

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

## MÁSTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS MECÁNICOS

### TÍTULO

"Desarrollo de una metodología para el ensayo de elementos de iluminación en acero frente a choque frontal, análisis comparativo de diversos tipos de elementos de iluminación y diseño de un modelo novedoso."

### TUTORES

Ramón Miralbés Buil  
David Ranz Angulo

### ALUMNO

Pablo Benedí Bernad

### CONVOCATORIA

Febrero 2015





## 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>. PABLO BENEDÍ BERNAD,

con nº de DNI 73010644-L 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)  
MÁSTER OFICIAL EN SISTEMAS MECÁNICOS, (Título del Trabajo)

"Desarrollo de una metodología para el ensayo de elementos de iluminación en acero frente a choque frontal, análisis comparativo de diversos tipos de elementos de iluminación y diseño de un modelo novedoso."

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

Zaragoza, 11 de Febrero de 2015

Fdo: PABLO BENEDÍ BERNAD

## \_1: INTRODUCCIÓN

1.1	Objetivo del proyecto .....	4
1.2	Alcance del proyecto .....	4
1.3	Metodología del proyecto .....	4

## \_2: FASE DE INFORMACIÓN

2.1	Introducción a la seguridad pasiva en seguridad vial .....	5
2.2	España, un país cada vez más seguro .....	8
2.3	Seguridad pasiva en España. Estado del arte .....	13
2.3.1	Seguridad pasiva en España .....	13
2.3.2	Seguridad pasiva en postes de iluminación en España .....	14
2.4	Datos y estudios de siniestralidad con postes de iluminación .....	16
2.5	Evaluación de riesgos .....	21
2.6	Estudio de accidentes por salida de vía .....	22
2.7	Experiencia en otros países .....	25
2.8	Probabilidad y severidad de una colisión .....	30
2.9	Daño en los pasajeros .....	31
2.10	Normativa aplicable .....	32
2.11	Materiales utilizados y evolución de mejoras .....	35
2.12	Análisis formal del producto a diseñar .....	36
2.12	Conclusiones de la información obtenida .....	37

## \_3: ESTUDIO DEL PROYECTO

3.1	Objetivos del estudio .....	38
3.2	Herramientas de cálculo .....	39
3.3	Modelo a analizar .....	40
3.4	Proceso de trabajo .....	42
3.5	Dibujo de modelos .....	42
3.6	Mallado de modelos .....	43
3.7	Materiales utilizados .....	44
3.8	Vehículo para el ensayo .....	45
3.9	Normativa aplicable al ensayo .....	47
3.10	Parámetros para realizar el ensayo .....	50
3.11	Proceso de cálculo .....	51
3.12	Resumen de resultados .....	67
3.13	Conclusiones del estudio .....	68

## \_4: FASE DE DISEÑO

4.1	Líneas de mejora del diseño .....	69
4.2	Diseño del nuevo modelo .....	69
4.3	Modelado y mallado de alternativa .....	70
4.4	Parámetros de ensayo .....	71
4.5	Resultados obtenidos .....	72
4.6	Modificaciones y recálculo .....	73
4.7	Resultados finales de la alternativa .....	74
4.8	Justificación mecánica. Normativa Europea de cargas de viento .....	77
4.9	Líneas futuras de trabajo .....	80
4.10	Conclusiones del proyecto .....	81

## \_5: BIBLIOGRAFÍA .....

### 1.1 - OBJETIVO DEL PROYECTO

\_El siguiente proyecto que se presenta a continuación, parte de la necesidad y curiosidad de la investigación sobre la utilización de diseño pasivos en el sector de la automoción.

En este campo, se parte del estudio de la necesidad de la mejora de un componente de mobiliario público que, por la falta de concienciación en el campo, no se ha evolucionado en la mejora del mismo.

Se parte pues primero del estudio de la situación actual en el campo, principalmente en Europa, mucho más avanzada en este sector, para finalizar modificando los actuales modelos utilizados en España, por modelos que garanticen la seguridad de los pasajeros de los vehículos en base a la Normativa Europea vigente.

### 1.2 - ALCANCE DEL PROYECTO

\_El alcance final del proyecto consistirá en demostrar la validez del estudio llevado a cabo, consiguiendo el diseño de un modelo que mejore la situación española actual en el campo y estableciendo además una serie de conclusiones y líneas de trabajo que lleven a la consecución de futuras mejoras en el campo.

### 1.3 - METODOLOGÍA DEL PROYECTO

\_La metodología llevada a cabo para la realización del proyecto se sustentará primero con el estudio de la situación actual del sector de la seguridad pasiva en la automoción, tanto en España como país objetivo como en la Unión Europea.

Se estudiarán además modelos y mejoras llevadas a cabo en otros países en este tipo de objetos pasivos para nutrirnos de esas evoluciones para nuestra investigación particular.

Se realizarán estudios que validen nuestro proceso de trabajo para una vez se sepa que sabemos realizar con un gran porcentaje de seguridad los estudios, pasar a realizar modificaciones y mejoras que a la larga nos lleven a desarrollar conclusiones y líneas de trabajo que terminen en la consecución del objetivo principal del proyecto.

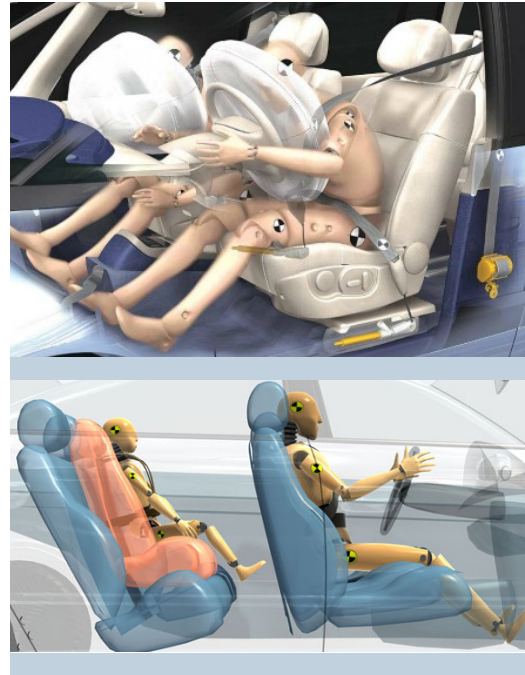
### 2.1 - INTRODUCCIÓN A LA SEGURIDAD PASIVA EN SEGURIDAD VIAL

\_El concepto de seguridad pasiva engloba todos los sistemas adoptados para proteger a los ocupantes de vehículos contra lesiones o para reducir sus consecuencias una vez que se ha producido el accidente.

\_El principio fundamental de la seguridad pasiva se basa en que el vehículo debe proteger en cualquier momento la integridad física de sus ocupantes cuando por impericia, imprudencia o cualquier otro motivo, imputable o no al conductor, se produzca una colisión o atropello. Entendemos entonces que la seguridad pasiva está orientada directamente a tratar de disminuir las consecuencias lesivas que se puedan originar como resultado del accidente.

\_Actualmente, la mayoría de los fabricantes de vehículos realizan pruebas de impacto controlado ("crash-test") a una velocidad aproximada de 50 km/h, contra un muro o entre 2 vehículos, de forma frontal o lateral. Se toman fotografías o se hacen películas con cámaras de altísima velocidad (hasta 1000 imágenes/segundo), para estudiar las deformaciones que sufre la carrocería durante el impacto.

\_Además, en algunos casos, los vehículos llevan en su interior maniquíes que simulan a los pasajeros ("dummies"). Se trata de reproducciones mecánicas del cuerpo humano con una alta biofidelidad. Están dotados de un gran número de sensores para medir los esfuerzos a los que se verían sometidos diferentes órganos del cuerpo en caso de impactos de distintas configuraciones e intensidades, simulando en el laboratorio condiciones reales y estudiando las zonas más desprotegidas para ayudar a mejorar los diseños. Se fabrican diferentes tamaños de acuerdo a las características de hombres, mujeres y niños de distintos percentiles.



### ELEMENTOS DE SEGURIDAD PASIVA DEL AUTOMÓVIL

#### \_1: BASTIDOR Y CARROCERÍA

Es la parte más importante, pues es la que sufrirá en primer lugar las consecuencias de un posible impacto. En los vehículos modernos, suele construirse conjuntamente con el bastidor, formando todo el conjunto una estructura integrada. Se trata de conseguir que sea esta estructura del vehículo la que absorba la energía cinética, deformándose de forma controlada en caso de choque y preservar un espacio de supervivencia para los ocupantes que debe ser indeformable. Debe evitar, así mismo, la intrusión de elementos rígidos en dicho espacio.

Suele estar compuesto por un habitáculo de seguridad, las barras de protección lateral, dispositivos de antiempotramiento, parachoques y bisagras y cerraduras.

#### \_2: PARABRISAS Y LUNAS

Se construyen pensando en que, en caso de rotura, no causen daños a los pasajeros o a los peatones. Inicialmente se fabricaban de vidrio templado, que además de ser muy frágil, en caso de rotura se desgajaban en grandes trozos cortantes como cuchillos, causando graves lesiones a los ocupantes. Posteriormente aparecieron los vidrios templados diferenciados. Actualmente se emplea vidrio laminado

## 3: PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO

Durante la colisión, el derrame del combustible y la existencia de focos de calor en elementos mecánicos o eléctricos, supone la existencia de riesgo de incendio que debe ser evitada o minimizada. La protección del depósito de combustible es de la máxima importancia a estos efectos.

Aunque es más fácil que se inicie un incendio en vehículos de gasolina, también se han detectado algunos casos con el gasóleo. Se procura instalar el depósito fuera de la zona de deformación, aislado y protegido de los impactos. Actualmente hay algunos que se fabrican de materiales plásticos de alta flexibilidad que admiten cierta deformación. Se complementan con válvulas que impiden el escape de combustible en caso de vuelco.

## 4: AIRBAGS

Se trata de una bolsa de tela que se hincha de gas en milésimas de segundo, y se sitúa frente a los ocupantes en caso de colisión. Su misión es evitar que la parte superior del cuerpo (especialmente la cara) impacte contra el volante, parabrisas o el salpicadero, frenando de manera más suave su movimiento. También reduce el riesgo de heridas por cortaduras de cristal procedente del parabrisas y disminuye el riesgo de las lesiones cervicales.

Existen en la actualidad diferentes tipos de airbags: lateral, trasero, cortina hinchable, de rodilla, de cinturón, "inteligente" e incluso para peatones.

## 5: REPOSACABEZAS

En un choque, el cuerpo se desplaza hacia delante bruscamente y luego retrocede hacia atrás con gran violencia. La cabeza no realiza el movimiento del torso al mismo tiempo sino que se retrasa unos segundos. Además, el torso queda sujeto en el retroceso por el respaldo del asiento pero las vértebras cervicales pueden sufrir un fuerte e inesperado movimiento de vaivén denominado "latigazo" si no hay instalados reposacabezas. Actualmente, las compañías de seguros gastan más dinero en indemnizar lesiones cervicales que cualquier otra índole.

## 6: ASIENTOS ANTIDESLIZANTES

Uno de los efectos que se producen en las colisiones es el llamado "submarinismo", es decir, la tendencia que tiene el cuerpo a presionar el asiento hacia abajo y deslizarse por debajo del cinturón ventral, con el consiguiente riesgo de que oprima las partes blandas del cuerpo y ocasione lesiones internas. Para mitigar este problema, los vehículos llevan unas estructuras metálicas internas en los asientos en forma de cuña, con lo que se evita que los ocupantes se deslicen por debajo del cinturón y las piernas se golpeen contra el salpicadero.

## 7: ELEMENTOS DE RETENCIÓN INFANTIL

La legislación actual prohíbe a los niños menores de 12 años o que midan menos de 1.35 m, viajar en los asientos delanteros del vehículo, salvo que utilicen dispositivos homologados concebidos específicamente a tal fin y orientado siempre en sentido contrario a la marcha. En este caso habrá que tener en cuenta que los niños no podrán utilizar un dispositivo de retención orientado hacia atrás instalado en un asiento del pasajero protegido con un airbag frontal, a menos que haya sido desactivado, condición que se cumplirá también en el caso de que dicho airbag se haya desactivado adecuadamente de forma automática.

## \_8: CINTURÓN DE SEGURIDAD

Dentro de los elementos de seguridad pasiva, los sistemas de retención son posiblemente los de mayor importancia. Hablaremos en primer lugar del cinturón de seguridad para posteriormente detenernos en los sistemas de retención infantiles.

El cinturón de seguridad es la medida más efectiva de todas las inventadas hasta la fecha; el uso del cinturón de seguridad reduce en un 50% la probabilidad de sufrir lesiones graves y lesiones mortales en caso de accidente.

La finalidad es retener y los cuerpos de los ocupantes del vehículo en caso colisión, vuelco o deceleración brusca del vehículo, evitando que se desplacen y reciban golpes en el interior o salgan proyectados al exterior. Cuando se produce una deceleración, los ocupantes siguen la trayectoria inicial y salen despedidos hacia delante con una fuerza proporcional a la velocidad a la que se circulara en ese momento.

En caso de una frenada normal, aunque sea algo enérgica, los ocupantes pueden sujetar sus cuerpos mediante la contracción de sus músculos. Pero cuando se produce una colisión frontal, el vehículo sufre una deceleración tan fuerte que es imposible contenerse con la simple acción muscular, provocando que los cuerpos salgan lanzados como proyectiles, que pueden impactar contra el parabrisas, volante, o los asientos anteriores, pudiendo aplastar los pasajeros situados en la parte trasera a los situados delante, pues la estructura de los asientos no está diseñada para resistir tanta presión.

## \_9: CASCO

Mención especial, aunque no sea fundamental en el tema que nos atiende, es el casco para los motoristas. Las lesiones sufridas en la cabeza son la principal causa de muerte en los accidentes en los que están implicados vehículos de dos ruedas. El uso del casco reduce un 30% la posibilidad de sufrir lesiones mortales y aumenta un 20% la posibilidad no sufrir daño alguno.

El casco que utilicemos debe estar homologado y quedarnos bien ajustado a la cabeza. En cuanto al color es preferible elegir los claros y brillantes, ya que son vistos por los demás usuarios con más facilidad y por lo tanto son más seguros.

## ¿HASTA AQUÍ LA SEGURIDAD PASIVA?

La respuesta es NO. Es una opinión muy equivocada pensar que toda la labor en la seguridad pasiva en la seguridad vial es papel del automóvil, y es que, la cantidad y variedad de los posibles accidentes, choques o colisiones a los que el automóvil debe enfrentarse, hace que las medidas y sistemas pasivos de los que debería estar compuesto fueran totalmente universales.

Por ello, en muchos casos, la importancia debe ser repartida o incluso debe ser mayor la atención que hay que mostrar en el diseño propio del objeto con el que el automóvil pueda llegar a colisionar.

Esto es así debido a que durante un accidente o colisión, el factor más importante es la velocidad del vehículo, y más que la velocidad que lleva en el momento del accidente, es la desaceleración que sufrirá durante el mismo. Esta energía cinética se transformará en energía de deformación, ya sea del vehículo como del objeto con el que colisione.

En esta absorción es donde entra el estudio del trabajo, intentando repartir esta absorción de energía tanto en el automóvil como en el objeto con el que va a colisionar.

## 2.2 - ESPAÑA, UN PAÍS CADA VEZ MÁS SEGURO

Para comenzar cualquier fase de información referente a un proyecto de seguridad vial, debemos partir del estudio de la situación actual en cuanto a seguridad del país en el que se va a desarrollar el proyecto.

Por ello, lo primero es realizar un estudio a los resultados obtenidos en el último informe de la Dirección General de Tráfico en España, para ver que tendencia en cuanto a seguridad lleva el país, y, hacia que campos se están realizando las mejoras, y hacia cual haría falta empezar a realizarlas.

### INFORME DE SINIESTRALIDAD VIAL 2013. DGT [B1]

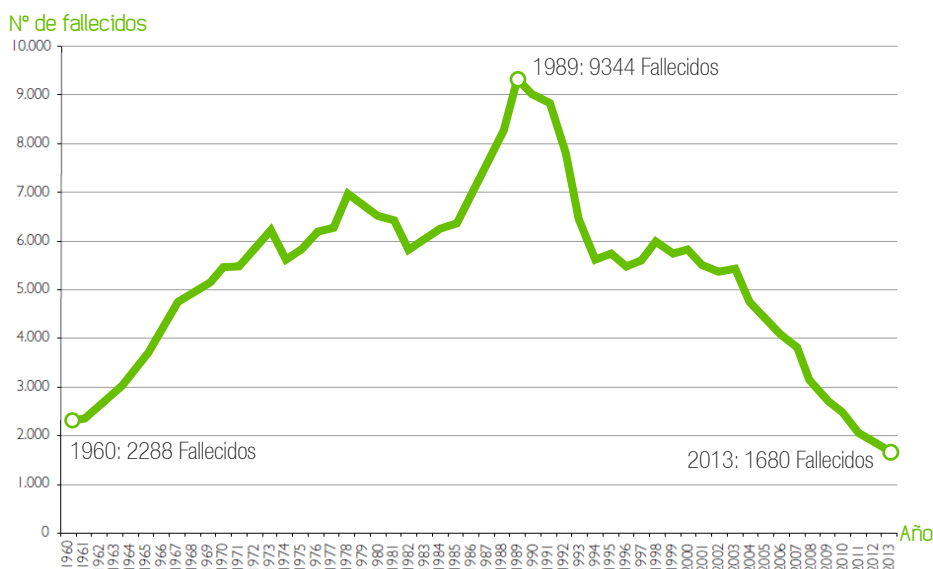
El número de accidentes de tráfico con víctimas en nuestro país venía presentando en los últimos años una reducción global. En el año 2012 cambió la situación produciéndose 88 accidentes con víctimas más que en el año anterior. Sin embargo, tanto el número de fallecidos como de heridos graves descendió un 8% al mismo tiempo que se producía un incremento en un 1% de los heridos leves.

En el año 2013, se observa un incremento del 8% de los accidentes con víctimas y del 9% de los heridos leves, junto con un descenso del 12% en los fallecidos y del 3% en los heridos graves.

Los incrementos detectados en accidentes con víctimas y en heridos leves están en gran medida relacionados con mejoras en la notificación en el ámbito urbano.

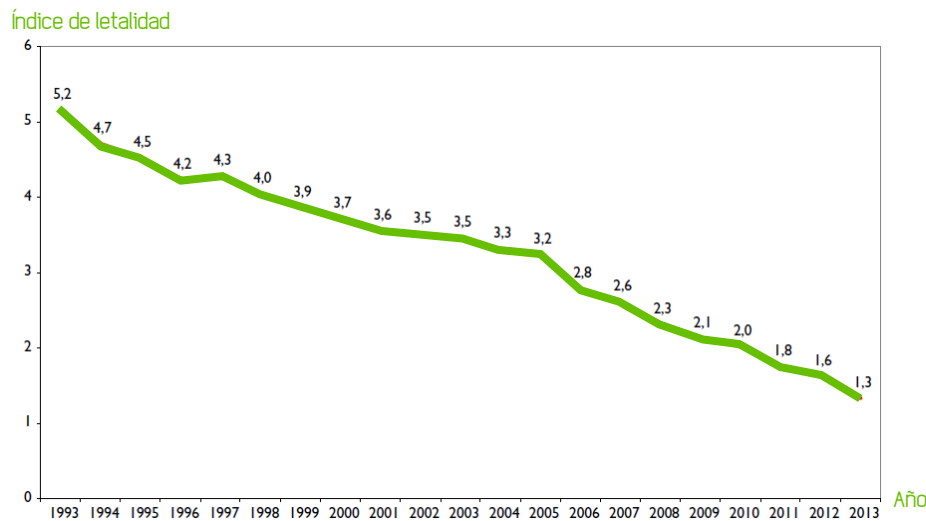
	2013				Variación 2013/2012			
	Accidentes con víctimas	Fallecidos	Heridos graves	Heridos leves	Accidentes con víctimas	Fallecidos	Heridos graves	Heridos leves
Interurbana	37.297	1.230	5.182	51.320	5%	-15%	-14%	7%
Autopista	2.456	63	268	3.612	11%	-4	3%	8%
Autovía	8.712	227	815	12.842	34%	-2%	-6%	35%
Carretera convencional	26.129	940	4.099	34.866	-2%	-18%	-17%	-1%
Urbana	52.222	450	4.904	63.314	10%	-2%	11%	10%
Travesía	767	38	153	869	47%	1	35%	50%
Calles	51.455	412	4.751	62.445	9%	-3%	11%	10%
<b>TOTAL</b>	<b>89.519</b>	<b>1.680</b>	<b>10.086</b>	<b>114.634</b>	<b>8%</b>	<b>-12%</b>	<b>-3%</b>	<b>9%</b>

TABLA: Número de accidentes con víctimas, fallecidos, heridos graves y heridos leves en 2013. Diferencia porcentual con el año anterior



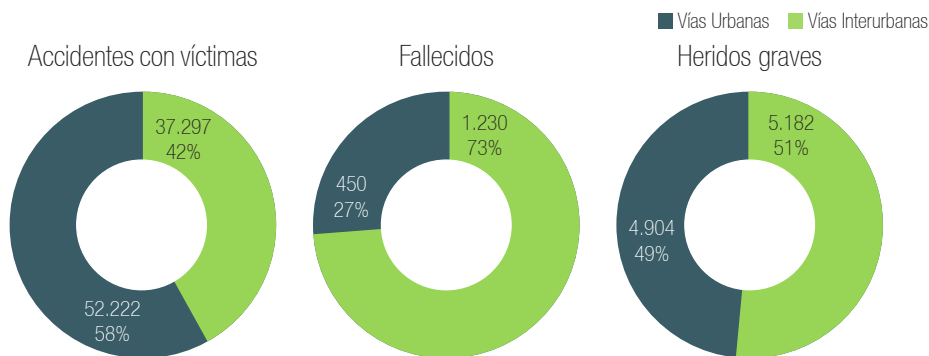
GRÁFICA: Evolución de los fallecidos en accidente de tráfico con víctimas. Serie 1960-2013





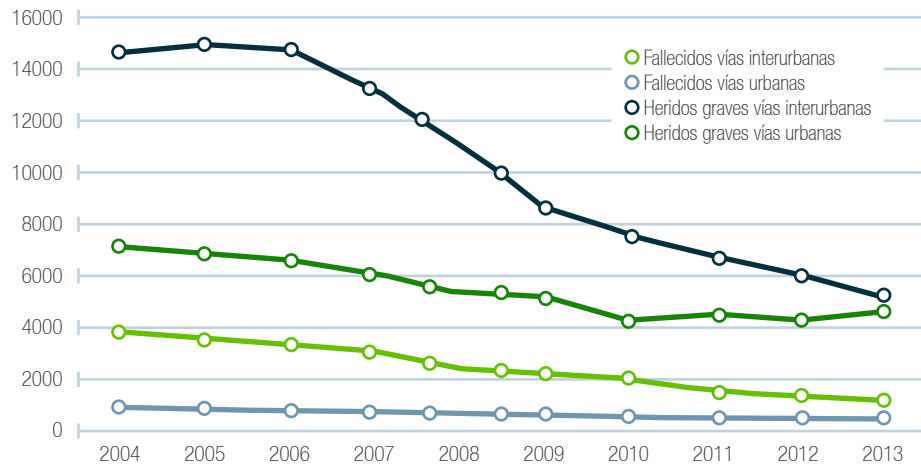
GRÁFICA: Evolución de la letalidad (nº de fallecidos / nº de víctimas x100) en los accidentes de tráfico con víctimas. Serie 1993–2013

\_Durante 2013, la mayoría de los accidentes con víctimas tuvo lugar en vías urbanas, localizándose seis de cada diez accidentes en este tipo de vías. No obstante, las lesiones mortales se concentran en vías interurbanas, donde el número de fallecidos es casi tres veces superior al de vías urbanas. Por lo que respecta al número de heridos graves, en 2013 un 51% de los casos se produjeron en vías interurbanas, y un 49% en vías urbanas.



GRÁFICA: Distribución del número de accidentes con víctimas, fallecidos y heridos graves según zona. Año 2013

\_Durante los últimos diez años se han observado reducciones del número de fallecidos y heridos graves tanto en vías interurbanas como en vías urbanas, si bien la magnitud de la reducción ha sido menor en estas últimas. Así, mientras en vías interurbanas el número de fallecidos ha disminuido un 68% entre 2004 y 2013, y el número de heridos graves lo ha hecho un 65% en el mismo periodo, las reducciones correspondientes a vías urbanas han sido un 50% y un 32%, respectivamente.

