIN PROTECCIÓN

El modelo que se muestra a continuación en la imagen 2.1.1, es la situación objeto de cálculo.

Como nos indica la norma, el vehículo ha de estar a un ángulo de 20° con respecto a la barrera New Jersey como se demuestra en la tabla 1, de la norma EN 1317-2:2010, dónde también se muestran los datos del ensayo. El detalle de la posición del coche respecto a la barrera es mostrado en la imagen 2.1.2.

Tabla 1 – Ensayos de impacto de vehículos

Ensayo	Velocidad de impacto km/h	Angulo de impacto °	Masa total kg	Tipo de vehículo
TB 11	100	20	900	Turismo
TB 21	80	8	1 300	Turismo
TB 22	80	15	1 300	Turismo
TB 31	80	20	1 500	Turismo
TB 32	110	20	1 500	Turismo

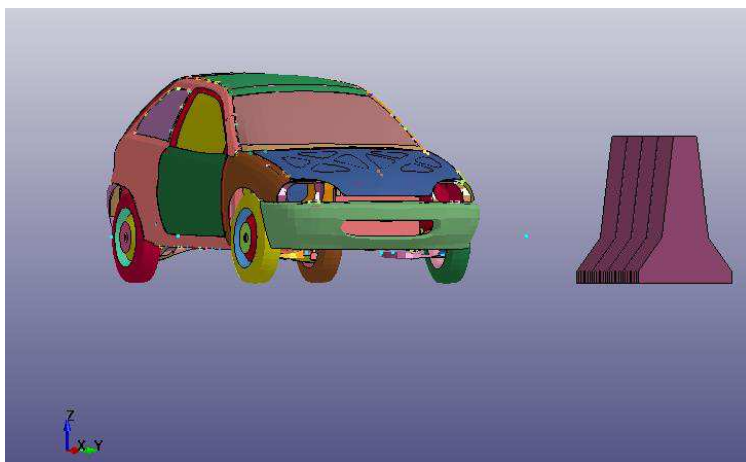


Imagen 2.1.1

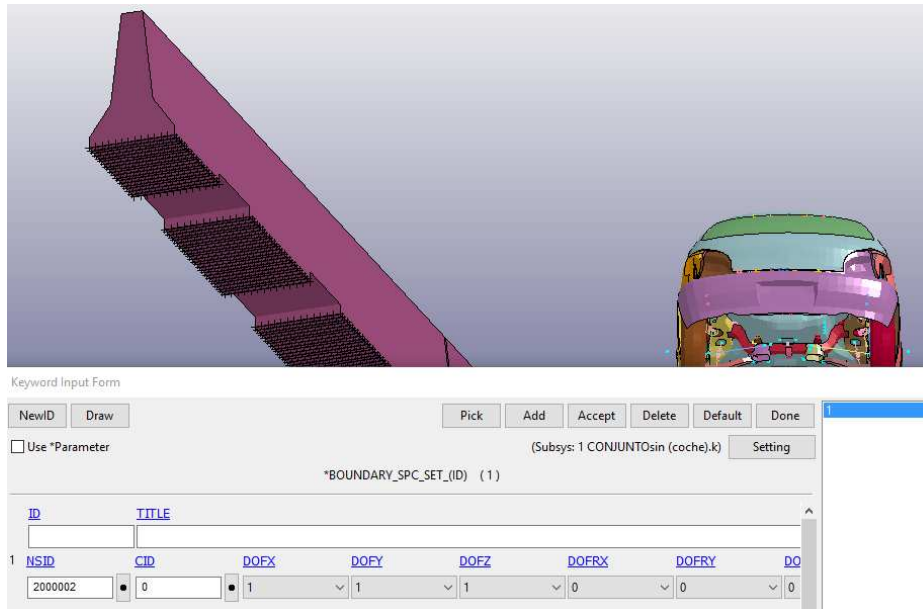


Imagen 2.1.2

## CONDICIONES DE CONTORNO DEL PROBLEMA

Las condiciones de contorno que se han establecido para calcular la siguiente situación con las siguientes:

- El empotramiento de la barrera de hormigón al suelo:



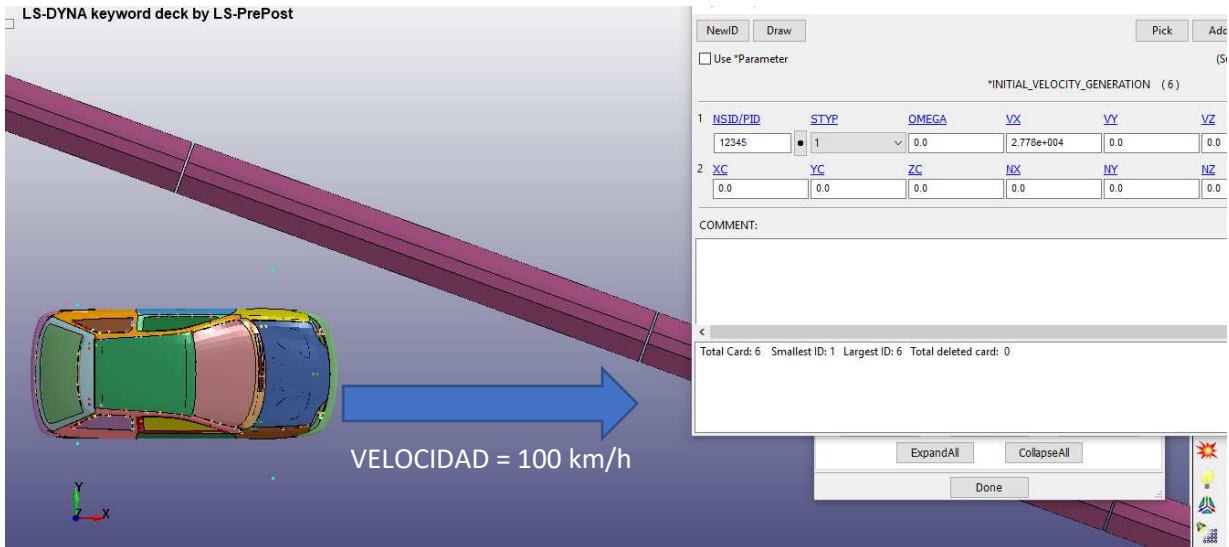
*Empotramiento de la barrera*

Las propiedades dentro del programa dentro de las posibilidades que hay disponibles, son usadas las siguientes:

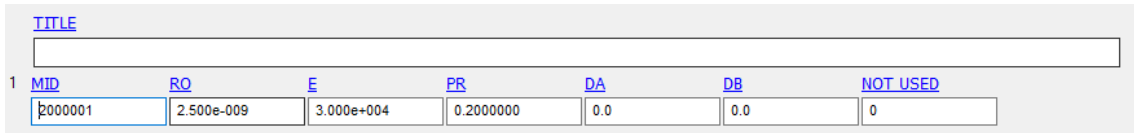
<b>Peso</b>	Toneladas
<b>Longitud</b>	mm
<b>Tiempo</b>	s
<b>Energía</b>	mJ
<b>Fuerza</b>	N



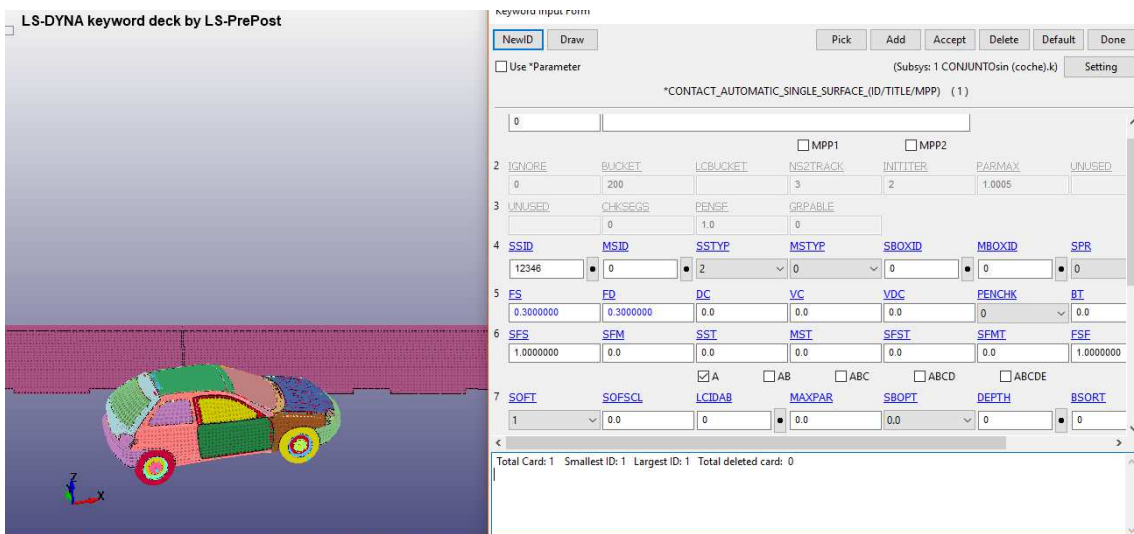
- La velocidad lineal del coche (tabla en mm/s)



- Propiedades del hormigón de la barrera:

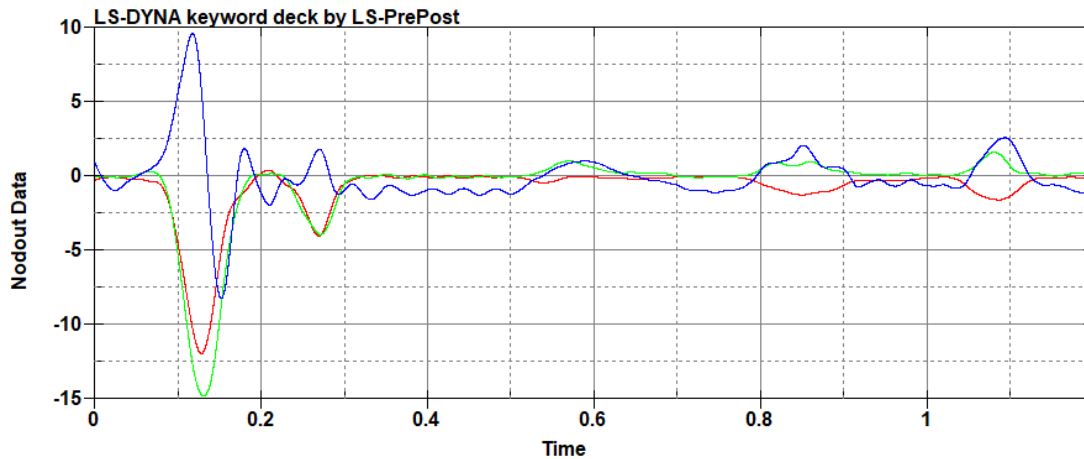


- Contacto entre componentes:



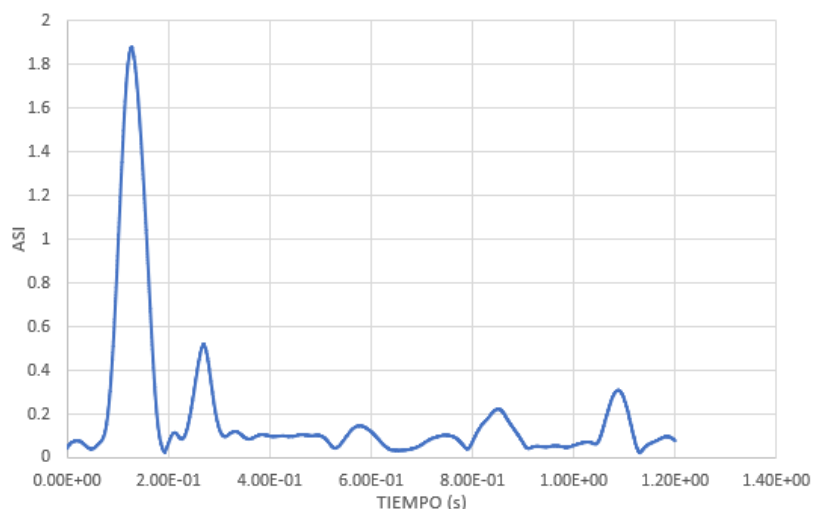
El contacto está definido entre todos los componentes como se muestra en la imagen superior. Como coeficiente de rozamiento dinámico y estático es usado un 0.3.

A continuación, se muestra la gráfica que representa las aceleraciones sufridas por los ocupantes del vehículo:



Se considera que la aceleración en dirección X es la dirección del coche hacia la barrera y la componente Z es en la dirección hacia arriba <sup>(1)</sup>, como se muestra en la imagen 2.1.1 anterior. Las aceleraciones están filtradas mediante un filtro digital Butterworth de cuatro polos sin desfase, con una frecuencia de corte de 13 Hz. Las aceleraciones mostradas están en g's, para facilitar el cálculo del coeficiente ASI, y la comprensión de los resultados.

El coeficiente ASI, hallado según la norma EN 1317-1:2010, es mostrado en el siguiente gráfico:



(1) LEYENDAS DE LAS ACELERACIONES:

Aceleración en X ( — )

Aceleración en Y ( — )

Aceleración en Z ( — )

Y calculado en función de la fórmula indicada, en el apartado 8.1.2 de la norma comentada:

$$ASI(k) = \left[ \left( \bar{A}_x / 12 \right)^2 + \left( \bar{A}_y / 9 \right)^2 + \left( \bar{A}_z / 10 \right)^2 \right]^{0,5}$$

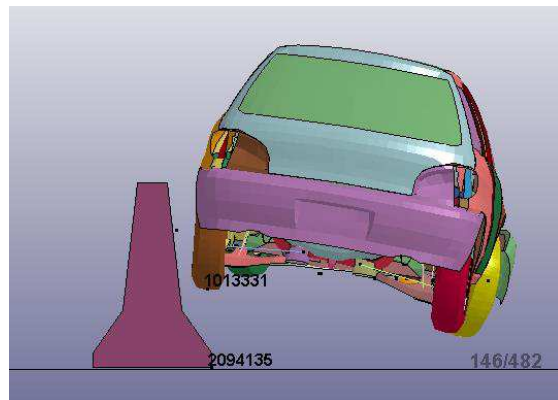
Nivel de severidad del impacto	
A	ASI ≤ 1,0
B	ASI ≤ 1,4
C	ASI ≤ 1,9

*Tabla 1*

El coeficiente máximo de ASI es 1.874, en un tiempo t=0.127 s. Un coeficiente un poco elevado, comparándolo con los intervalos exigidos (Tabla 1). Pero cabe destacar que la aceleración en Z llega a ser excesivamente grande (más de 0.5 m), pudiendo dar lugar graves daños en los ocupantes del vehículo. Una imagen aclaratoria de la situación después del choque se muestra en la siguiente imagen:

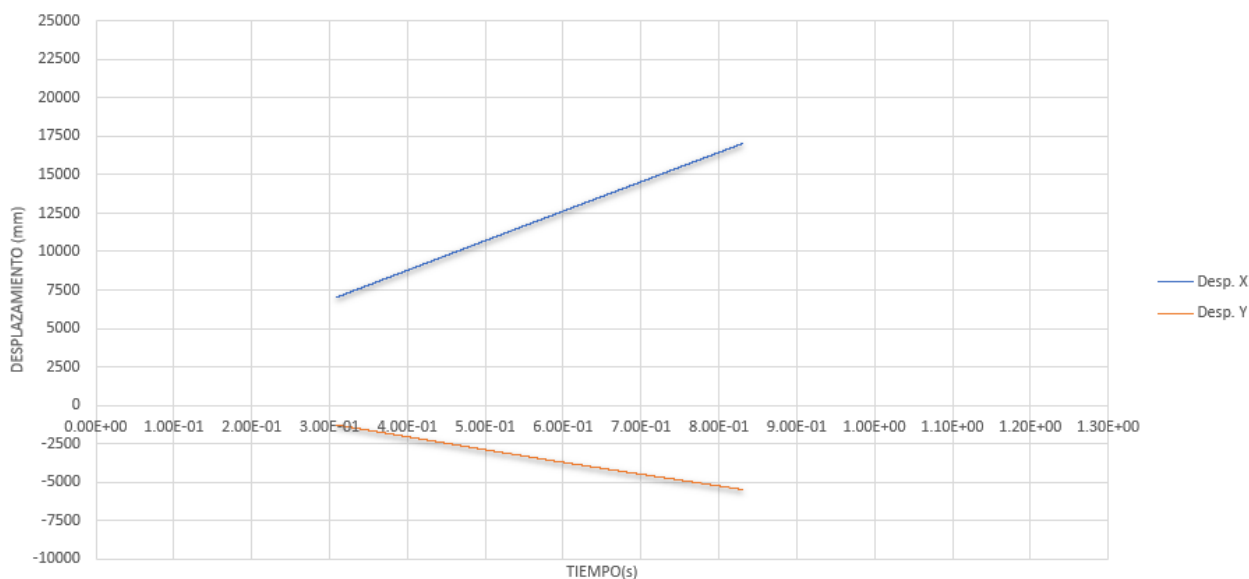


*Detalle de la medida*



*Vista frontal del impulso*

También se ha calculado el desplazamiento lateral sufrido por el coche:



En este gráfico, el desplazamiento de la componente en X está en dirección de la carretera, para comprobar que realmente se ha considerado los 10 metros que la norma EN 1317-2:2010 exige.

Y la componente en Y es el desplazamiento lateral objeto de estudio.

El cálculo de la distancia permitida se realiza con la siguiente fórmula de la misma norma del párrafo anterior, en su punto 4.3 "Comportamiento del vehículo de ensayo". Se deduce esta fórmula:

$$Distancia_{permitida} = A + 0.16 \cdot Longitud_{vehículo} + Anchura_{vehículo}$$

Conociendo que:

$$Longitud_{vehículo} = 3.74 \text{ metros}$$

$$Anchura_{vehículo} = 1.57 \text{ metros}$$

**Tabla 7 – Distancias para el criterio del recinto de salida**

Tipo de vehículo	A m	B m
turismos	2,2	10
otros vehículos	4,4	20

Dentro de la tabla 7 mostrada se ha escogido la opción de turismos. Obtenemos:

$$Distancia_{permitida} = 4,36 \text{ metros}$$

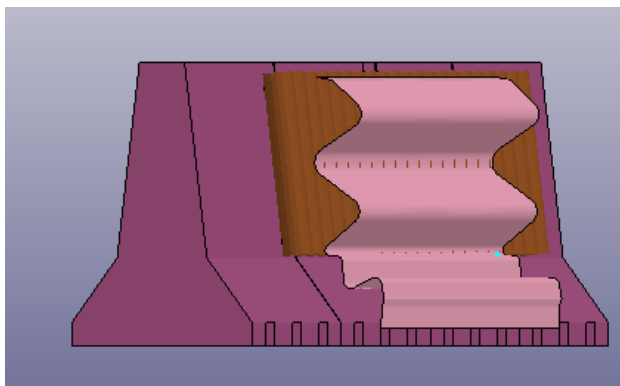
Según la gráfica, da un desplazamiento lateral de 4,19 metros, entrando dentro del valor máximo permitido.

El momento inicial que se tiene en cuenta para calcular el desplazamiento en la gráfica, es el indicado en el punto 4.3 *“Comportamiento del vehículo de ensayo”* de la misma norma, haciendo referencia a: *“Después del impacto, el vehículo debe abandonar la barrera de seguridad (incluyendo pretil) de forma que la trayectoria de las ruedas no supere una línea paralela a la cara inicial al tráfico de la barrera (...)”*

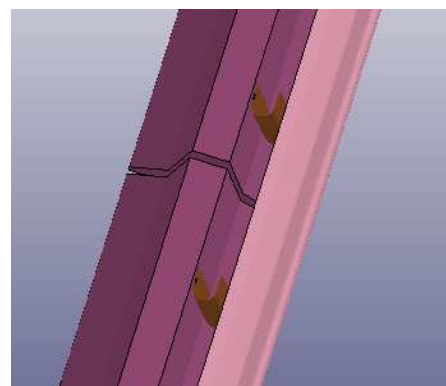
## 2.2.2 MATERIAL: ACERO S235JR

### 2.2.2.1 Absorbedor en U

La barrera de acero denominada chapa, y el absorbedor en U colocadas en la barrera New Jersey, se muestra en la siguiente imagen:



*Vista frontal*



*Vista de la planta*

El proyecto está orientado en base a unas relaciones de espesor elegidas de forma arbitraria, pero intentando abarcar el mayor intervalo de espesores razonables.

Los espesores de la chapa se han considerado que han de ser superiores al de los absorbedores por motivos de resistencia, dado que la finalidad es que sean los absorbedores los que amortigüen el impacto del vehículo. No obstante, las barreras van a desempeñar un papel fundamental en ese proceso de amortiguación siendo éstas las primeras en recibir el impacto. El acero destacado, es el elegido como punto de partida en el estudio, y ambos componentes (absorbedor y chapa) están hechos de este material.

## CONDICIONES DE CONTORNO DEL PROBLEMA

Está todo dispuesto como en el apartado de las condiciones de contorno de la barrera sin protección.

Cabría destacar:

- Propiedades del material:

Material 235 JR:

Keyword Input Form

Use \*Parameter (Subsys: 1 chapa3mm - abs 1.5mm.key)

\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY\_(TITLE) (024) (319)

TITLE  
Acero S235

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
4000005		7.890e-009	2.100e+005	0.3000000	235.00000	0.0	0.2600000	0.0

2 C P LCSS LCSR VP

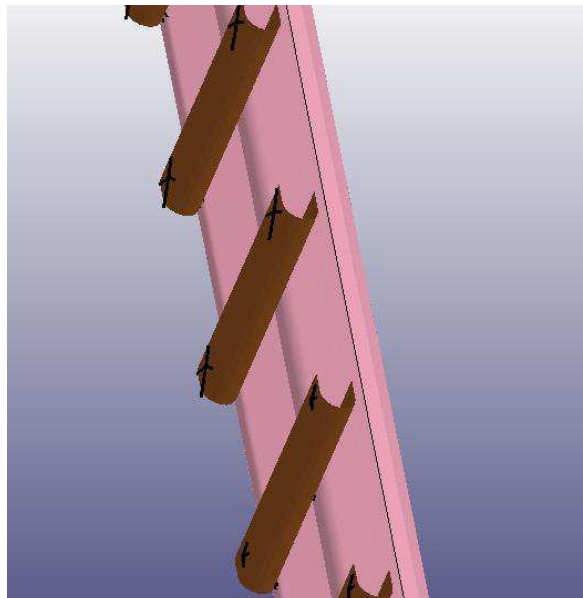
0.0 0.0 0 0 0.0

3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
0.0	0.2600000	1.0000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
235.00000	360.00000	361.00000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Total Card: 319 Smallest ID: 1 Largest ID: 4000005 Total deleted card: 0

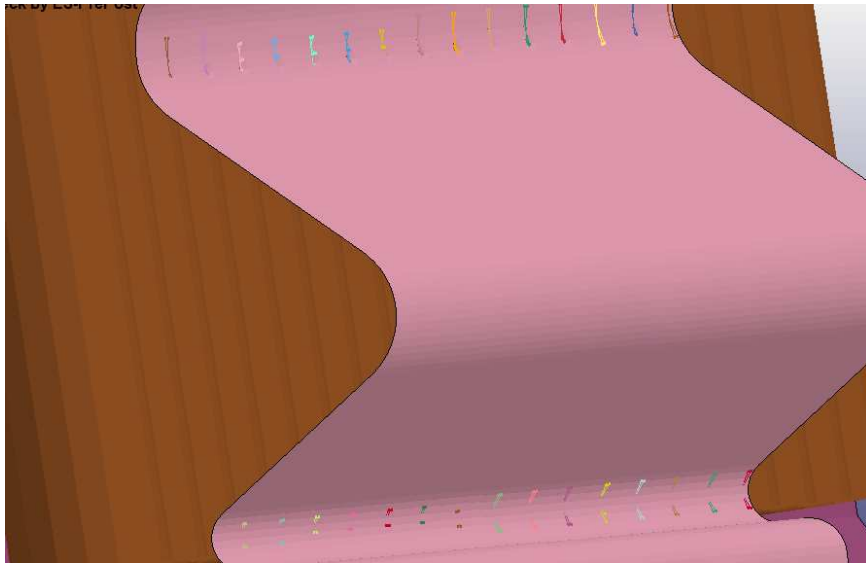
- Uniones establecidas, entre barrera-Absorbedor y Absorbedor-Chapa



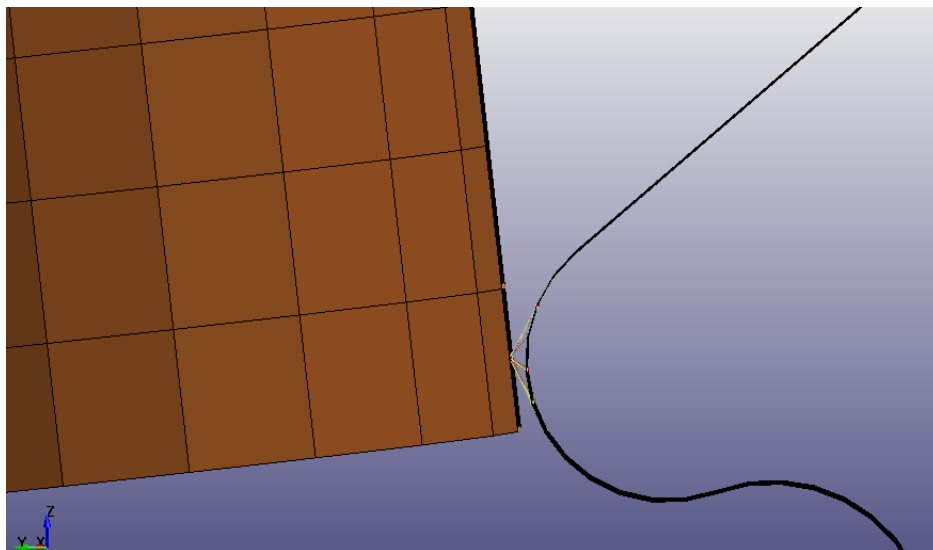
*Puntos de anclaje de los absorbedores a la barrera de hormigón*

Los puntos de anclaje que se muestran en la imagen de arriba, son lo análogo a los tornillos o anclajes que se pondrían en la realidad.

De la misma forma los puntos de anclaje entre el absorbedor y la chapa:



*Detalle de los dos puntos de anclaje entre chapa y absorbedor*



*Detalle del anclaje inferior*

El principal dato a comparar a lo largo del proyecto, va a ser el coeficiente ASI, dado que se considera el más restrictivo de todos los que hay. El cálculo del desplazamiento lateral servirá para identificar cuál es la opción más correcta.