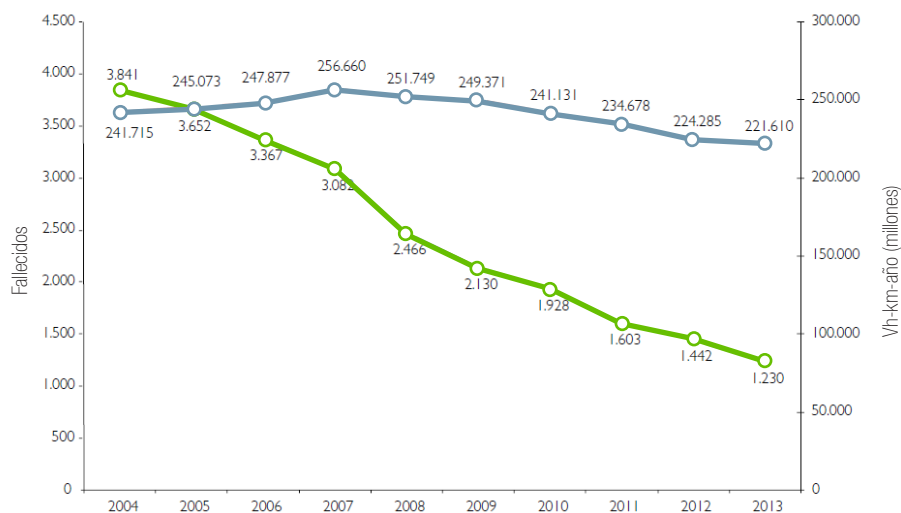


GRÁFICA; Evolución de los fallecidos y heridos graves en vías interurbanas y urbanas, 2004-2013

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Variación 2013/2012	Variación interanual 2004/2013
Accidentes con víctimas	43.787	42.624	49.221	49.820	43.831	40.789	39.174	35.878	35.425	37.297	5%	-2%
Fallecidos	3.841	3.652	3.367	3.082	2.466	2.130	1.928	1.603	1.442	1.230	-15%	-12%
Heridos graves	14.631	14.920	14.763	13.201	11.077	8.748	7.642	6.825	6.044	5.182	-14%	-11%
Heridos leves	56.459	53.869	62.306	63.587	56.222	54.180	52.247	47.692	47.936	51.320	7%	-1%
Índice de letalidad	5,1	5,0	4,2	3,9	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6	2,1		
Tráfico vehículo-km 10 <sup>6</sup>	241.715	245.073	247.877	256.660	251.749	249.371	241.131	236.065	224.285	221.610	-1%	-1%
Fallecidos por 100 millones vehículo km	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6		

TABLA: Evolución de los accidentes con víctimas en vías interurbanas, 2004-2013

Si se analiza la evolución desde 2004 del volumen de tráfico -o exposición al riesgo- y el número de fallecidos en vías interurbanas, se observa que el volumen de tráfico ha venido cayendo desde el año 2008, si bien con una intensidad menor que el número de fallecidos, lo que se traduce en una reducción continua del número de fallecidos por cien millones de vehículo – km.

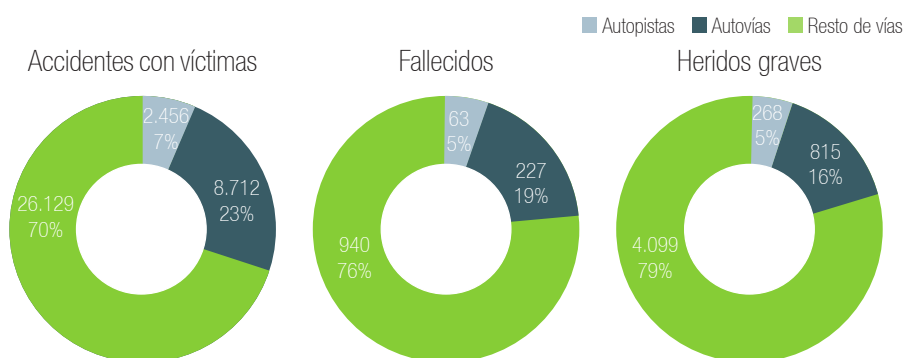


GRÁFICA: Evolución del volumen de tráfico y de la cifra de fallecidos en vía interurbana 2004-2013

\_De los 37.297 accidentes que ocurrieron en vías interurbanas, 2.456 se produjeron en autopista, y en ellos fallecieron 63 personas, resultando heridas 3.880 y siendo el índice de letalidad para estas vías 1,6. En autovía se registraron 8.712 accidentes, en los que se registraron 227 fallecidos y resultaron heridas 13.657 personas, siendo el índice de letalidad para estas vías 1,6. En el resto de vías interurbanas, en las que hubo 26.129 accidentes, se registraron 940 fallecidos y resultaron heridas 38.695 personas, siendo su índice de letalidad 2,4, el mayor de los tres tipos de vía considerados.

	Autopista	Autovía	Resto de vías	Total
Accidentes con víctimas	2.456 (7%)	8.712 (23%)	26.129 (70%)	37.297
Fallecidos	63 (5%)	227 (18%)	940 (76%)	1.230
Heridos graves	268 (5%)	815 (16%)	4.099 (79%)	5.182
Heridos leves	3.612 (7%)	12.842 (25%)	34.866 (68%)	51.320
<b>Total víctimas</b>	<b>3.943 (7%)</b>	<b>13.884 (24%)</b>	<b>39.905 (69%)</b>	<b>57.732</b>
Índice de letalidad	1,6	1,6	2,1	2,4

TABLA: Accidentes con víctimas, fallecidos, heridos graves y heridos leves en vías interurbanas según tipo de vía.  
Año 2013



GRÁFICA: Distribución del número de accidentes con víctimas y de fallecidos en vías interurbanas según tipo de vía.  
Año 2013

\_En cuanto a la evolución de la accidentalidad según el tipo de vía, los datos de 2013 no son comparables a los de años anteriores, debido a actualizaciones en el catálogo de carreteras utilizado para clasificar las vías. Aunque se han calculado las variaciones del año 2013 en relación al 2012 y la variación interanual, estos valores pueden estar reflejando no cambios reales en la evolución de los accidentes con víctimas en vías interurbanas, sino cambios en la clasificación de estos accidentes.

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Variación 2013/2012	Variación interanual 2004/2013
Autopista	3.308	3.299	4.871	3.094	2.211	1.913	1.896	2.550	2.221	2.456	11%	-3%
Autovía	8.252	7.814	8.948	8.612	8.311	8.311	7.866	6.866	6.506	8.712	34%	1%
Resto de vías	14.631	14.920	14.763	13.201	11.077	8.748	7.642	6.825	6.044	5.182	-14%	-11%
<b>TOTAL Interurbana</b>	<b>43.787</b>	<b>42.624</b>	<b>49.221</b>	<b>49.820</b>	<b>43.831</b>	<b>40.789</b>	<b>39.174</b>	<b>35.878</b>	<b>35.425</b>	<b>37.297</b>	<b>5%</b>	<b>-2%</b>

TABLA: Evolución de los accidentes con víctimas en vías interurbanas según tipo de vía, 2004-2013

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Variación 2013/2012	Variación interanual 2004/2013
Autopista	278	219	232	164	109	89	89	65	67	63	-4	-15%
Autovía	643	631	535	447	378	371	325	271	231	227	-2%	-11%
Resto de vías	2.920	2.802	2.600	2.471	1.979	1.670	1.514	1.267	1.144	940	-18%	-12%
<b>TOTAL Interurbana</b>	<b>3.841</b>	<b>3.652</b>	<b>3.367</b>	<b>3.082</b>	<b>2.466</b>	<b>2.130</b>	<b>1.928</b>	<b>1.603</b>	<b>1.442</b>	<b>1.230</b>	<b>-15%</b>	<b>-12%</b>

TABLA: Evolución de los fallecidos en vías interurbanas según tipo de vía, 2004-2013

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Variación 2013/2012	Variación interanual 2004/2013
Autopista	933	884	949	658	504	351	319	263	261	268	3%	-13%
Autovía	2.316	2.247	2.174	1.889	1.774	1.448	1.180	1.007	863	815	-6%	-11%
Resto de vías	11.382	11.789	11.640	10.654	8.799	6.949	6.143	5.555	4.920	4.099	-17%	-11%
<b>TOTAL Interurbana</b>	<b>14.631</b>	<b>14.920</b>	<b>14.763</b>	<b>13.201</b>	<b>11.077</b>	<b>8.748</b>	<b>7.642</b>	<b>6.825</b>	<b>6.044</b>	<b>5.182</b>	<b>-14%</b>	<b>-11%</b>

TABLA: Evolución de los heridos graves en vías interurbanas según tipo de vía, 2004-2013

\_De los 37.297 accidentes que ocurrieron en vías interurbanas en 2013, 10.375 se produjeron en vías de titularidad estatal, el 28%, y en ellos fallecieron 459 personas, 1.510 resultaron heridas graves y 15.017 heridas leves. Respecto del año 2012, en las vías de la Red del Estado el número de accidentes con víctimas se mantuvo prácticamente constante, el de víctimas mortales se redujo un 12% y el de heridos graves un 19%. Por su parte, el número de heridos leves aumentó un 2%.

\_En las vías cuya titularidad corresponde a las Comunidades Autónomas, se produjeron en 2013 10.199 accidentes con víctimas, el 27% de los ocurridos en vías interurbanas, y en esos accidentes fallecieron 459 personas, 1.885 resultaron heridas graves y 13.424 leves. Respecto del año 2012, en las vías de las Comunidades Autónomas ha habido un 1% menos de accidentes, un 12% menos de víctimas mortales y un 14% menos de heridos graves, mientras que el número de heridos leves prácticamente no ha variado.

\_En las vías de las Diputaciones Provinciales y Cabildos Insulares, en 2013 se registraron 7.634 accidentes con víctimas, en los que fallecieron 218 personas, 1.233 resultaron heridas graves y 9.944 heridas leves. Respecto del año 2012, ocurrieron un 6% más de accidentes con víctimas y un 7% más de heridos leves. Por su parte, el número de fallecidos se redujo un 18%, y el de heridos graves un 14%.

## 2.3 - SEGURIDAD PASIVA EN ESPAÑA. ESTADO DEL ARTE

\_Como no puede ser de otra manera, uno de los puntos de partida que se deben utilizar para la realización de este proyecto debe ser el estado actual en cuanto a seguridad pasiva en automoción en nuestro país.

Por ello, pasamos a continuación a estudiar en que situación estamos, primero en cuanto a seguridad pasiva en el entorno de la seguridad vial, y en segundo lugar, en cuanto a seguridad pasiva en el campo específico de los postes de iluminación.

### 2.3.1 - Seguridad pasiva en España

\_Para comprender la situación actual de España en cuanto a su implicación en diseño pasivos en automoción se acude a estudiar los informes donde se muestran los planes de actuación que la Dirección General de Tráfico (DGT) pretende llevar a cabo en estos ámbitos que estamos estudiando.

Así estudiamos 2 documentos referentes a los futuros planes de investigación y planes estratégicos publicados por la DGT en 2014:

- \_ Estrategia de Seguridad Vial 2011-2020 (Resumen ejecutivo) <sup>[B2]</sup>
- \_ Plan de investigación en seguridad vial y movilidad 2013-2016 <sup>[B3]</sup>

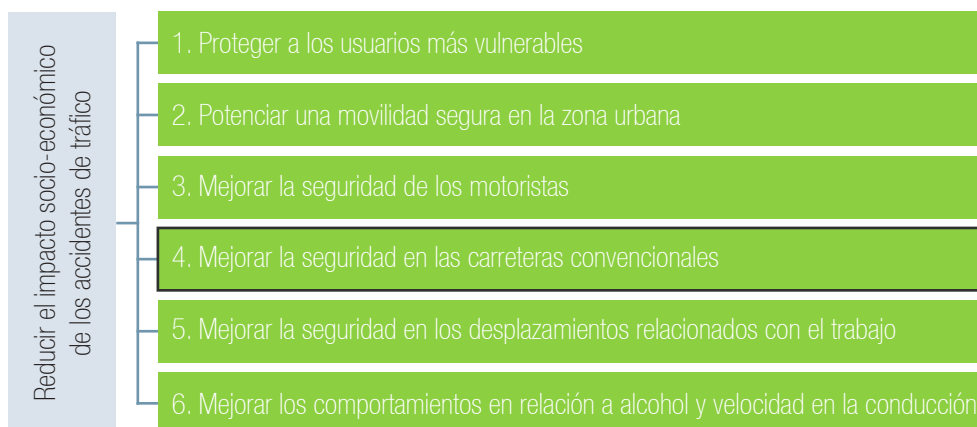
En estos documentos podemos encontrar como para la DGT existen una serie de guiones que ellos llaman:

#### \_Los valores

Derechos y deberes compartidos	Los usuarios y diseñadores del sistema copartícipes y cooperantes del Sistema.
Movilidad sostenible	Saludable para los ciudadanos y respetuosa con el medio ambiente
Usuarios seguros	Educados, formados, informados, concienciados y responsables
Carreteras y entornos seguros	Carreteras diseñadas en función de las capacidades humanas y tecnológicas.
Vehículo seguro	Protector de los usuarios

#### \_Las prioridades

Las prioridades de la Estrategia, que se describen a continuación, han sido fijadas para dar respuesta a los principales focos de accidentalidad identificados en la fase de análisis.



\_Durante los últimos años, tanto desde instituciones internacionales como a nivel nacional se está promocionando el uso de medios de transporte alternativos al vehículo privado. En especial se está haciendo hincapié en el uso de la bicicleta y de los desplazamientos a pie como formas de movilidad eficiente, económica y saludable. Parece entonces lógico adecuar las infraestructuras a esta nueva situación.

Además, la vía y el entorno juegan un papel importante en la seguridad vial. Así, un estudio realizado en el Reino Unido los identificó como factor causal de los accidentes investigados en un 27,8%.

\_En nuestro país, de entre los distintos tipos de vía, las interurbanas son el ámbito donde se produce el mayor número de accidentes de tráfico con víctimas mortales y heridos graves. Durante el año 2013 se produjeron en dichas vías el 73% de los fallecidos y el índice de letalidad de los accidentes con víctimas fue de 2,1 muertos por cada 100 víctimas, valor claramente superior a la letalidad para el conjunto de la población implicada en accidente de tráfico con víctimas que fue de 1,3. Dentro del conjunto de vías interurbanas, la gravedad de los accidentes con víctimas es todavía mayor en las carreteras convencionales. Así pues, en 2013, de los 1.230 muertos por accidente en zona interurbana, el 76% de los mismos fallecieron en accidentes de vía convencional y el índice de letalidad asociado a este tipo de vías ascendió a 2,4, frente al 1,6 de autopistas y de autovías.

\_Estos datos hacen que la carretera convencional sea para la DGT un ámbito de actuación prioritario, por lo que se ha planteado la realización de varios estudios durante los próximos años, en consonancia con trabajos iniciados en 2012 y con otros a nivel internacional. Asimismo, es prioritaria y destacable la promoción de la innovación en soluciones de bajo coste en el ámbito de las infraestructuras, tanto en zonas urbanas como en carretera convencional.

\_A pesar de la relevancia de las cifras de accidentalidad en vía interurbana y de la priorización de las actuaciones efectuadas en ese ámbito, resulta también importante el ámbito urbano y sobretodo el diseño del viario urbano para mitigar la problemática ligada a los colectivos vulnerables y adaptarse al nuevo marco regulatorio que establece el Reglamento General de Circulación

### 2.3.2 - Seguridad pasiva en postes de iluminación en España.

En este apartado se pasa a explicar la situación que viene aconteciendo en nuestro país durante los últimos años en cuanto a seguridad con postes de iluminación. Para ello, se utiliza el informe RACE, en el que podremos obtener diferentes estudios y resultados obtenidos de los que se podrán obtener importantes conclusiones:

#### Informe RACE: " Las farolas como elemento en la seguridad pasiva de la vía" <sup>[B4]</sup>

\_En los últimos cinco años, las carreteras españolas se han cobrado 1.394 vidas a causa de colisiones contra elementos rígidos como farolas, árboles o postes, con una media de 279 fallecidos cada año, por no mencionar los casi 11.532 heridos que se han producido en las mismas circunstancias.

\_Económicamente: esto supone un coste anual aproximado, sin contar las personas que resultan heridas, de 418.2 millones de Euros consistentes en reparación, mantenimiento y reemplazamiento de nuevas farolas en las posiciones que ocupaban antes del impacto.

\_Según datos ofrecidos por la Dirección General de Tráfico, en el periodo 2000 - 2004 este tipo de choques supusieron apenas un 2,3% del total de accidentes, sin embargo, fueron la causa de un 5,2% de las muertes por accidente de tráfico. Tras las colisiones frontales de dos vehículos, el choque contra farolas, árboles o postes es el tipo de accidente más lesivo.

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

### \_Accidentes con víctimas en España

	2000	2001	2002	2003	2004
Contra árbol o poste	2.456	2.419	2.262	2.296	2.099
Total accidentes	101.729	100.393	98.433	99.987	94.009

FUENTE: Anuario estadístico DGT

### \_Muertes por accidente de tráfico en España

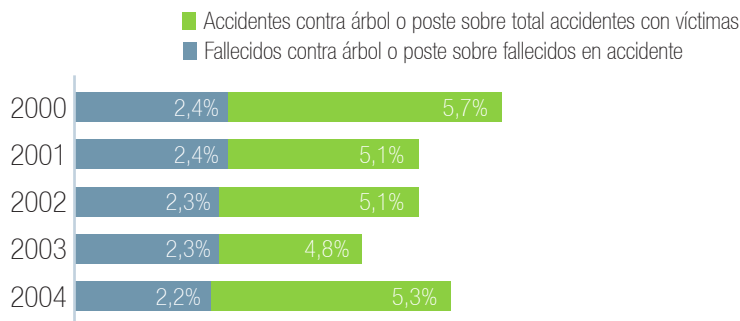
	2000	2001	2002	2003	2004
Contra árbol o poste	329	280	273	259	253
Total fallecidos	5.776	5.517	5.347	5.399	4.741

FUENTE: Anuario estadístico DGT

\_Un nivel de mortalidad tan alto en un tipo de accidente no tan frecuente se debe principalmente a que las estructuras situadas en los laterales de nuestra carreteras (farolas y postes de señalización principalmente) no están diseñadas para ofrecer un comportamiento satisfactorio en materia de seguridad pasiva.

Esto hace que en miles y miles de kilómetros de nuestra red de carreteras un pequeño error pueda llegar a resultar fatal.

\_Las farolas presentan una extrema rigidez en su base, lo que obliga a que en caso de accidente el vehículo sufra gran deceleración y una gran deformación del habitáculo. A esto hemos de sumar que los vehículos no se diseñan para soportar impactos contra objetos esbeltos que impliquen un contacto puntual, por lo que en caso de colisión, llegan a tener una gran intrusión en el habitáculo del mismo provocando una severidad muy elevada.



GRÁFICA: Porcentaje de accidentes contra árbol o poste sobre el total

\_Año 2004, el 68,6% de este tipo de accidentes se produjo en carretera, escenario que se cobra el 80,6% de las víctimas mortales. Farolas, árboles y señalización vertical son los obstáculos que suele encontrarse un vehículo cuando se sale de la calzada tras una pérdida de control.

\_Paliar los daños tras una colisión contra un árbol es tarea más complicada, existiendo una diferencia clara y evidente entre un vehículo que impacta contra un elemento que la naturaleza ha empleado años en hacer crecer, y otro automóvil que choca contra un elemento inseguro creado recientemente y situado muy cerca del margen de la vía. Por ello, actuar para mejorar la seguridad pasiva de farolas y postes de señalización es, actualmente, algo sencillo y que aporta beneficios probados.

\_Actualmente, hay más de 165 millones de farolas instaladas en Europa. En España, de los aproximadamente 6 millones de farolas existentes, cerca de 840.000 corresponden a puntos de iluminación de carreteras de la Red de Interés General del Estado. Las farolas que alumbran la mayoría de nuestras vías se denominan báculos y están formadas por una columna vertical y un brazo horizontal en cuyo extremo se sitúa la luminaria.

## 2.4 - DATOS Y ESTUDIOS DE SINIESTRALIDAD CON FAROLAS

En este apartado, pasamos a entender en mayor profundidad, como se encuentra en cuanto a siniestralidad la situación actual con este tipo de accidentes. Para ello, se ha utilizado un documento publicado por Transpor Research Laboratory dentro del CSS Street Light Project, en el que se realiza un específico análisis sobre este tipo de accidentes y del que se obtienen importantes e interesantes datos y gráficas.

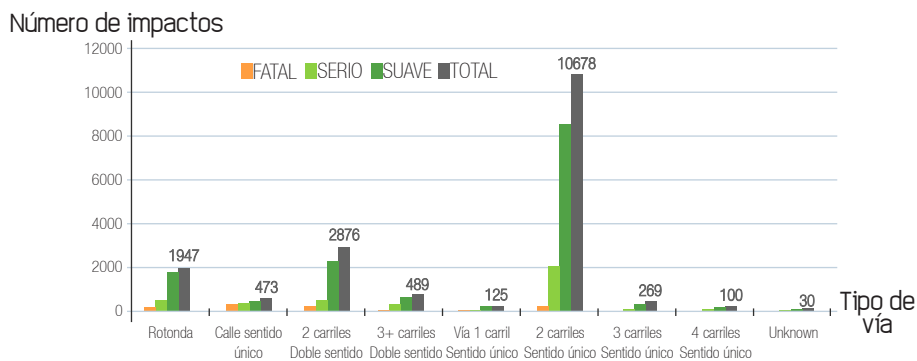
### INFORME CSS: "THE USE OF PASSIVELY SAFE SIGNPOST AND LIGHTING COLUMNS"<sup>[B5]</sup>

El uso de postes de iluminación y señalización en general pasivos comienza está comenzando a ser de gran uso tanto en autopistas y autovías como en carreteras rurales convencionales. Esto es particularmente adecuado en zonas donde sería muy difícil instalar una barrera de seguridad, o donde esta barrera pudiera incluso suponer un peligro por ejemplo en rotondas o isletas de carreteras. En la actualidad este tipo de elementos está principalmente diseñados en Aluminio, pero poco a poco el acero y los refuerzos de fibra de vidrio están cobrando fuerza.

En Reino Unido, este tipo de elementos de seguridad están fabricados en su gran mayoría en Acero, Aluminio o Fibra de Vidrio y tienen un aspecto bastante similar a las farolas convencionales. En lugares como Finlandia (Jokinen) se está usando en la actualidad un 90% de estos productos con un diseño pasivo de seguridad, siendo la mayoría de ellos postes rompibles de madera o columnas metálicas de absorción de impacto.

A partir de aquí, y tras un detallado estudio, se ven en el documento reflejadas una serie de gráficas que, tras comprender su importancia para el estudio, se pasan a destacar a continuación:

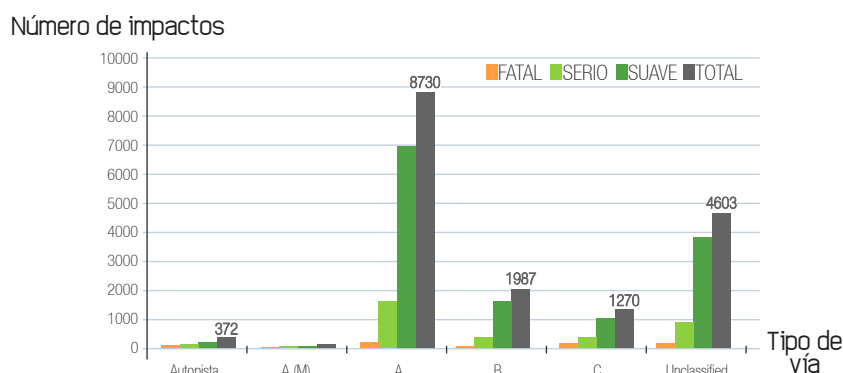
### Accidentes dependiendo el tipo de vía



GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

Como ya se ha comentado anteriormente, se demuestra en las siguientes gráficas como las carreteras interurbanas representan el máximo peligro para este tipo de accidentes.

### Clase de vía



GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

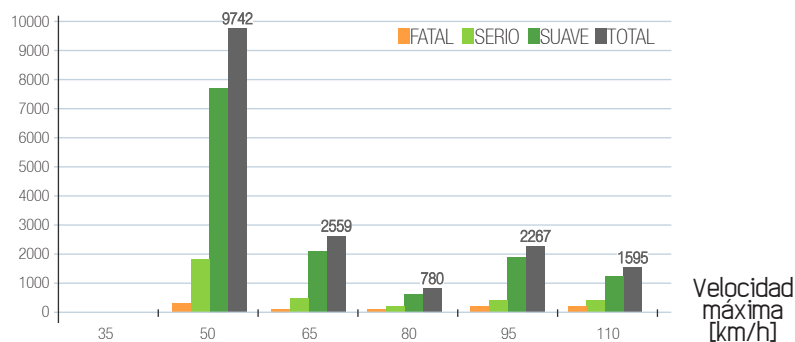


En la anterior gráfica podemos observar el tipo de vía por la que circulan los vehículos, refiriéndose a las mismas mediante una representación expresada en letras, donde se define El TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual), para el tipo de vía A el tránsito es mayor a 3000 vehículos por día, siendo para los casos B y C de 1500-3000 y 500-1500 respectivamente.

Podemos observar como el mayor número de accidentes se concentra en las carreteras más utilizadas, este hecho podría parecer lógico, dado que a mayor número de coches, es más probable un gran número de accidentes. Es por ello que éstos deberían ser los objetivos a mejorar en primer lugar, consiguiendo un gran diseño pasivo para este tipo de elementos.

### \_\_Límite de velocidad de la vía

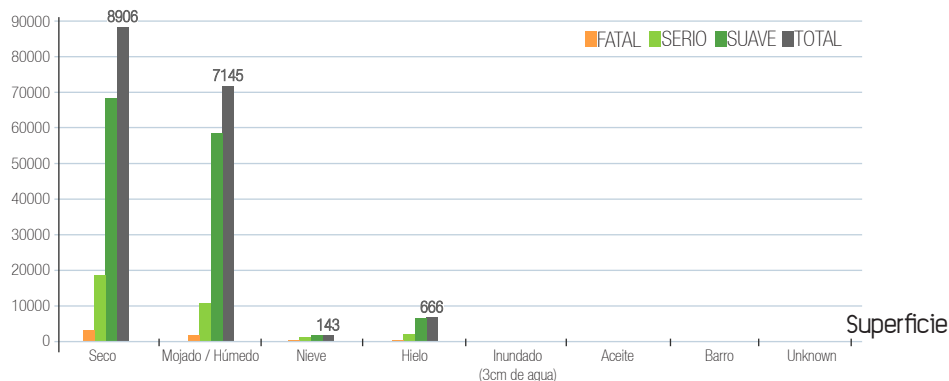
Número de impactos



GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

### \_\_Estado de la superficie de la calzada

Número de impactos



GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

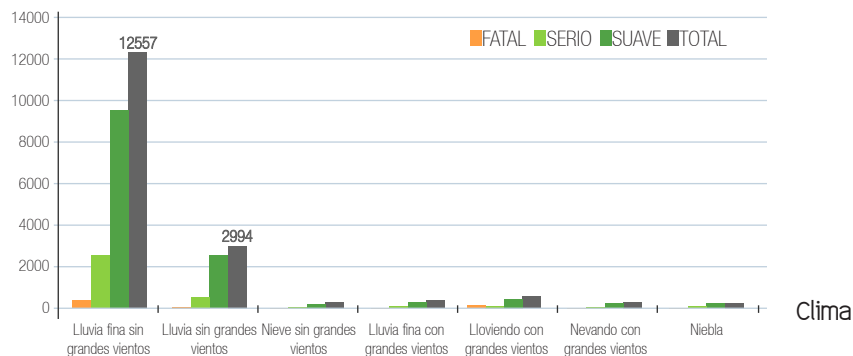
Si seguimos el estudio de las vías en las que se producen la mayoría de accidentes, vemos que no hace falta una vía mojada, con nieve, o con una alta velocidad límite, sino que la mayoría de accidentes ocurren en condiciones más o menos normales.

Esto hace que el perfil de accidentes más comunes se lleve a cabo:

- \_Carreteras A: más de 3000 vehículos al día
- \_2 carriles de sentido único
- \_Situaciones de seco o mojado
- \_50/55 km/hora

## \_Clima

Número de impactos

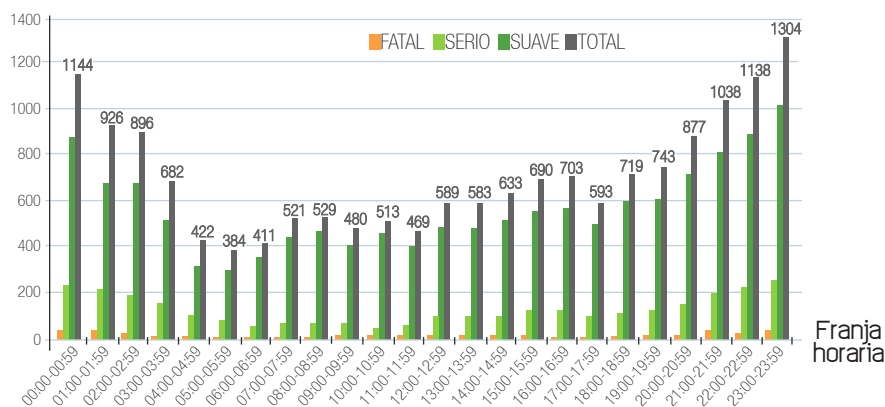


GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

Una vez estudiada la vía y el clima pasamos a estudiar la hora y la iluminación de la vía para comprender mejor como suelen producirse este tipo de accidentes.

## \_Accidentes según la hora a la que se produce

Número de impactos

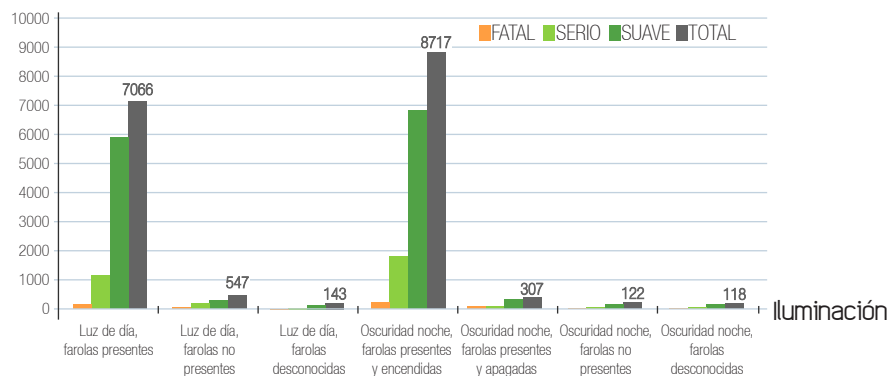


GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

En cuanto a las horas de los accidentes producidos no hay muchas sorpresas ya que se producen sobre todo a media noche, en horas de oscuridad natural y cuando las farolas deben estar encendidas para alumbrar la vía.

## \_Iluminación de la vía

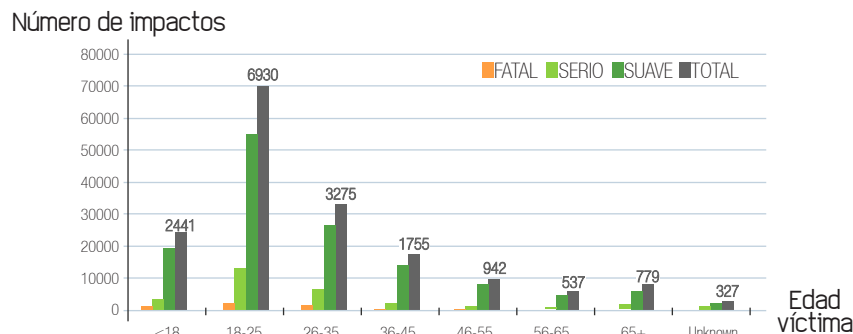
Número de impactos



GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

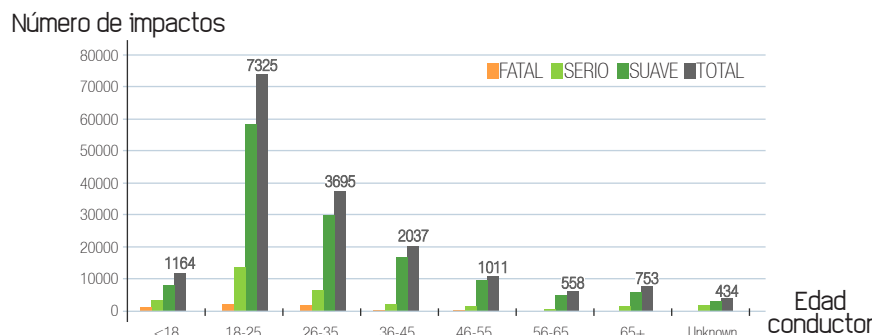
Si ponemos el punto de vista en las personas que sufren y provocan el accidente, podemos observar:

## \_Edad de las víctimas



GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

## \_Edad del conductor

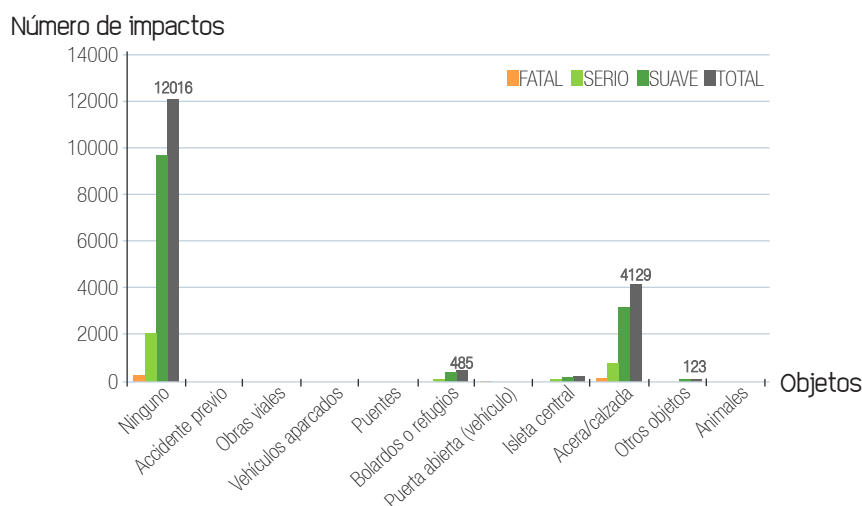


GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

Ninguna sorpresa encontrada en estas gráficas, ya que, como en casi todos los estudios sobre accidentes y siniestralidad vial, el rango de 18-25 años suele ser el más accidentado y el que más sufre este tipo de lesiones.

Ya solo queda pues, estudiar como se produce el accidente y a qué son debidos la mayoría de ellos para este tipo:

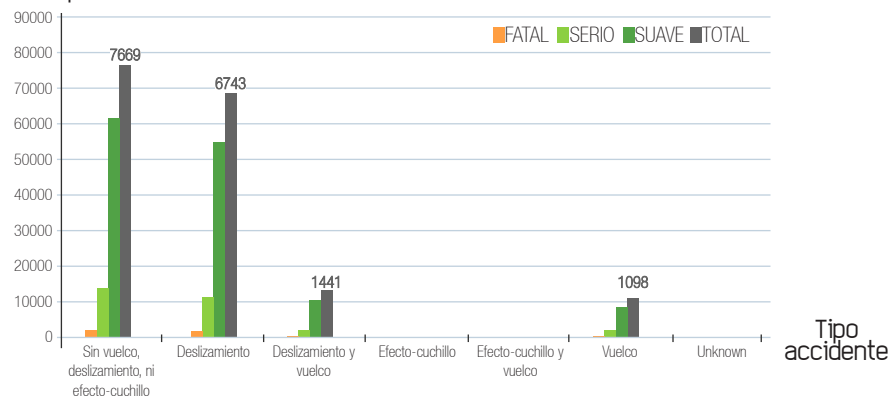
## \_Objetos en la calzada



GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

## \_Deslizamientos y vuelcos

Número de impactos

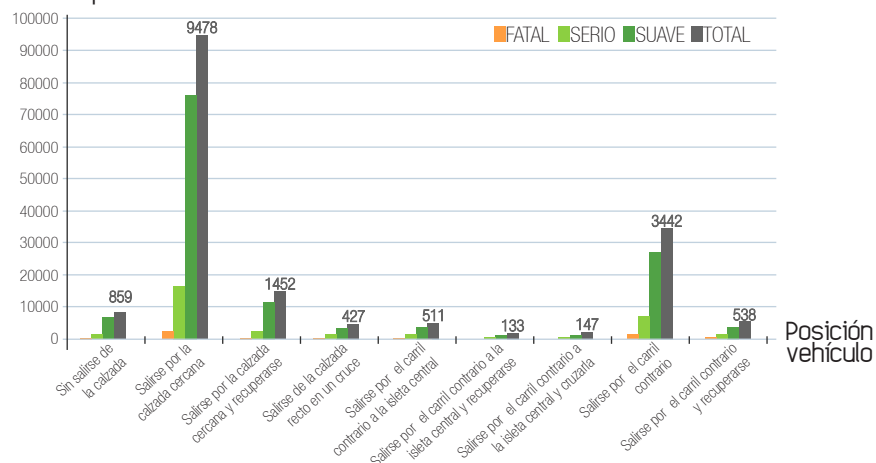


GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

Como podemos observar la mayoría de los accidentes se producen por la salida del vehículo de la vía, por su lado natural, y acabando con una colisión contra el poste de iluminación sin producirse vuelcos o deslizamientos, sino que se suele producir un choque directo.

## \_Vehículo se sale de la calzada

Número de impactos



GRÁFICA: Registro del número de impactos producidos en base a diferentes variables.

Esto hace que el perfil de accidentes más comunes se lleve a cabo:

	<p>Carreteras A: más de 3000 vehículos al día</p> <p>2 carriles de sentido único</p> <p>Situaciones de seco o mojado</p> <p>50/55 km/hora</p>	
	<p>18-25 años (83% de los accidentes)</p> <p>Sin deslizamiento ni vuelco</p> <p>Colisión directa</p> <p>Sin objetos en la calzada</p>	

## 2.5 - EVALUACIÓN DE RIESGOS

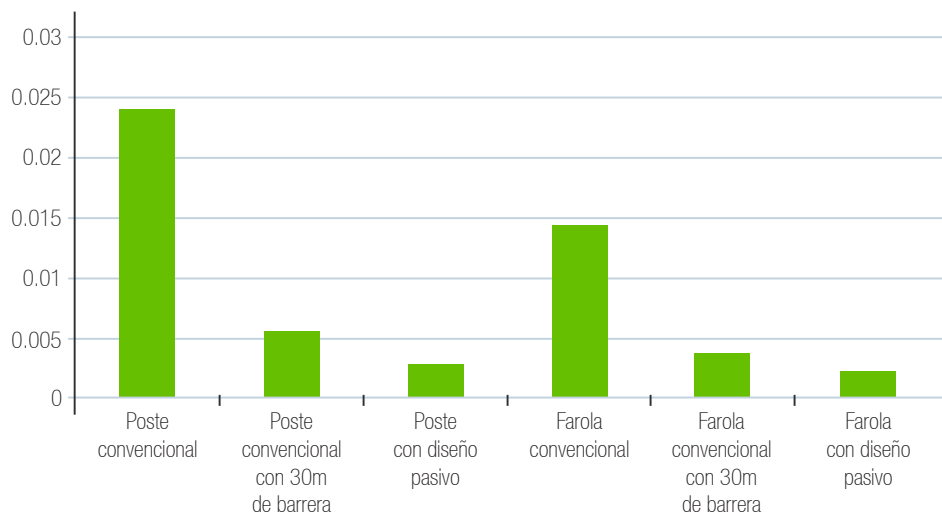
Una vez conocido más o menos el perfil más repetido del accidente que estamos estudiando, pasamos a estudiar los riesgos que tienen los ocupantes de un vehículo de vivir los diferentes tipos de accidentes:

En la siguiente tabla podemos observar el riesgo que tienen los ocupantes de un vehículo de sufrir un accidente en el que colisionen con un objeto (colisión offset) a 2.5 metros en una carretera interurbana.<sup>[B6]</sup>

Objeto	Riesgo
Poste convencional	0.0243
Poste convencional con 30m de barrera	0.00578
Poste con diseño pasivo	0.0027
Farola convencional	0.0146
Farola convencional con 30 m de barrera	0.00364
Farola con diseño pasivo	0.00172

TABLA: Evaluación de riesgos dependiendo el objeto contra el que se impacte

Si lo observamos gráficamente:



GRÁFICA: Evaluación de riesgos dependiendo el objeto contra el que se impacte

## 2.6 - ESTUDIO DE ACCIDENTES POR SALIDA DE VÍA

Como se ha podido observar en los anteriores estudios, la mayoría de accidentes y colisiones producidas con objetos de señalización y postes de iluminación se realizan por la salida de la calzada del vehículo. Por ello, y para comprender todavía mejor este tipo de accidentes pasamos a estudiar este tipo de situaciones en las que el vehículo se sale de la calzada, cómo y porqué se producen.

FUNDACIÓN CIDAUT: ACCIDENTES POR SALIDAS DE VÍA <sup>[B7]</sup>

\_Las salidas de vía en carretera aglutinan el 18% del total de accidentes y el 28% de las víctimas mortales que se registraron en España en el año 2010. Este tipo de accidentes es, con diferencia, el tipo de accidentes que más víctimas genera. Si las cifras se ciñen a los accidentes ocurridos en carretera, las salidas de vía del año 2010 supusieron casi el 40% de los accidentes y más del 35% de las víctimas mortales. Teniendo en cuenta estos datos se plantea este estudio con el objetivo de profundizar en el conocimiento de las circunstancias en las que se producen las salidas de vía en carretera y, de forma particular, se pretende analizar la relación entre este tipo de accidentes con los objetos impactados en los márgenes de la calzada.

En primer lugar, este análisis sirve para describir aspectos generales de los accidentes como la localización espacio-temporal, las características de la vía, los tipos de vehículo implicado.

## \_Gravedad de las víctimas registradas en los accidentes

En la siguiente tabla se recogen las cifras de víctimas registradas en los 130 accidentes estudiados:

Concepto	Total
Nº de salidas de vía en carretera	130
Nº de víctimas mortales	30
Nº de víctimas graves	138
Nº de víctimas leves	233

TABLA: Cifras generales de los accidentes que han compuesto la base del estudio.

## \_Visibilidad, Luminosidad, Superficie y Factores atmosféricos.

El 87% de las salidas de calzada de estos vehículos se produjeron en superficie seca y limpia (en el 27% restante estaba mojada). Por otro lado, el 77% de las salidas ocurrieron bajo buenas condiciones atmosféricas. Respecto a la luminosidad, el 72% de las salidas se produjeron de día, mientras que un 19% ocurrió de noche y sin iluminación.

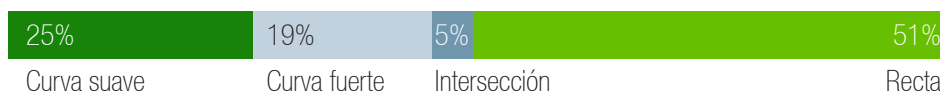
En cuanto a la visibilidad, esta sólo se vio restringida en el 5% de los accidentes.

## \_Características de la vía

La finalidad de este apartado es proporcionar las características relacionadas con la infraestructura vial de las salidas de calzada.

La primera característica que se ha analizado ha sido la alineación de la carretera (Gráfico 2).

Más de la mitad de las salidas de vía se produjeron en una recta, mientras que un 25% ocurrió en curvas suaves, un 19% en curvas fuertes, y finalmente, sólo el 5% fue en intersecciones.



\_Si se atiende a la orientación de la curva en los accidentes que se produjeron en curva se ve que prácticamente no hay diferencias, ya que el 52% sucedieron en curvas hacia la derecha y el 48% en curvas hacia la izquierda.

Otro aspecto que se ha estudiado es el lado de la calzada por donde la abandonaron los vehículos. Considerando sólo la primera salida de calzada el 58,5% fueron hacia la derecha y el 41,5% por el margen izquierdo. Pero en un 22% de los casos (29 casos) los vehículos se salieron primero por un lado, volvieron a entrar en la calzada y después se salieron otra vez por el otro lado. Si sólo se considera el margen de salida final, en el que el vehículo queda ya en reposo, y que normalmente conllevó más gravedad, los porcentajes son: 51,5% de salidas por el margen derecho y el 48,5% por el margen izquierdo.

Respecto al tipo de vía, un 64% de estas salidas ocurrieron en una vía convencional, mientras que el 32% sucedió en autovía. Muy asociado al tipo de vía está el límite de velocidad específico, que fue de 90 km/h en la mitad de las localizaciones y de 120 km/h en el 28% de estos accidentes. En el resto de casos el límite específico de velocidad fue inferior a 90 km/h. Muy ligado al tipo de vía están las características de la infraestructura vial existente.

\_A continuación se muestran los resultados de otras variables de infraestructura vial.

Variable	Categorías	
Anchura de calzada	Menos de 5,99 metros	16,2%
	Entre 6 y 6,99 metros	30,8%
	De 7 metros o más	50,1%
Anchura de carril	De menos de 3,25 metros	34,6%
	Entre 3,25 y 3,75 metros	61,5%
	De más de 3,75 metros	3,8%
Anchura de Berma	Menos de 0,5 metros	71,0%
	Entre 0,5 y 1 metro	25,2%
	Más de 1 metro	3,7%
Marcas viales	Inexistentes o borradas	3,8%
	Sólo separación de carriles	4,6%
	Separación de carriles y bordes	88,5%
	Sólo separación de bordes	3,1%
Arcén	Inexistentes o impracticable	23,8%
	Menos de 1,5 metros	35,4%
	De 1,5 a 2,49 metros	35,4%
	De más de 2,5 metros	3,8%
Barreras de seguridad	Existe	27,7%
	No existe	73,7%
Hitos de arista	Existe	48,5%
	No existe	51,5%
Captafaros	Existe	33,1%
	No existe	66,9%

TABLA: Características de la infraestructura vial en las salidas de calzada.

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

\_Atendiendo a la experiencia, un 18% de los conductores acreditaba menos de dos años de experiencia, mientras que la mitad de conductores tenía menos de diez años. Otra de las características es que un 87% de los conductores eran hombres mientras que sólo un 13% eran mujeres.

\_Como factores más frecuentes que concurrieron en este tipo de accidentes, según opinión del agente, la siguiente tabla muestra cómo fueron la distracción y la velocidad inadecuada los factores de mayor incidencia.

Factor concurrente	Frecuencia del factor en accidentes con víctimas
Distracción	64,6%
Velocidad inadecuada	40,0%
Cansancio, sueño o enfermedad	21,5%
Infracción a norma de circulación	10,0%
Inexperiencia	6,2%
Alcohol o drogas	4,6%

TABLA: Factores concurrentes existentes en salidas de calzada.

\_El estudio específico de las infracciones cometidas en la conducción muestra que casi un 70% de los conductores cometió la infracción de 'conducir de forma distraída o desatenta'. De igual manera, un 41% de los conductores cometió alguna infracción relacionada con la velocidad, generalmente circular a una velocidad inadecuada para las condiciones de la vía (un 26% de los casos).

\_Un 12,5% de los conductores de turismos, camiones y furgonetas no utilizaba cinturón de seguridad en el momento del accidente, y el porcentaje de todos los ocupantes que no utilizaban el cinturón se eleva hasta el 14,9%. Una vez más, hay que reiterar la importancia del uso de los sistemas de retención. Así, las cifras muestran cómo, por ejemplo, mientras que la cifra de ocupantes fallecidos que usaban el cinturón de seguridad se situó entorno al 9%, esta cifra se incrementa hasta más del 24% para los ocupantes que no llevaban ningún sistema de retención.



## 2.7 - EXPERIENCIA EN OTROS PAÍSES

Una vez estudiados los tipos y clases de accidentes más ocurridos, pasamos a estudiar el estado del arte en cuanto a este tema en otros países, principalmente europeos, para ver que avances o mejoras se están llevando a cabo en otros países más desarrollados en este tipo de avances. <sup>[B5]</sup>

### EXPERIENCIA EN REINO UNIDO

\_1960: Se considera por primera vez el concepto de diseño de columnas para minimizar las lesiones de los ocupantes del vehículo ante una colisión en una investigación no publicada por Transport Research Laboratory [TRL]. Mediante una prueba realizada con hormigón convencional y columnas de acero, se encontró que los ocupantes de coches que chocan de frente a velocidades de 35km/h o más son propensos a sufrir lesiones graves. Se propuso entonces el funcionamiento de la instalación de columnas de arceños blandos que permiten que la columna se caiga en el impacto, y las columnas flexibles. Sin embargo, se concluyó que la solución no era capaz de reducir la gravedad de una colisión con un vehículo, ni la potencial velocidad de impacto de la cabeza de los pasajeros.

\_1967: Hignett probó una columna de tubo de acero de 40 pies con el mismo un diseño de pernos en la unión frágil a aproximadamente 100km/h. En este caso Hignett encontró que el impacto habría dado lugar a una desaceleración del ocupante tan leve que es poco probable que hubiera sufrido lesiones. Esta era una gran mejora sobre el diseño de la columna convencional. La columna cayó detrás del coche, no en la parte superior de la misma como en una colisión a baja velocidad, lo que le llevó a concluir que una columna ligera sería más conveniente para colisiones a menor velocidad.

Después de este trabajo, se llevó a cabo una serie de pequeñas instalaciones públicas piloto a gran escala de columnas tubulares de acero desmontables (Walker, 1974). El número de lesiones personales y daños sólo de colisiones que se produjeron en estos sitios se compararon con las cifras de una carretera nacional convencional. Walker descubrió que el costo de las colisiones con las columnas de ruptura fue aproximadamente una quinta parte menos que con la instalación normal. Esto sugiere que los diseños frágiles serían rentables en sitios similares. Posteriormente Moore (1976) informó sobre algunos de los avances logrados en el diseño de columnas frágiles durante la década de 1970.

En los últimos 10 años: el gran avance en cuanto a la aparición de mejores materiales a avanzado mucho camino en este campo. A continuación se muestran ejemplos reales:

\_2008: un vehículo impacta contra una farola a 10mph en Durham. El diseño de la farola hace que tenga un LE (Low Energy absorbing type), está además provista de la caja de electricidad y conexiones.