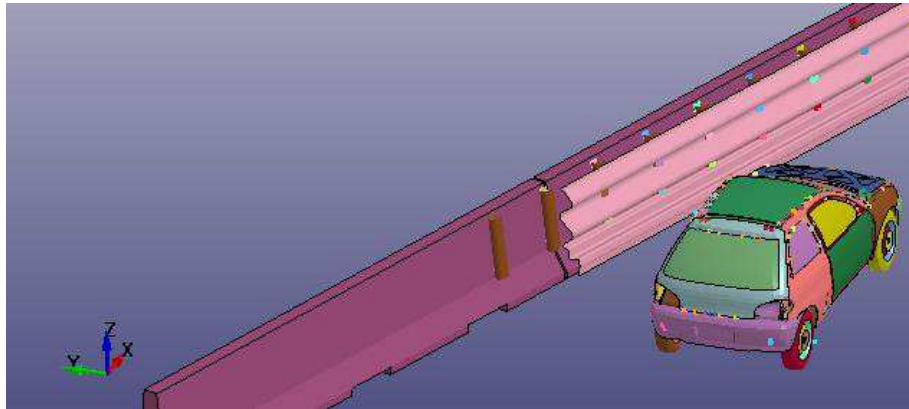
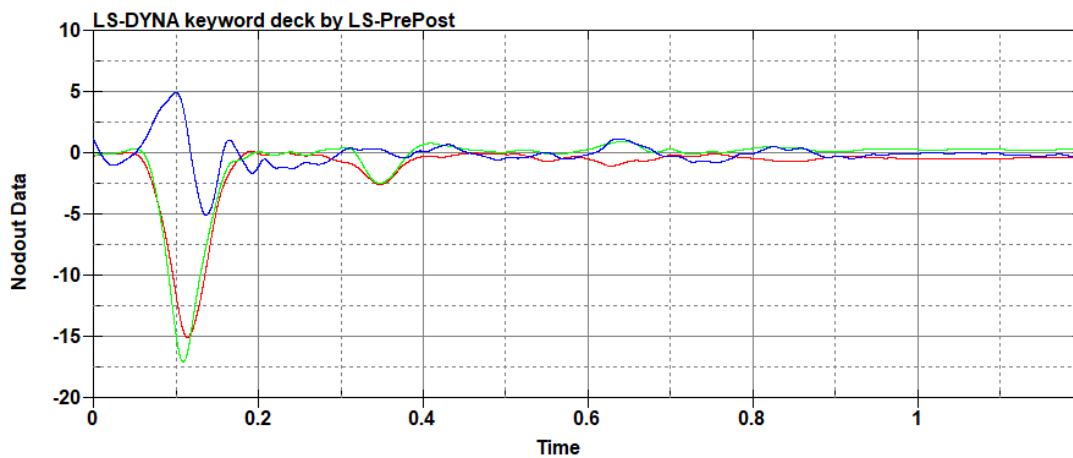


Imagen 2.1.2.1

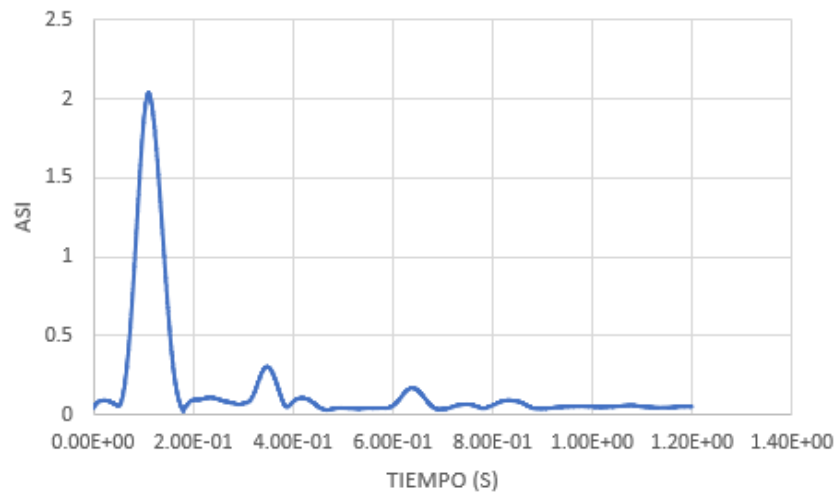
La imagen 2.1.2.1, sirve de referencia para las aceleraciones.

**OPCIÓN 1: (CHAPA=5mm; ABSORBEDOR=3mm)**



El gráfico de aceleraciones que da como resultado esta opción, con respecto al gráfico principal (barrera de hormigón sin protección), nos indica la gran bajada del pico en la aceleración en Z (de aproximadamente 10 g's a 5g's).





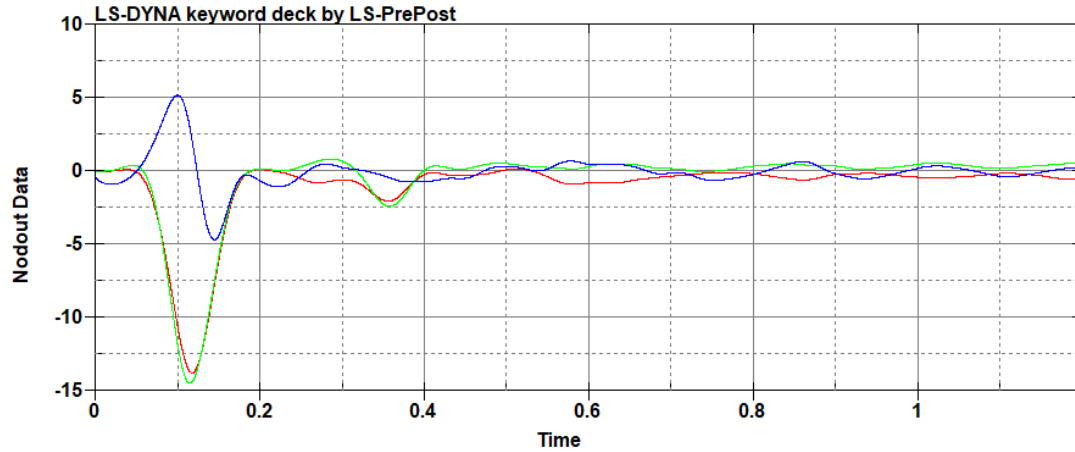
Sin embargo, el coeficiente ASI (ASI=2.026, para un  $t=0.111s$ ) nos sale superior al valor del ASI sin protección, por lo tanto, no es viable.

Esto sucede porque la aceleración en Y para un  $t=0.111s$ , son  $-15 g's$ , comparados con los  $-13,7 g's$  sin protección. Cabe destacar también que es la aceleración más desfavorable para este coeficiente, dado que es el que tiene un menor divisor en la ecuación.

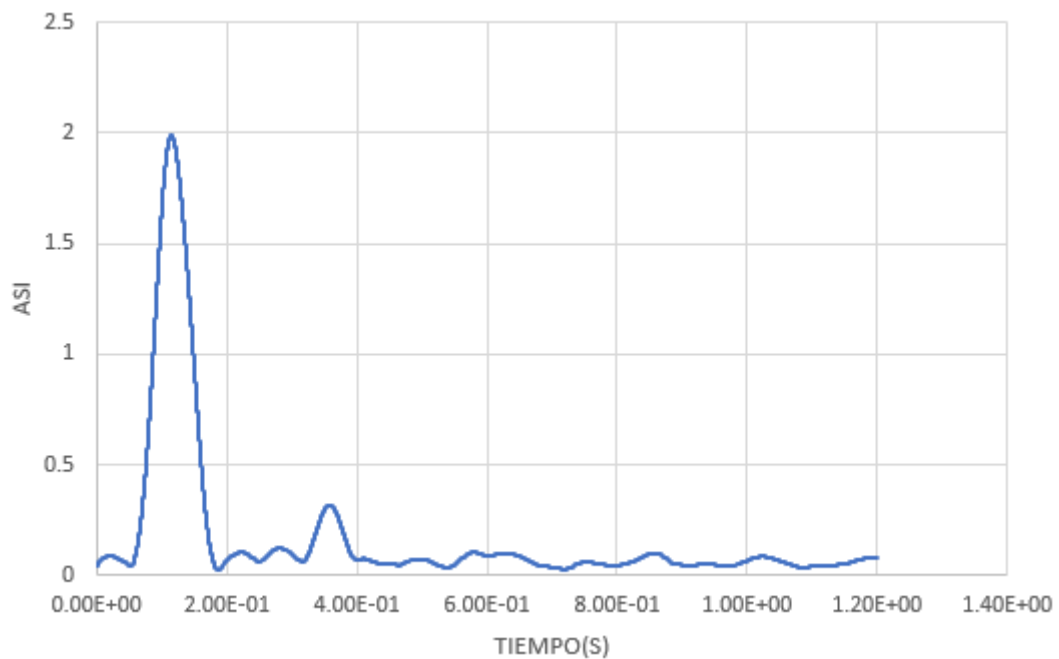
Hay que tener en cuenta, que el pico de aceleración en Z comentado anteriormente, baja hasta  $4.62 g's$  en el instante de mayor ASI.

**OPCIÓN 2: (CHAPA=4mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**

En este caso bajamos los espesores con la idea de intentar facilitar una mayor deformación plástica de los dos componentes:



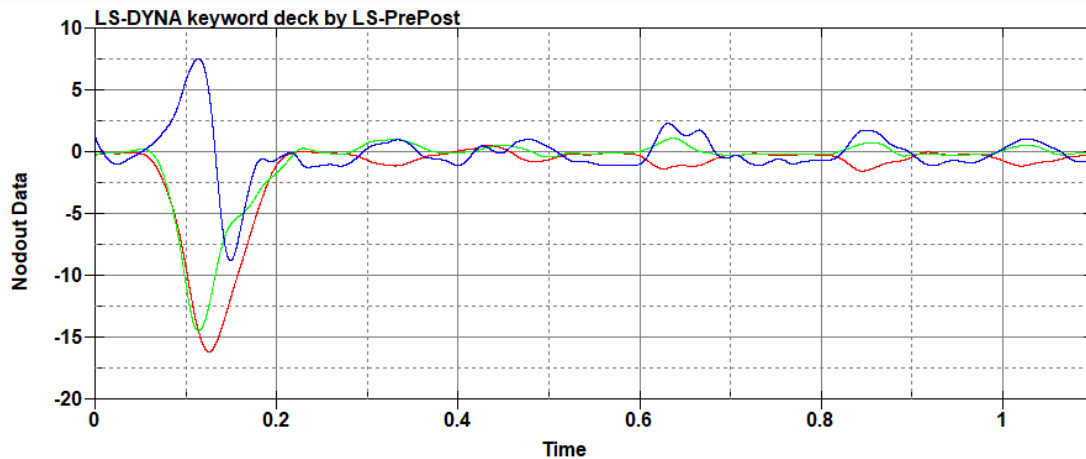
A simple vista los resultados son bastante parecidos a la opción 1. Viendo el coeficiente ASI:



Dando un valor máximo de 1.98, para un  $t=0.115s$ .

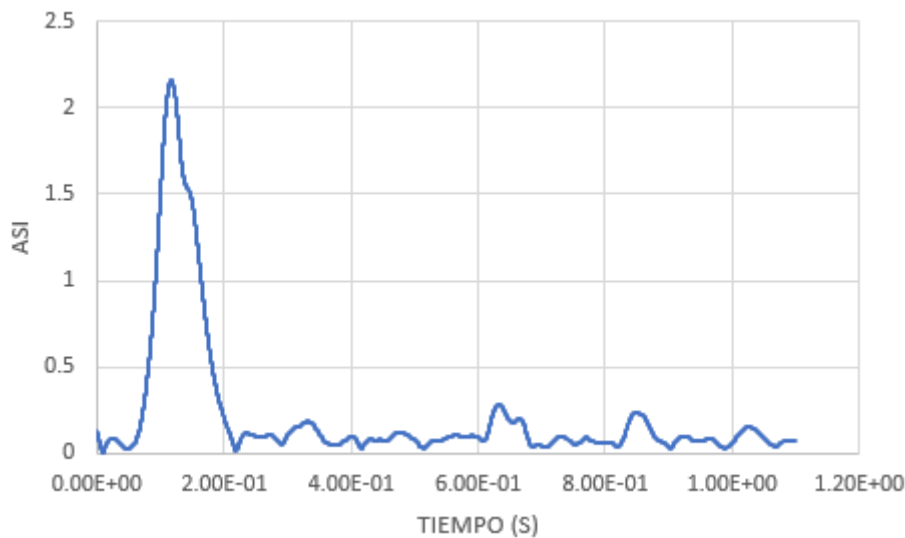
**OPCIÓN 3: (CHAPA=3mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**

Dado que no se obtiene un resultado muy diferente de la opción 2 a la 1, se ha optado por reducir el espesor de la chapa, con el fin de que ésta se deforme más que en el caso anterior:



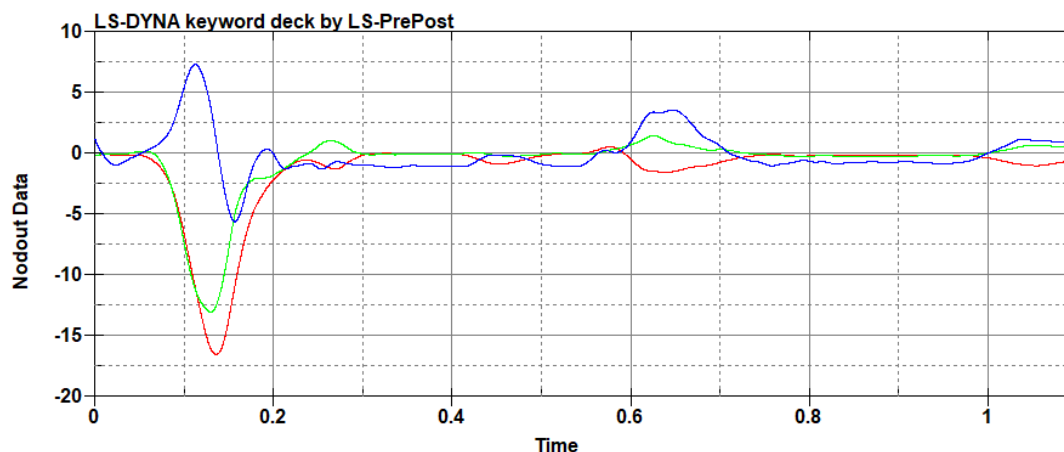
Se observa, que no sólo aumenta el pico de aceleración en Z, sino que en dirección X, también hay un aumento incluso llegando a estar por encima de la aceleración en Y, la cual ésta se mantiene.

El coeficiente ASI:



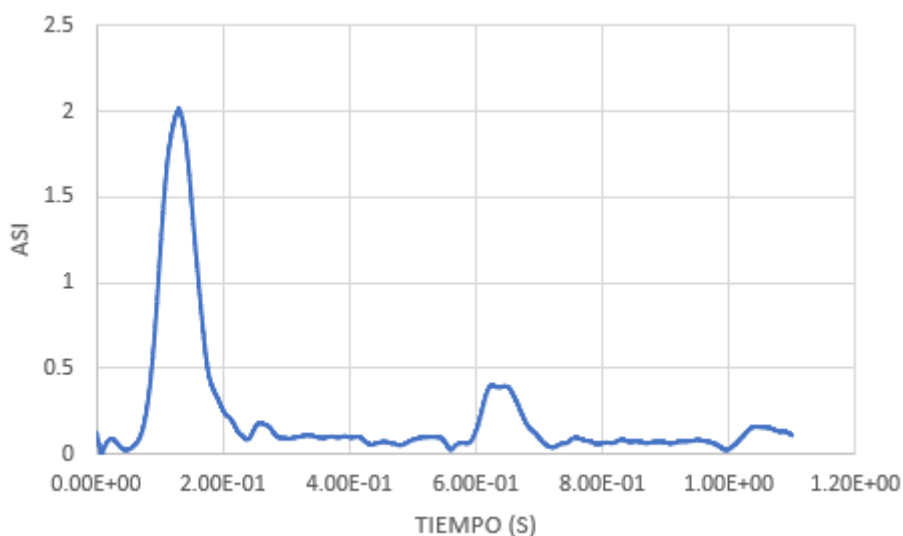
El valor máximo que se detalla es de 2.15 para un  $t=0.117s$ . Mayor que incluso la opción 2, lo que es entendible, habiendo notado las grandes diferencias al principio entre la opción 2 y ésta.

**OPCIÓN 4: (CHAPA=1.5mm; ABSORBEDOR=1mm)**



Es observado que, en la barrera sin protección, la barrera New Jersey estaba diseñada para obtener las mayores aceleraciones en X y en Y, cuando el máximo en Z disminuyese. Por tanto, se ha optado por seguir reduciendo los espesores, para poder lograr un efecto parecido. El pico en Z se ha reducido considerablemente con respecto a la de sin protección (de aproximadamente 10 g's a 7.5g's). La aceleración en Y, se ha reducido con respecto a la opción anterior (3), y la componente X se ha mantenido.

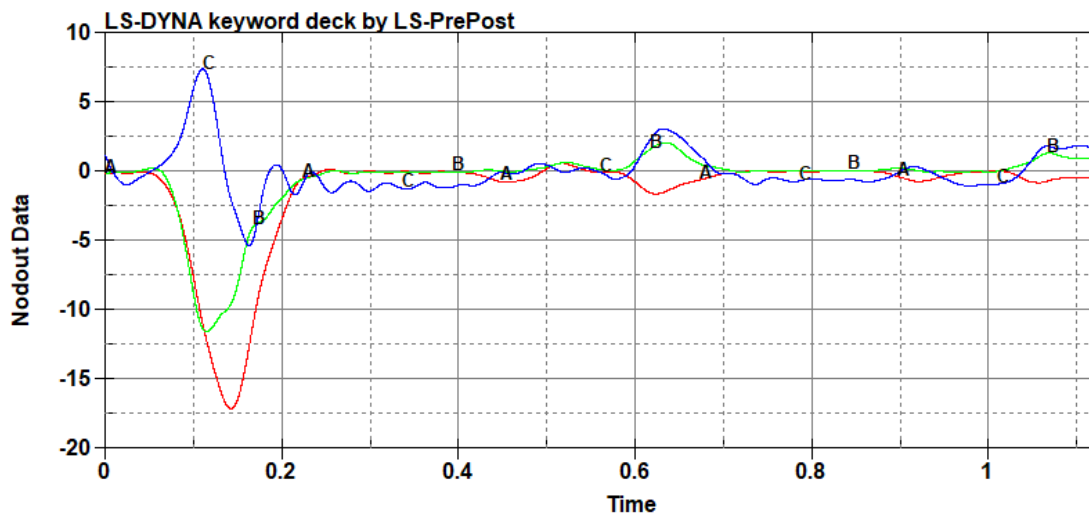
Coeficiente ASI:



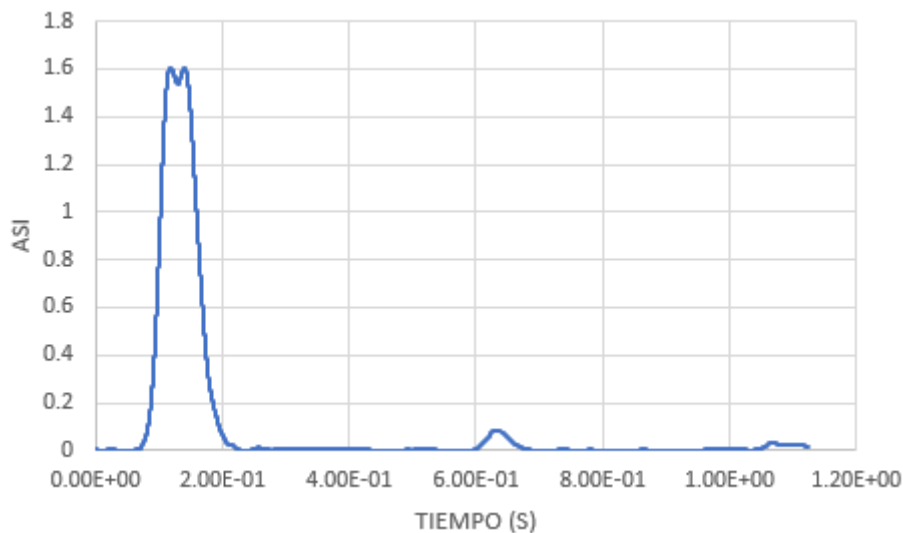
Da como resultado un ASI de 2.003, para un  $t=0.13$  s. El resultado se ha mejorado como se esperaba inicialmente, pero sigue estando por encima de los valores óptimos.

**OPCIÓN 5: (CHAPA=2mm; ABSORBEDOR=1,5mm)**

Como se ha obtenido la aceleración en Y de menor valor con la opción 4, esta última opción sirve para confirmar una posible reducción aún mayor de ésta última aceleración.

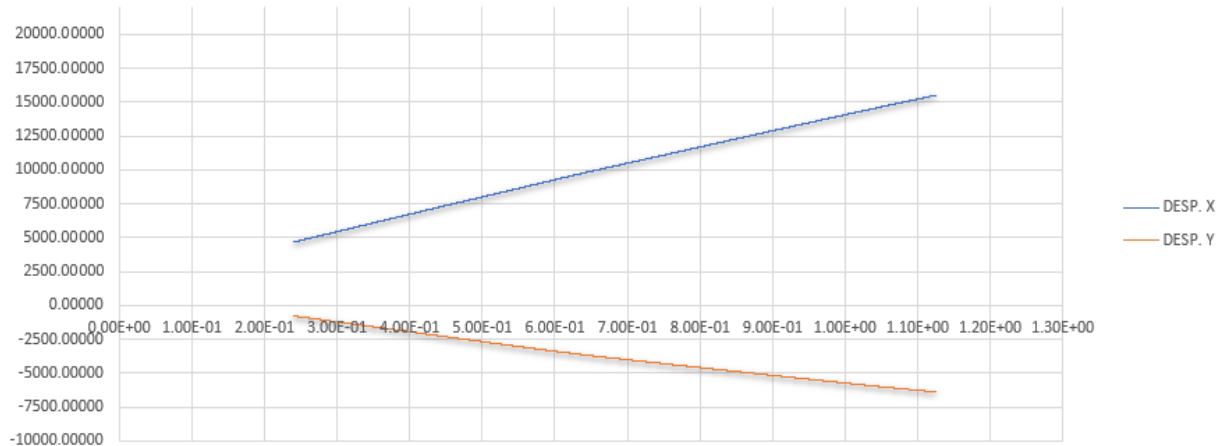


Se confirma esta reducción de la aceleración en la componente Y. Además, cabe destacar un retraso en el tiempo en el aumento de la componente X hasta su máximo, tomando de referencia la componente Z, lo que puede ayudar también a la disminución del coeficiente ASI (el mismo efecto explicado anteriormente).



Es obtenido finalmente un coeficiente ASI de 1.60 para un  $t=0.14$  s. Comparándolo con los datos de la barrera sin protección (El coeficiente máximo de ASI es 1.874, en un tiempo  $t=0.127$  s), son muy aceptables.

Obteniendo este resultado, se procede a comprobar el desplazamiento lateral del vehículo sometido bajo estas circunstancias.



Tras hallar los desplazamientos tras el impacto, se realizan los mismos cálculos aplicados en la barrera sin protección explicados anteriormente:

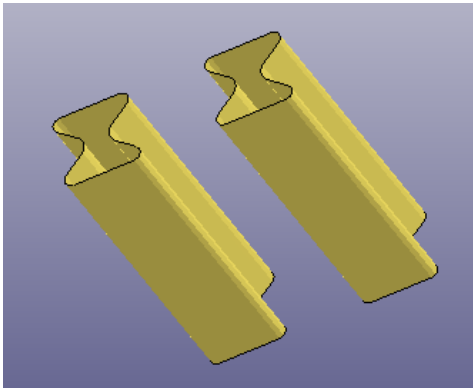
	t= 0.225 s	t=0.985 s		
Dist. Carretera (mm)	4847.69	14847.69		
Dist.Separación (mm)	840.19	6119.27	5279.08	<b>DIST.TOT (mm)</b>
			<b>PROP.VEHICULO</b>	
<b>DIST.SEP.MÁX (m)</b>	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

Cómo se muestra en la tabla hallada con Excel, se ha tomado como punto de inicio el  $t=0.24$  s, dado que a ese tiempo es cuando la última rueda que está en contacto con la barrera deja de estarlo. Son añadidos una longitud de 10 metros en dirección X, dando el valor del tiempo final del intervalo  $t=0.985$  s. Con ese tiempo y el inicial, se toman como datos 840,19 mm y 6119,27 mm y se llega a que la distancia total calculada supera el valor exigido con la distancia de separación máxima permitida.

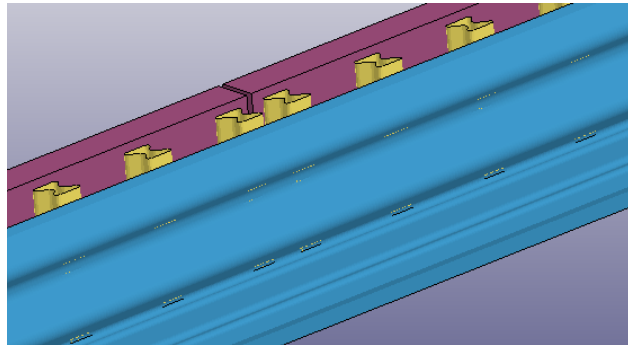
### 2.2.2.2 Absorbedor alternativo

Dado que no se ha conseguido unos resultados óptimos, se ha optado por cambiar la geometría del absorbedor dado que esto puede estar influyendo en este objetivo.

Considerando el impacto, y los esfuerzos a los que va a estar sometido, se ha ideado la siguiente forma geométrica:



*Imagen 2.1.2.2*



*Vista del montaje*

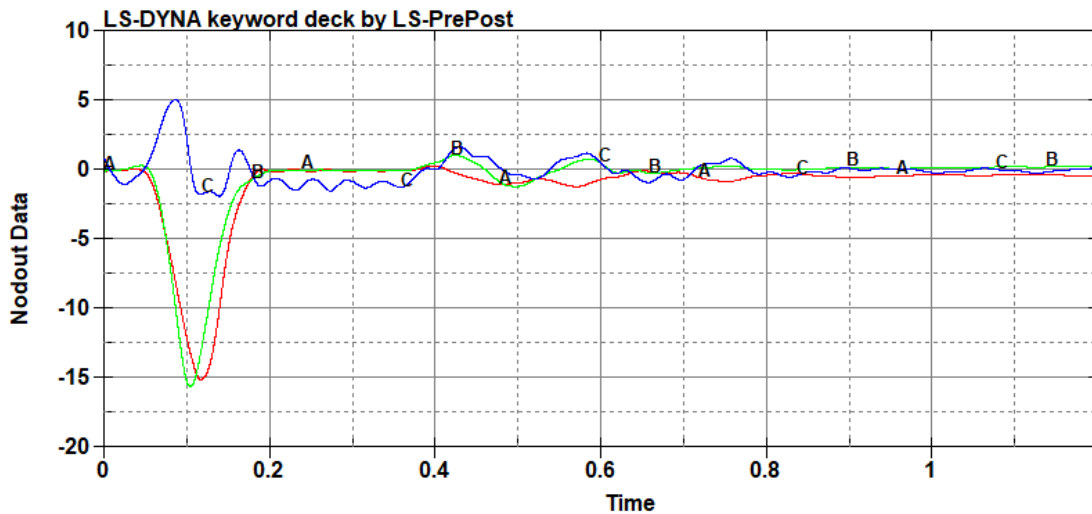
Se ha llevado a cabo el mismo razonamiento para elaborar el absorbedor mostrado en la imagen 2.1.2.2. Hay que tener en cuenta que los principales esfuerzos a los que va a ser sometido son la compresión del impacto, por tanto, este absorbedor tiene que tener una cierta holgura a la hora de poder ser deformado, pero también ejercer una cierta resistencia a esa deformación. En esto último se presupone que este absorbedor va a resistir mejor que el anterior, pero también esto va a poder ser contraproducente en espesores elevados ya que elevaría en exceso su resistencia a ser deformado, y no estaría realizando la función que se le exige. Un esfuerzo en el que se ha pensado, también es el de flexión, según donde se produzca el impacto en la chapa. De ahí y del esfuerzo a compresión, para que sea todo más homogéneo que en las opciones anteriores se haya optado por una geometría más simétrica.

Como se ha realizado anteriormente, se han llevado a cabo las mismas pruebas.

Las condiciones de contorno son las mismas llevadas a cabo con el absorbedor anterior.



**OPCIÓN 1: (CHAPA=5mm; ABSORBEDOR=3mm)**



En la gráfica se aprecia lo comentado en el párrafo anterior. Este absorbedor con grandes espesores, perjudica los resultados de forma drástica con esa geometría que lo hace más rígido y por tanto no realiza adecuadamente la función final de permitir una mayor deformación. Esto se aprecia, en la imagen inferior, dónde se detalla cómo han quedado los absorbedores.



*Detalle superior del impacto*

El coeficiente ASI, se deduce con ver la gráfica y la imagen, que no va a cumplir seguro con los límites establecidos.

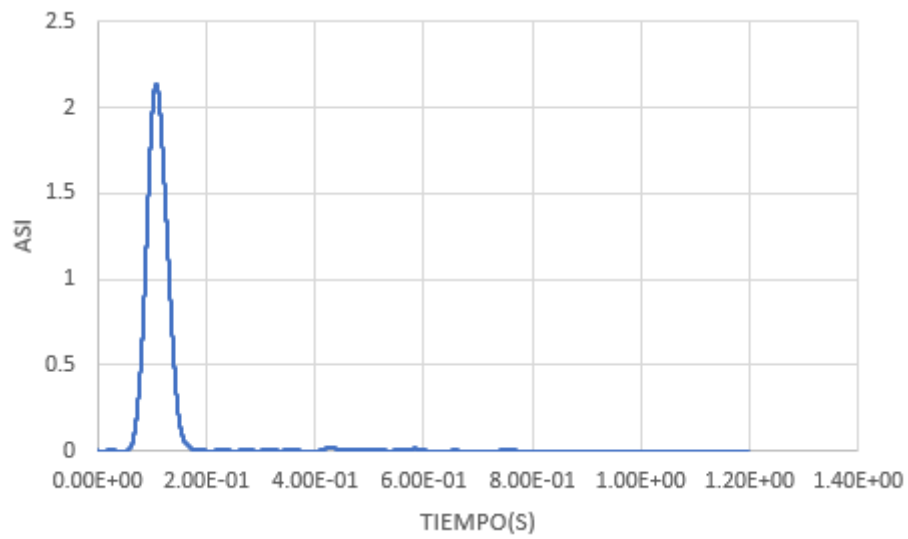
(1) LEYENDAS DE LAS ACELERACIONES:

Aceleración en X ( — )

Aceleración en Y ( — )

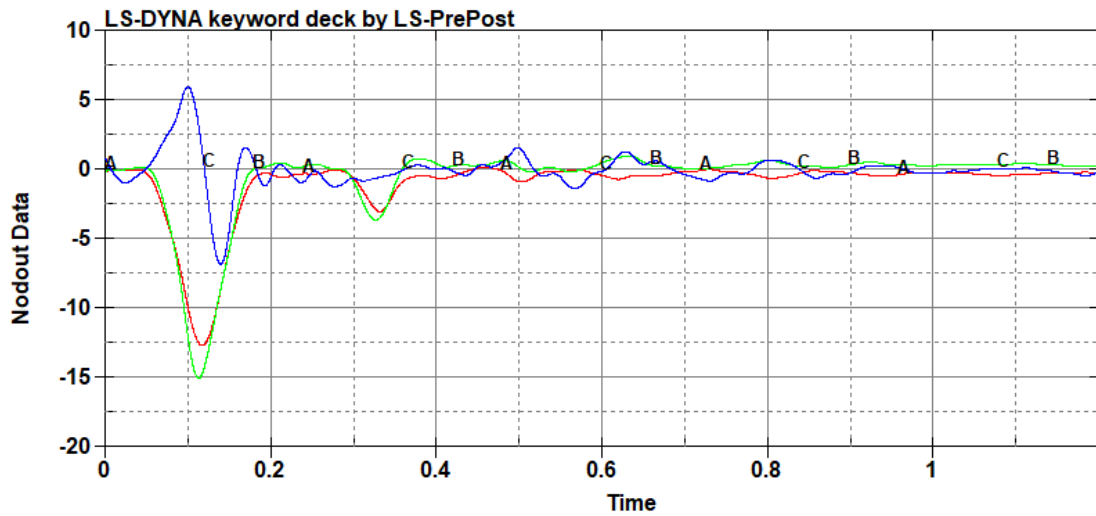
Aceleración en Z ( — )



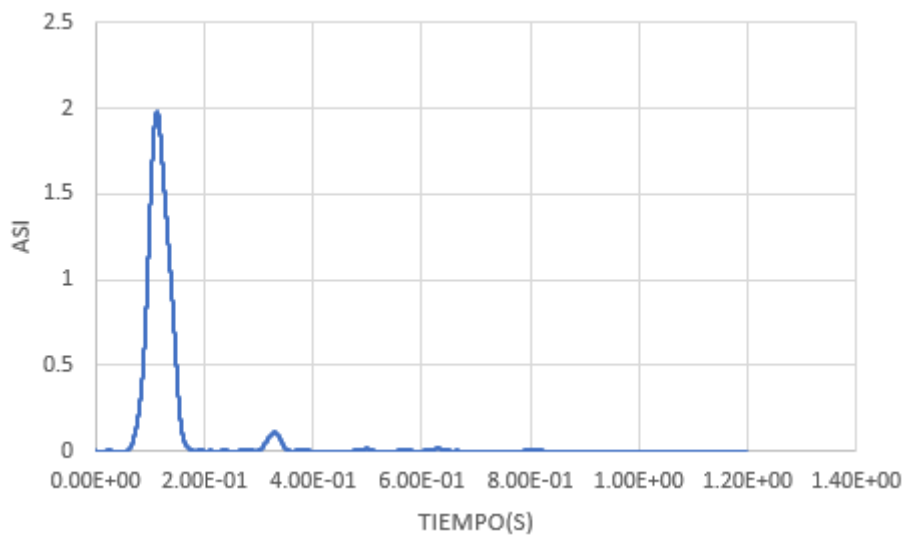


El coeficiente ASI llega a tener un pico de 2.13, para un  $t=0.108$  s. Es correcta la suposición del principio, da unos valores excesivos.

**OPCIÓN 2: (CHAPA=4mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**



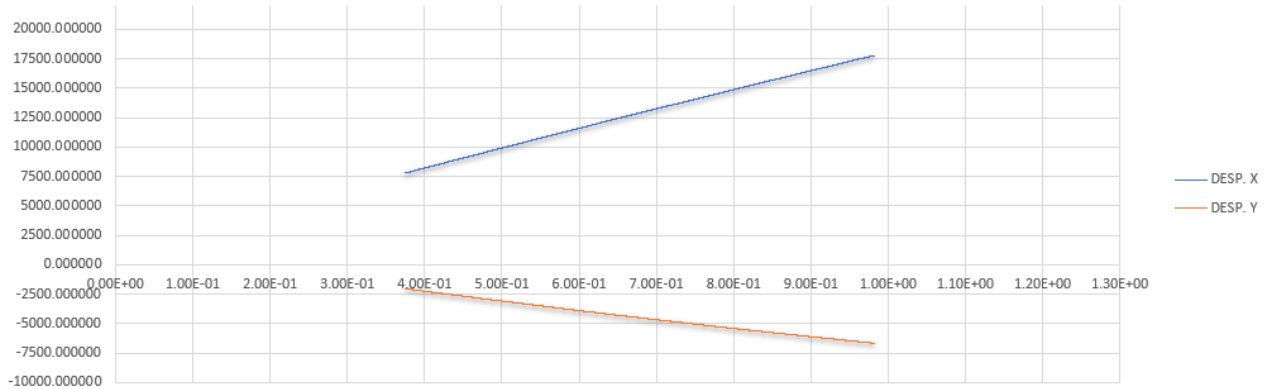
Como muestra el gráfico superior, para las relaciones de espesores grandes la aceleración en Y nos da unos valores excesivamente grandes como para para obtener un ASI con un valor aceptable. Esto se afirma con el gráfico de ASI:



Con valor máximo de ASI de 1.98 para un  $t=0.113$  s.



Como se ha hecho anteriormente en la opción 2 (chapa de 4mm y absorbedor de 1.5mm) del absorbedor en U, el cálculo del desplazamiento lateral dando unos valores cercanos a lo deseado, es calculado ahora bajo las mismas características, pero con absorbedores distintos.

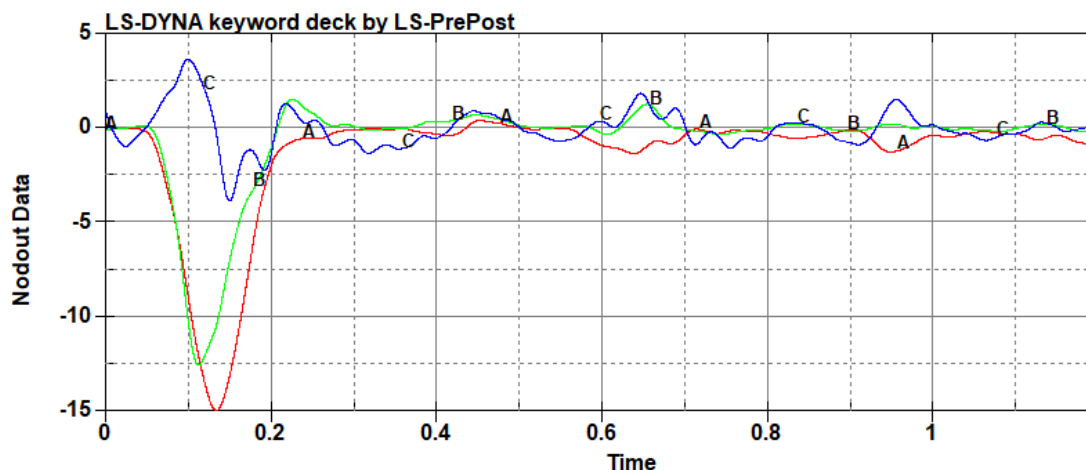


	t= 0.22 s	t=0.985 s		
Dist. Carretera (mm)	7771.16	17771.16		
Dist.Separación (mm)	2031.05	6660.07	4629.02	DIST.TOT (mm)
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX (m)	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

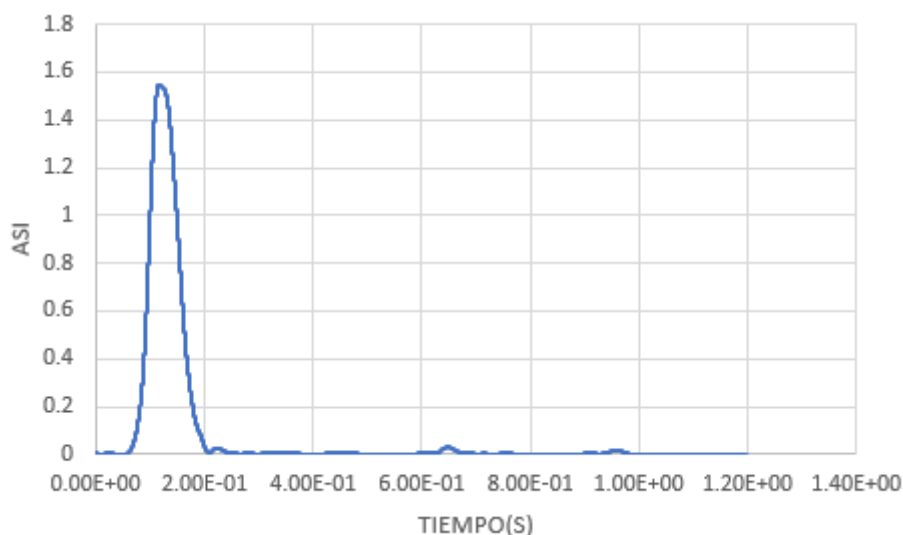
Se observa una aproximación al valor límite, pero sigue estando por encima de los valores permitidos.

**OPCIÓN 3: (CHAPA=3mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**

Como se ha comentado, el problema puede residir en la relación de espesores, al menos en lo correspondiente a la aceleración en Y que es el factor que más está perjudicando los resultados.



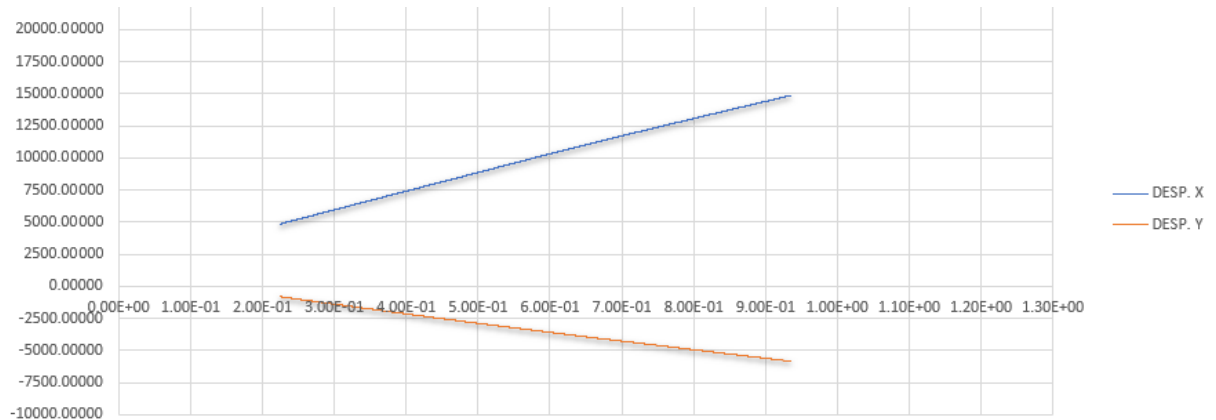
Se ha conseguido una sorprendente disminución de la aceleración en Y, sacrificando para ello un aumento en la componente X. Aunque en principio esto es más idóneo porque como se ha comentado anteriormente, la componente que más afecta en el cálculo del ASI es la Y.



El valor de ASI es un 1.547, para un  $t=0.118$  s, un valor muy aceptable y positivo.

Con este cálculo se procederá a la comprobación del desplazamiento lateral que sufre en estas circunstancias el vehículo tras el impacto.

Los cálculos son los mostrados para el caso de sin protección (Pag 8), y el mismo procedimiento mostrado en la página 16 con el absorbedor en forma de U.



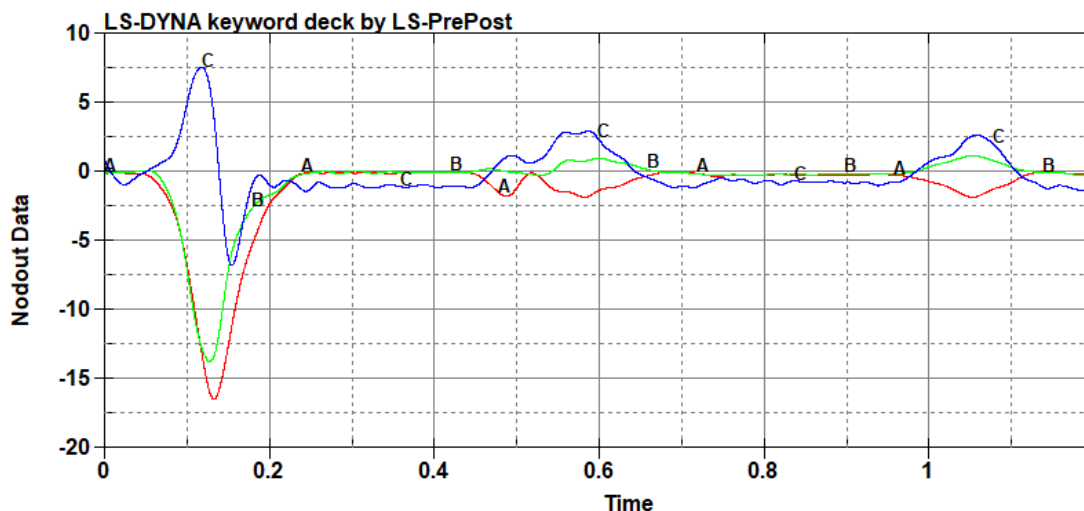
Cálculos en Excel:

	t= 0.225 s	t=0.935 s		
Dist. Carretera (mm)	4847.69	14847.69		
Dist.Separación (mm)	805.89	5840.09	5034.2	DIST.TOT (mm)
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX (m)	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

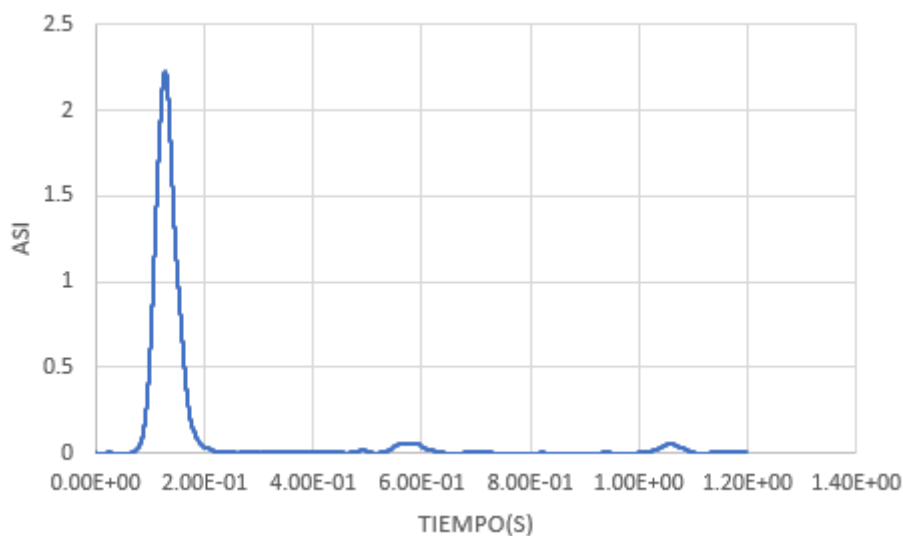
El desplazamiento total es mayor que el permitido.

**OPCIÓN 4: (CHAPA=1.5mm; ABSORBEDOR=1mm)**

Aquí se quería verificar si una relación de espesores, con estos en valores bajos, podrían dar valores más cercanos a lo deseado:



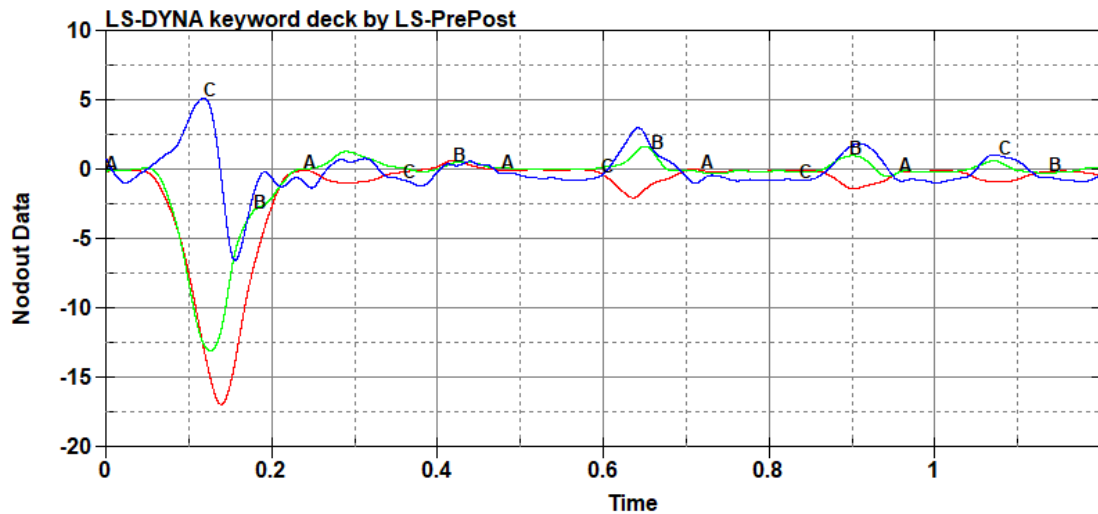
Se valora el coeficiente ASI:



Con un valor de ASI de 2.22 para un  $t=0.128s$ . Conociendo esto, se va a proceder con una opción más, bajando la relación de espesores aumentando en 0.5mm el espesor de los dos componentes, pero manteniendo éstos en unos valores que permitan una deformación considerable, para evitar lo que ocurría en la opción 1 (CAHAPA=5mm; ABSORBEDOR=3mm).

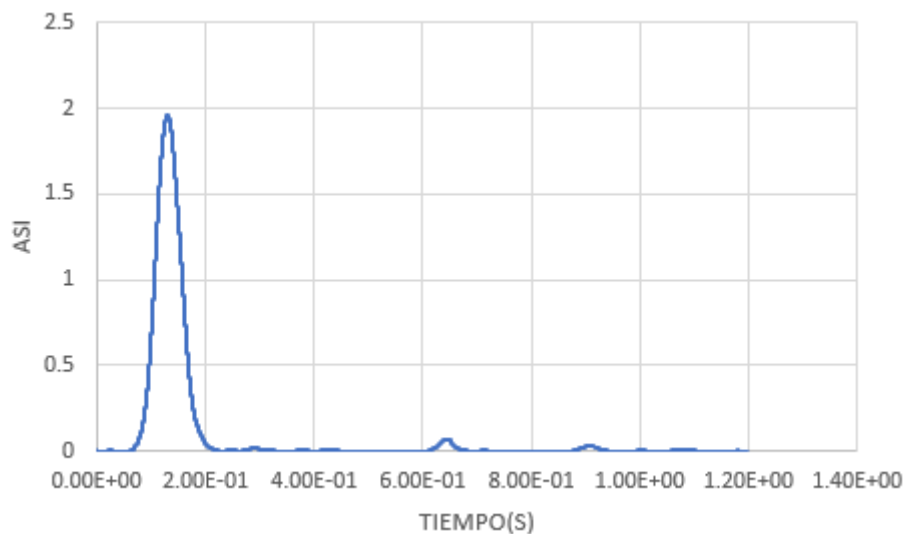


**OPCIÓN 5: (CHAPA=2mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**



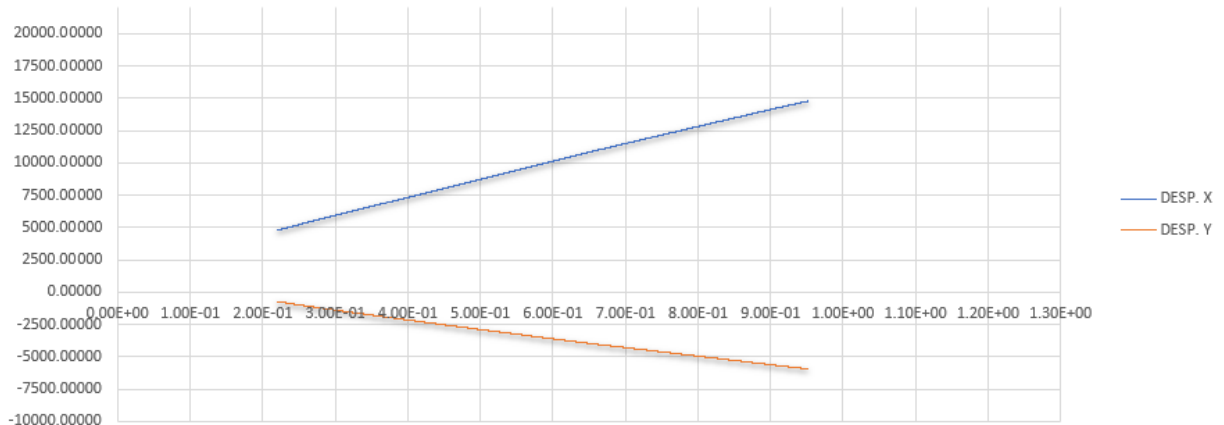
En el momento de impacto  $\{0.11 \leq t \leq 0.14\}$ , aproximadamente, se observa como los valores en Z e Y, son considerablemente bajos con respecto a la opción anterior.

El valor de ASI:



El coeficiente ASI obtenido es 1.95 para un  $t=0.131s$ . Se consigue un valor relativamente aceptable comparándolo con la barrera sin protección (1.874, en un tiempo  $t=0.127s$ ). Esto es debido, a que el efecto máximo de la aceleración en X aparezca en un tiempo mayor que el resto. Esto en el cálculo del ASI, se ve influenciado modificando el tiempo dónde el valor del coeficiente sea máximo.