\_A continuación un choque frente a una farola convencional para comparar:



### EXPERIENCIA EN SUECIA

\_Durante muchos años, VTI (Instituto de transporte y carreteras nacionales de Suecia) ha llevado a cabo pruebas de colisión contra el equipo de seguridad para el entorno del tráfico (Wenäll, 1995). Desde 1994, sin embargo, los documentos de Vialidad Nacional sueca para el diseño de carreteras incorporan normas y requisitos internacionales. Wenäll comenta que las columnas de iluminación menos peligrosas estaban siendo instaladas en casi todos los caminos nuevos en Suecia en aquella época.

\_Un nuevo informe de VTI informó sobre colisiones con columnas de iluminación y otros objetos duros en carretera (Nilsson y Wenäll, 1997). Los autores recomendaron que los postes de acero rígidos debían ser cambiados gradualmente durante la instalación del nuevo alumbrado público por los postes deformables que absorben energía.

\_Una traducción reciente de la Administración Sueca de Carreteras (SRA) da directrices de diseño (SRA, 2004) que proporciona una idea de la actitud actual de la SRA para equipos viales diseñados bajo las reglas de la seguridad pasiva. De acuerdo con el texto traducido, "Los elementos de carretera que estén situados dentro de la zona segura (la región crítica para la seguridad definida en torno a la carretera) y no estén protegidos por barreras de seguridad, deben ser pasivamente seguros y no penetrantes." La SRA considera equipos viales como pasivamente seguros si cumplen los criterios necesarios para el nivel 1 de seguridad para la clase de velocidad elegida de acuerdo con la norma BS EN 12767.

Equipos de carreteras son considerados como inocuos desde el punto de vista de la seguridad vial, si se cumplen los criterios para el ocupante nivel de seguridad 4, para la clase de velocidad 50,. Estos requisitos de seguridad pasiva se aplican principalmente a las estructuras de apoyo, por ejemplo, columnas de iluminación y señales.

- Al elegir el tipo de poste para ser utilizado, se deberían tener en cuenta los gastos que puede suponer el mantenimiento del mismo así como la necesidad prevista para los trabajos de reparación. En los lugares donde se concentran un gran número de vehículos y se exige una protección especial (a lo largo de las autopistas y otras vías con barreras en la mediana), los postes elegidos deberían tener una baja frecuencia de mantenimiento;
- La probabilidad de golpear un poste por la parte trasera debe tenerse en cuenta, por ejemplo, en vías dos sentidos. Para las colocaciones en el centro de los cruces, deben elegirse los postes que son omnidireccional pasivamente seguros;
- Postes con slip-bases (bases atornilladas para mejorar la resistencia de la farola? no se deben utilizar ya que es probable que un vehículo errante pudiera estrellarse contra ellos a un nivel más alto de altura que para lo que fueron diseñados

Las directrices suecas de vialidad también dejan los siguientes puntos clave con respecto a las habilitaciones de clase de velocidad de los postes pasivamente seguros:

- Postes que cumplan las demandas de clase de velocidad 100 se puede utilizar en todo tipo de carreteras;
- Postes que cumplan las demandas de clase de velocidad 70 pueden utilizarse en carreteras con límites de velocidad de 70 kilómetros por hora o menos;
- Postes que cumplan las demandas de clase de velocidad 50 no deben ser utilizados, lo que representa el hecho de que a menudo se producen colisiones graves en entornos con un límite

### EXPERIENCIA EN FINLANDIA

\_Las columnas de iluminación pasivamente seguras tienen un uso muy extendido en Finlandia, y casi todos los modelos son de acero (Lehtonen, 2008A).

\_La Administración Nacional de Carreteras de Finlandia realizó una encuesta sobre el número de accidentes mortales durante 1983-1986 publicado en Finnish Traffic Accident Investigation Boards (Finnish National Road Administration, 1991). Uno de los temas estudiados fue el número de barreras de seguridad, iluminación y otras columnas y estructuras, y el número de colisiones entre estas estructuras. La Administración Nacional de Carreteras de Finlandia comparó los costes derivados de éstas colisiones con los costes de construcción asociados con columnas rígidas y frágiles.

Llegaron a la conclusión que la sustitución de antiguas columnas rígidas por columnas frágiles a menudo era rentable. La inversión podría ser cubierta por el ahorro de costes de colisión en cuatro años, si el tráfico era pesado. Previa solicitud, la Administración de Carreteras de Finlandia (Lehtonen, 2008b) proporcionó los últimos detalles en las carreteras. Los municipios finlandeses no utilizan columnas pasivamente seguras con la frecuencia que la Administración de Carreteras de Finlandia quisiera, aunque se ha demostrado en un estudio que su uso es rentable en las carreteras principales.

\_Un documento de apoyo de Finnra Engineering proporciona detalles de las clases de estructuras que recomienda para su uso la Administración de Carreteras de Finlandia (2005). De acuerdo con este

- Los productos de las clases HE: 100:3, LE: 100:3 y NE :100:2-3 pueden ser usados en todas las carreteras;

- Los productos de las clases HE: 70:3, LE: 70:3 y NE :70:2-3 pueden ser utilizados en las carreteras con un límite de velocidad de 80 kilómetros por hora o menos;

- Cuando una señal se encuentra entre una carretera y un carril bici o de peatones entonces debe considerarse un modelo LE.

Si las estructuras de soporte de señales verticales cumplen con estos requisitos, entonces se clasifican dentro de la Categoría "A". La Administración de Carreteras de Finlandia requiere de estructuras Categoría "A" en las carreteras con alto volumen de tráfico, a menos que las estructuras alternativas pueden colocarse lo suficientemente lejos de la carretera o detrás de una barrera con suficiente longitud.

En carreteras de baja velocidad o de poco tráfico (menos de 1.500 vehículos por día o un límite de velocidad inferior a 50 kilómetros por hora), las estructuras limítrofes que no cumplen con todos los requisitos de la categoría A se pueden utilizar. En tales circunstancias, las estructuras se clasifican en la categoría 'B'.

Una tercera categoría 'C' existe para "estructuras peligrosas". La Administración de Carreteras de Finlandia no recomienda el uso de este tipo de estructuras, aunque hay una advertencia diciendo que, "Postes muy altos se encuentran detrás de una barrera de seguridad, ya que es difícil encontrar apoyos pasivamente seguros con suficiente fuerza."

### EXPERIENCIA EN NORUEGA

\_ Savin (2002) proporciona puntos clave en una carta enviada al Ministerio de Transporte de Noruega a sus oficinas locales que ofrecen asesoramiento sobre la utilización de soportes que no absorben la energía:

- El uso de soportes de absorción de energía debería ser obligatorio para alumbrado, señales y otros equipos, donde el límite de velocidad es superior a 60 kilómetros por hora o si los mástiles no están protegidos de ser golpeados por una barrera o por otros medios;
- Mástiles de absorción de energía deben utilizarse también en las principales carreteras y calles con un límite de velocidad de 50 kilómetros por hora si están situados a menos de 2 m de la carretera;
- El poste no tiene por qué ser de absorción de energía si se halla al lado de una pared de una casa o otro objeto fijo grande;
- Postes SE de alumbrado y señalización LE, señales y otros mástiles (menos de 6 m de altura) debe utilizarse:
  - e) donde es particularmente importante para reducir la velocidad y parar los vehículos sin control, ya que existe el riesgo de que puedan volver a chocar con obstáculos peligrosos, tales como puentes, paredes de roca y otras proyecciones.
  - f) en las zonas urbanizadas y otros lugares donde hay muchos peatones y/o ciclistas que podrían ser lesionados por un vehículo sin control.
  - g) sobre las medianas centrales de las vías, de tal manera que el mástil no caiga en el camino de un vehículo que se aproxima.
  - h) en las zonas entre una carretera y un carril bici o una senda peatonal, donde el límite de velocidad es superior a 60 kilómetros por hora. En general, estos tipos de mástiles normalmente son usados cuando el límite de velocidad es 60 km/h, se requiere la absorción de energía a 50 kilómetros por hora y las medianas en autopistas;
- Estos requisitos deben cumplirse en todas las carreteras nacionales. También se aplicará para carreteras del condado donde las autoridades locales no tienen sus propios requisitos. También se recomienda para los vías en ciudad.

### EXPERIENCIA EN LA UNIÓN EUROPEA

\_ Uno de los resultados de la European Commission Project RISER (Roadside Infrastructure for Safer European Roads) da pautas para la infraestructura vial en las carreteras nuevas y existentes (RISER CONSORTIUM, 2005). En este documento se afirma que los elementos artificiales en la zona segura de la carretera sólo deben estar allí debido a un requisito funcional. "Las columnas de iluminación y de servicios públicos que absorben energía o poseen estructuras de ruptura de sí misma, solo deben ser incorporadas en la zona de borde de la carretera" A lo largo del documento, la modificación de la estructura a través del uso de estructuras que absorben energía y de ruptura se menciona, sin embargo, el documento sólo especifica que estos puntos deben ser probados para cumplir la norma BS EN 12767.

\_ El documento no proporciona información detallada sobre exactamente qué situaciones requieren estructuras con absorción de energía o de ruptura. En su lugar se recomienda el uso de tales estructuras como un medio de protección para estructuras de puntos específicos.

### EXPERIENCIA EN ESTADOS UNIDOS

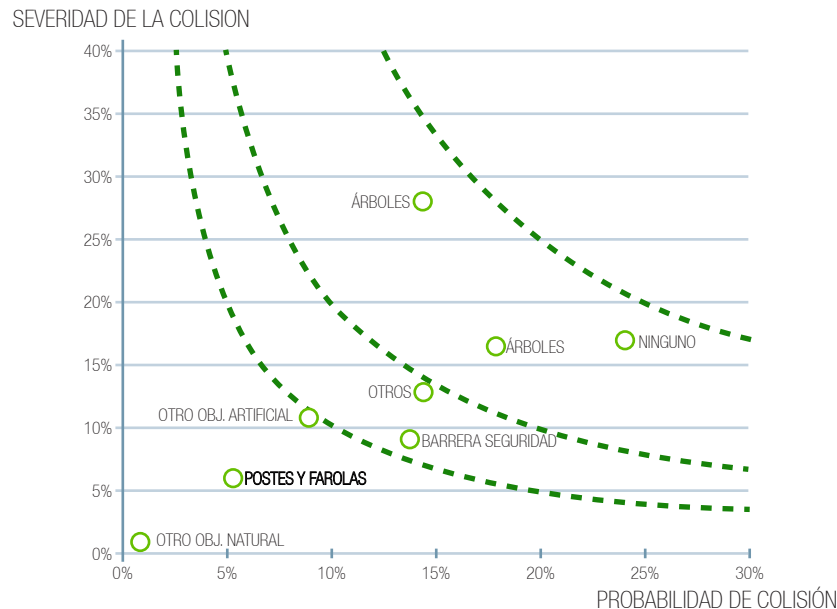
\_Muchas investigaciones se han realizado en los EE.UU. con respecto a los postes de electricidad, incluyendo las columnas de iluminación, que cubren las carreteras urbanas y rurales, la mayoría de estos últimos (por ejemplo Zegeer y Parker, 1984, Marquis, 2001). Las columnas de ruptura han estado en uso durante muchos años en las carreteras de alta velocidad Según Artimovich (2008), la edición de 2000 del Manual de Dispositivos de Control para un Tráfico Uniforme Dispositivos extiende el requerimiento de incluir señales de ruptura en todas las vías públicas de los Estados Unidos. No existen requisitos similares para usar columnas de iluminación de ruptura en todas las carreteras.

\_La mayoría de los departamentos estatales de transporte utilizan habitualmente estructuras de ruptura en sus principales carreteras y también en muchas carreteras secundarias, incluso cuando no son requeridas por la política federal o nacional. Documentos de diseño de la Carretera/Calle Mayores permite a los diseñadores el prohibir el uso de columnas de ruptura cuando hay presencia de peatones, tal vez con la idea de que el vehículo errante no debe de hacer más daño. Artimovich establece que las estructuras de ruptura rara vez se utilizan para las señales de tráfico en los EE.UU.

\_Los autores por Sicking (2008) también han contribuido a la idea de una columna de luz o señal que se rompa. Artimovich sugiere que la Administración Federal de Carreteras debería tratar de cambiar esa mentalidad, y señala que los peatones suelen estar presentes durante el día, mientras que la mayoría de los accidentes de tráfico son eventos nocturnos. Él dice que la recomendación actual es que un estudio de ingeniería se lleva a cabo antes de decidir si desea o no utilizar estructuras no rompibles. Sicking (2008) añade que las únicas excepciones a la utilización de las estructuras de ruptura, que él es consciente, es para las carreteras de baja velocidad con límites de velocidad de alrededor de 40 km/h. Ya que los vehículos actuales se considera que proporcionan suficiente seguridad para sus ocupantes, incluso en choques contra un poste rígido. Por lo tanto, algunos estados toman la posición de que detener el coche que viaja en un pavimento es menos peligroso que dejar al vehículo continuar hacia una casa o un edificio comercial.

## 2.8 - PROBABILIDAD Y SEVERIDAD DE UNA COLISIÓN [B8]

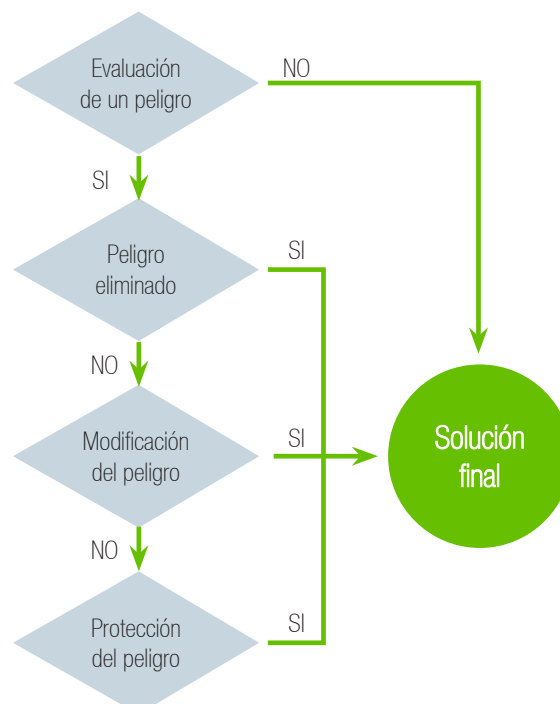
Dentro de los muchos tipos de accidente que pueden ocurrir resulta muy curioso e interesante estudiarlos en una tabla en la que se estudien desde el punto de vista de la probabilidad del tipo de accidente, y de la severidad que pueda tener ese accidente en los pasajeros del vehículo.



GRÁFICA: Probabilidad/Severidad de los accidentes

Si atendemos a esta gráfica, ni la probabilidad ni la severidad hacen a nuestro tipo de accidente uno de los más peligrosos, pero los pocos que hay provocan consecuencias muy determinantes.

\_Una vez pues definido el riesgo al accidente, el protocolo de actuación viene definido en el siguiente gráfico, que nos servirá como manera de proceder en todo lo que queda de proyecto para la consecución de un objetivo final válido.



## 2.9 - DAÑO EN LOS PASAJEROS [B8]

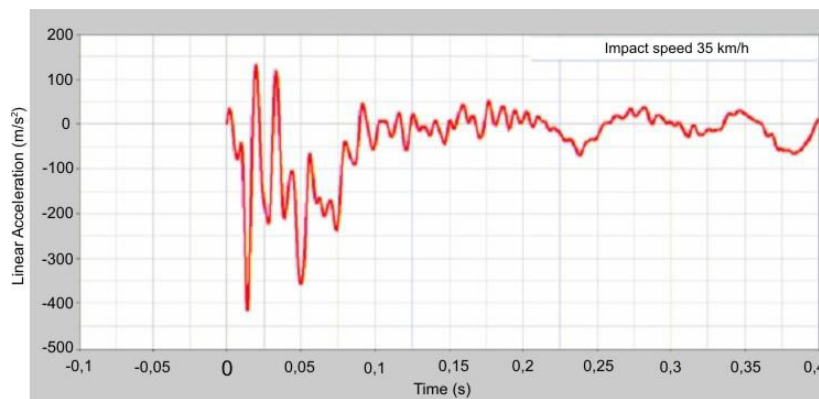
Dentro de los objetivos del proyecto, uno de los más importantes será reducir el impacto directo del choque entre el vehículo y la farola en los pasajeros. Para ello y antes de nada, deberemos conocer cual es ese daño sufrido y en qué cantidad aparece:

\_Los datos estadísticos muestran que la mayoría de los usuarios de la vía van a experimentar al menos una vez en su vida un accidente de coche.

Los accidentes de tráfico se caracterizan con la energía cinética de intercambio no intencionada que experimenta tanto el vehículo como los pasajeros que van en su interior.

En una fracción de segundo las pérdidas de velocidad que puede llegar a sufrir un automóvil llegan hasta la velocidad final de choque, por lo general 0 km/h. Esto ocurre especialmente para colisiones con objetos individuales, como el caso que nos ocupa en este estudio, donde el vehículo termina a 0 km/h empotrado contra un poste de luz.

Partiendo de las leyes físicas de la cinemática, sabemos que la desaceleración que sufrirán los pasajeros aumentará cuanto más pequeño sea el tiempo del accidente. Esta gran desaceleración supondrá pues, una gran suma de fuerzas de inercia que actuarán directamente sobre el cuerpo de los pasajeros.



GRÁFICA: Representación de la aceleración sufrida por el pasajero en un impacto a 35km/h.

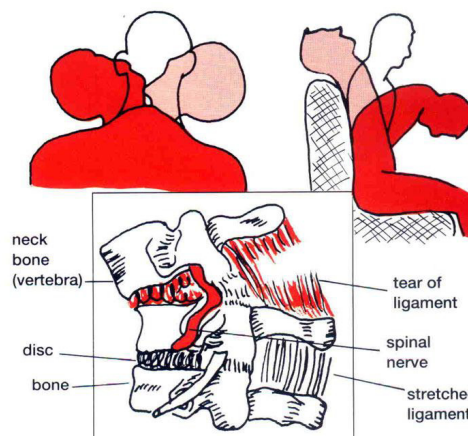
Durante el accidente y como consecuencia de él, pueden cualquiera de los siguiente fenómenos o una combinación de ellos:

\_Los pasajeros experimentan unas altas fuerzas de desaceleración causando graves lesiones, sobre todo en órganos internos, especialmente el cerebro.

\_La colisión puede afectar al estado físico el vehículo produciendo roturas o deformaciones de componentes que causos daños físicos externos directos sobre los pasajeros por contactos físicos pasajero-vehículo.

\_El ocupante puede salir despedido del vehículo a causa de las fuerzas de desaceleración y de no estar suficientemente bien sujeto al vehículo.

\_El pasajero mal sujeto, puede ser despedido al interior del vehículo causando lesiones físicas externas por contacto directo pasajero-vehículo.





## 2.10 - NORMATIVA APLICABLE

Como en cualquier proyecto a llevar a cabo, uno de los principales puntos de partida para comenzar un proyecto es conocer la normativa aplicable al mismo, que deberá cumplir y respetar.

Mucho más importante se hace este tema en campos como la seguridad vial, donde la normativa es mucho más estricta y dinámica, mejorando y cambiando cada año prácticamente.

\_Partiendo de aquí, en primer lugar se pasa a enumerar las diferentes normativas aplicables para luego ahondar en aquellos puntos interesantes para el proyecto que se lleva a cabo.

- **UNE-EN\_12767=2009** "Seguridad pasiva de las estructuras soporte del equipamiento de carretera." Requisitos y métodos de ensayo
- **UNE-EN\_1317-1=2011** "Sistemas de contención para carreteras"  
Parte 1: Terminología y criterios generales para los métodos de ensayo
- **UNE-EN\_1317-3=2011** "Sistemas de contención para carreteras"  
Parte 3: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de impacto y métodos de ensayo para atenuadores de impactos.
- **UNE\_135311=2013** "Señalización vertical"  
Elementos de sustentación y anclaje. Hipótesis de cálculo.
- **UNE\_135314=2011** "Señalización vertical"  
Perfiles de acero galvanizado empleados como postes de sustentación de señales, carteles laterales y paneles direccionales.  
Elementos móviles de sustentación. Tornillería.  
Características y métodos de ensayo.
- **UNE-EN\_12899-1=2009** "Señales verticales fijas de circulación"  
Parte 1: Señales fijas
- **UNE-EN\_12899-4=2009** "Señales verticales fijas de circulación"  
Parte 4: Control de producción en fábrica.
- **UNE-EN\_12899-5=2009** "Señales verticales fijas de circulación"  
Parte 5: Ensayos de tipo iniciales.
- **GUÍA-EA-ANEXO II** "Guía técnica de aplicación: eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior."  
Criterios generales para la redacción de un proyecto de alumbrado.  
Ministerio de Industria, Energía y Turismo



## GUÍA-EA-ANEXO II: Ministerio de Industria, Energía y Turismo <sup>[B9]</sup>

### APARTADO 3: INSTALACIONES DE ALUMBRADO PARA CARRETERAS

\_Las implantaciones utilizadas son generalmente unilateral, del tipo central (con medianas iguales o inferiores a 3m) o bilateral en oposición.

\_Se instalan en la actualidad principalmente lámparas de vapor de sodio a alta presión.

En la implantación de puntos de luz se recomienda situar el soporte a una distancia mínima aproximada de 0,8 a 0,9 m del bordillo de la calzada.

\_En vías de clase A, así como en aquellas otras con una elevada intensidad de tráfico, los soportes cuya ubicación pueda resultar conflictiva, se aconseja reubicarlos adecuadamente.

\_Las luminarias se instalarán siempre con su plato de simetría normal o perpendicular al plano de la calzada, lo que podrá conllevar la necesidad de girarlas sobre la vertical en el caso de tramos de pendiente.

\_Para una circulación segura se recomienda resulten perfectamente visibles al trazado de la carretera, los límites de la misma, los posibles nodos (intersecciones y enlaces) cualquier zona especial de vial. El alumbrado exterior vial se considera debe contribuir a conseguir lo señalado para ello:

- Deberá incrementarse la visibilidad de la calzada respecto a las zonas colindantes y la visibilidad la señalización horizontal, vertical y el balizamiento (marcas viales de los bordes de la calzada, líneas centrales, separación de carriles, barreras de seguridad, balizas, captafaros, hilos, etc)

- La disposición de los puntos de luz (luminarias) deberá permitir detectar a suficiente distancia el trazado de la carretera, los cruces y otras zonas especiales viales, jalonando su recorrido.

El cambio de tipo de fuente de luz de diferente color a la del resto de la vía de tráfico en enlaces, intersecciones, gloriets, circunvalaciones y puntos singulares donde la relación entre accidentes nocturnos y diurnos es elevada, ayudará al guiado visual.

\_Por lo que respecta a la visión de la señalización horizontal y, en concreto, de las marcas viales, la cuestión esencial será asegurar una buena visibilidad por la noche, así como en condiciones de pavimento mojado. En éste último caso los captafaros, los hitos retrorreflectantes y las marcas viales en relieve, al estar por encima de la película de agua de la calzada producida por la lluvia, mantienen la visibilidad proporcionada por el alumbrado viario y los propios faros del vehículo, conservándose el guiado visual y la seguridad viaria.

\_En intersecciones, enlaces, gloriets, zonas de incorporación de nuevos carriles, pasos elevados, curvas pronunciadas y viales en pendiente, áreas en las que se forman embotellamientos, etc. debido a que el trazado viario puede plantear problemas muy complicados en cuanto a visión de estas zonas especiales requieren una singular consideración.

\_Así, en la actuación de los conductores en estos supuestos concurren tres factores básicos que difieren de las situaciones habituales de tráfico:

- Los conductores sufren un aumento de las tareas mentales y visuales a desarrollar en unos periodos de tiempo muy limitados, cuando se aproximan y tratan de circular por estas zonas o tramos especiales.

- El contorno de los objetos u obstáculos no se reconoce muchas veces y muy frecuentemente se suelen presentar problemas de deslumbramiento, provocado bien por las luminarias o proyectores que dirigen el flujo luminoso en sentido contrario al vehículo, o por las luces (cruce y carretera) de los faros a otros vehículos.

- No se dispone de una buena iluminación mediante los faros del vehículo, de forma que resulta insuficiente para la visión de los obstáculos, debido a la geometría de la carretera (curvas cerradas, viales en elevada pendiente, etc) así como a la dificultad de detener el automóvil a velocidades superiores a 60 km/h.

\_En el alumbrado viario de estas zonas especiales se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Necesidad de efectuar un reconocimiento previo in situ con la finalidad de verificar sobre el terreno las posibilidades reales de implantación de la instalación de alumbrado.
- Evitar la instalación de puntos de luz en isletas de pequeñas dimensiones, separadoras o direccionales del tráfico de vehículos, cuya visibilidad puede reforzarse bordeando las misas con dispositivos retrorreflectantes, e incluso luminosos en zonas peri-urbanas pero evitando el deslumbramiento.
- Implantar soportes que correspondan al mismo modelo o como mínimo presenten la misma silueta.

\_En el caso de zonas especiales aisladas situadas en un itinerario que carece de alumbrado viario, la iluminación de dichas zonas deberá permitir a los conductores de los vehículos lo siguiente:

- A larga distancia (800 a 1000 m) divisar una zona luminosa que provoque su atención.
- A media distancia (200 a 500 m) comenzar a percibir una idea de la configuración de la zona especial, mediante un guiado visual llevado a cabo merced a una adecuada disposición de los puntos de luz.
- A corta distancia, ver los obstáculos y trayectoria a seguir sin ningún tipo de ambigüedad.
- A la salida de la zona especial dotada de alumbrado, que durante un tramo, al menos, de 20 m, exista un progresivo decrecimiento de los niveles de iluminación, que posibilite la adaptación de la visión del nivel luminoso de la zona especial a la oscuridad del itinerario viario, de forma que se evite el denominado efecto "agujero negro".

### 2.11 - MATERIALES UTILIZADOS Y EVOLUCIÓN DE MEJORAS

\_Uno de los campos de la ingeniería que más cambios sufre y en el que más se centra la mejora y la investigación es el de los materiales utilizados en los diseños. En el campo de la iluminación de carreteras esto ocurre también y desde los últimos años se está llevando a cabo una mejora y evolución en el uso de materiales.

\_Dentro de los principales materiales utilizados para estos objetos nos encontramos:

#### ACERO

\_Es el material por defecto en fabricación en general, y por supuesto también en este ámbito de iluminación exterior. En los casos en el que las farolas poseen un diseño pasivo, se están empezando a utilizar aceros Docol y aceros al carbono para mejorar la resistencia y deformación del mismo sin aumentar la cantidad de material utilizado en cada objeto.

##### Fabricantes en acero:

Wimed  
Eurocoles  
Tecnopali  
Sahko Jokinen KAPU  
Valmont Stainton



#### ALUMINIO

\_Mucho más ligero que el Acero y mucho más caro también. Son la cara y la cruz del Aluminio en estos momentos. La búsqueda de nuevos materiales están consiguiendo la realización de nuevos Aluminios con capacidades de resistencia muy similares al Acero, pero su elevado precio hace que en objetos como una farola, con su gran capacidad de fabricación, sea un factor determinante.

##### Fabricantes en aluminio:

SAPA  
Lattix AS  
SignPost Solutions  
Varley & Gulliver

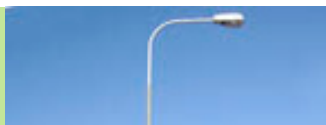


#### COMPOSITES

\_Como en la mayoría de ámbitos, los composites y en especial la fibra de vidrio es el material por el que se está apostando en la actualidad. Sus grandes condiciones mecánicas sumadas a su gran ligereza y sus propiedades en general hacen que se trate de un material muy importante en un futuro próximo en el sector. Actualmente el valor económico sigue siendo el gran inconveniente para este material haciendo que solo 3 marcas se hayan lanzado a su fabricación.

##### Fabricantes en composites:

Spectralyte  
Jerol  
Eurocoles



FUENTE WEB: <http://www.ukroads.org/passivesafety/scripts/products.asp?subcatid=2&catid=1>

### 2.12 - ANÁLISIS FORMAL

\_En todo proceso de diseño, antes de comenzar el propio diseño del objeto, se ha de llevar a cabo una serie de estudios y análisis de cómo se han realizado o terminado otros productos que ya haya en el mercado o de los que se tenga conciencia de su existencia.

Uno de los análisis más importantes a realizar, es el análisis formal del producto. Esta importancia se acentúa aún más en un producto como este, donde la geometría seleccionada al final llevará consigo la responsabilidad de sostener y resistir el impacto del vehículo.

Por ello y antes de comenzar a diseñar el modelo definitivo, se pasa a estudiar una serie de modelos ya comerciales y a estudiar el porqué de sus geometrías:

### FAROLAS URBANAS

\_En primer lugar cabe diferenciar entre las farolas urbanas e interurbanas por las solicitudes y uso diferente que poseen. Cuando vemos farolas urbanas suelen poseer troncos con formas trabajadas y llenas de adornos debido a que se tratan más de un objeto decorativo que de un objeto cuya función sea la seguridad.



### FAROLAS INTERURBANAS

\_En este tipo de farolas la forma viene dada por el uso y el uso no es más que el de proteger a los pasajeros del vehículo ante un posible impacto salvando sus vidas.

En este tipo de farolas se apuesta más por troncos progresivos con una disminución de sección hacia la altura máxima de la farola.

La mayoría de secciones son circulares (por su barata fabricación) pero en farolas con diseños pasivos que ya funcionan en la actualidad predominan las secciones poligonales formadas por polígonos de entre 9 y 19 lados.

Además suelen tener refuerzos en las bases en caso y las puertas de acceso a los cables suelen estar lo más tangentes posibles a la geometría del tronco para que no sobresalgan y empeoren su comportamiento ante una colisión frontal o lateral del vehículo.



## 2.12 - CONCLUSIONES DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA

Como conclusiones de toda la información obtenida y expuesta con anterioridad se hayan los siguientes guiones, que nos servirán como líneas de actuación hacia el nuevo estudio mecánico a desarrollar:

- 1■ En los últimos cinco años, las carreteras españolas se han cobrado 1.394 vidas a causa de colisiones contra elementos rígidos como farolas, árboles o postes, con una media de 279 fallecidos cada año, por no mencionar los casi 11.532 heridos que se han producido en las mismas circunstancias.
- 2■ Tras las colisiones frontales de dos vehículos, el choque contra postes o árboles es el tipo de accidente más lesivo.
- 3■ Según el Consejo Europeo de Seguridad en el Transporte, los accidentes de vehículos que tras salirse de la calzada colisionan contra árboles, postes o señales es el mayor problema de seguridad vial internacional.
- 4■ En 2003 entró en vigor la normativa europea EN12767, referente a las condiciones que deben cumplir en seguridad pasiva las estructuras de soporte para equipamientos viarios.
- 5■ Según el experto Doug Simpson, hasta la fecha las autoridades que decidían el tipo de columnas a instalar no exigían en sus compras el comportamiento adecuado en cuanto a seguridad pasiva. En adelante esas autoridades tendrán que justificar, ante ellas mismas y los ciudadanos, el que no se exija la instalación, allí donde se requiera, de los niveles de seguridad adecuados conforme a la norma EN 12767
- 6■ Según el estudio "Collision and Consequence" de la Swedish National Road Administration, los choques contra objetos rígidos, como postes y árboles están entre los accidentes más lesivos, incluso cuando el vehículo involucrado circula dentro de los límites legalmente establecidos.
- 7■ En aquellas localizaciones que las autoridades británicas ha podido catalogar como puntos negros, se ha tomado la medida de iluminarlos por medio de farolas de fibra de vidrio.
- 8■ Pruebas de choque reales han permitido verificar que en una colisión a partir de 35 km/h, una farola de fibra se parte por el punto de impacto y se levanta en el aire permitiendo al vehículo que continúe su trayectoria con una disminución de velocidad de un 30% que es absorbida por la farola.
- 9■ El uso de farolas de fibra de vidrio está especialmente indicado en zonas de velocidad media-alta de circulación, no siendo necesario el uso de guardarrail, con el consiguiente ahorro de coste.
- 10■ Según una investigación llevada a cabo en los Estados Unidos, las farolas de polímeros y fibra pueden llegar a reducir el número de lesiones alrededor de un 30 por ciento.
- 11■ Expertos en tráfico británicos consideran razonable especular que una colisión con un elemento diseñado de acuerdo al nuevo patrón de seguridad pasiva, frente a uno rígido, puede reducir el nivel de lesiones en un grado. Por tanto los fallecidos serían heridos graves, los graves pasarían a leves y los leves resultarían indemnes.

## 3.1 - OBJETIVOS DEL ESTUDIO

\_Una vez se ha introducido durante toda la fase de información la situación y el campo de estudio, se pasa a exponer cómo se va a realizar el estudio y para comenzar se va a definir el objetivo y la planificación que se llevará a cabo.

- 1■ Para comenzar el estudio de impacto, se deberán seleccionar las herramientas gráficas y de cálculo que se van a utilizar y que proporcionarán un resultado óptimo y una rentabilidad en cuanto a los recursos invertidos para los cálculos.
- 2■ Con las herramientas seleccionadas, el segundo paso será comprobar la validez de los cálculos realizados y para ello se va a estudiar uno de los mejores modelos de farola comercial con diseño pasivo para comprobar el funcionamiento y comportamiento de éste, y una vez se comprobados y correlados los mismos resultados que esta farola comporta, pasaremos al diseño de nuestro modelo.
- 3■ Comienzo del estudio paramétrico de algunos aspectos del diseño de la farola, ya sean geométricos o de materiales o cimentación, para ver la importancia que tienen sobre el resultado final.
- 4■ Obtención de conclusiones de los estudios realizados y creación de líneas de actuación en el nuevo diseño. Creación de especificaciones de diseño.
- 5■ Fase de diseño del nuevo modelo. Selección de geometría y materiales utilizados.
- 6■ Ensayos sobre el nuevo modelo. Análisis de los resultados obtenidos, y si fuera necesario, rediseño hasta conseguir el prototipo final.
- 7■ Conclusiones finales y presentación final del producto.

### 3.2 - HERRAMIENTAS DE CÁLCULO

\_Para llevar a cabo el estudio que compete este proyecto se van a utilizar diferentes herramientas gráficas y de cálculo para poder analizar el comportamiento de las farolas en torno a las diferentes solicitaciones a cumplir. Todas ellas se utilizarán gracias a licencias de versión estudiante que los productores facilitan al sector universitario:

Diferenciamos pues, 3 tipos de herramientas:

#### HERRAMIENTA DE DIBUJO

La herramienta utilizada para el dibujo de los modelos que se ensayarán después ha sido SolidWorks, por su facilidad de exportación de formatos que faciliten el trabajo en las siguientes herramientas.



#### HERRAMIENTA DE MALLADO

Una vez realizados los modelos 3D de las farolas a estudiar pasamos a exportarlos y abrirlos en el programa de mallado para realizar una malla detallada que nos facilite el trabajo y nos de los resultados apropiados en el cálculo mecánico de impacto.



#### HERRAMIENTA DE CÁLCULO ESTÁTICOS

Se realizarán breves cálculos estáticos referidos a cargas de viento para comprobar que los modelos de farola cumplen con la normativa vigente, para los que se usará la herramienta SolidWorks por su simplicidad.



#### HERRAMIENTA DE CÁLCULO DINÁMICO

Para la realización de los cálculos dinámicos de impacto de vehículo se utilizará una herramienta potente y sencilla a la vez como se trata del motor de cálculo LS DYNA.



#### HERRAMIENTA DE PROCESADO DE RESULTADOS

Se utilizará a herramienta de software DIAdem para realizar el procesado de los resultados obtenidos en LS-Dyna. DIAdem permite sumar gráficas y calcular parámetros de impacto como será en este caso el ASI y el THIV





### 3.3 - MODELO A ANALIZAR

\_Dentro de la fase de cálculo del proyecto, como se ha comentado con anterioridad, lo primero que hay que comprobar es la validez del modelo y las herramientas de cálculo, para una vez conseguida una buena programación de las herramientas, pasar a diseñar el nuevo modelo y poder comprobar su validez.

\_En este apartado buscamos conocer si el modelo utilizado es válido, para lo que nos servimos de un modelo de farola, del que disponemos no solo que cumple la normativa, sino una serie de videos del ensayo de crashtest realizado con un vehículo de la misma clase que el disponible numéricamente que utilizaremos en el estudio.

\_Una vez estudiado el modelo, pasaremos a alterar algunos valores o parámetros del mismo para ver cómo mejora o empeora el modelo, con el fin de conocer las direcciones en las que deberán ir las modificaciones del mismo para llevar a cabo un diseño final que funcione mejor y suponga un ahorro económico en cuanto al uso de material y a la fabricación del modelo.

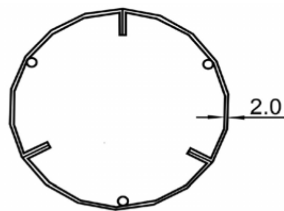
### KAPU - FINLANDIA [B10]



Fabricante:  
Sahko-Jokinen Oy  
Rauhalaammintie 13, FI-29600  
NOORMARKKU FINNLAND

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

Diámetro general de la planta: 218 mm  
Altura nominal: 12 m  
Deflexión máxima: 10%  
Material de la columna: STEEL DOCOL EN ISO 1461  
Material final: GALVANIZED TO EN ISO 1461  
Resistencia del material: 280 N/mm<sup>2</sup>  
Dimensiones puerta: 400 x 95 mm



#### DISEÑO DE LA SECCIÓN

Polígono de 11 lados de 2 mm de espesor  
3 nervios laterales que rigidizan la sección

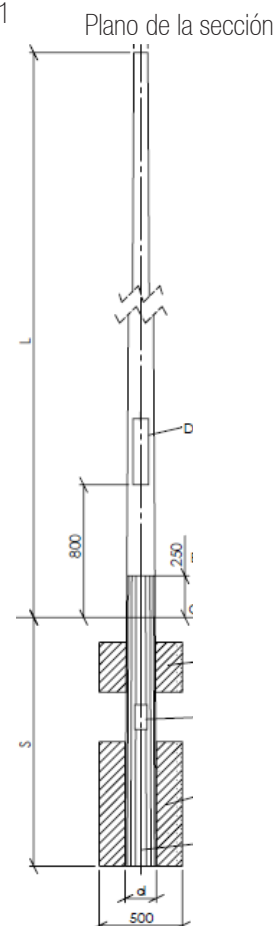
#### COMPORTAMIENTO FRENTE A IMPACTO



Diseño de columna de impacto: NE



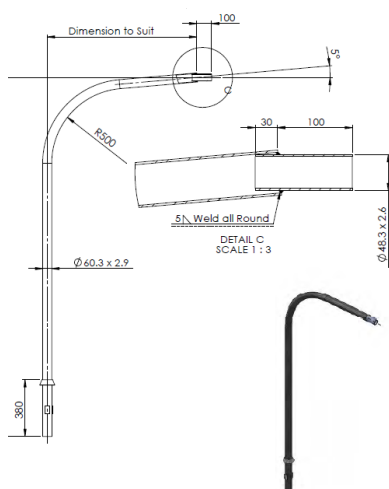
Diseño de columna de impacto: HE





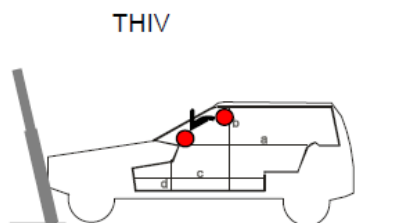
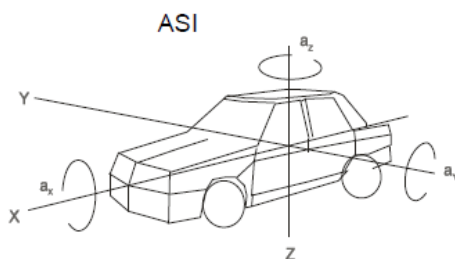
## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

### CABEZAL A ESTUDIAR



Se ha seleccionado la mayor dimensión del cabezal para que se trate del caso más desfavorable ante una posible carga de viento o vuelco de la farola. Brazo de 2500 mm

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS



Categorías de absorción de energía	Nivel de seguridad de los ocupantes	Velocidades			
		Ensayo de impacto obligatorio a baja velocidad 35 km/h		Ensayos de impacto con la clase de velocidad 50 km/h, 70 km/h y 100 km/h	
		Valores máximos		Valores máximos	
		ASI	THIV km/h	ASI	THIV km/h
HE	1	1,0	27	1,4	44
HE	2	1,0	27	1,2	33
HE	3	1,0	27	1,0	27
LE	1	1,0	27	1,4	44
LE	2	1,0	27	1,2	33
LE	3	1,0	27	1,0	27
NE	1	1,0	27	1,2	33
NE	2	1,0	27	1,0	27
NE	3	0,6	11	0,6	11

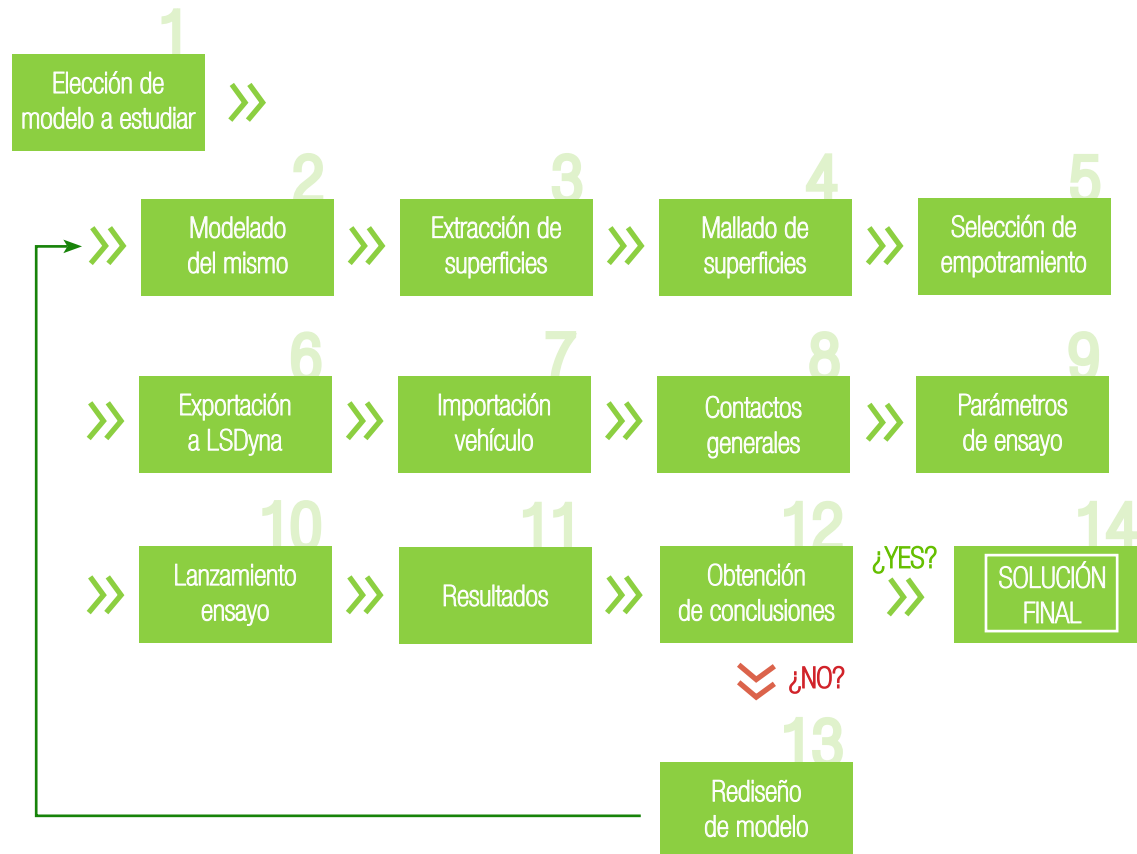
Velocidad de impacto, $v_i$ km/h	50	70	100
Categoría de absorción de energía	Velocidad de salida, $v_e$ , en km/h		
Alta absorción de energía (HE)	$v_e = 0$	$0 \leq v_e \leq 5$	$0 \leq v_e \leq 50$
Baja absorción de energía (LE)	$0 < v_e \leq 5$	$5 < v_e \leq 30$	$50 < v_e \leq 70$
Sin absorción de energía (NE)	$0 < v_e \leq 50$	$30 < v_e \leq 70$	$70 < v_e \leq 100$

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

### 3.4 - PROCESO DE TRABAJO

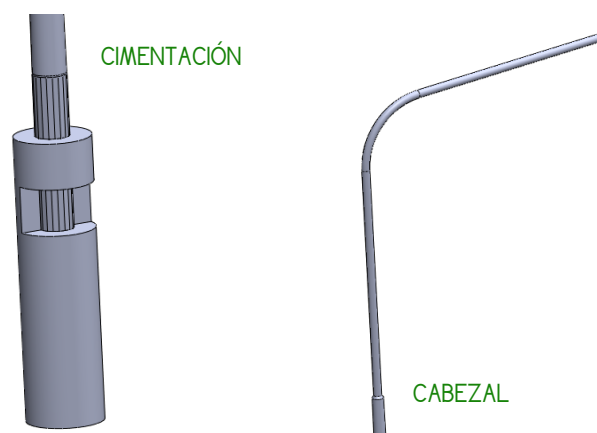
\_Una vez elegido el modelo a estudiar, ¿cuál es el siguiente paso?

A continuación se muestra el recorrido fijo que deberán llevar los modelos existentes primero, y nuestro nuevo diseño después para comprobar su validez.



### 3.5 - DIBUJO DE MODELOS

\_El primer paso del estudio consiste en el dibujo de las geometrías de los 2 modelos de farolas a estudiar, para lo que, como se ha comentado anteriormente, se ha utilizado la herramienta de dibujo SolidWorks, obteniendo, gracias a los planos, las siguientes geometrías.



Para facilitar el proceso del mallado en Patran, una vez conseguida la geometría de los modelos, y antes de realizar su exportación a Patran, necesitamos obtener la geometría en superficies, con el fin de convertirlas en mallas.

Una vez obtenida la malla se indicará dentro de Patran, y antes de pasar la geometría a LS-Dyna, el espesor de cada una de las partes.

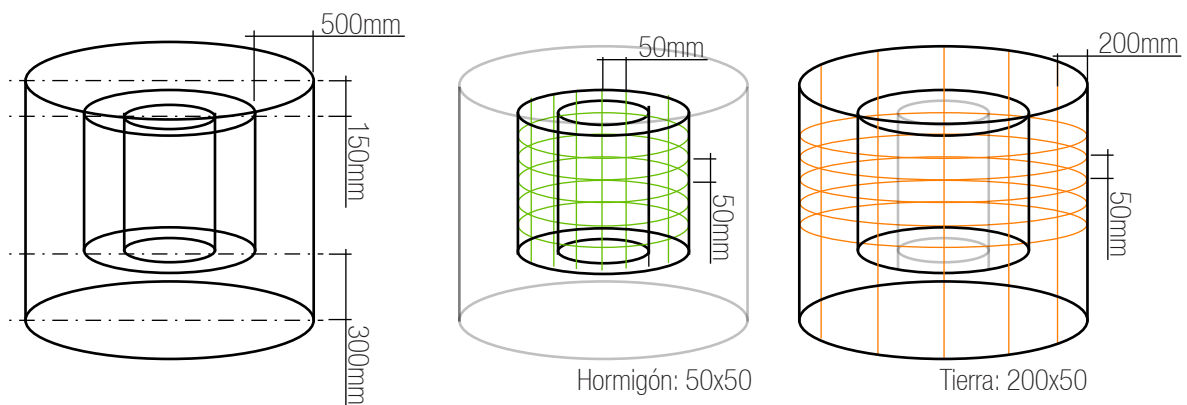
## 3.6 - MALLADO DE MODELOS

\_Una vez obtenidas las geometrías de los modelos, pasamos a exportarlos en un formato genérico válido para la mayoría de los programas como es el formato .IGES, para poder importarlo en PATRAN que será la herramienta utilizada para realizar el mallado.

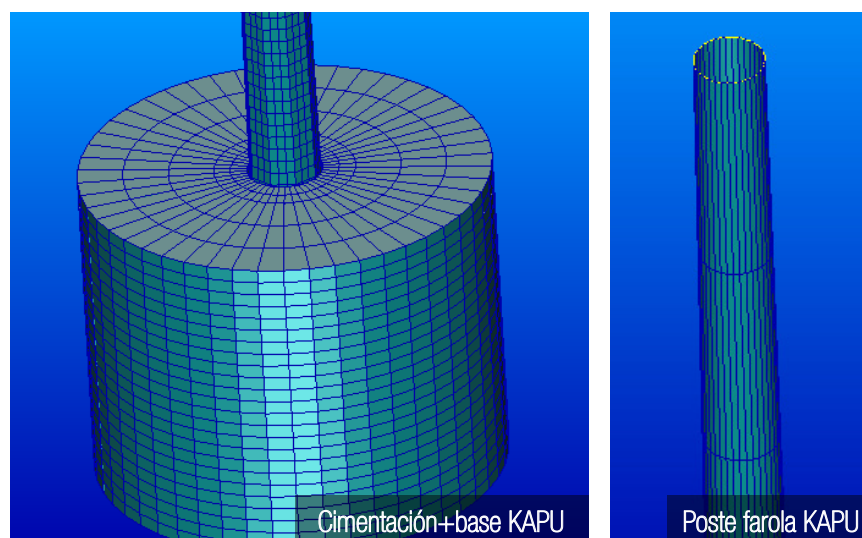
\_Dentro de PATRAN, se ha llevado a cabo una serie de consideraciones a seguir, para conseguir que los modelos sean lo más equivalentes posibles para conseguir resultados y conclusiones adecuadas.

### CIMENTACIÓN

\_Dentro de la cimentación deberemos entender 2 compuestos diferentes, la cimentación propia definida como un bloque de hormigón, y el "suelo" representado por otro bloque cilíndrico de arena de 1 metro de espesor.



\_En cuanto al mástil de los modelos de farola, el mallado seleccionado ha sido compuesto por elementos hexagonales cuyas dimensiones dependieron de la geometría del mástil



Este modelo de farola tiene 2 tipos de sección, poligonal en su base hasta la zona de impacto y circular a partir de ella. Se ha utilizado un mallado de 3 elementos por lado poligonal (3 elementos x 18 lados = 54 elementos) mediante elementos lámina (shell), y los mismos para la zona circular para garantizar la equivalencia del mallado.