En este caso concreto, se ha hallado el desplazamiento lateral aun obteniendo un coeficiente ASI ligeramente superior al que tomamos de referencia (barrera sin protección). De esta forma se evaluará la diferencia entre el resultado anterior tan óptimo, en la opción 5 con el absorbedor en U, dado que tiene los mismos parámetros.



	t= 0.22 s	t=0.985 s		
Dist. Carretera (mm)	4781	14781		
Dist.Separación (mm)	730.88	5943.46	5212.58	DIST.TOT (mm)
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX (m)	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

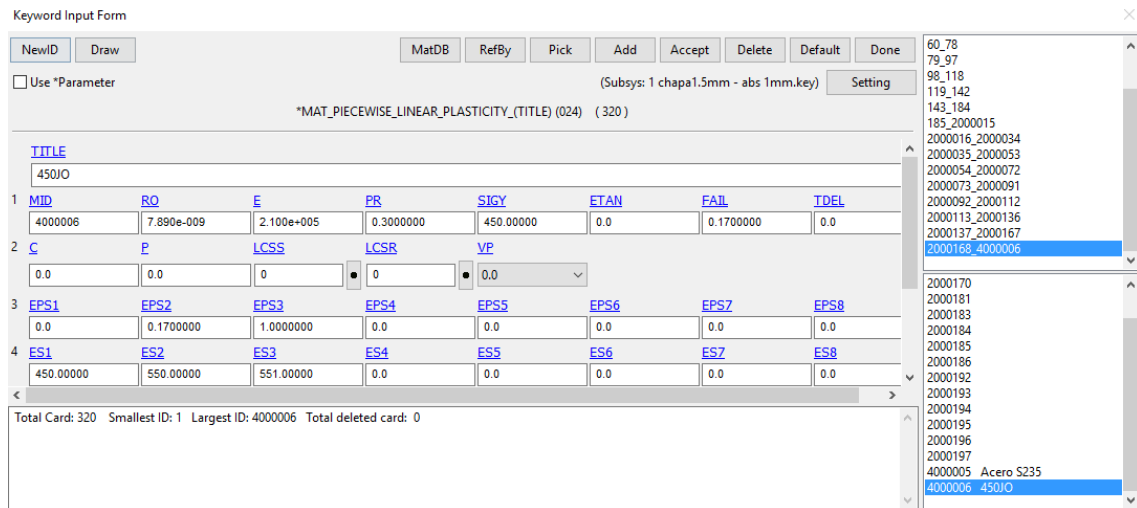
A pesar de haber aumentado el coeficiente ASI, se ha logrado prácticamente la misma diferencia con respecto el modelo de la opción 5 del anterior absorbedor.



### 2.2.3 MATERIAL: ACERO S450JO

El cambio de material se produce en la chapa. Debido a los resultados obtenidos se propone dicho cambio con el objetivo de ralentizar la deformación plástica de la chapa con respecto a los absorbedores. Otra forma de argumentar el material utilizado está relacionada con lo citado en el apartado 2.1.2 relacionado con los espesores.

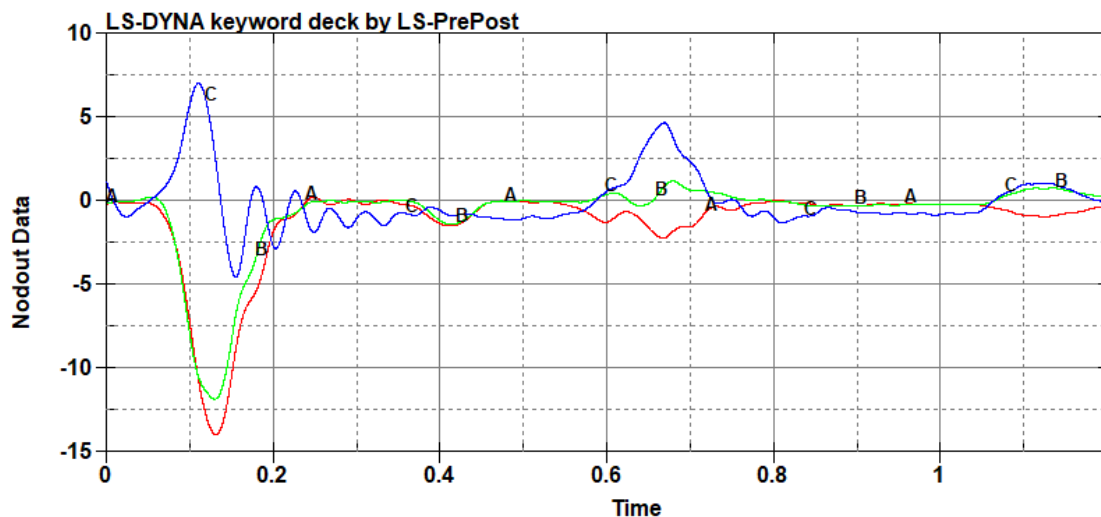
Dado que lo único que varía es el material usado, las características son las mostradas:



#### 2.2.3.1 Absorbedor en U

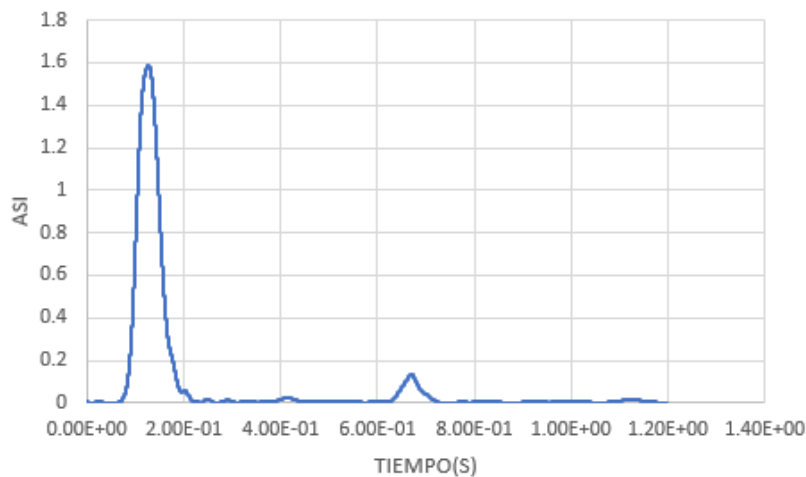
Son realizados los mismos cálculos, con las mismas opciones que en los apartados anteriores. Las dos primeras opciones van a ser las que a priori han dado los mejores resultados, o los más regulares (CAHAPA=1.5mm; ABSORBEDOR=1mm) y (CAHAPA=2mm; ABSORBEDOR=1.5mm):

##### OPCIÓN 1: (CHAPA=1.5mm; ABSORBEDOR=1mm)



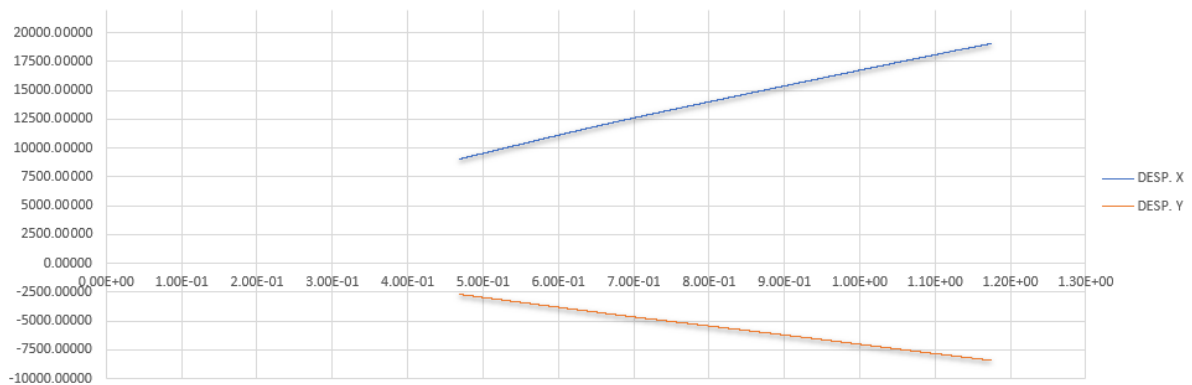
Los resultados obtenidos en la gráfica muestran un buen comportamiento. La componente en Y está por debajo de los 12.5 g's, y la componente Z aumenta, pero esto ocurre en un intervalo de tiempo que no afectaría al máximo de ASI.

Coefficiente ASI:



Da un valor de 1.587 para un  $t=0.127$  s. Valor muy positivo para este caso, en especial comparado con la situación análoga de las dos opciones con distinto absorbedor, pero con el material S235JR.

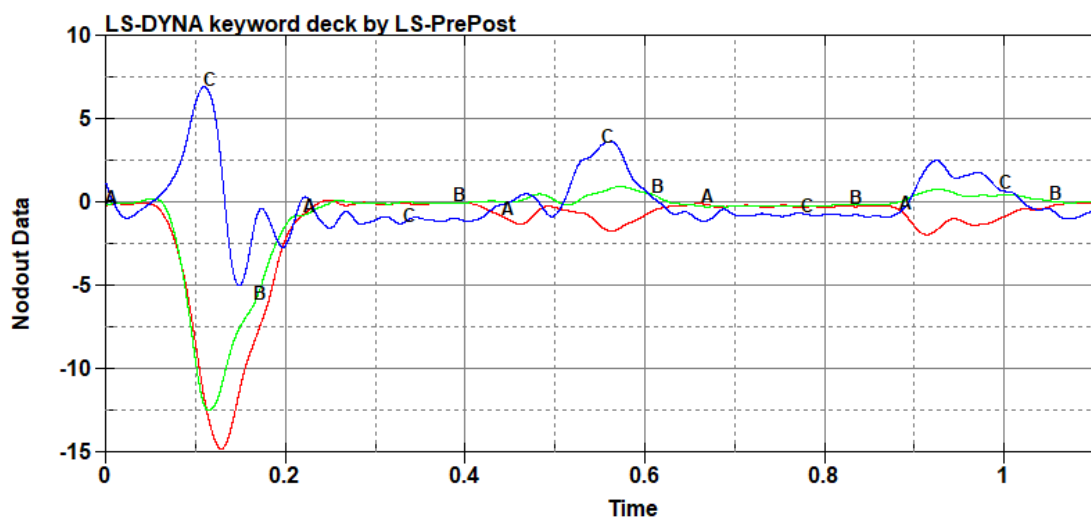
El desplazamiento lateral correspondiente:



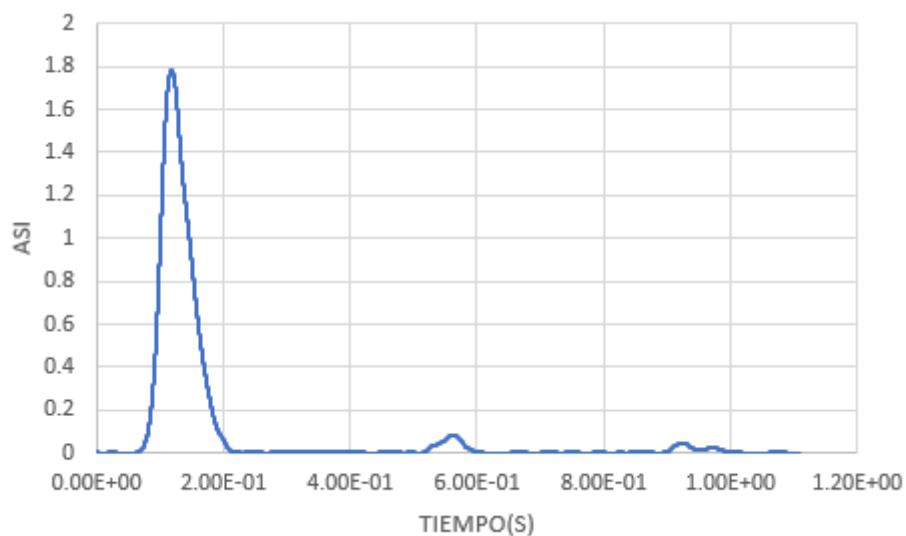
	t= 0.47 s	t=1.17 s		
Dist. Carretera (mm)	9057.41	19057.41		
Dist.Separación (mm)	2689.3	8404.04	5714.74	DIST.TOT (mm)
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX (m)	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

No cumple con el desplazamiento máximo permitido.

**OPCIÓN 2: (CHAPA=2mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**

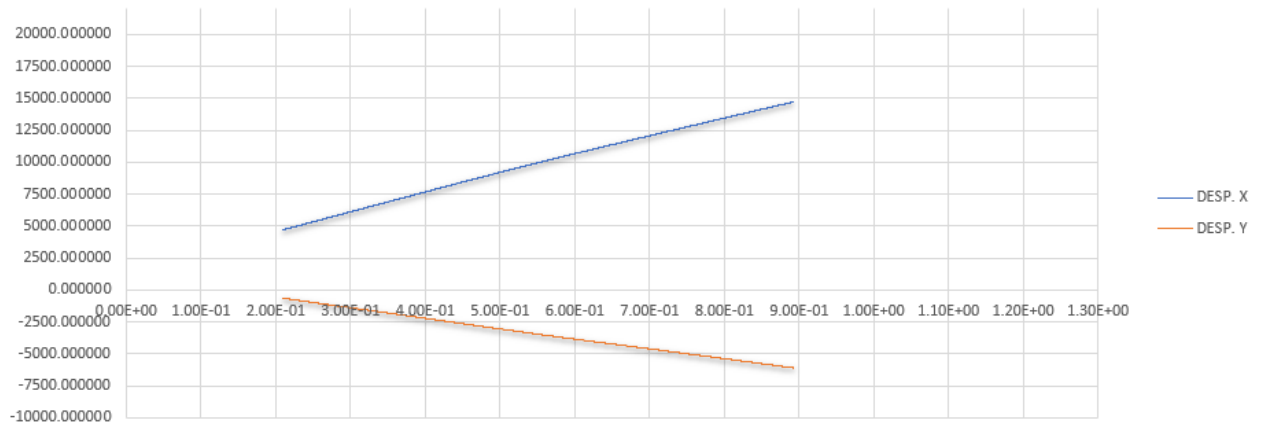


Los valores obtenidos, son parecidos a casos en los que nos salen coeficientes ASI óptimos.



El coeficiente ASI final es de 1.779, para un  $t=0.118$  s.

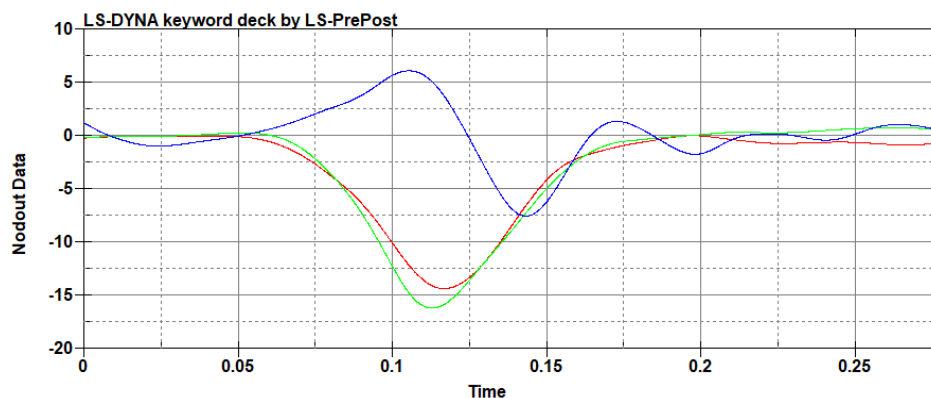
El cálculo del desplazamiento lateral:



	t= 0.21 s	t=0.892 s		
Dist. Carretera (mm)	4698.74	14698.74		
Dist.Separación (mm)	640.2	6096.63	5456.43	DIST.TOT (mm)
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX (m)	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

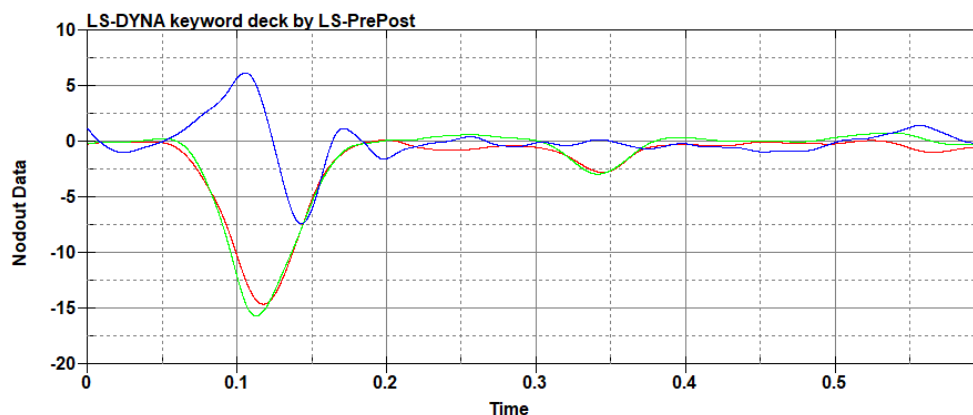
Como en casos anteriores, sale de resultado un desplazamiento lateral por encima de lo deseado. Se profundiza más en el apartado de conclusiones del presente trabajo.

**OPCIÓN 3: (CHAPA=3mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**

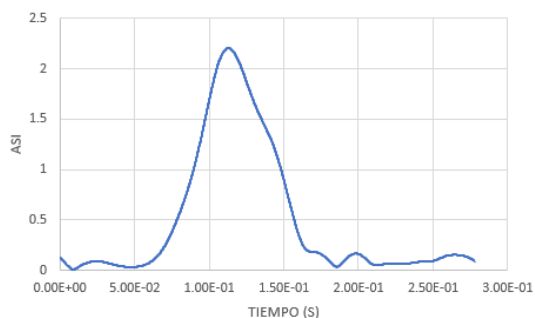


El gráfico da una idea de que el ASI va a ser un poco elevado debido al incremento en la aceleración Y.

**OPCIÓN 4: (CHAPA=4mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**

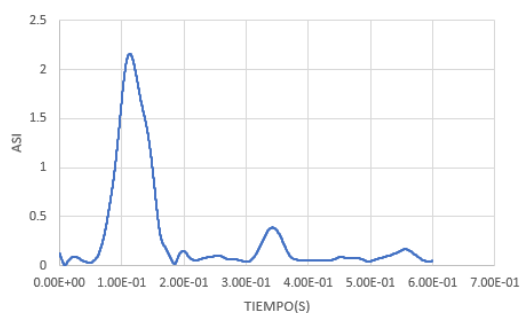


Comparándolo con la anterior no hay diferencia apreciable. Los coeficientes ASI lo confirman:



**Opción 3**

El máximo ASI es de 2.20 para un t=0.113 s.



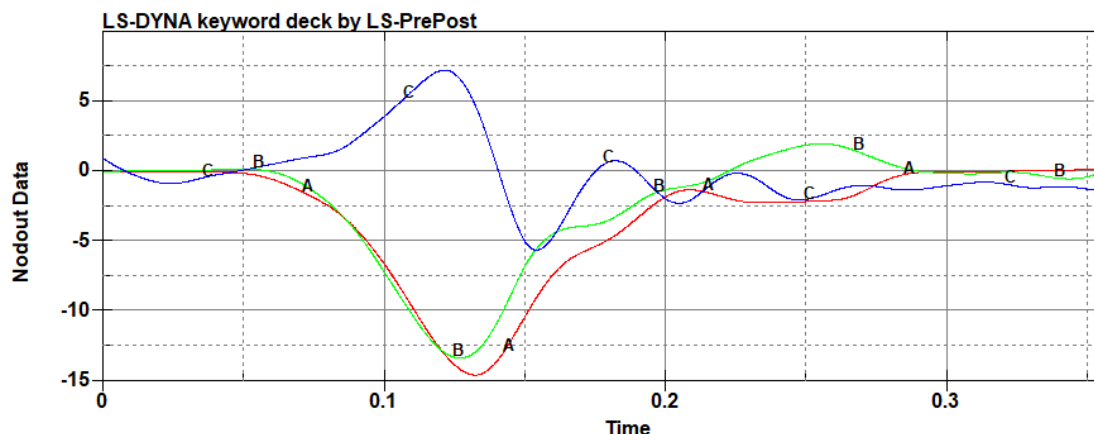
**Opción 4**

El máximo ASI es de 2.16 para un t=0.113 s.

### 2.2.3.2 Absorbedor alternativo

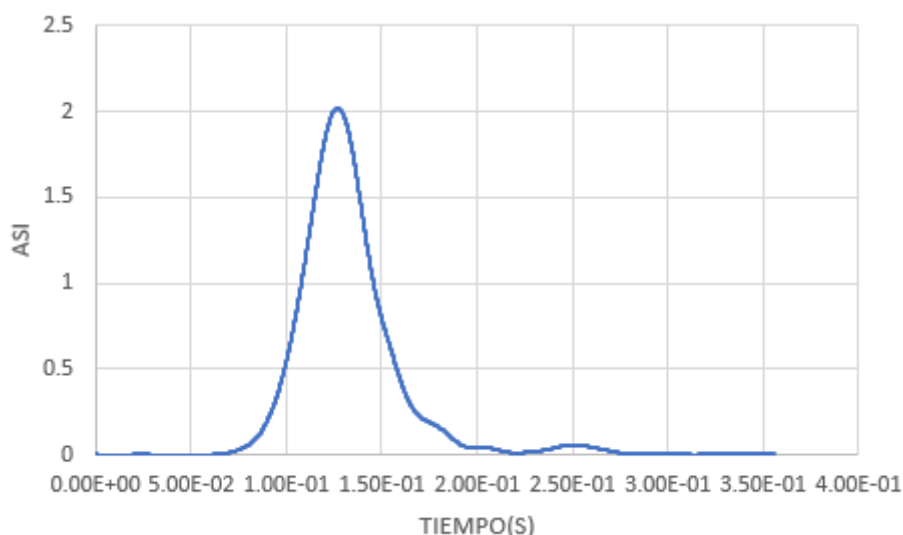
Son usadas las mismas pautas:

#### OPCIÓN 1: (CHAPA=1.5mm; ABSORBEDOR=1mm)



Entre el intervalo de 0.10 s y 0.15 s (como se ha comentado anteriormente es el intervalo aproximado de tiempo durante el impacto que nos interesa), la aceleración en Z Y la componente en Y, llegan a tener valores relativamente elevados.

El coeficiente ASI:



Con un máximo de 2.019 para un  $t=0.127s$ . Se ha conseguido reducir con respecto a la opción 1, con el material 235JR (ASI=2.22, para un  $t=0.128$ ), pero sigue siendo un valor por encima de lo deseado.

(1) LEYENDAS DE LAS ACELERACIONES:

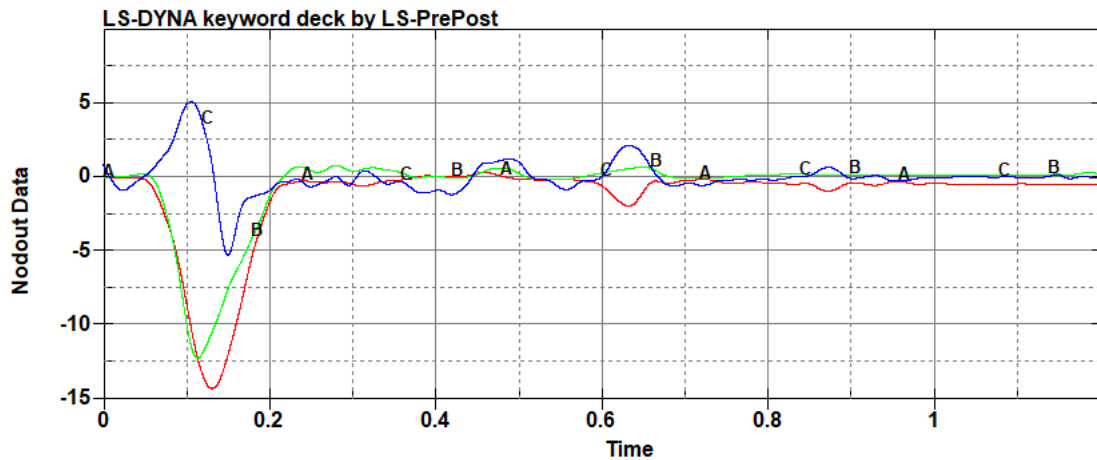
Aceleración en X ( — )

Aceleración en Y ( — )

Aceleración en Z ( — )

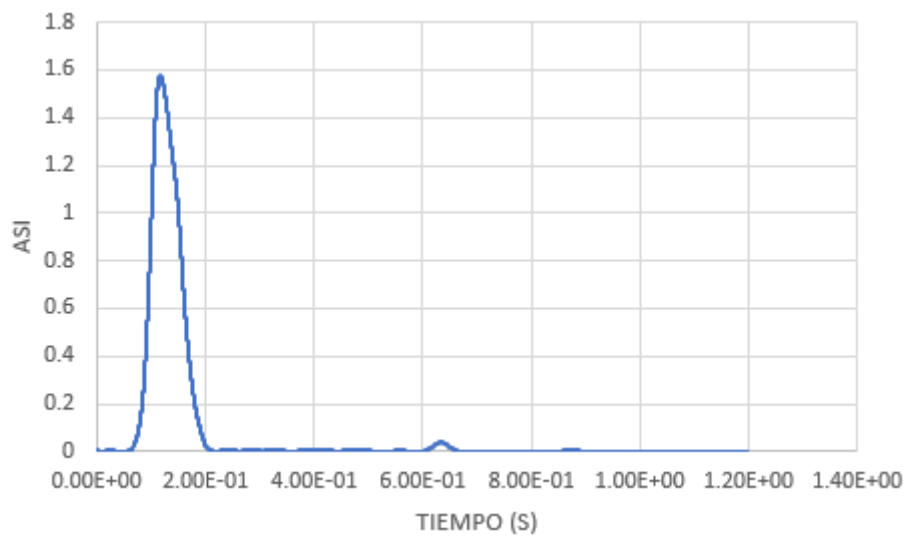


**OPCIÓN 2: (CHAPA=2mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**



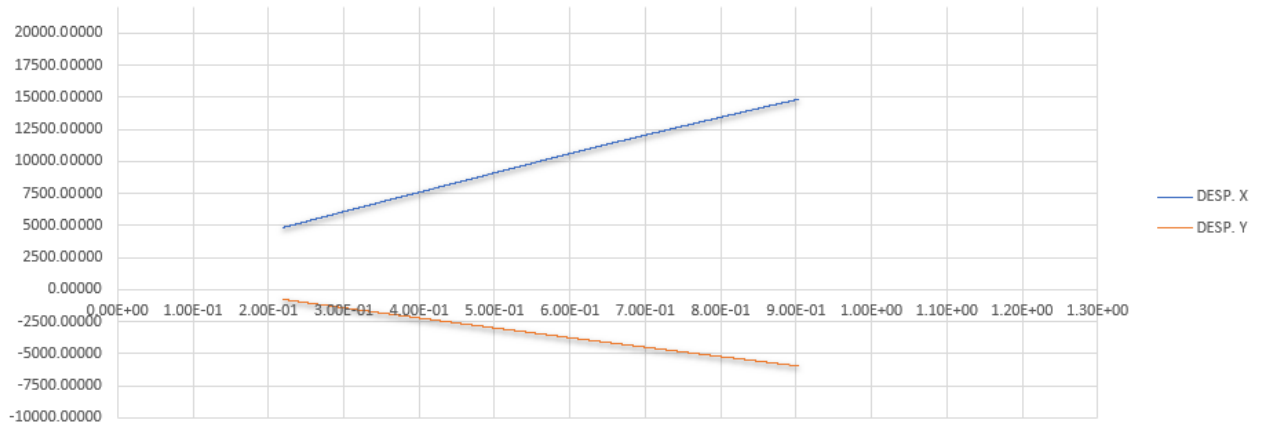
Como se ha comentado a lo largo del trabajo, la aceleración X es mayor en estos casos, pero beneficia que la aparición del máximo en esta componente se dé a un tiempo mayor que el resto, lo que beneficia la disminución del coeficiente ASI. También se vuelve a producir una disminución en la componente Y.

Por tanto, el coeficiente ASI final:



Con un valor de 1.577 para un  $t=0.117$  s. El segundo mejor resultado del trabajo.

Los desplazamientos para esta situación:



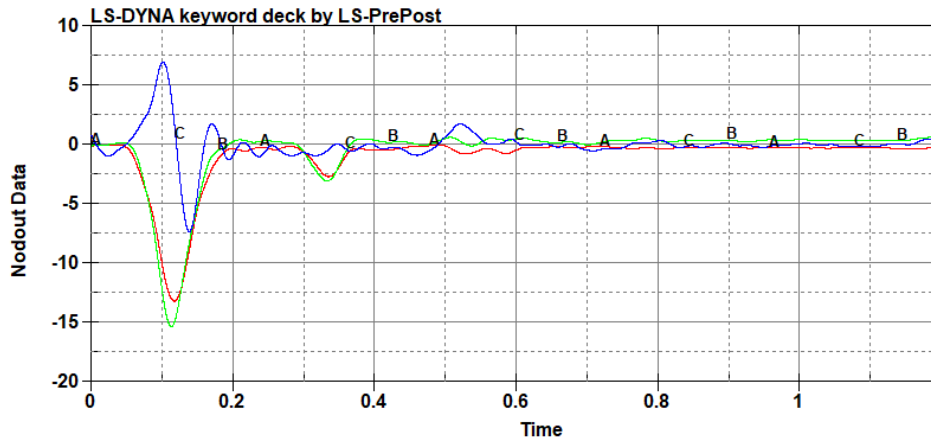
Con unos resultados finales:

	t= 0.220 s	t=0.903 s		
Dist. Carretera (mm)	4830.48	14830.48		
Dist.Separación (mm)	758.57	5961.9	5203.33	DIST.TOT (mm)
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX (m)	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

No se consigue obtener un desplazamiento lateral óptimo.

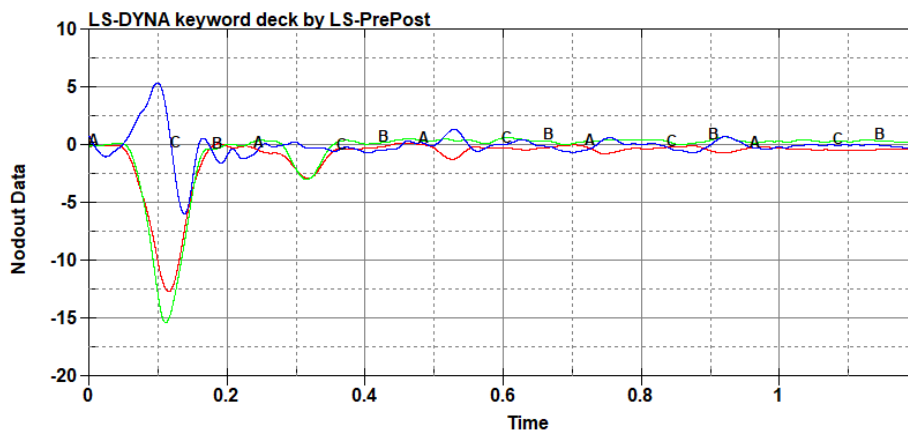


**OPCIÓN 3: (CHAPA=3mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**

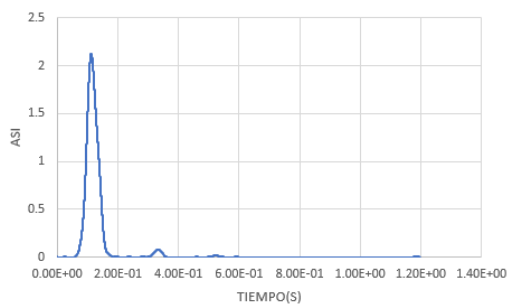


El gráfico da una idea de que el ASI va a ser un poco elevado debido al incremento en la aceleración Y.

**OPCIÓN 4: (CHAPA=4mm; ABSORBEDOR=1.5mm)**

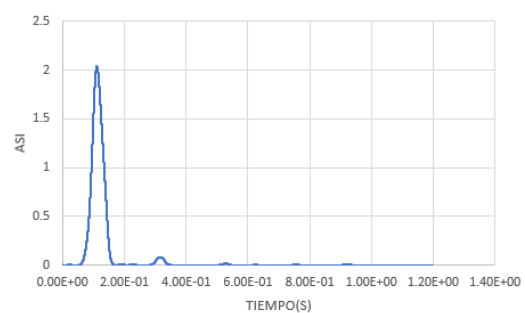


Comparándolo con la anterior no hay diferencia apreciable. Los coeficientes ASI lo confirman:



**Opción 3**

El máximo ASI es de 2.12 para un  $t=0.113$  s.



**Opción 4**

El máximo ASI es de 2.035 para un  $t=0.111$  s.

La opción de la chapa con 5mm y el absorbedor correspondiente de 3mm, como en el caso anterior, no se ha realizado ensayo dado que no se han obtenido unos resultados previos con otros modelos lo suficientemente buenos para seguir con esta opción.

Por último, hacer mención, del punto 4.2 de la parte la norma EN 1317-2:2010 exige.

*“Comportamiento de la barrera de seguridad (incluyendo pretilas)”* que se cumple que ninguno de los elementos de la barrera y absorbedores no llegan a una rotura completa, ni penetran en el habitáculo del vehículo.

En el apartado de “CONCLUSIONES” del trabajo se realiza una explicación más detallada de los resultados obtenidos.

## 2.3 SEGUNDO IMPACTO: MOTORISTA

Según la tabla 1 de ensayos de impacto de la norma UNE 135900-2:

Tabla 1 – Ensayos de impacto

Ensayo	Tipo de SPM	Trayectoria de aproximación	Velocidad (km/h)
TM.1.60	SP y SC	Centrada (1)	60
TM.2.60	SP	Descentrada (2)	60
TM.3.60	SC	Centro de Vano (3)	60
TM.1.70	SP y SC	Centrada (1)	70
TM.2.70	SP	Descentrada (2)	70
TM.3.70	SC	Centro de Vano (3)	70

En este proyecto se ha escogido un método de impacto descentrado a 60 km/h, a un ángulo de 30°. El Dummy es de 87.5 kg.

### 2.3.1 SIN PROTECCIÓN

La situación a calcular es la siguiente:

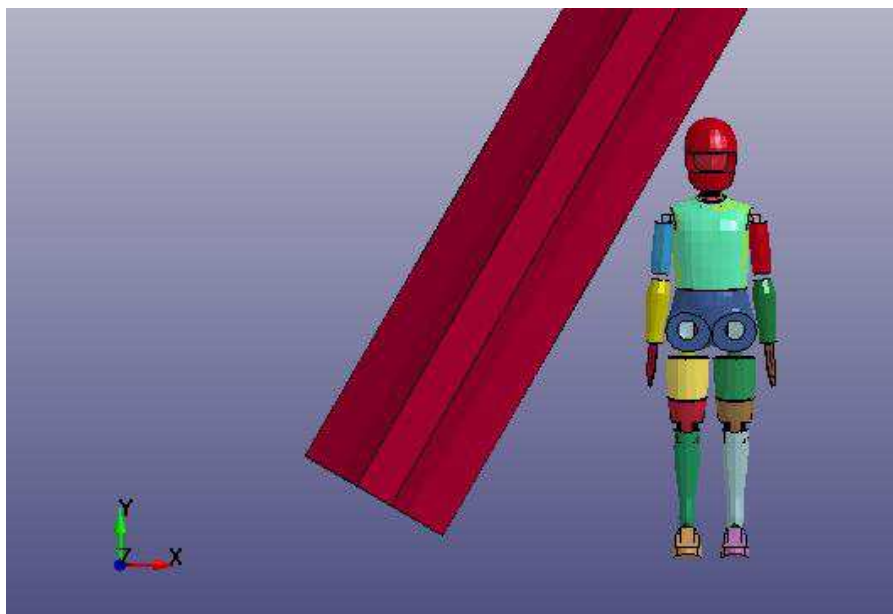
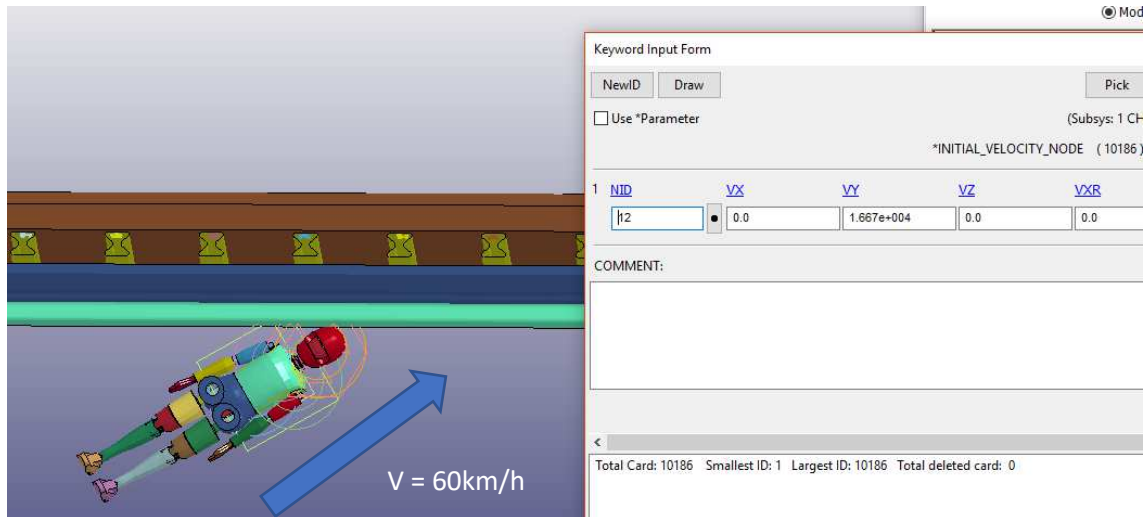


Imagen 2.2.1.1

## CONDICIONES DE CONTORNO DEL PROBLEMA

Las condiciones de contorno se mantienen exactamente igual, cambiando el coche por el dummy, que lo anterior, pero con las siguientes diferencias:

- Velocidad del dummy (la tabla en mm/s)

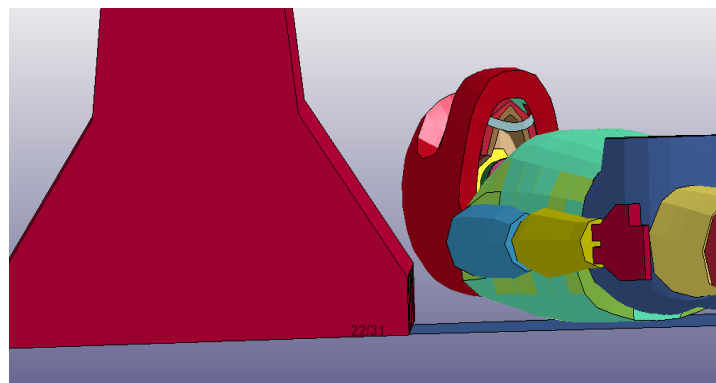


Para según qué HIC se desee, la tabla 4 de la norma UNE 135900-2 nos muestra los dos niveles y el valor del HIC respectivo, para valorar el nivel en el que nos encontramos.

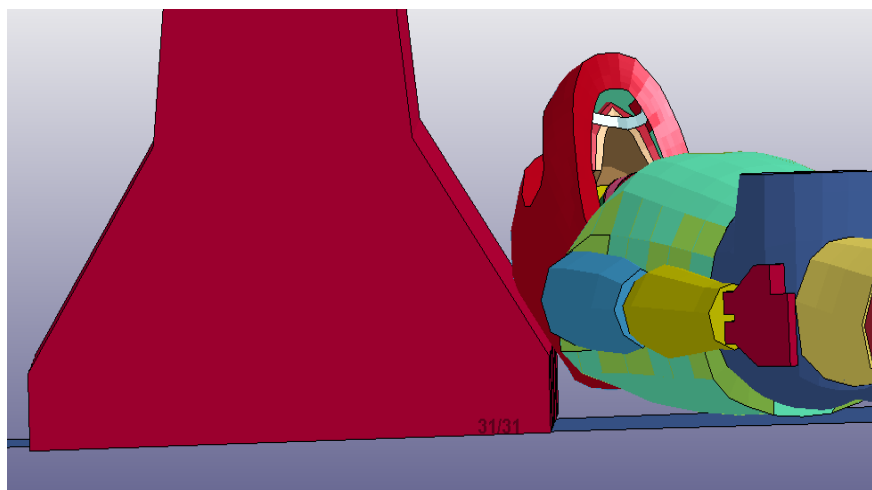
**Tabla 4 – Niveles de severidad**

Nivel	Cabeza	Cuello					
	HIC <sub>36</sub>	Fx (N)	Fz tracción (N)	Fz compresión (N)	Mco <sub>x</sub> (N.m)	Mco <sub>y</sub> extensión (N.m)	Mco <sub>z</sub> flexión (N.m)
I	650	Diagrama 1	Diagrama 2	Diagrama 3	134	42	190
II	1 000	Diagrama 4	Diagrama 5	Diagrama 6	134	57	190

Se muestran en las siguientes imágenes, el inicio y la deformación del casco del motorista durante el impacto:



*Momento inicial*



*Momento Impacto*

Las imágenes muestran la enorme deformación que va a sufrir el casco del motorista y el daño al que va a ser sometido el motorista.

Debido a las deformaciones tan elevadas, el programa solo facilita información hasta el instante mostrado en la imagen “*Momento impacto*”, debido al contraste tan radical en los resultados. Esto sin embargo será suficiente para poder evaluar el HIC, y poder compararlo con el de los casos óptimos del coche.

El criterio de Lesiones de Cabeza (HIC<sub>36</sub>), es uno de los criterios que se han enumerado al comienzo de este trabajo para evaluar la severidad de impacto del motorista.

La expresión matemática es la siguiente según la norma UNE 135900-1:

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

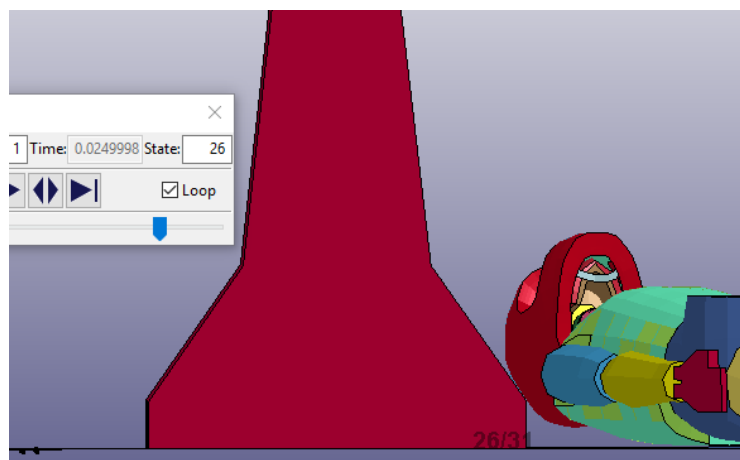
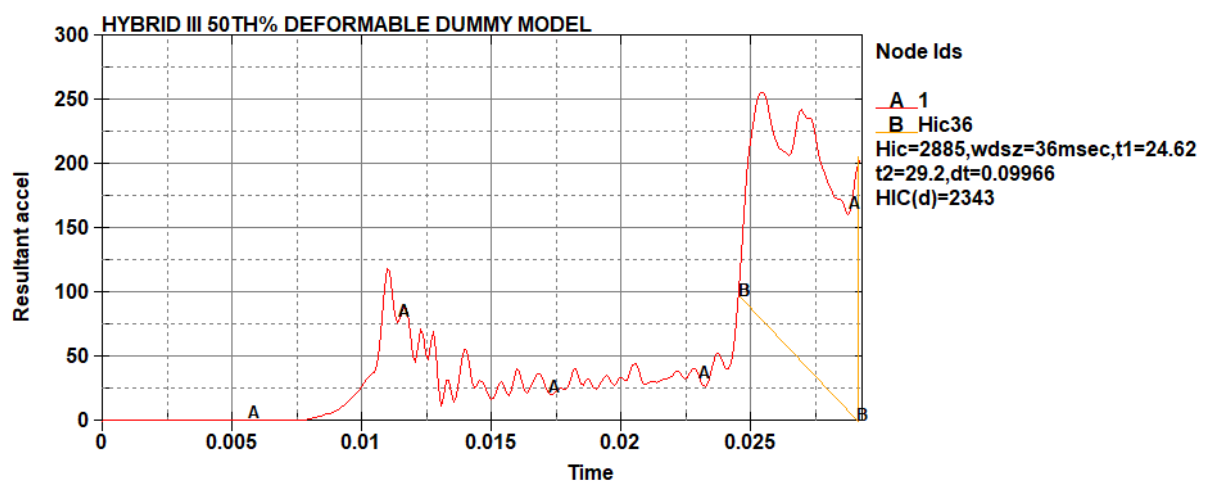
Dónde (a) es la aceleración resultante en el centro de la gravedad de la cabeza.

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Todo ello lo realiza el programa LS-DYNA de forma directa.

La norma UNE 135900-1, indica el filtrado de resultados a aplicar.

La gráfica resultante:



La gráfica da un valor muy creciente a partir del tiempo que se corresponde con el modelo como se en la imagen superior (t=0.024998).

Con un valor de HIC de 2885, que comparándolo con las tablas de la norma UNE 135900-2:

Tabla 4 – Niveles de severidad

Nivel	Cabeza	Cuello					
	HIC <sub>36</sub>	F <sub>x</sub> (N)	F <sub>z</sub> tracción (N)	F <sub>z</sub> compresión (N)	Mco <sub>x</sub> (N.m)	Mco <sub>y</sub> extensión (N.m)	Mco <sub>y</sub> flexión (N.m)
I	650	Diagrama 1	Diagrama 2	Diagrama 3	134	42	190
II	1 000	Diagrama 4	Diagrama 5	Diagrama 6	134	57	190

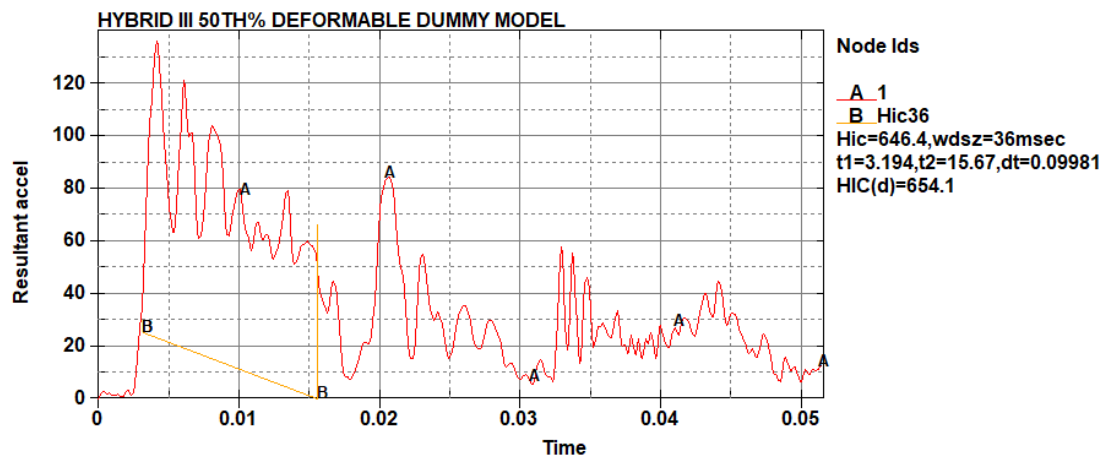
Da una idea de lo peligroso que es el impacto para un motorista contra una barrera de hormigón como ésta.

## 2.3.2 CASOS ÓPTIMOS

Los siguientes casos son las opciones que han resultado tener un coeficiente ASI óptimo con el automóvil:

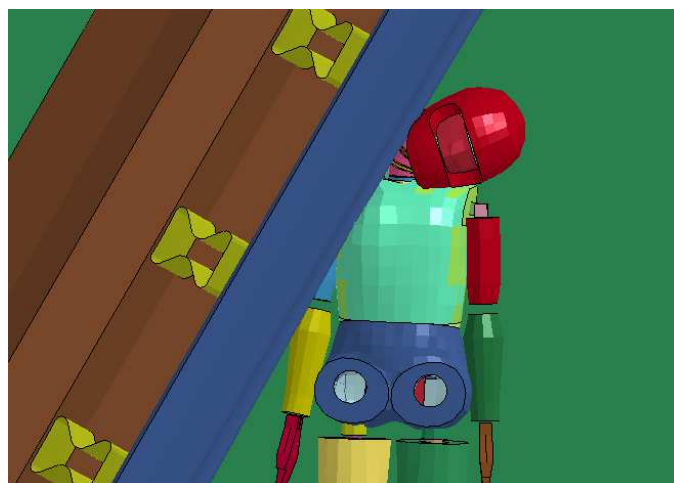
### OPCIÓN 1 (CHAPA 2mm – ABSORBEDOR alternativo 1.5mm S235JR)

Esta opción en el vehículo es (ASI=1.95), se ha optado por elaborar una prueba con este modelo, por ejemplo, ya que es uno de los que se ha obtenido también el desplazamiento lateral y era un valor límite de ASI que se podía comparar al de la barrera sin protección:



Con respecto a la tabla 4 de niveles de severidad, mostrada en la página anterior, da unos valores muy óptimos. Pudiendo, de momento, confiar en que sea una barrera de nivel 1.

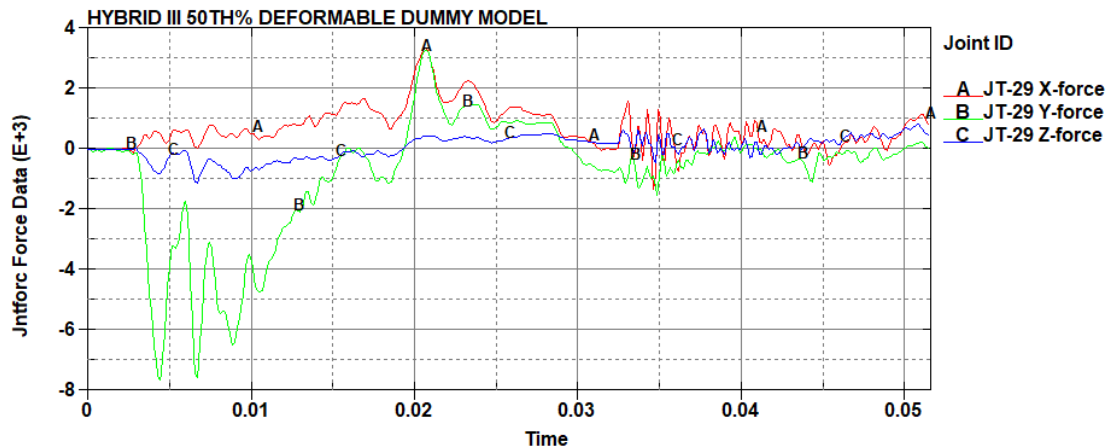
A pesar de lo establecido, la siguiente imagen da una señal de que no se van a cumplir los límites de fuerzas aplicados a esta norma:



Cabe destacar que el programa debido a la severidad del impacto no calculaba más.



Las fuerzas resultantes en esta opción:



La palabra “JT” en las leyendas de la gráfica de fuerzas significan *JOINT*, y son partes móviles o articulaciones del modelo que permiten giro. En nuestro caso, y como dice la norma, este *JT-29*, se corresponde con el cóndilo del cuello.

La norma y el programa tienen sentidos contrarios. Por ello ahora se especifica la conversión de fuerzas en coordenadas y sentido:

Fuerza en el Programa	Conversión a la norma
F <sub>y</sub>	-F <sub>z</sub>
F <sub>x</sub>	-F <sub>y</sub>
F <sub>z</sub>	F <sub>x</sub>

Las imágenes continuación mostradas señalan de forma más gráfica esta conversión:

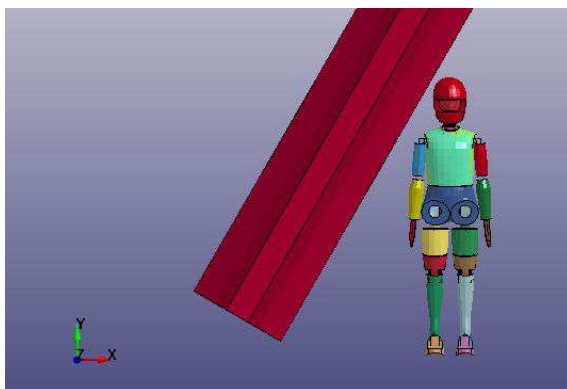


Imagen 2.2.1.1

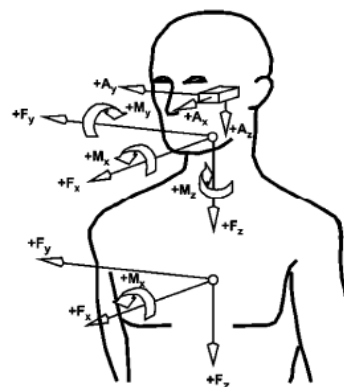


Figura 1 – Dirección y sentido de las aceleraciones, fuerzas y momentos en el maniquí

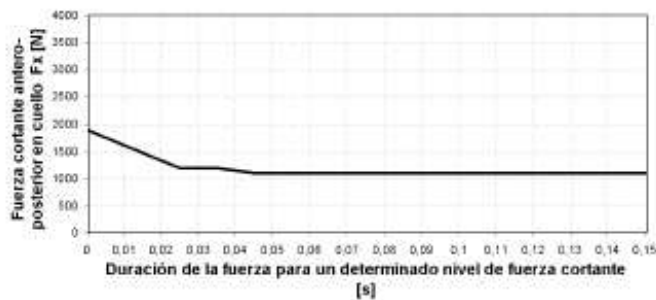
<sup>(1)</sup> F<sub>Y</sub> PROGRAMA = -F<sub>Z</sub> NORMA

F<sub>X</sub> PROGRAMA = -F<sub>Y</sub> NORMA

F<sub>Z</sub> PROGRAMA = F<sub>X</sub> NORMA

La tabla 4 indica también los diagramas de fuerzas que se deben de cumplir para determinar un nivel de severidad u otro, sin exceder el nivel 2.