### 3.7 - MATERIAL PARA LOS MODELOS

\_Uno de los apartados más difíciles de representar a la hora de realizar cálculos dinámicos se trata de los diferentes materiales del ensamblaje a estudiar.

Dentro del caso que nos ocupa, el acero como material fundamental puede resultar el más sencillo de representar, y dependerá del diseño de cada uno de los modelos de farola a estudiar.

\_Para el caso de la Farola KAPU, por ejemplo se trata de:

■ **Acero: Docol ISO 1461**

```
*PART
$# title
poste
$#      pid      secid      mid      eosid      hgid      grav      adpopt      tmid
          2          2          2          0          0          0          0          0
*SECTION_SHELL
$#      secid      elform      shrf      nip      propt      qr/irid      icomp      setyp
          2          1      0.000          0          0          0          0          0
$#      t1      t2      t3      t4      nloc      marea      idof      edgset
      2.000000  2.000000  2.000000  2.000000      0.000      0.000      0.000      0
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$#      mid      ro      e      pr      sigy      etan      fail      tdel
          2  7.8900E-9  2.1000E+5  0.300000  280.00000      0.000      1E+20      0.000
$#      c      p      lcsc      lcsr      vp
          0.000      0.000      100008      0      0.000
$#      eps1      eps2      eps3      eps4      eps5      eps6      eps7      eps8
          0.000  0.026000      0.000      0.000      0.000      0.000      0.000      0.000
$#      es1      es2      es3      es4      es5      es6      es7      es8
      280.00000  370.00000      0.000      0.000      0.000      0.000      0.000      0.000
```

Propiedades físicas	Medida
Densidad	7,89 g/cc
Propiedades Mecánicas	Medida
Tensile Strength, Ultimate	370-450 MPa
Tensile Strength, Yield	280-350 MPa
Elongation at Break	>= 26%
Bend Radius, Minimum	>=0,00 t

Fuente: SSAB Tunntat Docol. Matweb: Material property data.

\_En el caso del hormigón, el caso se complica y el material se ha simulado como un elemento elástico ya que se ha comprobado en los videos y en ensayos previos que no es un elemento que sufra rotura, y se ve representado en los siguientes parámetros que vemos a continuación.

■ **Hormigón**

```
*PART
$# title
hormigon
$#      pid      secid      mid      eosid      hgid      grav      adpopt      tmid
          1          1          1          0          0          0          0          0
*SECTION_SOLID
$#      secid      elform      aet
          1          1          0
*MAT_ELASTIC
$ Material : hormigon
$#      mid      ro      e      pr      da      db      not used
          1  2.2000E-9  27000.000  0.200000      0.000      0.000      0
```

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

\_Por último, el caso más complicado que se debe representar en nuestro cálculo será la Tierra en la que se enterrará la farola. Para representarlo, se han obtenido los datos de un artículo de investigación publicado en:

### Tierra

```
*PART
$# title
tierra
$#      pid      secid      mid      eosid      hgid      grav      adopt      tmid
      3          3          3          0          0          0          0          0
*SECTION_SOLID
$#      secid      elform      aet
      3          1          0
*MAT_SOIL_AND_FOAM
$ Material : tierra
$#      mid      ro      g      bulk      a0      a1      a2      pc
      3 1.7000E-9 49.500000 185.00000 0.012013 0.000 0.000 -0.172390
$#      vcr      ref
      0.000      0.000
$#      eps1      eps2      eps3      eps4      eps5      eps6      eps7      eps8
      0.000 0.010000 0.016000 0.020000 0.030000 0.300000 0.000 0.000
$#      eps9      eps10
      0.000      0.000
$#      p1      p2      p3      p4      p5      p6      p7      p8
      0.000 0.958000 1.875000 2.565000 4.398000 5.398000 0.000 0.000
```

FUENTE: Artículo

## 3.8 - VEHÍCULO PARA EL ENSAYO

\_Para realizar el ensayo, además del modelo de farola a ensayar y la interpretación de los materiales adecuadamente, resulta fundamental que el objeto que va a impactar sobre el objeto a estudiar sea un modelo de confianza que esté compuesto por una serie de masas e inercias que hagan que su comportamiento se aproxime al de un vehículo real.

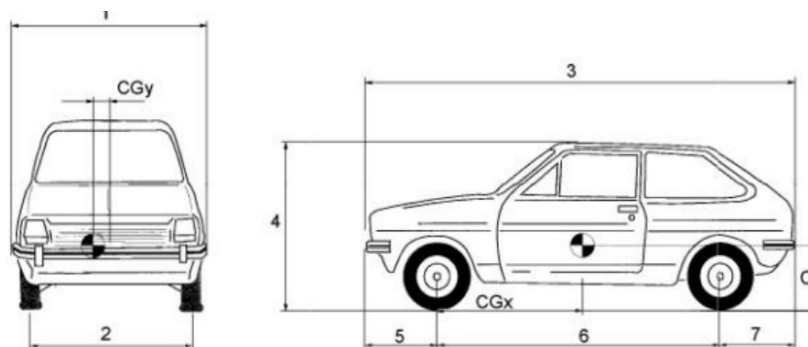
Para conseguir esto, nos hemos servido de una base de datos (NCAC Models) de modelos para cálculo con LS-Dyna donde se puede ver una gran cantidad de modelos interesantes. Para nuestro caso, se utiliza uno con el que, por experiencia propia se sabe que los resultados a obtener son muy precisos.

### GEO METRO REDUCED MODEL



16,100 elements  
Date posted: 2000 Oct 21  
Peso total: 900kg  
<http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>

A continuación se pasa a justificar su elección de acuerdo con la Normativa vigente aplicable al estudio:

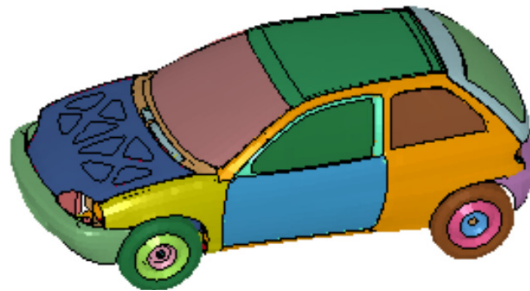


## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

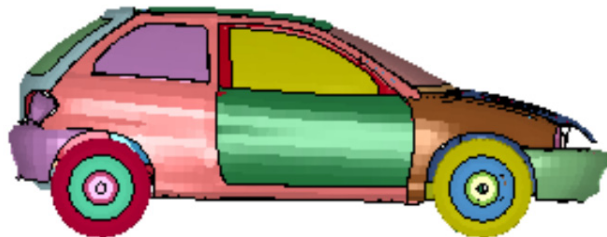
Los datos y dimensiones del vehículo que se deben indicar de acuerdo con la norma UNE-EN 12767 (Seguridad pasiva de las estructuras soporte del equipamiento en carretera. Requisitos y métodos de ensayo) son:

- \_1: **Anchura** (medida en la anchura máxima d la carrocería): 1572mm.
- \_2: **Vía** (distancia entre ruedas): 1364mm.
- \_3: **Longitud** (excluido el gancho para remolques): 3705mm.
- \_4: **Altura**: 1365mm.
- \_5: **Voladizo delantero**: 680mm.
- \_6: **Batalla** (distancia entre ejes): 2420mm.
- \_7: **Voladizo trasero** (excluido el gancho para remolques): 605mm

El Geo Metro, vehículo de dos o cuatro puertas, equipado con un motor de 1 litro y 3 cilindros que produce 55 caballos y conectado a una transmisión manual de 5 velocidades era una variación de la comercialización y fabricación de la Suzuki Cultus disponible en Norteamérica desde 1989 hasta 2001 como un esfuerzo conjunto de GM y Suzuki. Tiene un consumo de gasolina en tráfico urbano de unos 17 km por litro, mientras que en carretera supera los 20 km por litro. La economía de combustible es casi comparable a la de los modernos híbridos de hoy en día.



A continuación se ven las 2 vistas principales del modelo descarga de Geo Metro Reduced:



Vista lateral. Geo Metro Reducen (16100 elementos)



Vista superior. Geo Metro Reducen (16100 elementos)

## 3.9 - NORMATIVA DEL ENSAYO

\_Como no puede ser de otra manera, a la hora de realizar un ensayo que venga definido por una Normativa Europea, lo primero que debemos hacer y antes de comenzar será ver los requisitos y conformidades que ésta indica para que la validez del ensayo sea completa.

Junio 2009

### TÍTULO

**Seguridad pasiva de las estructuras soporte del equipamiento de la carretera**

**Requisitos y métodos de ensayo**

\_Así lo primero a destacar dentro de la normativa será conocer las distintas categorías que existen dentro de ella, para después definir cada una de ellas por separado con el fin de comprenderlas con mayor claridad.

	<b>Alternativas</b>	<b>Apartado</b>
Clase de velocidad	50, 70 ó 100	4.1.1
Categoría de absorción de energía	HE, LE, o NE	4.1.2
Nivel de seguridad de los ocupantes	1, 2, 3 ó 4	4.1.3

TABLA: Tipos de comportamiento.

\_Nuestro primer modelo a estudiar es una farola 100HE2, y el objetivo final del estudio es la consecución de un modelo de farola 100HE3.

Los diferentes niveles de seguridad de los ocupantes, así como las categorías de absorción de energía, permiten a las administraciones de carreteras nacionales y locales especificar el nivel de eficacia o comportamiento de una estructura soporte del equipamiento de la carretera, en términos de efectos sobre los ocupantes de un vehículo, en caso de impacto con la estructura. Entre los factores a tener en cuenta, se distinguen:

- \_El riesgo percibido de accidente corporal y la relación coste-beneficio probable;
- \_El tipo de carretera y configuración geométrica;
- \_Las velocidades típicas del vehículo en el lugar considerado;
- \_La presencia de otras estructuras, árboles, peatones;
- \_La presencia de sistemas de contención de vehículos.

<b>Clase de velocidad</b> km/h	<b>Velocidades de impacto</b> km/h
50	35 y 50
70	35 y 70
100	35 y 100

TABLA: Velocidades de impacto

Las estructuras soporte se deben clasificar de acuerdo con la categoría de absorción de energía correspondiente a la clase de velocidad seleccionada, en función de la velocidad de salida indicada en la tabla. Las categorías de las estructuras soporte son, de alta absorción de energía (HE), de baja absorción de energía (LE) y sin absorción de energía (NE).

<b>Velocidad de impacto, <math>v_i</math></b> km/h	50	70	100
<b>Categoría de absorción de energía</b>	<b>Velocidad de salida, <math>v_e</math>, en km/h</b>		
Alta absorción de energía (HE)	$v_e = 0$	$0 \leq v_e \leq 5$	$0 \leq v_e \leq 50$
Baja absorción de energía (LE)	$0 < v_e \leq 5$	$5 < v_e \leq 30$	$50 < v_e \leq 70$
Sin absorción de energía (NE)	$0 < v_e \leq 50$	$30 < v_e \leq 70$	$70 < v_e \leq 100$

TABLA: Categorías de absorción de energía

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

### REQUISITOS DE LA NORMATIVA

#### Elementos desprendidos y penetración:

Ni la estructura a ensayar, ni ningún elemento, fragmento y otro resto desprendido de la estructura, debe penetrar en el habitáculo. Está permitido que el parabrisas resulte roto pero no atravesado.

#### Comportamiento del vehículo:

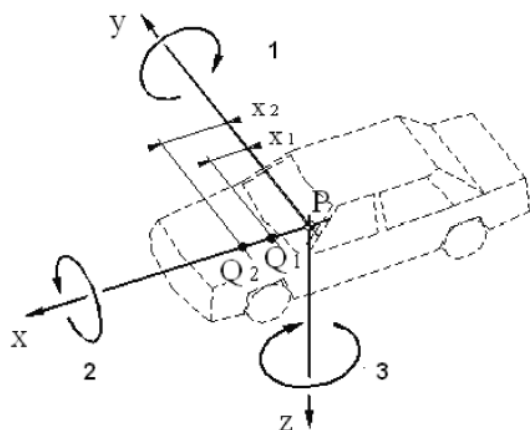
El vehículo debe permanecer estable a lo largo de una distancia mínima de 12 m después del punto de impacto con un ángulo de balanceo inferior a 45° y un ángulo de cabeceo inferior a 45°. El derrape está aceptado.

#### Requisitos suplementarios para postes y pórticos de sustentación de paneles:

Una vez transcurridos 15 min después del impacto, el punto más bajo de la estructura de soporte o de cualquiera de los paneles montados en la misma, no debe estar a menos de 4,0 m de altura. Estos requisitos de tiempo y de altura sólo se aplican a los puntos situados por encima de la calzada para la circulación. Los reglamentos nacionales pueden especificar otros límites de altura.

#### Índice de severidad de la aceleración (ASI):

El valor máximo del índice ASI con respecto a cada clase de velocidad, categoría de absorción de energía y nivel de seguridad de los ocupantes, no debe ser superior al valor especificado en la tabla.



$$\begin{aligned}
 a_{x1} &= a_{xP} - x_1(\omega_y^2 + \omega_z^2) \\
 a_{x2} &= a_{xP} - x_2(\omega_y^2 + \omega_z^2) \\
 a_{y1} &= a_{yP} + x_1(\dot{\omega}_z + \omega_x\omega_y) \\
 a_{y2} &= a_{yP} + x_2(\dot{\omega}_z + \omega_x\omega_y) \\
 a_{z1} &= a_{zP} - x_1(\dot{\omega}_y - \omega_x\omega_z) \\
 a_{z2} &= a_{zP} - x_2(\dot{\omega}_y - \omega_x\omega_z)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{xQ} &= a_{xP} - x(\omega_y^2 + \omega_z^2) \\
 a_{yQ} &= a_{yP} + x(\dot{\omega}_z + \omega_x\omega_y) \\
 a_{zQ} &= a_{zP} - x(\dot{\omega}_y - \omega_x\omega_z)
 \end{aligned}$$

$$a_{xP} = \frac{x_1 a_{x2} - x_2 a_{x1}}{x_1 - x_2}$$

$$a_{yP} = \frac{x_1 a_{y2} - x_2 a_{y1}}{x_1 - x_2}$$

$$a_{zP} = \frac{x_1 a_{z2} - x_2 a_{z1}}{x_1 - x_2}$$

$$ASI(k) = \left[ \left( \bar{A}_x / 12 \right)^2 + \left( \bar{A}_y / 9 \right)^2 + \left( \bar{A}_z / 10 \right)^2 \right]^{0.5}$$

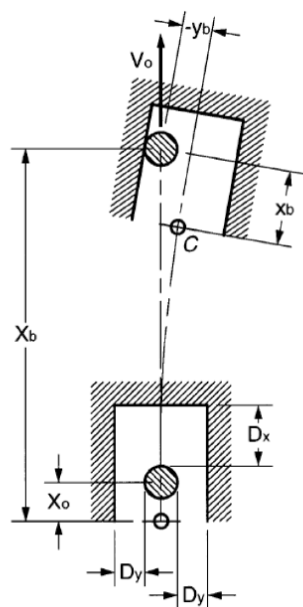


### Velocidad teórica de choque de la cabeza (THIV):

El valor máximo de la velocidad THIV con respecto a cada clase de velocidad, categoría de absorción de energía y nivel de seguridad de los ocupantes, no debe ser superior al valor especificado en la tabla.

Categorías de absorción de energía	Nivel de seguridad de los ocupantes	Velocidades			
		Ensayo de impacto obligatorio a baja velocidad 35 km/h		Ensayos de impacto con la clase de velocidad 50 km/h, 70 km/h y 100 km/h	
		Valores máximos		Valores máximos	
		ASI	THIV km/h	ASI	THIV km/h
HE	1	1,0	27	1,4	44
HE	2	1,0	27	1,2	33
HE	3	1,0	27	1,0	27
LE	1	1,0	27	1,4	44
LE	2	1,0	27	1,2	33
LE	3	1,0	27	1,0	27
NE	1	1,0	27	1,2	33
NE	2	1,0	27	1,0	27
NE	3	0,6	11	0,6	11
NE	4	Ningún requisito	Ningún requisito	Véase el apartado 5.6	

TABLA: Seguridad de los ocupantes



$$X_b = x_0 - X_c; \quad \dot{X}_b = -\dot{X}_c$$

$$Y_b = y_0 - Y_c; \quad \dot{Y}_b = -\dot{Y}_c$$

$$x_b(t) = (x_0 - X_c) \cos \psi + (y_0 - Y_c) \sin \psi \quad X_c = \int_0^t \dot{X}_c dt$$

$$y_b(t) = -(x_0 - X_c) \sin \psi + (y_0 - Y_c) \cos \psi \quad Y_c = \int_0^t \dot{Y}_c dt$$

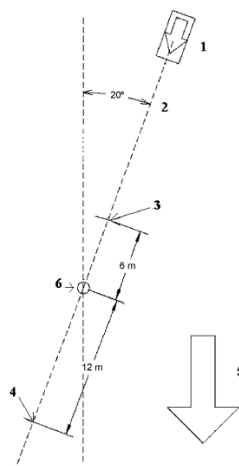
$$\dot{x}_b(t) = -\dot{X}_c \cos \psi - \dot{Y}_c \sin \psi + y_b(t) \dot{\psi}$$

$$\dot{y}_b(t) = \dot{X}_c \sin \psi - \dot{Y}_c \cos \psi - x_b(t) \dot{\psi}$$

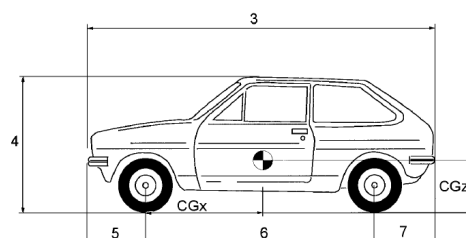
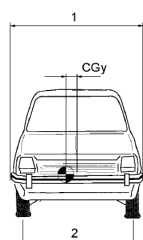
$$x_b(T) = D_x + x_0; \quad y_b(T) = D_y; \quad y_b(T) = -D_y$$

$$THIV = [V_x^2(T) + V_y^2(T)]^{0.5}$$

### Ángulo de aproximación del vehículo de ensayo.



El punto de impacto en el vehículo de ensayo debe estar centrado, con una tolerancia de  $\pm 0,1$  m. El ángulo de impacto debe simular un vehículo que sale de la carretera con un ángulo de  $20^\circ \pm 2^\circ$ .



## 3.10 - PARÁMETROS PARA REALIZAR EL ENSAYO

\_Una vez analizada la normativa y elegidos el modelo de farola a ensayar (modelado y mallado) y el modelo de vehículo a lanzar (Geo Metro Reduced Model), el siguiente paso será definir las condiciones y parámetros iniciales que deberemos programar para que el lanzamiento del vehículo sea correcto.

### Velocidad inicial

Este parámetro viene dado por la normativa, y dependerá del tipo de ensayo a realizar:

100 km/h  $\longrightarrow$  27777 mm/s  
35km/h  $\longrightarrow$  9722 mm/s

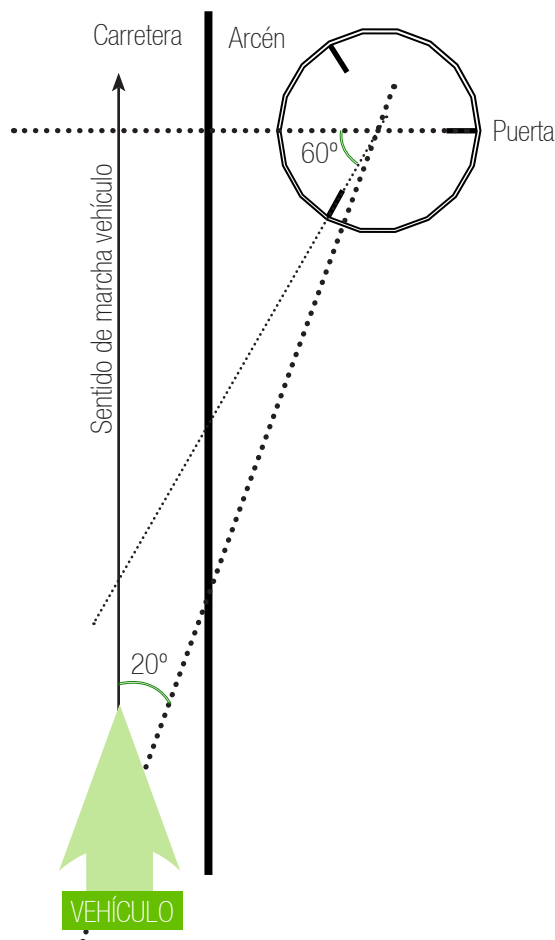
### Posición inicial

Para garantizar la validez del ensayo, resulta necesario que antes del impacto entre vehículo y farola, el vehículo avance un tiempo de 50ms, por lo que deberemos retrasar el vehículo una distancia concreta para que a la velocidad inicial pase este tiempo antes del impacto.

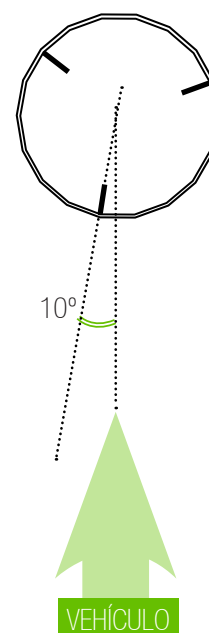
$27777 \text{ mm/s} * 0.05 \text{ s} \longrightarrow 1388,85 \text{ mm} \longrightarrow 1500\text{mm}$   
 $9722 \text{ mm/s} * 0,05 \text{ s} \longrightarrow 486,1 \text{ mm} \longrightarrow 500\text{mm}$

### Ángulo de ataque

Como se explicaba en la Normativa, el vehículo debe impactar sobre la farola en un ángulo de 20° sobre la trayectoria normal. La farola deberá estar posicionada en su posición de servicio. Por ello, en nuestro caso el impacto debería ser:



### Situación del ensayo



### 3.11 - PROCESO DE CÁLCULO

\_Una vez conseguido el primer cálculo, y una vez hemos demostrado que el modelo de cálculo utilizado es válido y apropiado para el caso a estudiar, pasamos a definir una estrategia de diseño, para ir viendo mediante sucesivos cálculos la importancia de diferentes factores de diseño de la farola sobre el resultado final.

Una vez sepamos que factores influyen más y en qué medida, pasaremos a utilizar esas conclusiones para realizar un diseño final que mejore el primer modelo estudiado.

#### ■ ESTRATEGIA DE DISEÑO

##### 1 Ensayo completo a 100 km/h con la farola situada a 20°

Ensayo general en que podremos apreciar el comportamiento general del vehículo hasta el punto final en que pierda toda la energía cinética.

##### 2 Ensayo completo a 35 km/h con la farola situada a 20°

Con el mismo objetivo que el ensayo anterior pasamos a realizar un estudio completo del ensayo a 35 km/h para demostrar su validez también a esa velocidad.

##### 3 Modificación1: Giro de farola 20°. Impacto contra nervio.

Uno de los factores de diseño a estudiar es el comportamiento que le aportan los nervios a la farola, con ese fin, pasamos a situar la farola de manera que el vehículo impacte directamente contra el nervio para ver como se modifica su comportamiento.

##### 4 Modificación2: Giro de farola -40°. Impacto sin nervio.

Del mismo modo, giramos la farola 40° en sentido contrario para situar el punto de impacto del vehículo en la zona media entre 2 nervios y ver si su comportamiento mejora o empeora.

##### 5 Modificación3: Primer cambio de material. Disminución límite elástico.

Como se explicará a posteriori, se ha pensado jugar con 2 propiedades del acero para ver su comportamiento con otros materiales, límite elástico y límite de rotura.

##### 6 Modificación4: Primer cambio de material. Elevación de límite de rotura.

Como se explicará a posteriori, se ha pensado jugar con 2 propiedades del acero para ver su comportamiento con otros materiales, límite elástico y límite de rotura.

##### 7 Modificación5: Cambio de espesor

Se va a realizar un cambio de espesor en la farola para ver si merece la pena añadir material en la geometría principal de la farola para mejorar los resultados.

##### 8 Modificación6: Cambio de geometría 1. Más nervios.

Añadimos nervios en el modelo para ver si el comportamiento mejora, y si lo hace, si es más rentable que aumentar el espesor de la farola en general.