A continuación, se muestra los diagramas de comportamiento. Para poder evaluar de forma ordenada, se empieza por la fuerza en X de la norma <sup>(1)</sup>, en ambos niveles. Si se cumple en unos de los dos niveles, entonces el resto deberán de cumplir ese nivel.



**Diagrama 1: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel I**



**Diagrama 4: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel II**

El valor en la componente X, cumple ya con el diagrama 1 por tanto, se procede a evaluar la siguiente componente, la componente Z a tracción.

<sup>(1)</sup>  $F_Y \text{ PROGRAMA} = -F_Z \text{ NORMA}$

$F_X \text{ PROGRAMA} = -F_Y \text{ NORMA}$

$F_Z \text{ PROGRAMA} = F_X \text{ NORMA}$



Diagrama 2: Patrón de comportamiento para la tracción del cuello para nivel I



Diagrama 5: Patrón de comportamiento para la tracción del cuello para nivel II

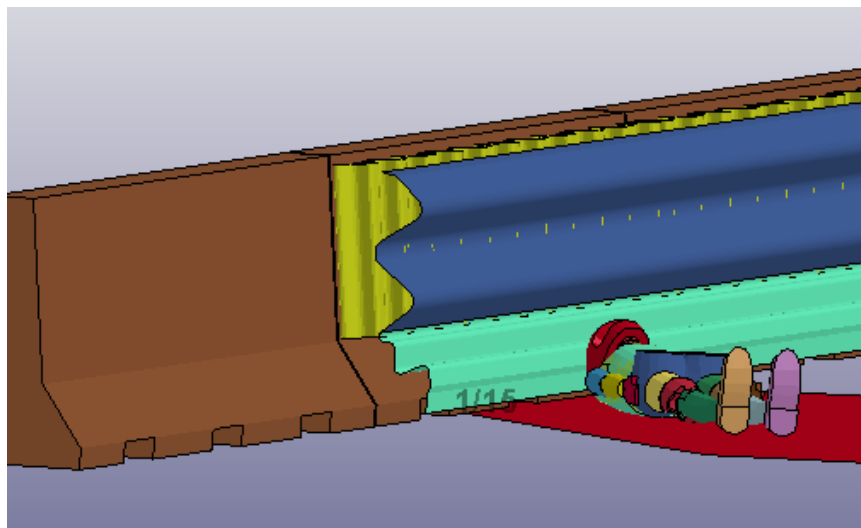
Los valores dan unos 7500 N de fuerza como valor máximo en la gráfica calculada. No cumple con ninguno de los dos niveles, por tanto, este cálculo está descartado.

Esto ocurre probablemente a que el espesor de la chapa sigue siendo demasiado grande para poder amortiguar el impacto principal del motorista (en especial la parte del cóndilo en el cuello).

**OPCIÓN 2 (CHAPA 2mm – ABSORBEDOR alternativo 1.5mm S450JO-Part.Inf a 0.5mm)**

A partir de esta opción se tiene en cuenta los mejores resultados de la barrera con el vehículo.

En la opción anterior, la parte de la barrera que aguanta el impacto del motorista es de un espesor relativamente grueso. Por tanto, la solución que se aporta es proceder a disminuir el espesor exclusivamente de esa parte, quedando de este modo:

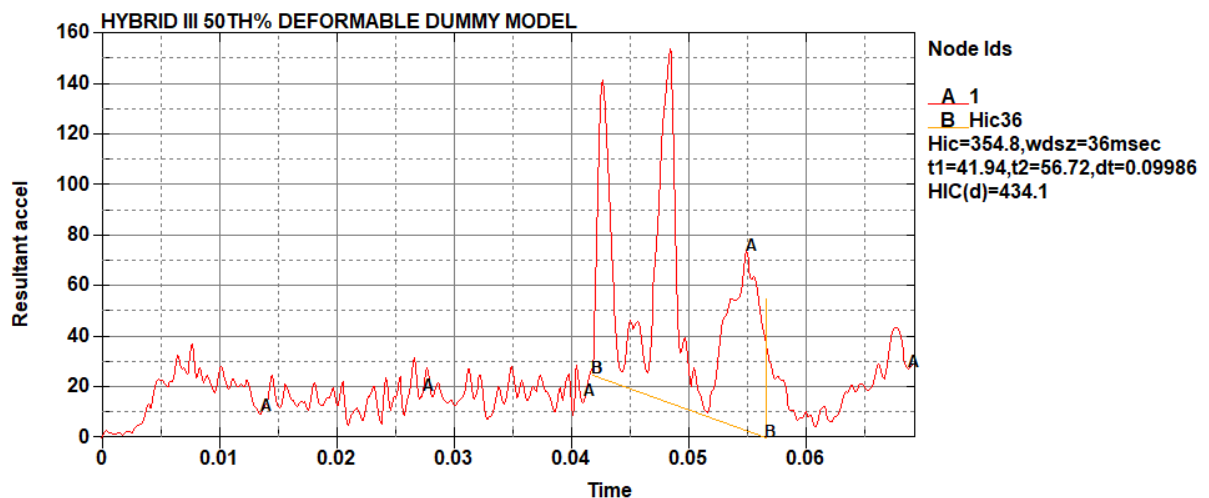


La parte más clara (azul) de la barrera es la modificada.

También se opta por esta solución para que los resultados obtenidos con el coche, no se vean afectados y sigan siendo óptimos.

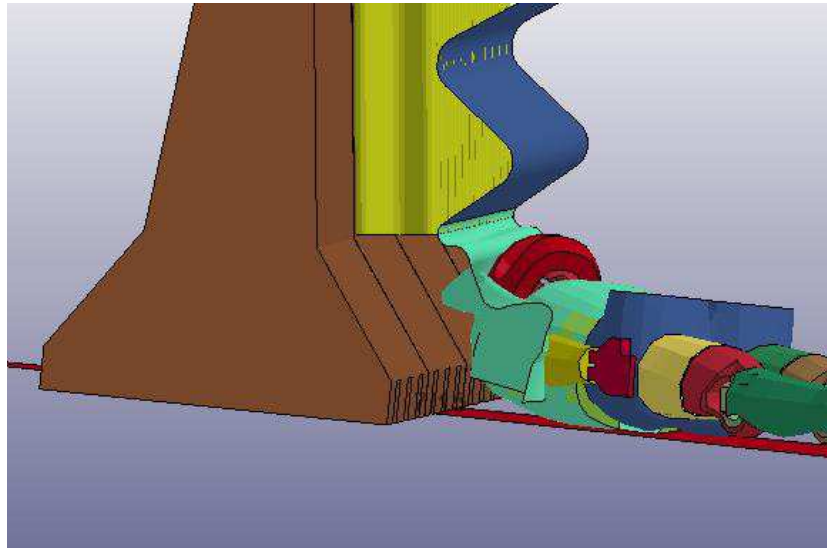
En este caso, como se indica en el título de la opción, la parte inferior es de 0.5mm.

El valor del coeficiente HIC:

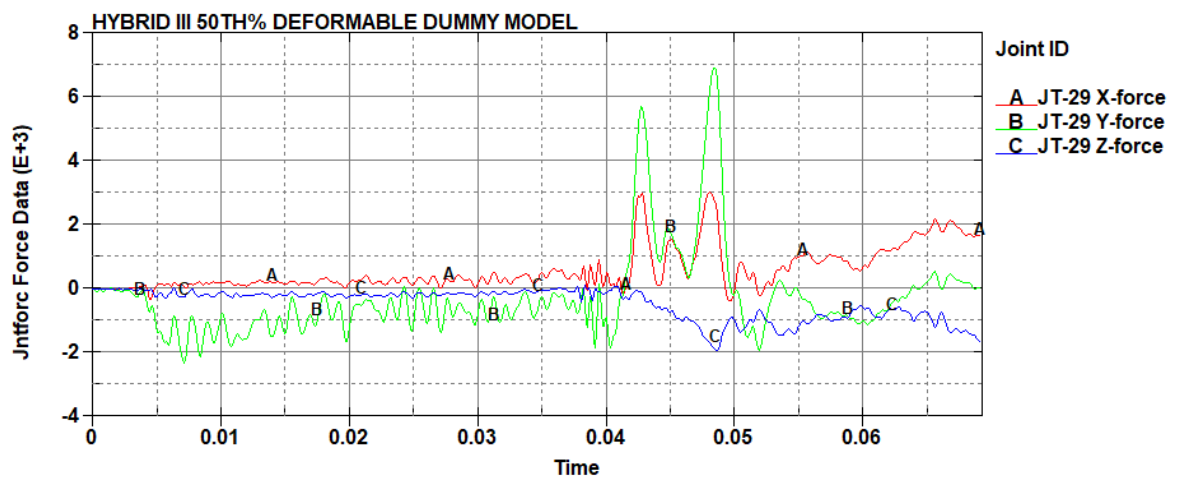


Dando un valor de 354.8, es un valor muy óptimo comprándolo con la tabla 4 (Pag 40).

En la siguiente imagen, se muestra como ahora el dummy es envuelto por la barrera amortiguando el impacto.



El valor de las fuerzas a comparar:



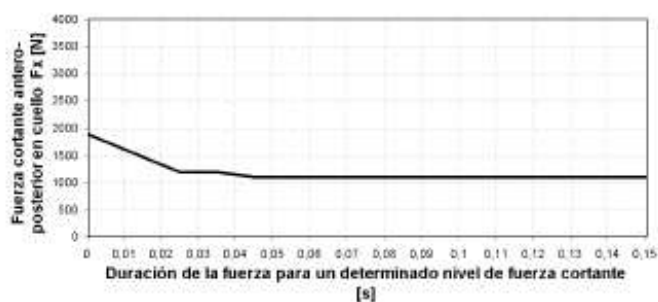


Diagrama 1: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel I



Diagrama 4: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel II

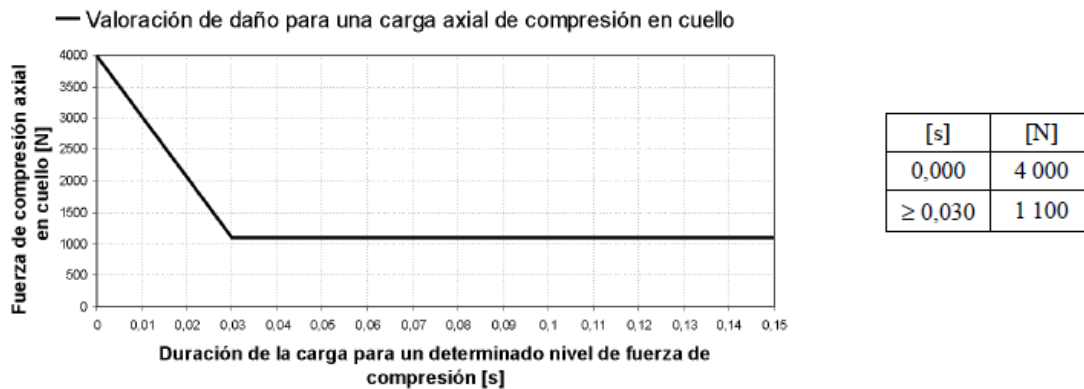
Cuando llega el dummy a la barrera de hormigón, la Fuerza en X de la norma llega a tener valores de 2000 N, por tanto, el nivel 1 no lo cumpliría, pero si cumple el nivel 2.



Diagrama 5: Patrón de comportamiento para la tracción del cuello para nivel II

Directamente se compara el nivel 2, para la Fz en tracción de la norma. El valor a tracción se cumple dado que el valor máximo son unos 2100 N, a un tiempo entre ambos impactos (barrera y chapa) entre un intervalo {0-0.035} segundos.

Por último, la fuerza a compresión en dirección Z:

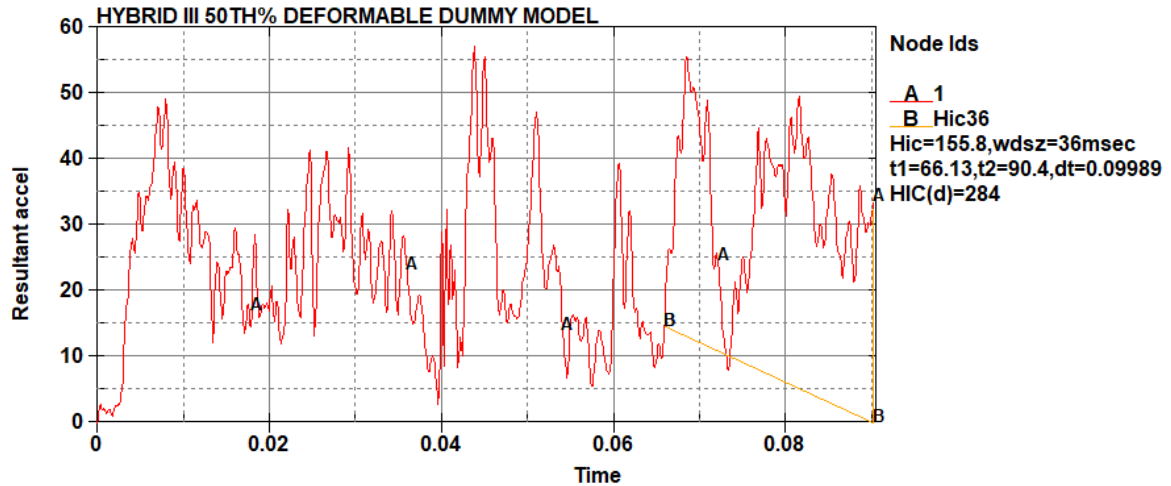


**Diagrama 6: Patrón de comportamiento para la compresión del cuello para nivel II**

En el momento del impacto primero con la chapa, cumpliría con lo indicado en el diagrama, dado que no hay fuerzas a compresión. Cuando llega a la barrera de hormigón, sufre un máximo de esta fuerza de aproximadamente 7000 N, por tanto, no cumple.

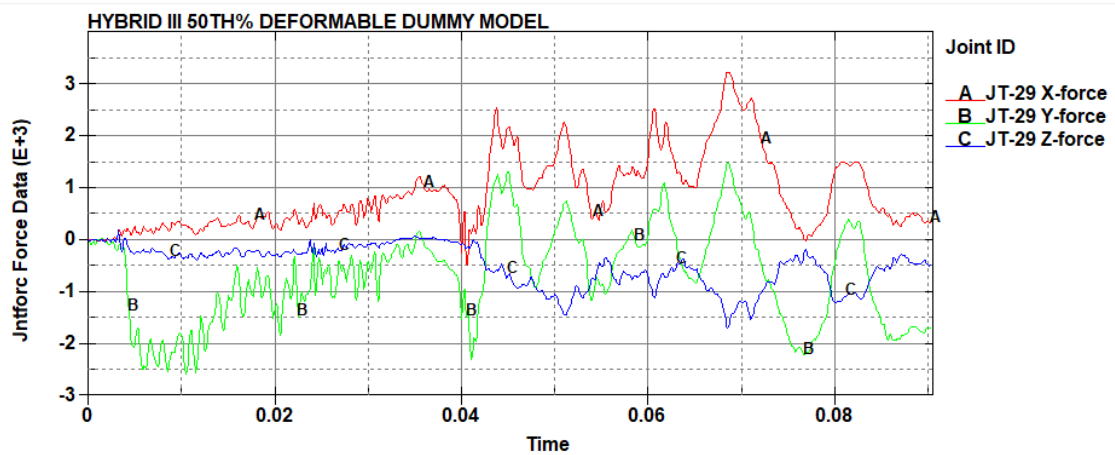
**OPCIÓN 3 (CHAPA 2mm – ABSORBEDOR alternativo 1.5mm S450JO-Part.Inf 0.75mm)**

Dado el valor óptimo del HIC, se procede a aumentar el espesor de la parte inferior 0.25mm:



Se obtiene el mejor HIC hasta ahora con un valor de 155.8.

Las fuerzas a soportar son las siguientes:







Componente en X de la norma:

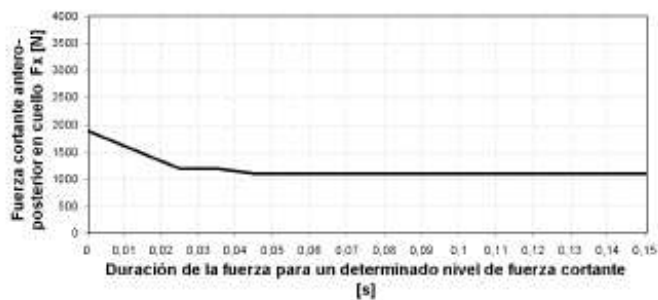


Diagrama 1: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel I

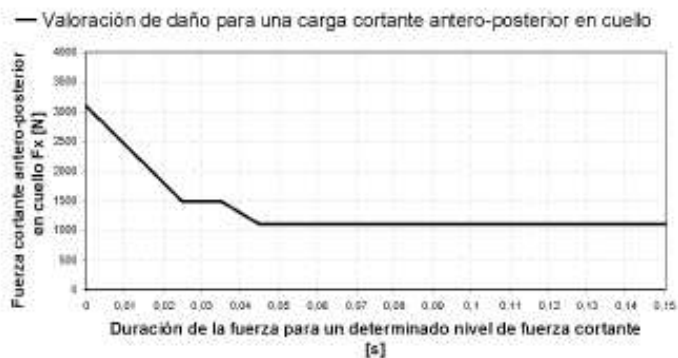


Diagrama 4: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel II

El dummy cuando llega a la chapa de acero cumpliría con el nivel 1, pero cuando llega a la barrera el dummy pasados los 0.02 s (entre el 0.04 y 0.06 de la gráfica), pasa de los 1500 N dónde la norma indica que para ese intervalo de tiempo el máximo son 1200 N.

Por tanto, el nivel a comparar es el 2.

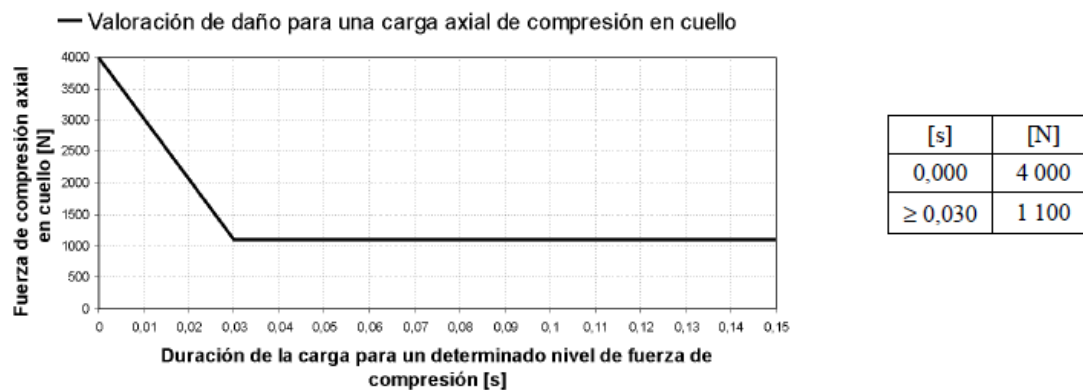
La componente en Z a tracción:



**Diagrama 5: Patrón de comportamiento para la tracción del cuello para nivel II**

El primer impacto del dummy con la chapa, sí que cumple con lo indicado porque hasta 0.035 no pasa de los 2900 N, y el impacto inicial no llega a 3300. Cuando llega a la barrera ocurre lo mismo, el impacto inicial está en unos 2250 aproximadamente, lejos de los 3300 N, y después no pasa de los 2900 N de la norma. El programa no pudo realizar el cálculo entero, pero se puede dar por válido el nivel 2 para este caso.

La componente Z a compresión:



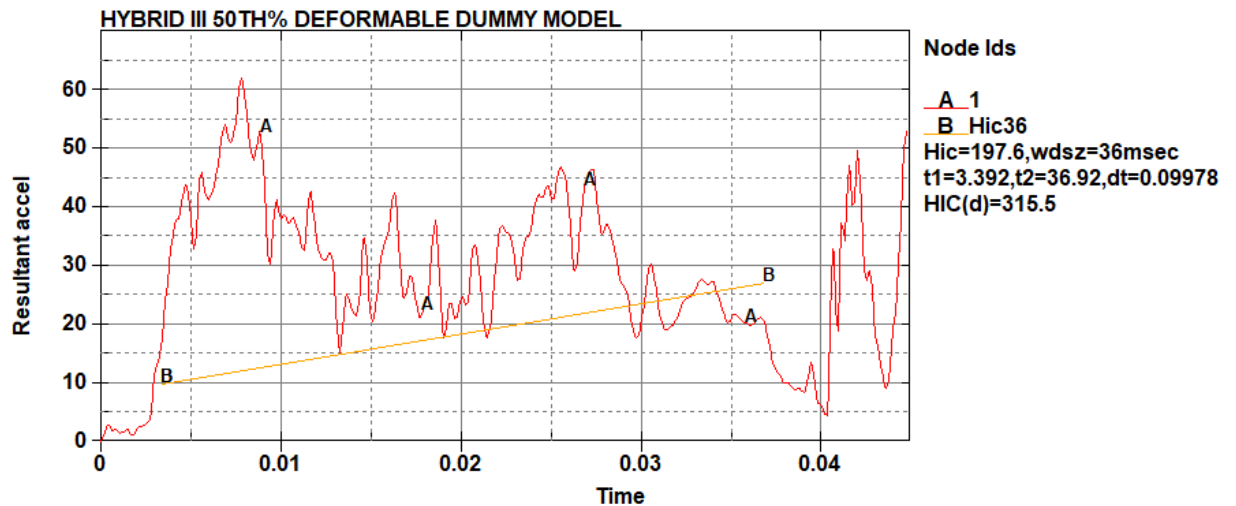
**Diagrama 6: Patrón de comportamiento para la compresión del cuello para nivel II**

Cuando llega a la barrera de hormigón aparecen los valores de compresión, y a partir del 0.07 de la gráfica, se han cumplido los 0.030 s después del impacto. Esto nos da unos valores por debajo de los 1000 N, y por tanto cumple con el diagrama 6. También cumple con el máximo inicial de 4000 N, dando como mucho un valor de 1300 N.

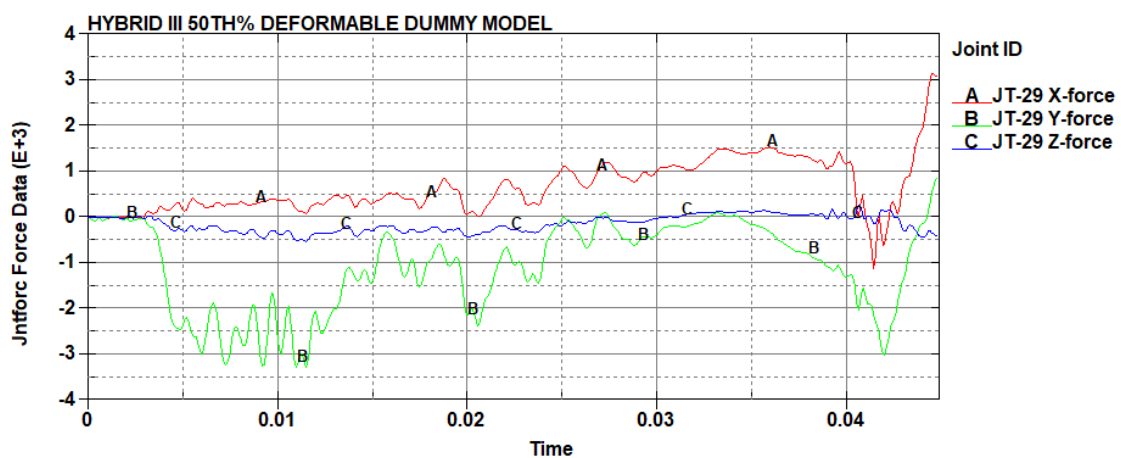
Esta configuración está perfectamente dispuesta para cumplir con todo lo establecido en la norma.

**OPCIÓN 4 (CHAPA 2mm – ABSORBEDOR alternativo 1.5mm S450JO-Part.Inf 0.9mm)**

Dado que se ha encontrado una solución óptima para todo, se aumenta el espesor a 0.9 mm, con el fin de establecer un máximo de espesor que cumpla con todos los límites:



El máximo HIC da un valor de 197.6. El valor ya empieza a empeorar a medida que se ha subido el espesor hasta 0.9 mm.





Componente X de la norma:

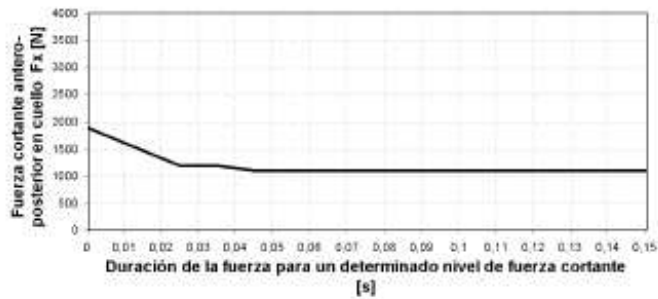


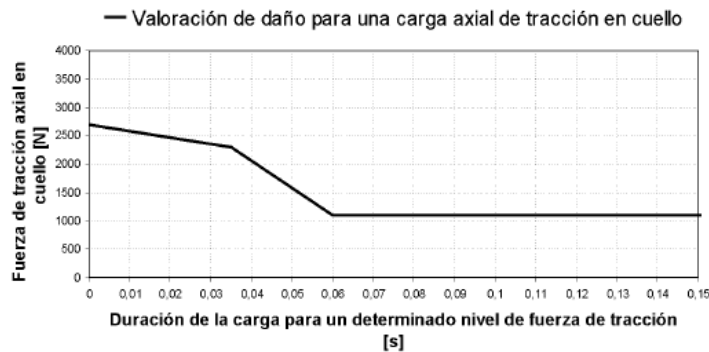
Diagrama 1: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel I



Diagrama 4: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel II

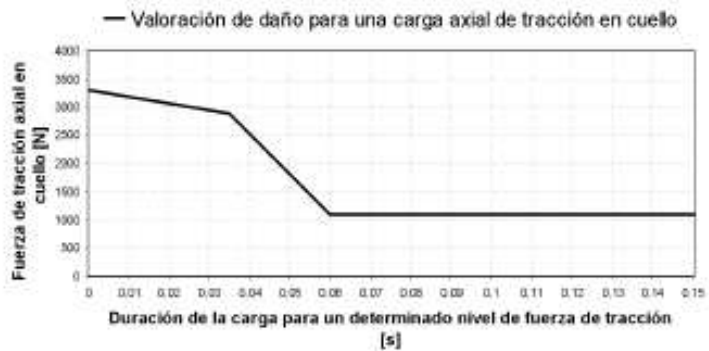
El programa no ha podido terminar el cálculo debido a que el impacto es demasiado severo con la chapa en este espesor. No obstante, en la Fuerza en dirección X con respecto a la norma, se cumpliría con los valores incluido el nivel 1.