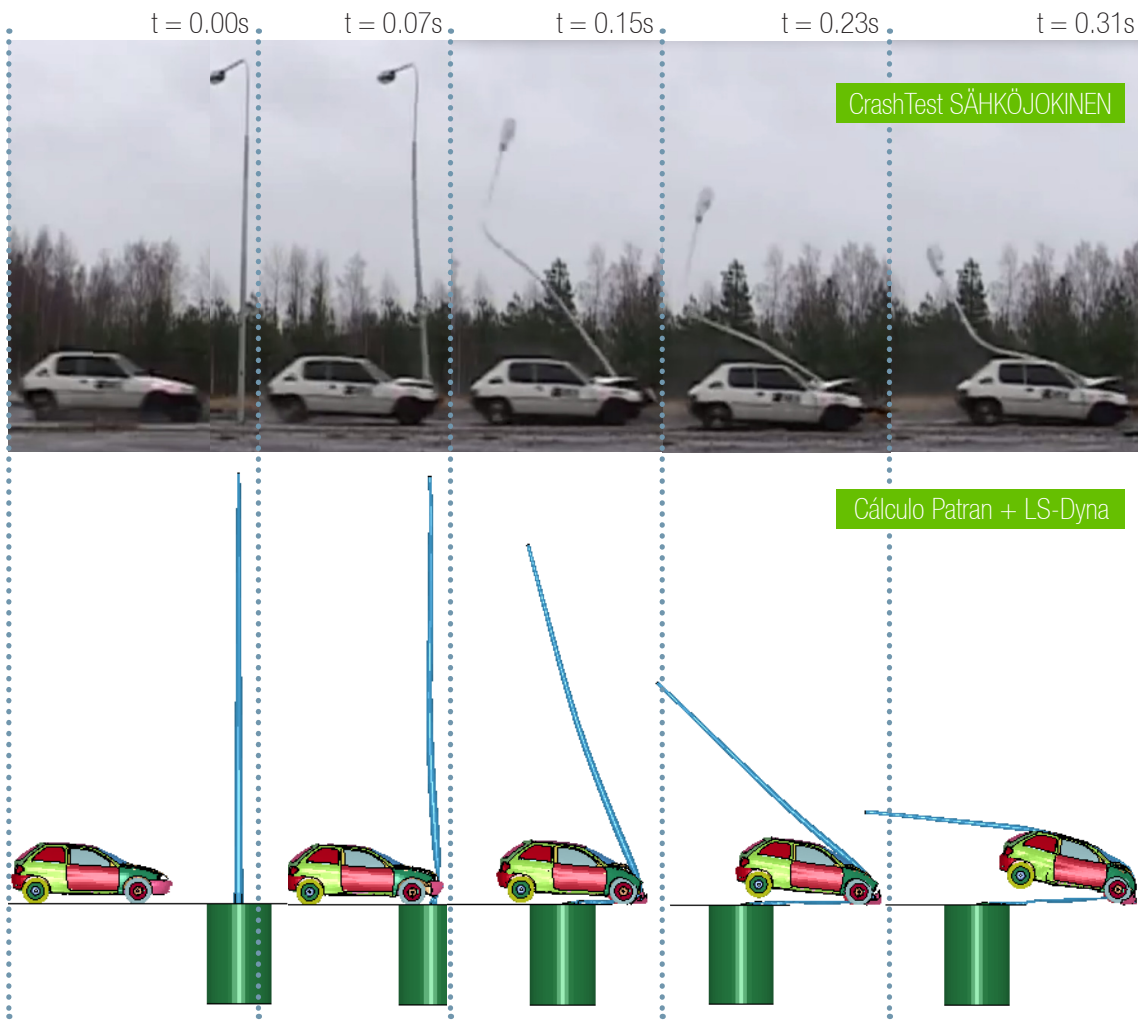
\_Con todos estos resultados obtenidos y ponderados en una tabla, podremos ver cual son las principales direcciones y líneas de mejora del objeto con el fin de utilizarlas para plantear un modelo final que mejore el comportamiento. El último paso será modelar este nuevo diseño y demostrar su validez frente a los modelos anteriores.

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

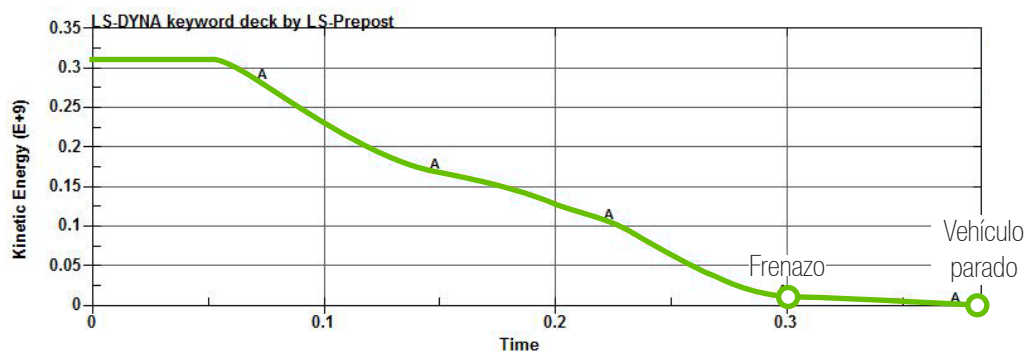
### \_1 Ensayo completo a 100 km/h con la farola situada a 20°

El primer ensayo llevado a cabo, se trata del ensayo necesario para que la farola consiga el certificado como modelo 100HE2, es decir, se realizará a 100km/h y deberá frenar por completo a la farola (HE).

El hecho de realizar este ensayo, es para comprobar si el comportamiento de la farola en el modelo de cálculo desarrollado coincide con el comportamiento del ensayo real de crashtest publicado por la marca KAPU de este modelo de farola.



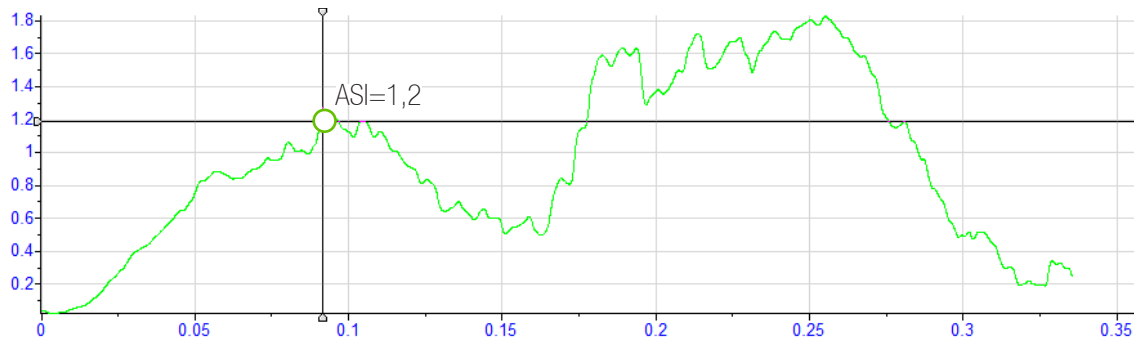
\_Como se puede apreciar, el comportamiento conseguido en el cálculo de la simulación de impacto se acerca mucho al comportamiento real del crashtest. Destacar que en la simulación el coche tiende a cabecear hacia adelante, pero una vez estudiadas las aceleraciones del impacto, esa parte del ensayo puede ser despreciada. Además, para la simulación no se ha incluido el cabezal de la farola ya que apenas aporta resistencia al impacto del vehículo.



GRÁFICA: Resultado de la pérdida de energía cinética del vehículo durante el impacto

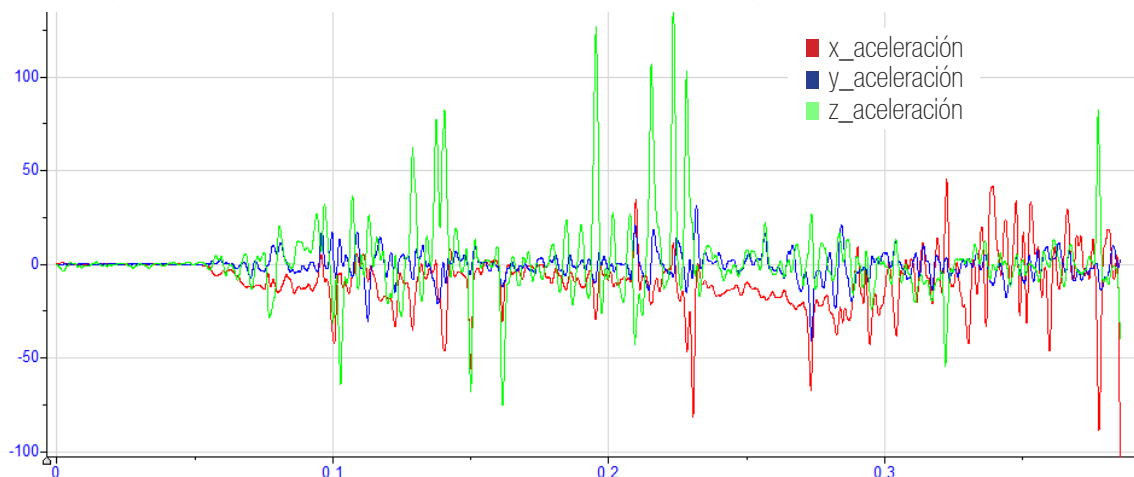
## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

\_Si mediante las aceleraciones producidas en los 3 ejes (x,y,z), y con el programa DIAdem, calculamos el parámetro ASI del impacto obtenemos un valor de 1.83, muy superior al valor máximo de 1. Pero, si representamos este parámetro en una gráfica a lo largo del tiempo nos damos cuenta que ese valor tan amplio se produce durante el frenado+cabeceo del vehículo y no durante la colisión, por lo que podemos ver que el valor que debemos utilizar para el cálculo es el que se produce a los 0,0918s y que es un valor concreto de 1,2.



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo

\_En la siguiente gráfica podemos ver representadas las 3 aceleraciones (x,y,z) en función del tiempo, donde podemos ver el comportamiento que experimenta la cabeza del pasajero durante el impacto.

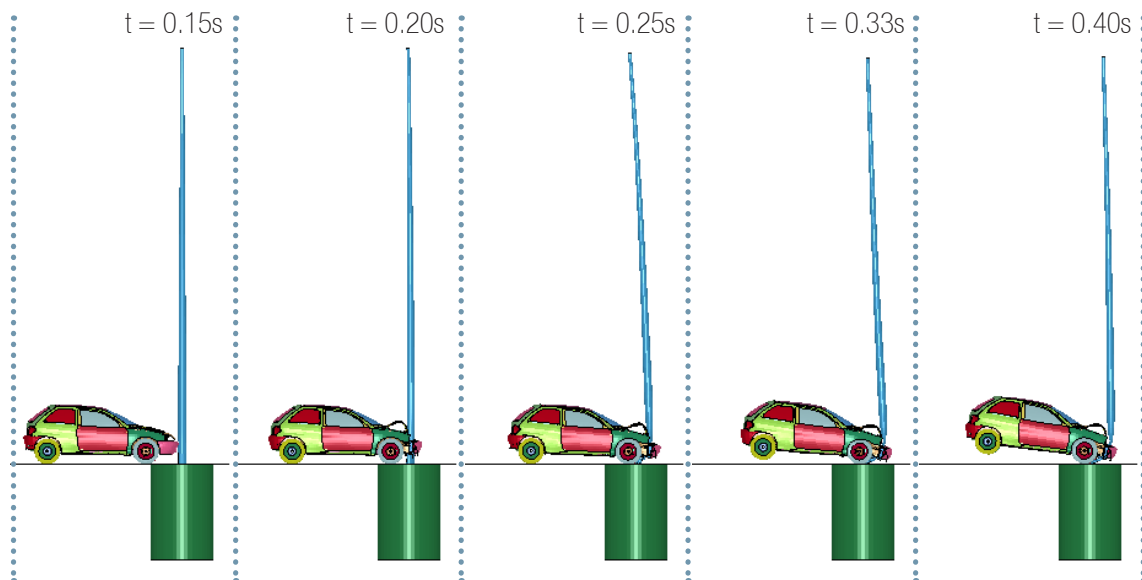


GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo

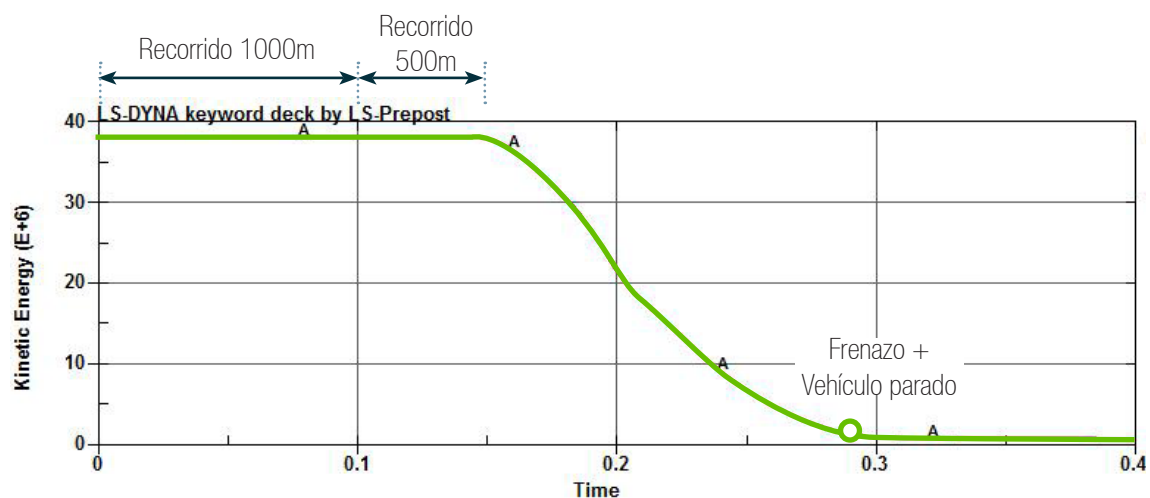
## 2 Ensayo completo a 35 km/h con la farola situada a 20°

Con el fin de demostrar el total cumplimiento de la normativa vigente, se realiza el mismo ensayo que el anterior pero esta vez hay que modificar primero el parámetro de ensayo de la velocidad inicial del vehículo que pasa de 100 a 35km/h, y la distancia inicial del vehículo que pasa de 1500 a 500mm, para volver a garantizar los 50ms hasta el impacto.

Además nos servirá para comprobar y observar un comportamiento diferente de deformación de la farola para baja velocidad, que como se muestra a continuación es:



Como se puede observar, el comportamiento de la farola es totalmente diferente ante un impacto de baja velocidad como es este de 35km/h. El diseño pasivo llevado a cabo para la deformación completa de la farola ante un gran impacto, funciona también ante un bajo impacto donde, como se puede observar gráficamente, la farola apenas sufre una deformación importante.

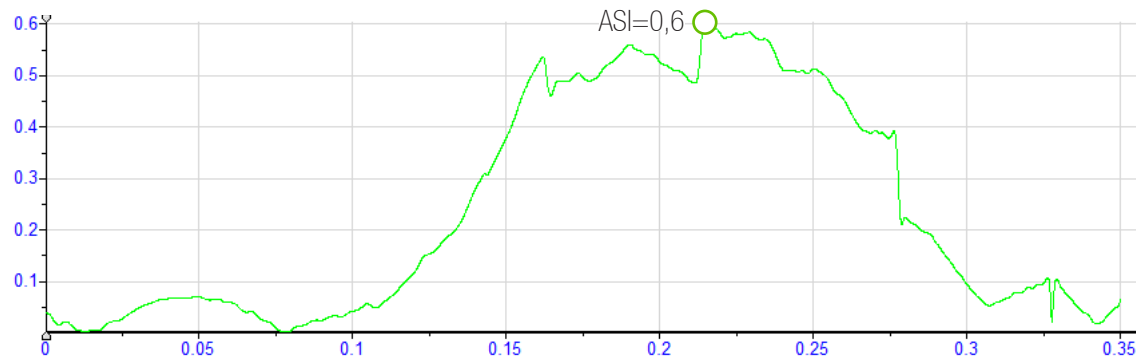


GRÁFICA: Resultado de la pérdida de energía cinética del vehículo durante el impacto

En la gráfica anterior, donde se muestra la pérdida de energía cinética, cabe destacar que la primera décima de segundo es totalmente descartable del ensayo porque es el tiempo que tarda el vehículo en avanzar los primeros 1000 mm hasta llegar a la distancia de la farola. Por esto, el tiempo total de ensayo hasta el frenado completo del vehículo es de 0,18 segundos aproximadamente.

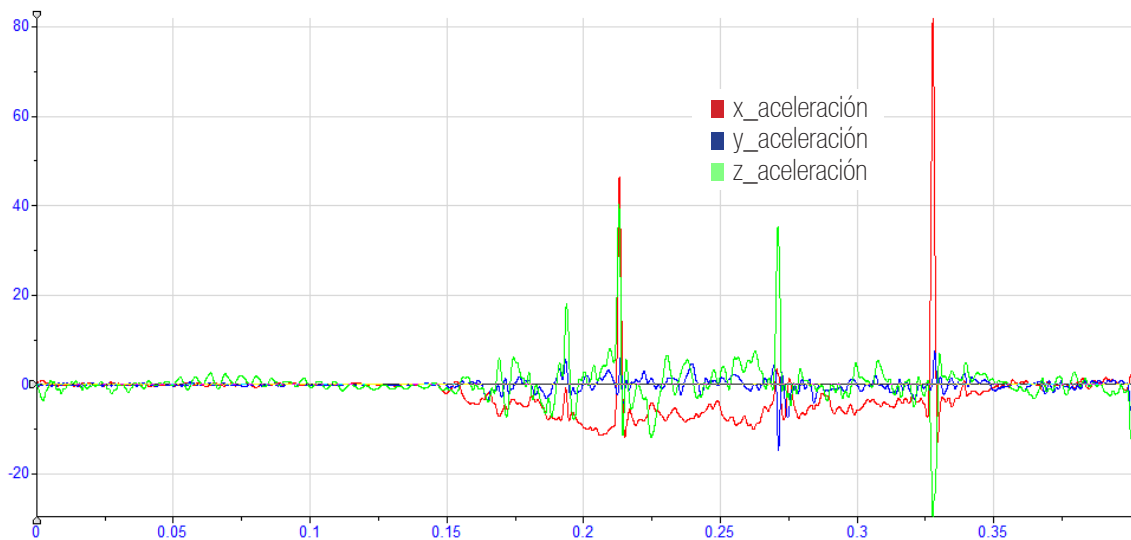
## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

\_Además de la escasa deformación, podemos ver como el coeficiente ASI apenas supera medio punto, suponiendo un resultado de 0,6 muy por debajo del límite de 1,2.



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo

\_En la siguiente gráfica se muestran las aceleraciones sufridas por el pasajero principal del vehículo durante el impacto con la farola:

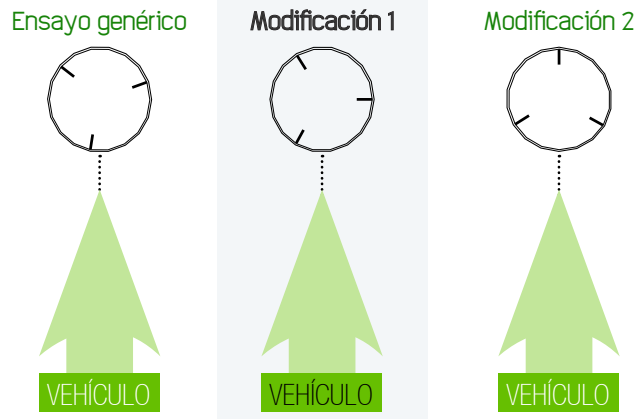


GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo

\_A partir de aquí, una vez demostrada la validez del método de ensayo que se utiliza en el proyecto, se va a pasar a modificar diferentes parámetros del diseño del poste de luz con el fin de ver como varía el comportamiento del mismo y en qué porcentaje mejora o empeora al actual diseño. Una vez finalizados todos los ensayos solo quedará establecer unas conclusiones de diseño para a través de ellas, llegar al modelo final, y una vez conseguido, demostrar su validez y mejora frente al modelo estudiado.

## \_3 Modificación 1: Giro de farola 20°. Impacto contra nervio.

Las primeras modificaciones llevadas a cabo en el estudio vienen por el lado de no modificar ningún componente del ensayo, tan solo la situación y orientación de la farola con el fin de conocer la importancia que tienen los nervios en la estructura de la farola. Por ello se han pensado 2 ensayos más en los que la orientación de la farola se verá modificada para que el vehículo impacte directamente contra el nervio o en las zonas de ausencia de éstos.



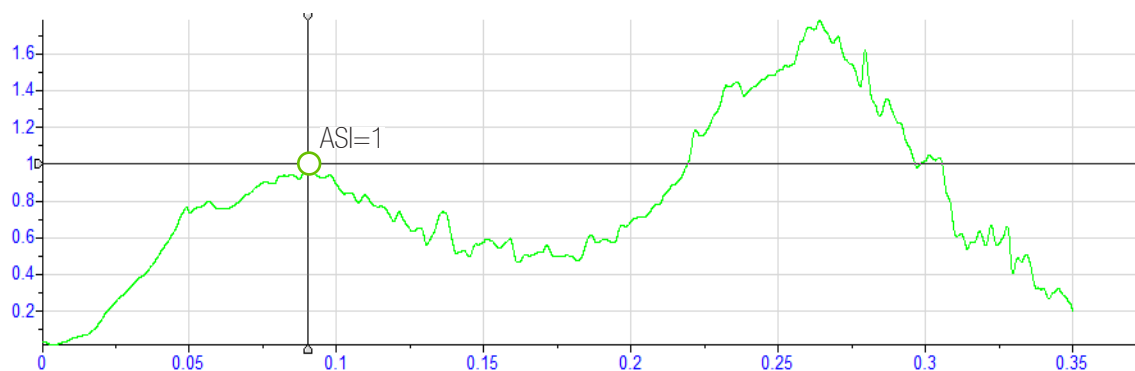
Así pues, una vez realizado el ensayo se obtienen los siguientes resultados que, si comparamos con el primer estudio, nos permitirán obtener la primera conclusión.

\_En primer lugar podemos ver que el comportamiento del vehículo es prácticamente idéntico. Es más, podemos observar como la pérdida de energía cinética es casi igual.



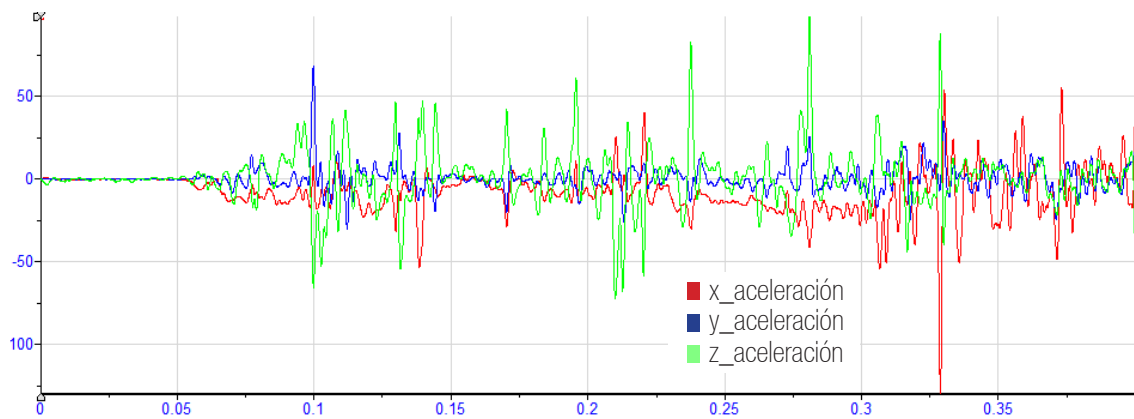
GRÁFICA: Resultado de la pérdida de energía cinética del vehículo durante el impacto

\_La principal diferencia la obtendremos si una vez extraídas las diferentes aceleraciones que la cabeza del conductor sufriría, obtenemos el parámetro ASI, donde observamos la siguiente diferencia:



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo





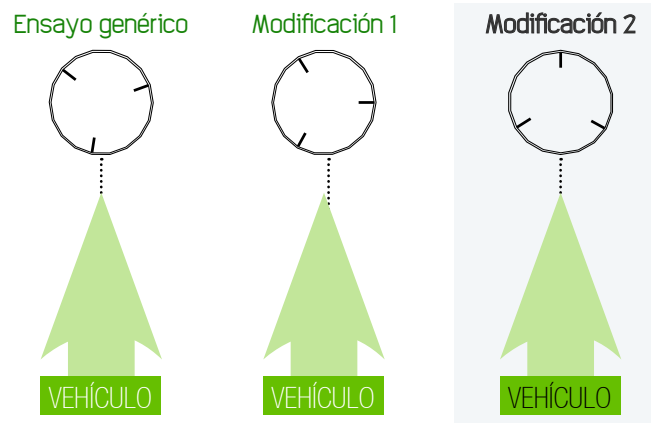
GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo

Ensayo	Velocidad[km/h]	Ángulo [°]	Nervios[nº]	ASI	Tiempo de frenado[s]
1	100	0	3	1,2	0,301
3	100	+20	3	1	0,301

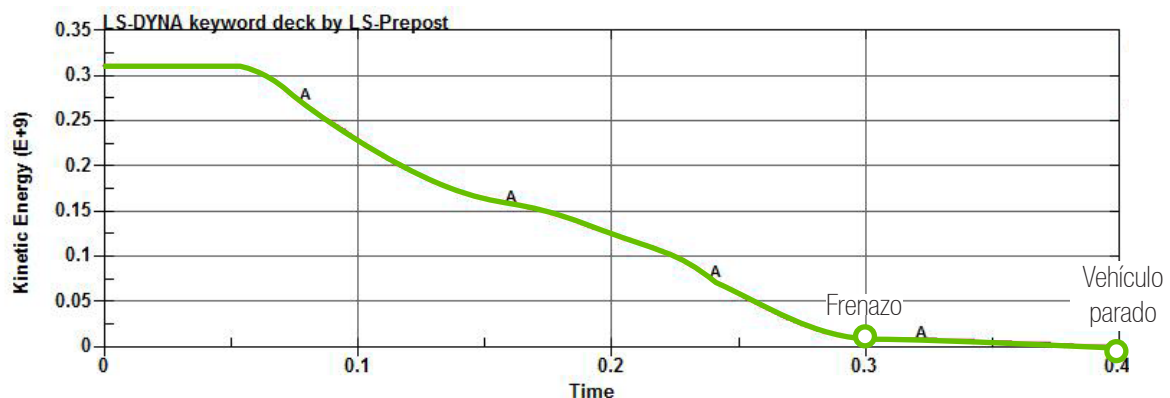
\_Queda claro pues, que el comportamiento del vehículo al alejar el punto de impacto de los nervios hace que se atenúe la repercusión del mismo sobre los ocupantes, consiguiendo un menor coeficiente ASI lo que hace que la seguridad de los pasajeros se vea mejorada.