Componente Z a tracción:



[s]	[N]
0,000	2 700
0,035	2 300
≥ 0,060	1 100

**Diagrama 2: Patrón de comportamiento para la tracción del cuello para nivel I**



[s]	[N]
0,000	3 300
0,035	2 900
≥ 0,060	1 100

**Diagrama 5: Patrón de comportamiento para la tracción del cuello para nivel II**

El nivel 1 ya no se cumple, dado que llega a obtener el programa valores por encima de los 3000 N. El nivel 2, cumpliría en lo referente a la chapa, pero con la barrera de hormigón, aunque inicialmente de unos 3000 N y esté dentro de los valores exigidos, hasta el 0.035 s a partir del impacto con ésta no se sabría si está dentro o no. Es decir, los 2900 N de límite (0.035 s), no se podrían asegurar, dado que no llega a ese tiempo de cálculo el programa.

Con la componente en Z a compresión ocurre exactamente lo mismo. Con la chapa se sabe que cumple dado que no hay prácticamente ningún valor en este sentido, pero con respecto al impacto con la barrera no se puede asegurar nada.

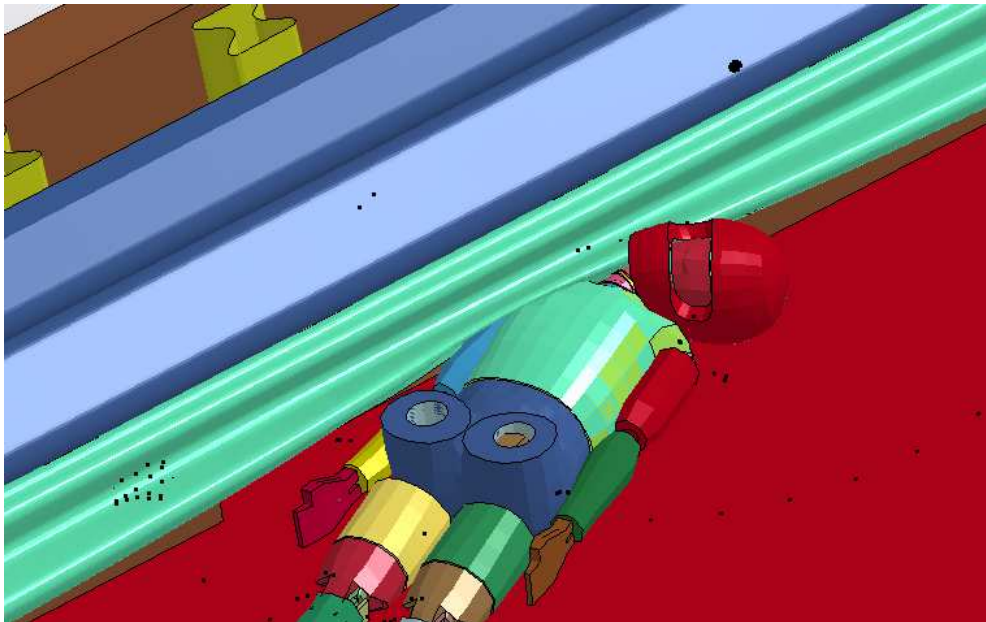
Se ha considerado como límite este espesor para este material, dado que el impacto empieza a ser lo suficientemente fuerte para el cóndilo del dummy para que el programa deje de calcular.

<sup>(1)</sup>  $F_Y \text{ PROGRAMA} = -F_Z \text{ NORMA}$

$F_X \text{ PROGRAMA} = -F_Y \text{ NORMA}$

$F_Z \text{ PROGRAMA} = F_X \text{ NORMA}$

La siguiente imagen demuestra lo comentado:



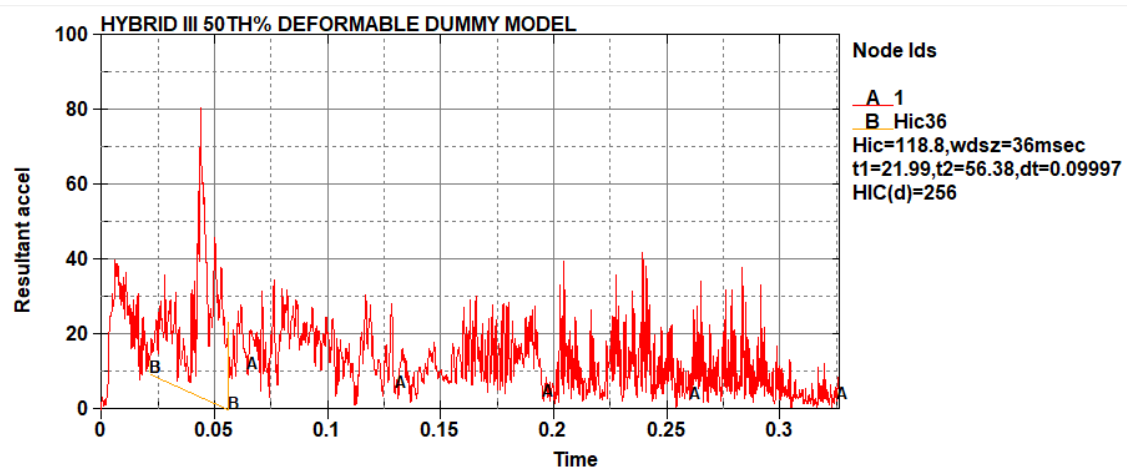
La barrera lejos de deformarse más, es el cuello el que acaba soportando un impacto muy elevado. Ocurre exactamente lo contrario con espesores muy pequeños (0.25 o 0.5 mm), el dummy acaba chocando con el hormigón de forma muy directa.

**OPCIÓN 5 (CHAPA 3mm – ABSORBEDOR alternativo 1.5mm S235JR-Part.Inf 0.75mm)**

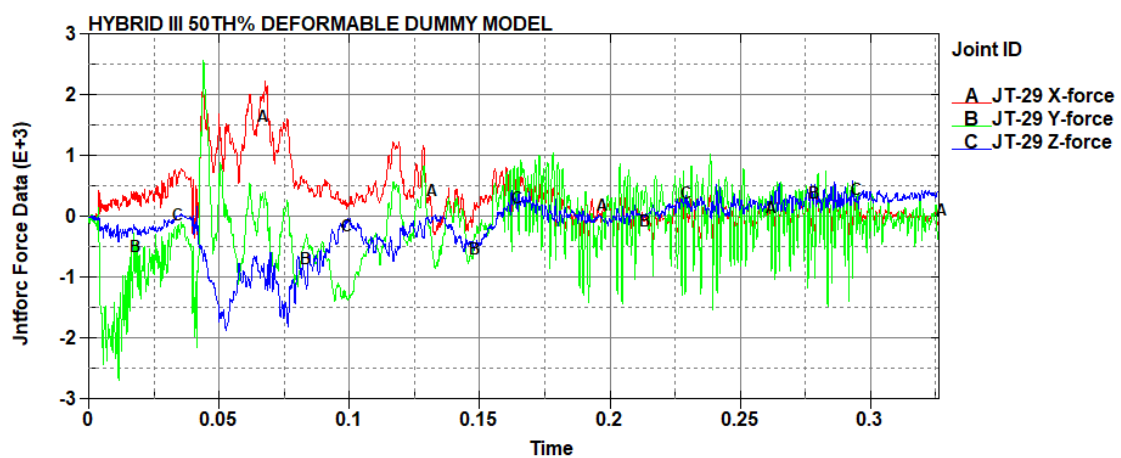
Dado que se ha obtenido unos resultados bastante concluyentes con el acero 450JO, es sometido a las mismas pruebas el acero 235JR.

El límite elástico es más bajo que el de 450JO, por tanto, a espesores más pequeños, se va a deformar plásticamente antes que el 450JO, y por ello los problemas a los que se ha visto comprometido el programa para terminar el cálculo con 0.5mm de espesor en la parte inferior se han visto reflejados. Por ende, se ha pasado a evaluar el espesor de 0.7mm.

También cabe destacar que la parte superior de la chapa ahora está a 3mm, dado que es el modelo con el acero actual que mejor resultado ha dado con el vehículo.



Obtenemos un valor de HIC muy positivo de 118.8. Mejor inclusive que con el 450JO con un 155.8.



En este caso el programa ha podido calcular de forma mucho más completa el cálculo.

<sup>(1)</sup>  $F_Y \text{ PROGRAMA} = -F_Z \text{ NORMA}$

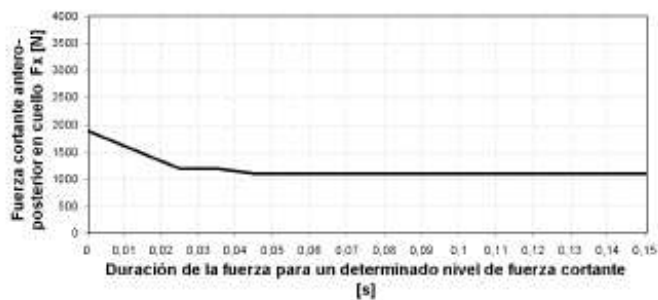
$F_X \text{ PROGRAMA} = -F_Y \text{ NORMA}$

$F_Z \text{ PROGRAMA} = F_X \text{ NORMA}$





Componente en X de la norma:



[s]	[N]
0,000	1 900
0,025	1 200
0,035	1 200
≥ 0,045	1 100

Diagrama 1: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel I



[s]	[N]
0,000	3 100
0,025	1 500
0,035	1 500
≥ 0,045	1 100

Diagrama 4: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel II

Comenzamos analizando el primer impacto con la chapa de acero. Durante todo el intervalo de tiempo hasta que da con la barrera ( $t=0.04$  s), no pasa de los valores límites para los dos niveles. Cuando llega a la barrera el impacto inicial, o hasta 0.05 (el 0.01 de la tabla), es de 1800-1900 N, por tanto, podría estar al límite de cumplir el nivel 1, pero transcurridos 0.025 s, está en unos valores de 1500 N aproximadamente, por ello el nivel a cumplir es el 2. Pasados los 0.045 s (0.95 de la gráfica), está por debajo de los 1100 N de forma indefinida en el tiempo. Esto último en esta opción, al contrario que en el caso del 450JO (opción 3), se puede demostrar.

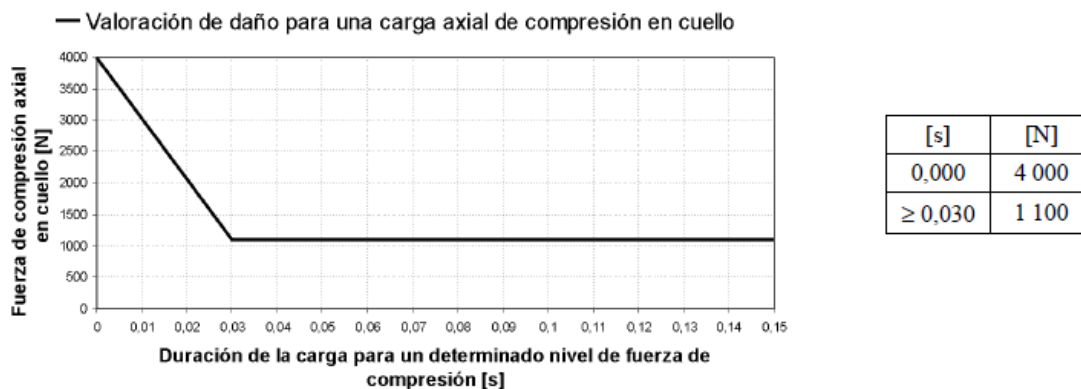


Componente Z a tracción:



**Diagrama 5: Patrón de comportamiento para la tracción del cuello para nivel II**

El valor inicial está un poco por encima del valor de 2500 N, por ello cumple con los 3300 N. Después se está por debajo de los valores de 1500 N. Contra la barrera de hormigón, el valor inicial es de unos 2000 N, sigue estando por debajo de los 3300 N. Tiempo después, para 0.035 s (tabla) que sería el 0.075 s aproximadamente en la gráfica, son valores por debajo de 1000 N. Y por último pasados los 0.060 s (0.1 s de la gráfica), da valores por debajo de 1100, hasta cierto punto, dónde pueden alcanzar valores de 1500 N, por tanto, no se podría asegurar la eficiencia al completo de la barrera.

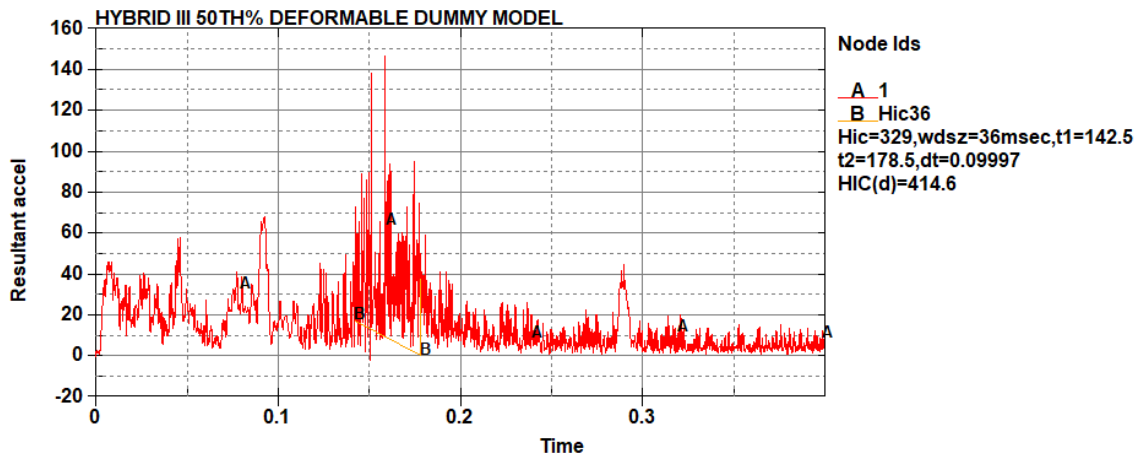


**Diagrama 6: Patrón de comportamiento para la compresión del cuello para nivel II**

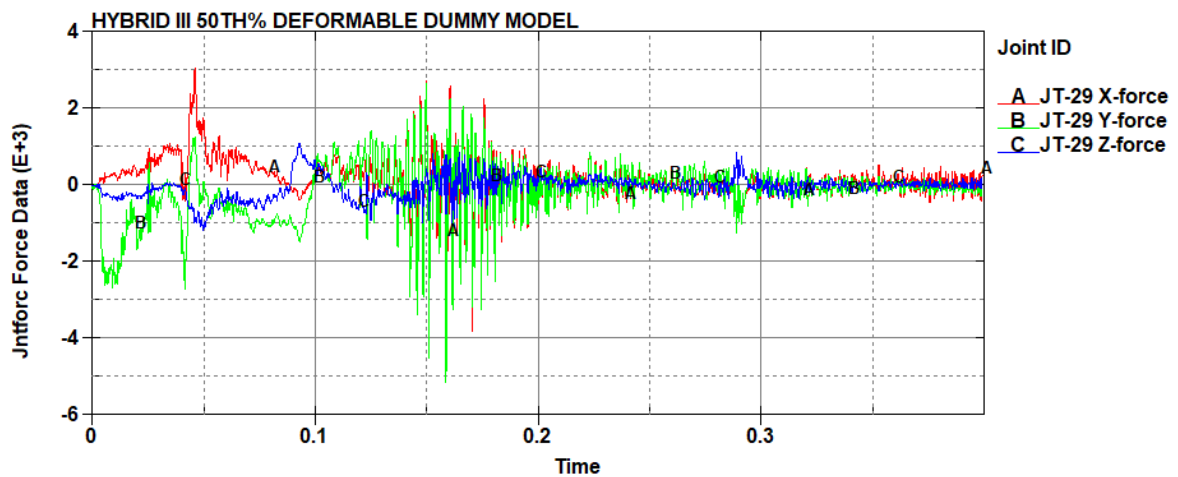
Los valores de compresión se encuentran a partir del impacto con la barrera de hormigón. El valor máximo está en unos 2500 N, y el resto está por debajo de los 1000N, por tanto, cumple.

Se podría considerar esta opción como bastante fiable con respecto a la seguridad en el impacto del motorista con la barrera.

**OPCIÓN 6 (CHAPA 3mm – ABSORBEDOR alternativo 1.5mm S235JR-Part.Inf 0.9mm)**

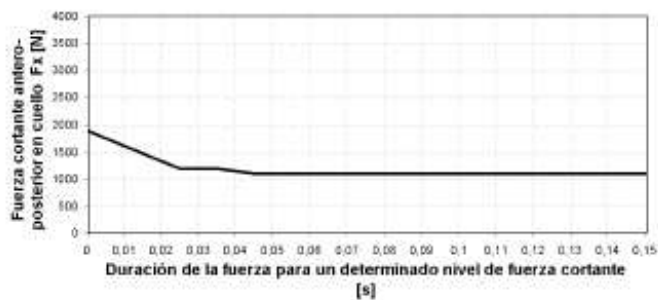


El valor de HIC es de 329. Como ocurría con la opción 4, respecto a la 3 al subir el espesor a 0.9mm el modelo empieza a dar problemas, y a subir los valores.





Componente en X de la norma:



[s]	[N]
0,000	1 900
0,025	1 200
0,035	1 200
≥ 0,045	1 100

Diagrama 1: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel I

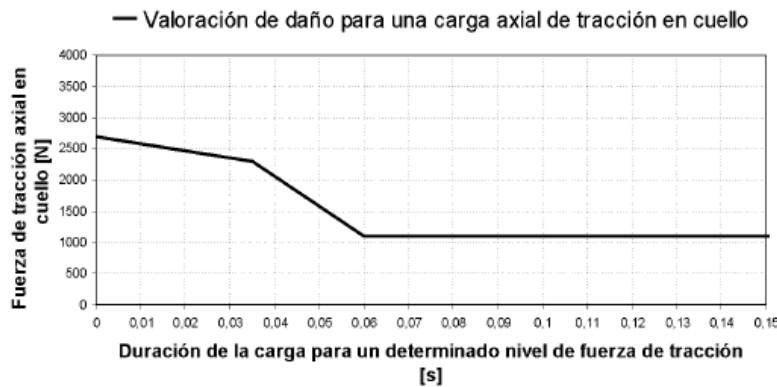


[s]	[N]
0,000	3 100
0,025	1 500
0,035	1 500
≥ 0,045	1 100

Diagrama 4: Patrón de comportamiento para la cisión del cuello para nivel II

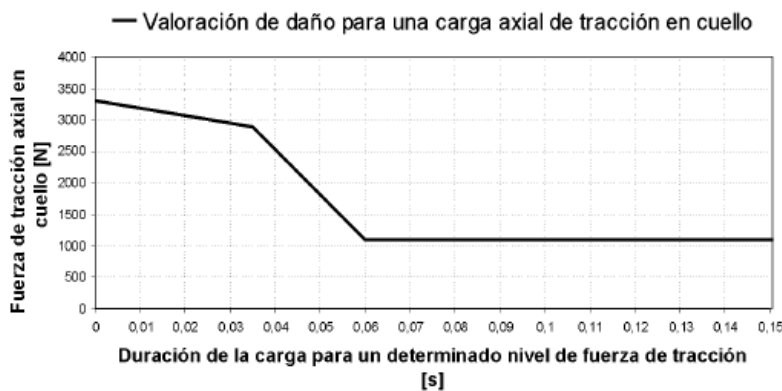
De la misma forma como hasta ahora, se ve claramente que la componente en X de la norma se cumple para ambos niveles.

Componente en Z a tracción:



[s]	[N]
0,000	2 700
0,035	2 300
≥ 0,060	1 100

**Diagrama 2: Patrón de comportamiento para la tracción del cuello para nivel I**



[s]	[N]
0,000	3 300
0,035	2 900
≥ 0,060	1 100

**Diagrama 5: Patrón de comportamiento para la tracción del cuello para nivel II**

Aquí se observa un pico de 5000 N, en la gráfica que definitivamente nos indica que esta opción no vale.

Por tanto, como válidas se puede esperar que sean las dos barreras con el espesor de 0.75, es decir la opción 3 y la opción 5.

### 3. CONCLUSIONES

A continuación, son mostrados los resultados de impacto del vehículo. En los espesores el primer valor se corresponde al de la chapa, el segundo es el absorbedor.

#### S235 JR

##### ABSORBEDOR EN U

Espesores (mm)	2 - 1.5	1.5 - 1	5 - 3	3 - 1.5	4 - 1.5
Aceleración X	-17	-16	-13.6	-15.1	-13.6
Aceleración Y	-9.8	-13	-15	-14.3	-15
Aceleración Z	-1.3	3.87	1.98	7.46	1.98
ASI	1.60	2.003	2.02	2.15	2.02
Tiempo (s)	0.14	0.13	0.111	0.117	0.111

##### ABSORBEDOR ALTERNATIVO

Espesores (mm)	2 - 1.5	1.5 - 1	5 - 3	3 - 1.5	4 - 1.5
Aceleración X	-15.9	-15.9	-13.9	-13.1	-12.4
Aceleración Y	-12.9	-13.7	-15.4	-12.2	-15
Aceleración Z	3.31	6.17	-7.48	2.31	3.31
ASI	1.95	2.22	2.13	1.547	1.98
Tiempo (s)	0.131	0.128	0.108	0.118	0.113

#### S450 JO

##### ABSORBEDOR EN U

Espesores (mm)	2 - 1.5	1.5 - 1	5 - 3	3 - 1.5	4 - 1.5
Aceleración X	-13.7	-13.7	X	-14	-14.2
Aceleración Y	-12.3	-11.7	X	-16.1	-15.6
Aceleración Z	6.19	4.05	X	5.15	5.18
ASI	1.779	1.587	X	2.20	2.161
Tiempo (s)	0.118	0.127	X	0.113	0.113

##### ABSORBEDOR ALTERNATIVO

Espesores (mm)	2 - 1.5	1.5 - 1	5 - 3	3 - 1.5	4 - 1.5
Aceleración X	-12.9	-14.1	X	-12.9	-12.3
Aceleración Y	-12.2	-13.1	X	-15.3	-15.3
Aceleración Z	4.19	6.63	X	4.46	3.48
ASI	1.576	2.019	X	2.12	2.035
Tiempo (s)	0.117	0.127	X	0.113	0.111

Destacar que los resultados están ordenados de menor relación de espesores a mayor, leyendo de izquierda a derecha.

Como se puede deducir, los resultados marcados de color verde son las opciones con las que se han obtenido unos resultados mejores que la barrera sin ningún tipo de protección:

**BARRERA SIN PROTECCIÓN:**

<b>Aceleración X</b>	-11.9
<b>Aceleración Y</b>	-13.7
<b>Aceleración Z</b>	4.62
<b>ASI</b>	1.874
<b>Tiempo (s)</b>	0.127

Unos de los temas que se ha abordado a lo largo del trabajo, es el tema de las relaciones de espesor y la influencia de estos. A continuación, se muestran las dos tablas con el mismo absorbedor, pero con distinto material, y se cumple lo siguiente:

Con un material más resistente como es el caso del 450JO, se obtiene el mejor ASI con un 2-1.5, que es la relación más baja. Sin embargo, con el material menos resistente se obtiene el mejor ASI con un 3-1.5, y además con resultados bastante similares. Mas allá de esto, los resultados cruzados entre el 3-1.5 del 450JO y el 2-1.5 del 235JR son altos y relativamente parecidos.

**ABSORBEDOR ALTERNATIVO (chapa: 450 JO)**

<b>Espesores (mm)</b>	<b>2 – 1.5</b>	<b>1.5 - 1</b>	<b>5 - 3</b>	<b>3 – 1.5</b>	<b>4 – 1.5</b>
<b>Aceleración X</b>	-12.9	-14.1	X	-12.9	-12.3
<b>Aceleración Y</b>	-12.2	-13.1	X	-15.3	-15.3
<b>Aceleración Z</b>	4.19	6.63	X	4.46	3.48
<b>ASI</b>	1.576	2.019	X	2.12	2.035
<b>Tiempo (s)</b>	0.117	0.127	X	0.113	0.111

**ABSORBEDOR ALTERNATIVO (chapa: 235 JR)**

<b>Espesores (mm)</b>	<b>2 – 1.5</b>	<b>1.5 - 1</b>	<b>5 - 3</b>	<b>3 – 1.5</b>	<b>4 – 1.5</b>
<b>Aceleración X</b>	-15.9	-15.9	-13.9	-13.1	-12.4
<b>Aceleración Y</b>	-12.9	-13.7	-15.4	-12.2	-15
<b>Aceleración Z</b>	3.31	6.17	-7.48	2.31	3.31
<b>ASI</b>	1.95	2.22	2.13	1.547	1.98
<b>Tiempo (s)</b>	0.131	0.128	0.108	0.118	0.113

Con respecto al absorbedor en U, ocurre algo parecido:

Cambiando el material, con el 450JO se siguen obteniendo los mejores resultados a bajas relaciones de espesores. Sin embargo, en esta situación con el 235 JR el mejor resultado es con la menor relación. Justo, al contrario de lo que ocurría con el anterior absorbedor.

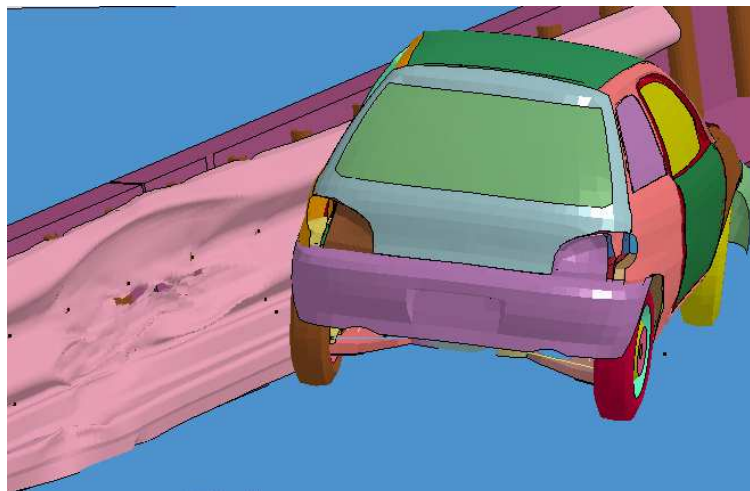
**ABSORBEDOR EN U (chapa: 450 JO)**

Espesores (mm)	2 - 1.5	1.5 - 1	5 - 3	3 - 1.5	4 - 1.5
Aceleración X	-13.7	-13.7	X	-14	-14.2
Aceleración Y	-12.3	-11.7	X	-16.1	-15.6
Aceleración Z	6.19	4.05	X	5.15	5.18
ASI	1.779	1.587	X	2.20	2.161
Tiempo (s)	0.118	0.127	X	0.113	0.113

**ABSORBEDOR EN U (chapa: 235 JR)**

Espesores (mm)	2 - 1.5	1.5 - 1	5 - 3	3 - 1.5	4 - 1.5
Aceleración X	-17	-16	-13.6	-15.1	-13.6
Aceleración Y	-9.8	-13	-15	-14.3	-15
Aceleración Z	-1.3	3.87	1.98	7.46	1.98
ASI	1.60	2.003	2.02	2.15	2.02
Tiempo (s)	0.14	0.13	0.111	0.117	0.111

En la siguiente imagen se muestra la posible causa de este caso último.



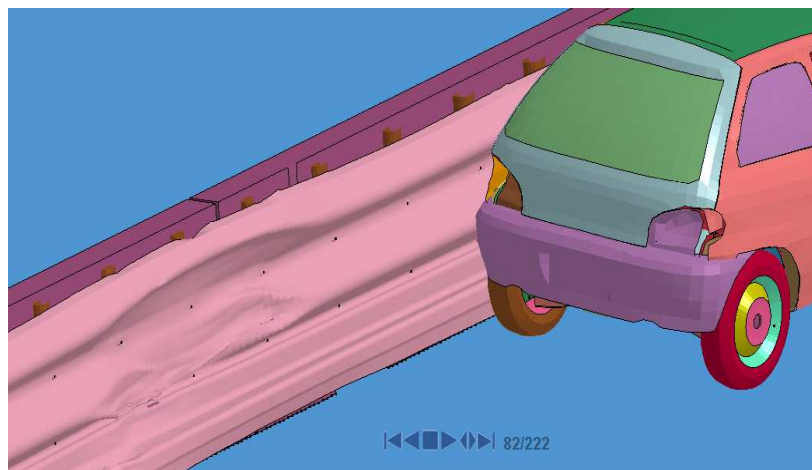
*Imagen 2-1.5 absorbedor U 235JR*

Haciendo mención, del punto 4.2 de la norma EN 1317-2:2010 a la que se había hecho referencia en la página 36 de este trabajo:

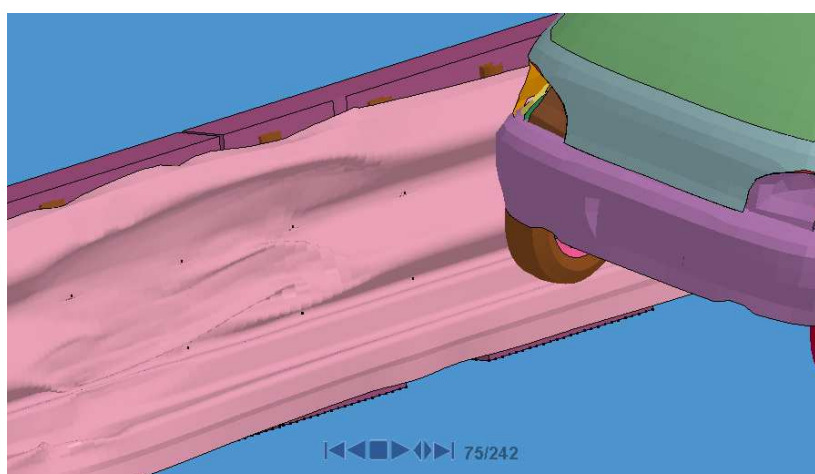
*“Comportamiento de la barrera de seguridad (incluyendo pretiles)”* que se indica que ninguno de los elementos de la barrera y absorbedores no llegan a una rotura completa, ni penetran en el habitáculo del vehículo.

Por tanto, éste caso quedaría anulado. Ya que la relación de espesor debe de ser tan bajo con un material poco resistente para este caso, que el resultado es engañoso dado que probablemente no esté actuando de la forma que se precisa, y no sería por tanto válido.

Esto es contrastado con los sucesos con el material 450JO dónde se ve que no hay una rotura de la chapa, así como de los absorbedores.



*S450 JO Absorbent U 2 – 1.5*



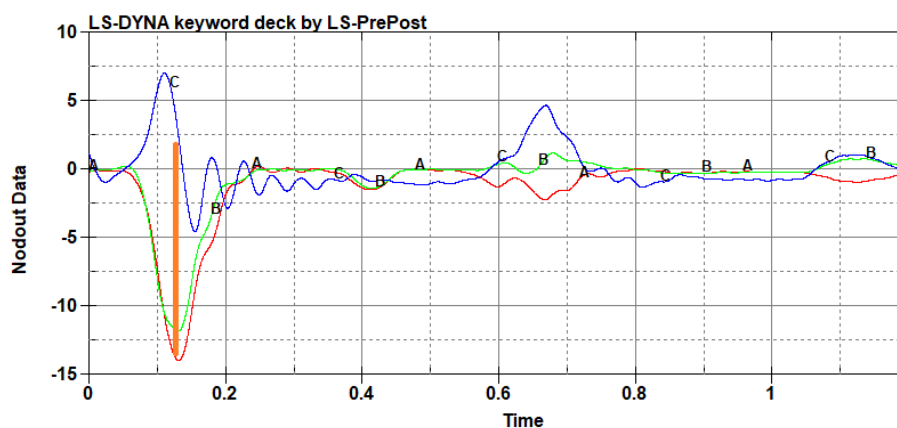
*S450 JO Absorbent U 1.5 – 1*



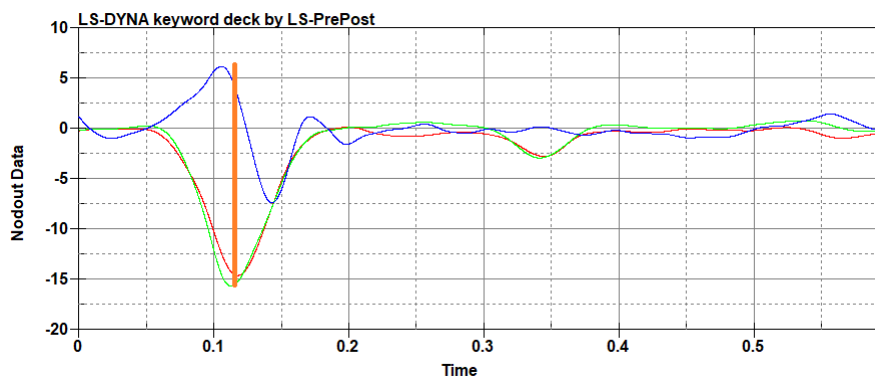
Por último, hay que destacar la evolución de las aceleraciones, en función de los espesores.

De forma general, la aceleración en X es relativamente pequeña cuando hay una relación de espesores grande, sin embargo, va aumentando de valor conforme se aumenta esta relación (Esto ocurre con el material 235JR, con el 450JO, se suelen mantener). “Sacrificar” la componente en X da un buen resultado, dado que esta modificación disminuye la componente en Y, sea cual sea el material, que es la que más influye en el resultado del ASI.

Los valores en la aceleración en Z (azul), ya se ha comentado anteriormente que se han reducido bastante con respecto el modelo sin protección, pero con respecto al ASI, hay valores de algunas opciones que dan un poco más y otras un poco menos. Realmente lo interesante, es que cuando se están con relaciones de espesores de poco valor, se consigue reducir el efecto de la aceleración en Z, dado que las curvas de X e Y fuerzan a coger un valor menor del máximo para evaluar el ASI. Se muestra a continuación la comparación de dos gráficas:



*Espesores: 1.5 – 1*



*Espesores: 4 – 1.5*

También se puede observar lo comentado acerca de la componente X (roja) e Y (verde).

Como comentario final, el absorbedor alternativo funciona mejor a espesores mayores, pero el absorbedor en U mejor a espesores menores cuando este tiene una barrera que no rompa como es el caso de un acero 450JO.

Como solución única es muy difícil determinar cuál es el mejor caso. Debido a que el 450JO es un acero más caro que el 235JR, pero funciona a espesores más pequeños, por tanto, habría que calcular los kilómetros de barrera al que se pondría esta protección a las barreras, y determinar cuál sería la mejor opción.

En temas de desplazamiento lateral, a la hora de determinar cuál podría ser el mejor, hay un inconveniente. Cuanto mayor sea la relación de espesores menor desplazamiento lateral sufre el coche. Cabe destacar también que ninguno ha podido reducirse hasta el valor límite:

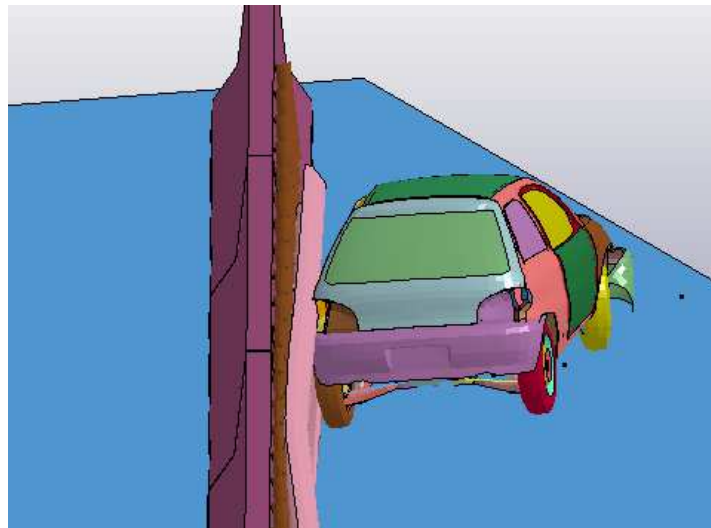
	t= 0.22 s	t=0.985 s		
Dist. Carrete	7771.16	17771.16		
Dist.Separac	2031.05	6660.07	4629.02	DIST.TOT
			PROP.VEHICU	
DIST.SEP.MÁ	4.3684		LONG	3.74
			ANCHURA	1.57

*Caso: Absorbedor U con chapa a 4mm- absorbedor: 1.5 mm S235JR*

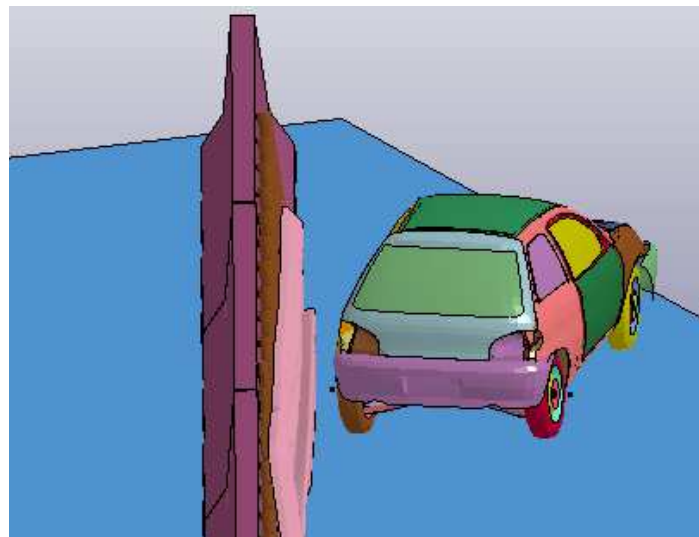
	t= 0.24 s	t=0.985 s		
Dist. Carretera	5059.023	15059.023		
Dist.Separación	840.19	6119.27	5279.08	DIST.TOT
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX	4.3684		LONG	3.74
			ANCHURA	1.57

*Caso: Absorbedor U con chapa a 2mm- absorbedor: 1.5 mm S235JR*

Esto es debido principalmente, a que después del impacto el vehículo cuando choca contra espesores grandes hace un movimiento rotatorio sobre su propio eje en Z, que le permite después entrar en contacto la parte trasera de este con la barrera:



*Espesor 4 – 1.5*



*Espesor 2 – 1.5*

Por tanto, también se empieza a calcular la distancia recorrida lateral en distintos momentos. La imagen superior, cuando deja de entrar en contacto la rueda trasera, y la imagen inferior cuando la rueda delantera deje de entrar en contacto.

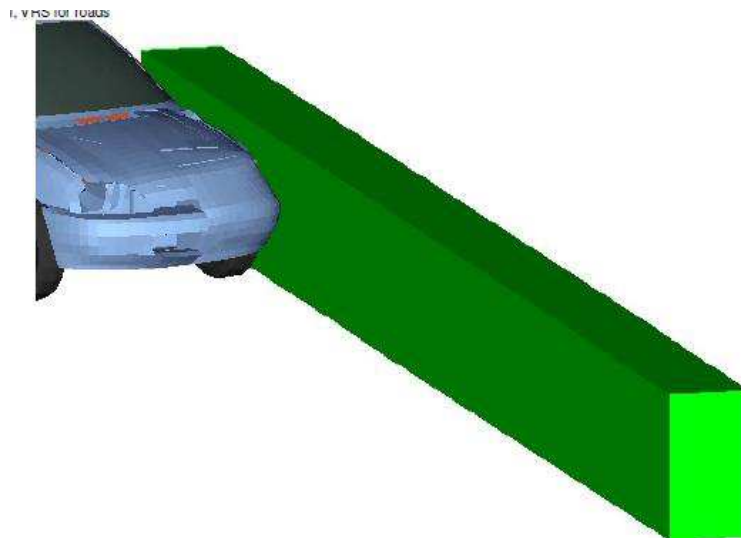
Cabe destacar como último punto respecto a esto, que la barrera sin protección si cumple con el desplazamiento lateral, pero como se ha indicado anteriormente en el mismo cálculo, la elevación del coche es demasiado grande. El coche y los asientos no están preparados para soportar esa altura a la que es sometido el vehículo.

Como último aporte, se muestra un modelo de simulación proporcionado por la empresa ROBUST, a impacto con un bloque de sección rectangular de hormigón, contra un vehículo. Con el fin de obtener un ASI más real, se modificó la malla del vehículo (más fina). El ensayo como se muestra en los datos, es exactamente el mismo:

### 1) Test type – TB11

Impact speed:	100 km/h
Impact angle:	20 degrees
Impact point:	About 3.2 metres from the beginning of the VRS
Spinning wheels:	No
Inertial vehicle test mass:	874 kg

En esta imagen se puede ver con claridad, la modificación que se hizo en la parte delantera del vehículo, afinando de una manera muy exhaustiva la malla, quedando así más real los resultados del ensayo:



*Situación de impacto*

Los resultados finales de este cálculo fueron los siguientes:

### 4) Assessment of the impact severity

Impact severity for this model was assessed through three different procedures for data processing.

Post-processing procedure	Accelerometer and rotation data, sampled at 10 KHz, input into TRAP as raw data
Acceleration severity index, ASI:	1.67
Acceleration graphs:	Yes
THIV:	28.3 km/h
Time of flight:	73.2 ms
Post-impact head deceleration, PHD:	26.2 g
Flail space:	0.6 x 0.3 m

Se puede apreciar con que exactitud el programa al hacer el mallado más fino, puede calcular toda la deformación del vehículo de forma más eficiente:



*Momento después del impacto*



*Momento de impacto*

El ASI que se observa en una situación tan extrema es un asombroso 1.67. Esto se comprobó físicamente en los laboratorios para ensayo que tienen y se acercaba a estos valores.

Con esto se puede argumentar que si el vehículo objeto de ensayo, hubiera sido retocado de la misma forma, se habrían obtenido resultados de valor más inferior de lo que realmente se han obtenido.

**SOLUCIÓN FINAL:**

Dicho todo esto, el caso que mejor se adapta a todo sería:

ABSORBEDOR ALTERNATIVO CON: chapa 3mm y absorbedor a 1.5 mm con el acero S235 JR;

ASI=1,80

*(Impacto del vehículo con la chapa modificada)*

Desplazamiento lateral:

	t= 0.17 s	t=0.863 s		
Dist. Carretera (mm)	4030.15	14030.15		
Dist.Separación (mm)	344.57	5463.65	5119.08	DIST.TOT (mm)
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX (m)	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

Para esta solución la barrera modificada del motorista es:

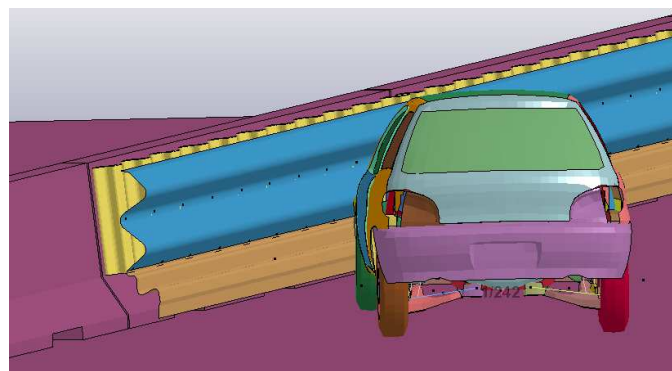
OPCIÓN 5 (CHAPA 3mm – ABSORBEDOR alternativo 1.5mm S235JR-Part.Inf 0.75mm)

Con valores:

HIC= 118,8

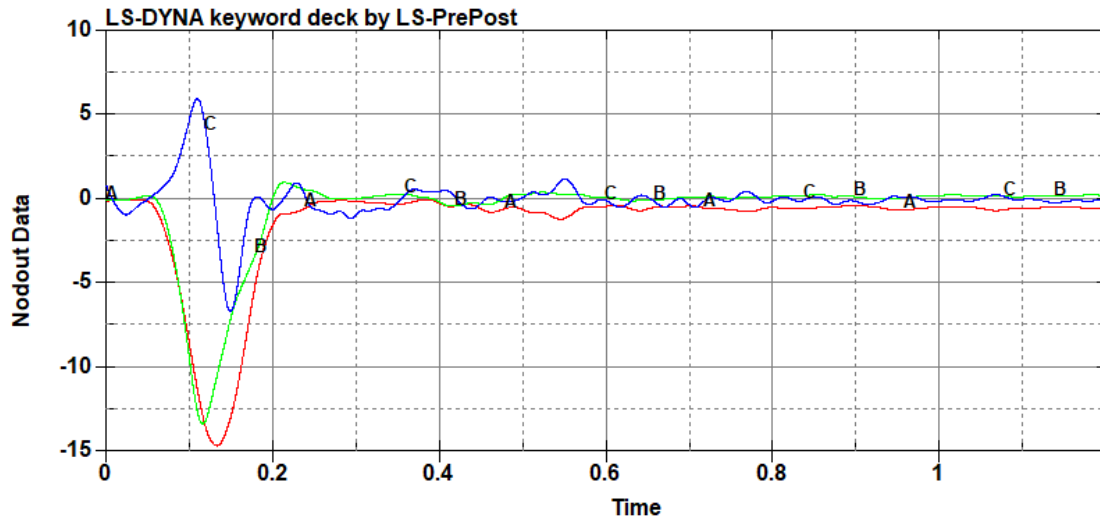
Y cumpliendo con lo establecido en lo referente a las fuerzas, a una protección de Nivel de severidad de 2.

Para acabar son mostrados los resultados del vehículo contra la barrera que se adopta como solución, para ver la modificación de resultados distintos que se obtiene a los obtenidos sin ningún tipo de cambio:

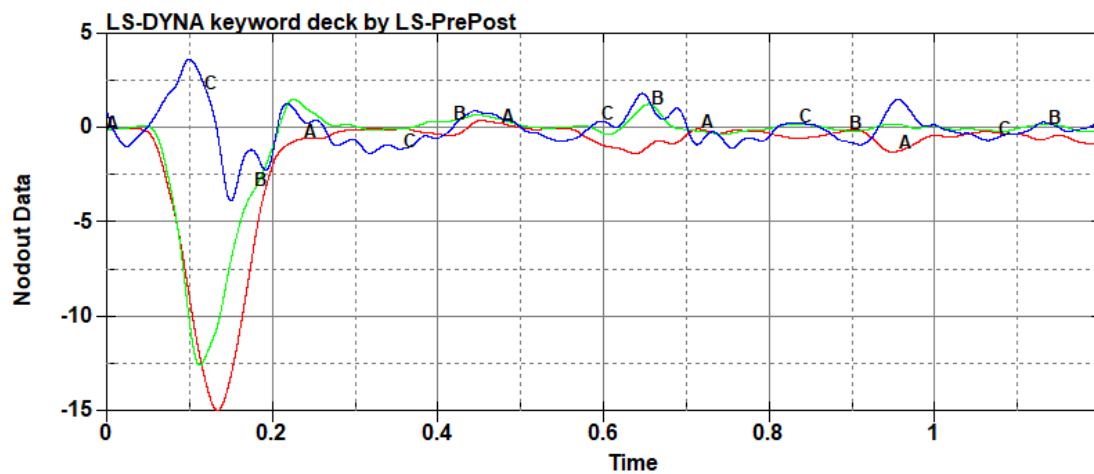


*Vista de la barrera modificada con el vehículo*

Las aceleraciones calculadas:

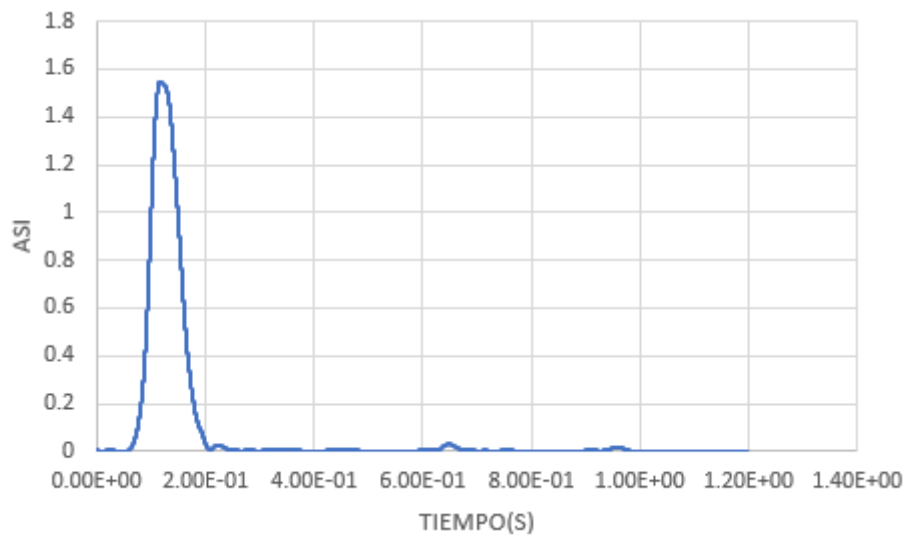


*Con la barrera modificada*

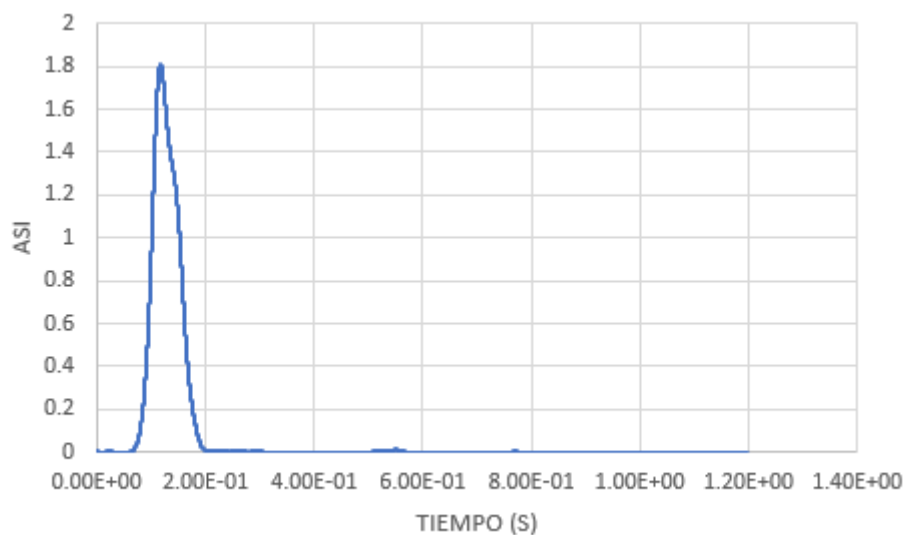


*Con la barrera sin modificar*

La aceleración en Z (azul), es la componente que más aumenta con respecto a la original, lo que va a aumentar el coeficiente ASI.



*ASI=1.547 CON LA BARRERA SIN MODIFICAR*



*ASI = 1.80 CON LA BARRERA MODIFICADA*

El coeficiente ASI se ve perjudicado, pero aún estaría incluso por debajo de los valores de la barrera sin protección (ASI=1.874)



El desplazamiento lateral del original al nuevo:

	t= 0.17 s	t=0.863 s		
Dist. Carretera (mm)	4030.15	14030.15		
Dist.Separación (mm)	344.57	5463.65	5119.08	DIST.TOT (mm)
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX (m)	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

*Nueva barrera*

	t= 0.225 s	t=0.935 s		
Dist. Carretera (mm)	4847.69	14847.69		
Dist.Separación (mm)	805.89	5840.09	5034.2	DIST.TOT (mm)
			PROP.VEHICULO	
DIST.SEP.MÁX (m)	4.3684		LONG (m)	3.74
			ANCHURA (m)	1.57

*Barrera original*

No hay una gran diferencia entre unos resultados y otros con la modificación adoptada con respecto a este desplazamiento.

## 4. BIBLIOGRAFÍA

- NORMA UNE 1317: *“Sistemas de contención para carreteras”*
- NORMA UNE 135900: *“Evaluación del comportamiento de los sistemas para protección de motociclistas en las barreras de seguridad y pretilas”*
- Proyecto ROBUST con CIDAUT: *“Temporary Vertical Concrete Safety Barrier”*

[https://www.vegvesen.no/s/robust/Computational\\_mechanics/Report\\_simulation/CIDAUT\\_Concrete\\_5-011a.pdf](https://www.vegvesen.no/s/robust/Computational_mechanics/Report_simulation/CIDAUT_Concrete_5-011a.pdf)

- UNE-EN 10025:2006: *“Productos laminados en caliente de aceros para estructuras: Condiciones técnicas generales de suministro.*
- UNE-EN 135121:2003 (dimensiones escaladas para el diseño del perfil de la chapa de acero)

## 5. ANEXOS

En las siguientes páginas son mostrados los planos de:

- El absorbedor en U
- El absorbedor alternativo
- La chapa de acero
- La Barrera de hormigón