#### 4 Modificación2: Giro de farola -40°. Impacto sin nervio.

Para la segunda modificación se ha buscado centrar el impacto en la zona más separada de ambos nervios para comprobar si la mejor situación es cuando actúan los 2 repartiendo el impacto.

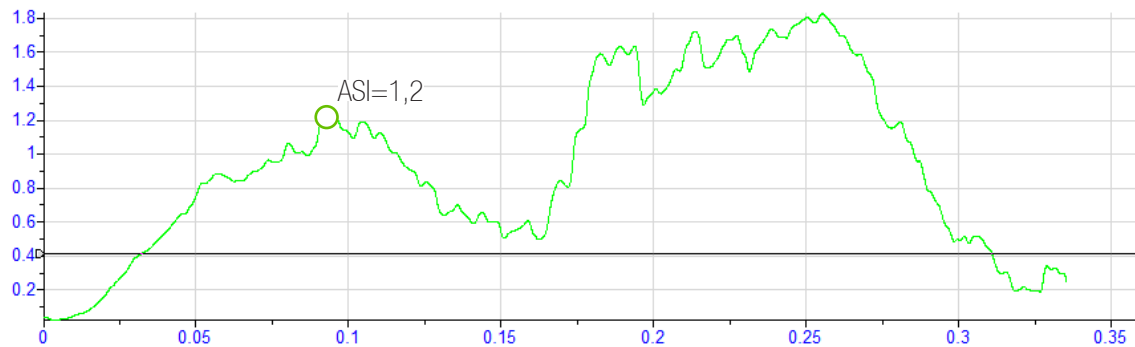


En este caso, los resultados obtenidos son los siguientes:



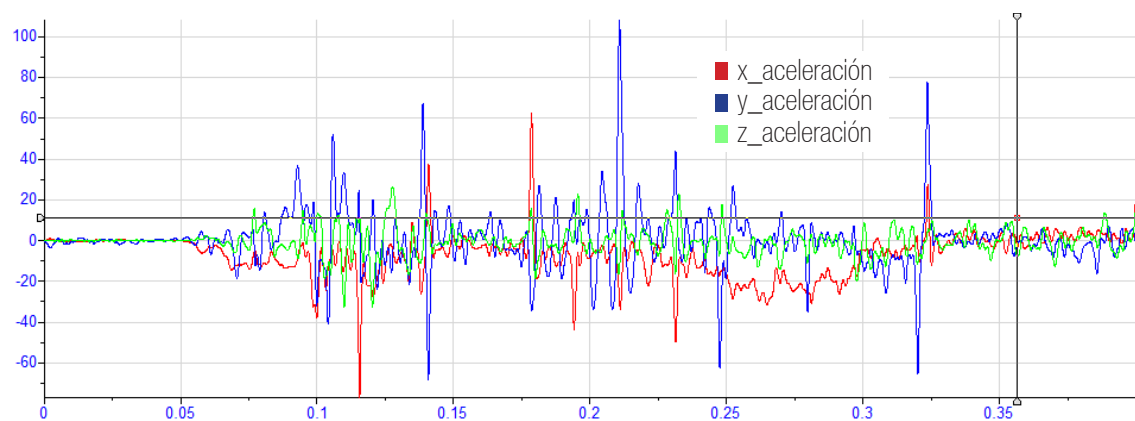
GRÁFICA: Resultado de la pérdida de energía cinética del vehículo durante el impacto

\_Una vez comprobado que nuevamente obtenemos la nueva gráfica de pérdida de energía, pasamos a estudiar el resultado del coeficiente ASI.



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo

\_Podemos ver como, el hecho de que los nervios estén tan separados vuelve a afectar sobre los pasajeros, quizá por el hecho de que la farola en este caso absorbe menos energía y el golpeo es más directo.



GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo

Ensayo	Velocidad[km/h]	Ángulo [°]	Nervios[n°]	ASI	Tiempo de frenado[s]
1	100	0	3	1,2	0,301
3	100	+20	3	1	0,301
4	100	+70	3	1,2	0,301

\_De estos 3 cálculos obtenemos pues la principal conclusión de que no es bueno ni golpear directamente contra el nervio porque al tener más rigidez produce mayor impacto, ni golpear contra la ausencia de ellos, porque esto es la rigidez mínima y hace que el impacto sea menos atenuado.

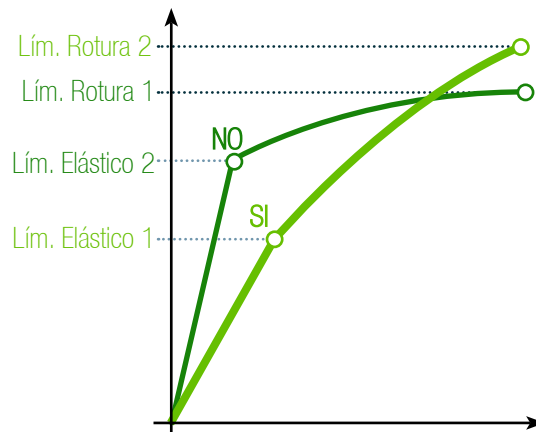
\_El lugar perfecto será un intermedio entre el golpeo directo (10°) y el golpeo fuera de nervios (70°), es decir, será de 40/45° donde la atenuación del coeficiente ASI sea la mayor.

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

\_Dentro de la modificación del material de la farola, antes de ponernos a elegir algún material concreto y ver las posibilidades que ofrece, nos parece más interesante modificar el material que se utiliza actualmente para ver como cambia el funcionamiento.

Para ello, se han seleccionado 2 propiedades del Acero como principales, el límite elástico, y el límite de rotura. Si nos ponemos a pensar en el comportamiento que debe tener la farola, debemos buscar un material que deforme mucho, mientras absorbe energía, y que rompa lo más tarde posible para alargar este tiempo de absorción.

En la siguiente gráfica se muestra un comportamiento genérico, y el comportamiento que estamos buscando.

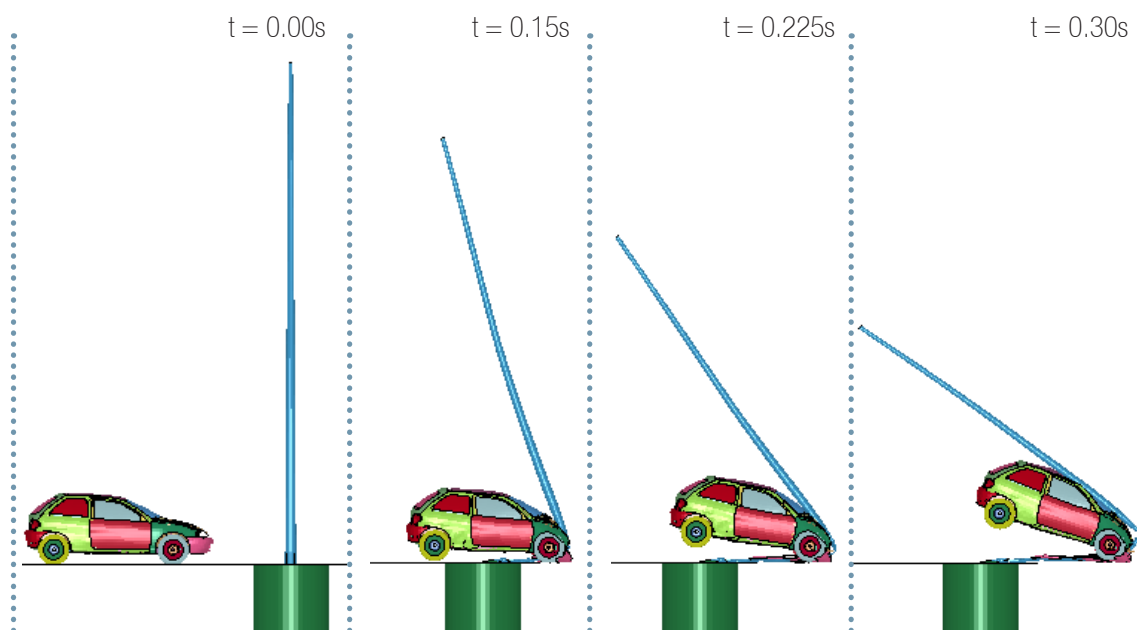


Dentro del estudio de material, se han modificado los 2 valores descritos en un factor de 100, es decir, se ha aumentado en un estudio 100 MPa el límite de rotura del material y se han disminuido 100MPa el límite elástico en el otro ensayo.

### \_5 Modificación3: Primer cambio de material. Disminución límite elástico.

\_Como ya se ha explicado en el apartado anterior se van a realizar 2 modificaciones en los parámetros de material, y el primer cambio va a ser el reducir 100MPa el límite elástico del acero utilizado:

Límite elástico: 280MPa → 180MPa  
Límite rotura: 370MPa → 370MPa





GRÁFICA: Resultado de la pérdida de energía cinética del vehículo durante el impacto

\_Podemos ver como, aunque el tiempo del impacto es menor, dado que lo que hacemos con la disminución del límite elástico es conseguir que la farola deforme desde el principio, el coeficiente ASI aumenta demasiado debido quizá a la gran absorción del impacto.



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo

\_A continuación se muestra el desglose de las aceleraciones sufridas durante el impacto:

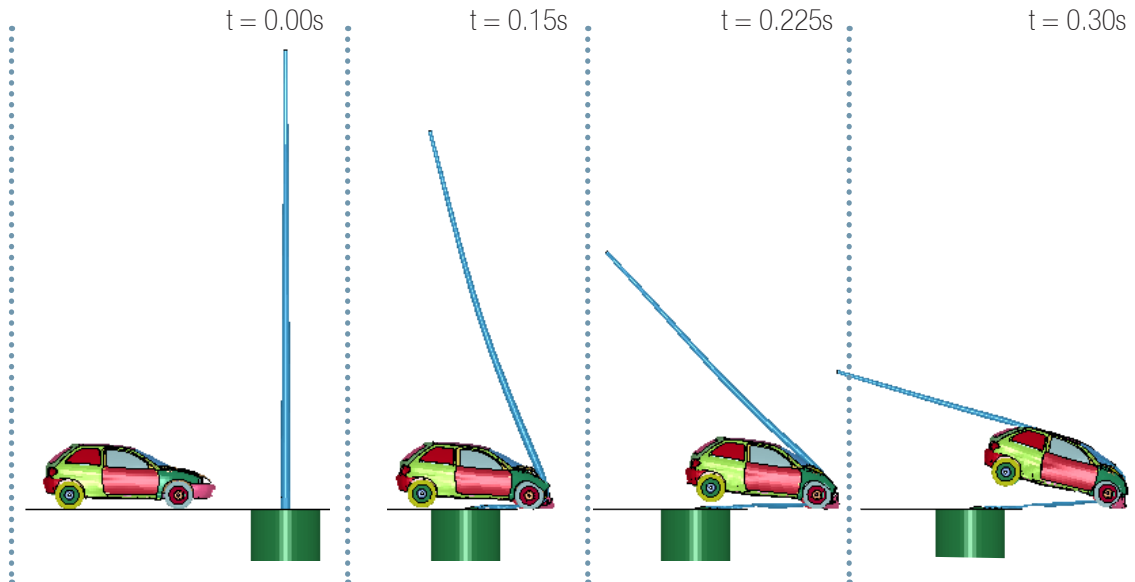


GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo

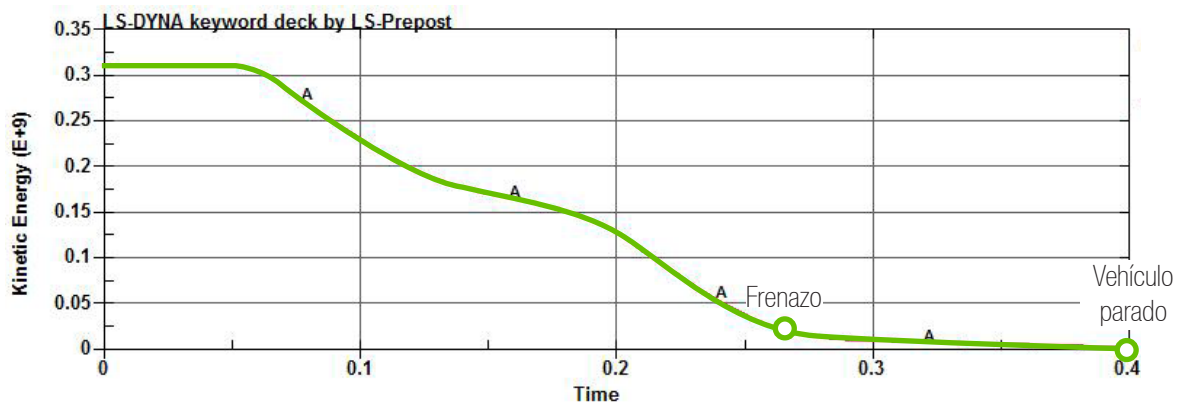
## \_6 Modificación4: Primer cambio de material. Elevación de límite de rotura.

En este segundo cambio, la modificación se realiza sobre el límite de rotura del material, agrandando el valor del mismo en 100 MPa, pasando de 370 a 470 MPa.

Límite elástico: 280MPa → 280MPa  
Límite rotura: 370MPa → 470MPa



En este caso, podemos observar como esta modificación si puede traer beneficios en el diseño final de la farola. En primer lugar porque reduce la exposición del pasajero ante el impacto al reducir el tiempo del mismo:



GRÁFICA: Resultado de la pérdida de energía cinética del vehículo durante el impacto

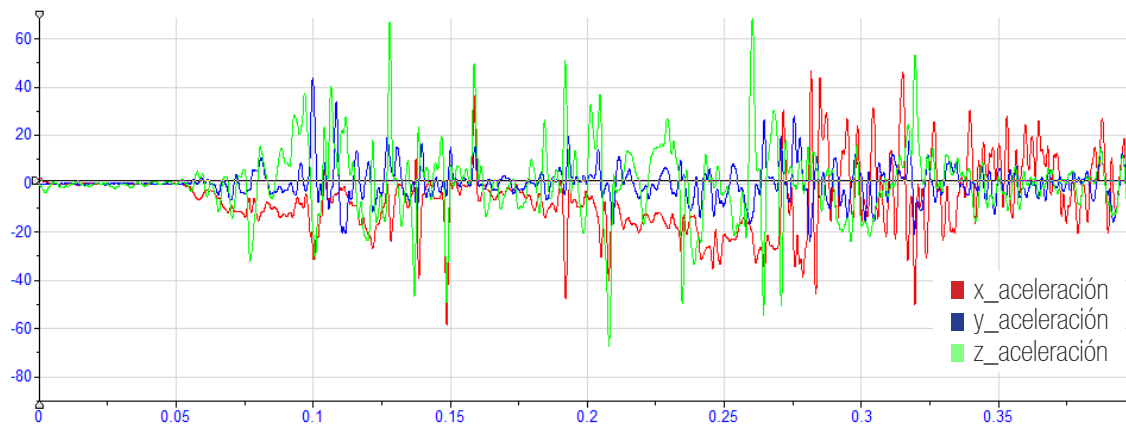
La segunda razón viene explícita en el siguiente gráfico obteniendo 1,16 de coeficiente ASI.



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

Las aceleraciones de este impacto se representan en la siguiente gráfica:



GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo

Vistos pues los resultados obtenidos por las 2 modificaciones del material de la farola, sería momento de agruparlos en una tabla para visualmente poder obtener conclusiones útiles que nos sirvan para el diseño del modelo final de farola objetivo del proyecto:

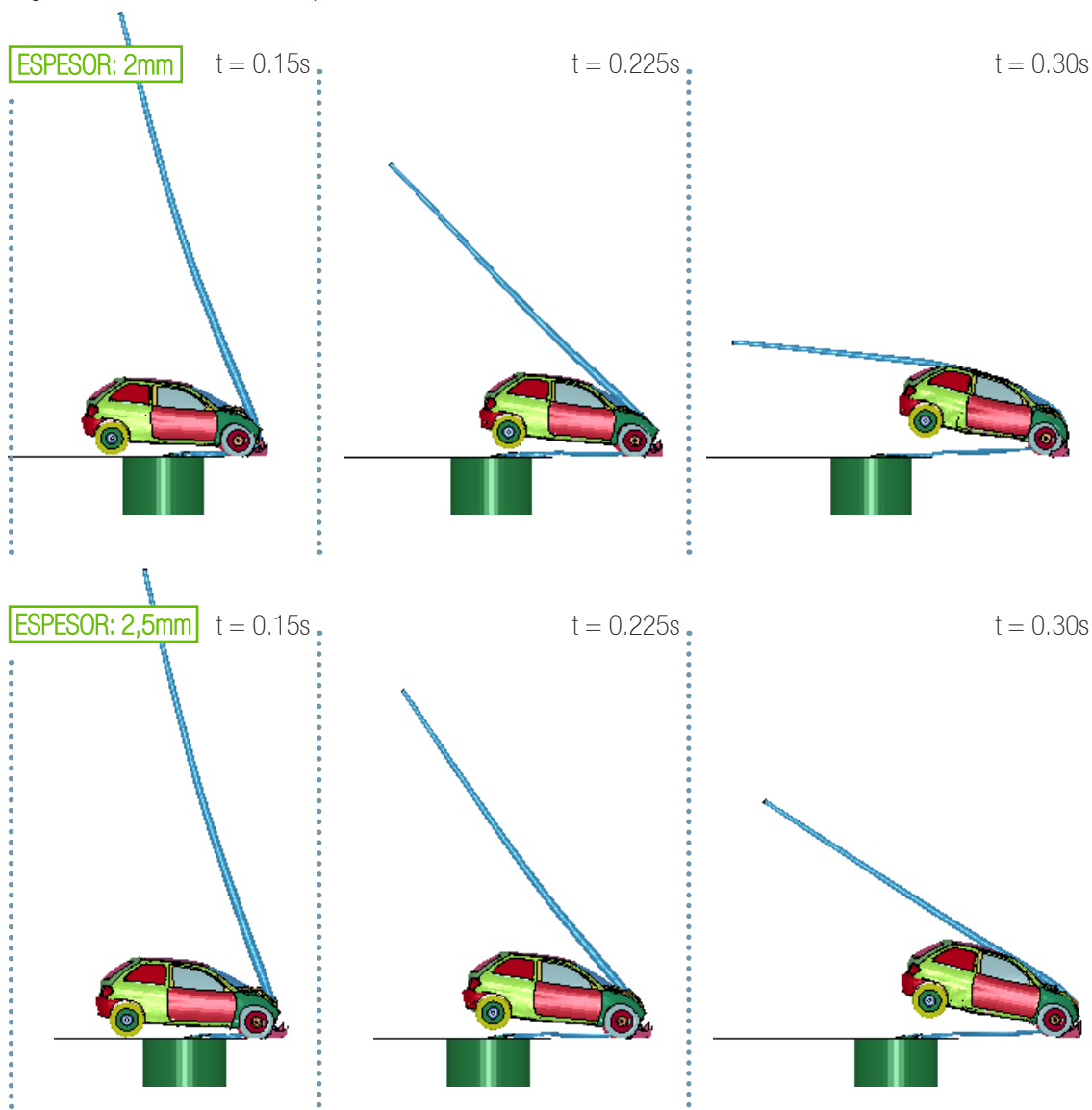
Ensayo	Límite elástico	Límite Rotura	ASI	Tiempo de frenado[s]
1	280	370	1,2	0,301
5	180	370	1,46	0,245
6	280	470	1,16	0,27

\_En primer lugar vemos claramente la mejora en cuanto al parámetro ASI del aumento del límite de rotura simplemente con la elección de un material más resistente.

\_Para el límite elástico, vemos que aparecen tanto pros como contras, ya que disminuyen el tiempo de ensayo, pero aumentan el efecto del impacto sobre los pasajeros, por lo que deberá ser estudiado en global una vez se terminen todos los ensayos.

## 7 MODIFICACIÓN5: CAMBIO DE ESPESOR

Una de las modificaciones más interesantes y simples a realizar puede ser el cambio de espesor. Dentro de este cambio y con el fin de facilitar la fabricación de la geometría, pasamos a aumentar dicho espesor para ver si mejoramos la seguridad de la farola. Pasamos pues de 2 mm a 2,5 mm.

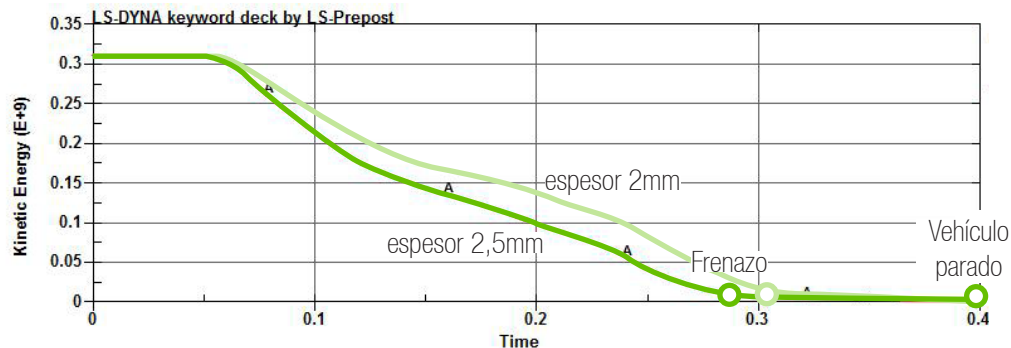


A priori, y antes de analizar los resultados que puede producir el cambio de espesor en los pasajeros del vehículo, lo que podemos observar gráficamente es el retraso temporal del plegado de la farola. El aumento de espesor aumenta la resistencia de la farola, esto hace que el vehículo pierda antes su energía cinética, pero a la vez produce mayores aceleraciones sobre los pasajeros.

Espesor[mm]	Velocidad[km/h]	Peso [kg]	Nervios[nº]	ASI	Tiempo de frenado[s]
2	100	27,71	3	1,2	0,301
2,5	100	34'64	3	1,28	0,280

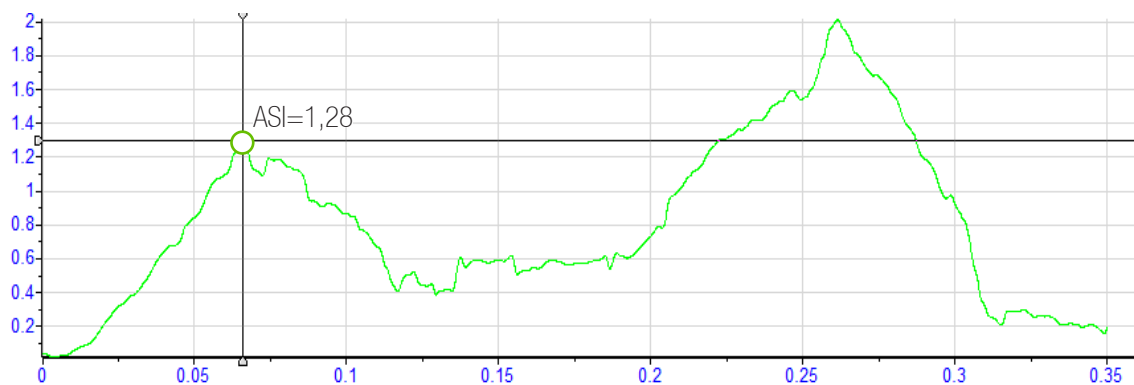
## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

En la siguiente gráfica, podemos ver las 2 curvas que representan la pérdida de energía del vehículo en el impacto. Como podemos observar, un mayor espesor de la farola nos lleva, tanto a retrasar el momento del frenado, entorno a 0,1 segundos, como a ver que la pérdida de energía es más lineal.



GRÁFICA: Comparativa de la pérdida de Energía Cinética en 2 ensayos diferentes.

Además, este cambio de espesor lleva asociado un aumento de la resistencia de la falta, que hará que el impacto sobre ella sea más fuerte y aumente el ASI que sufrirán los pasajeros del vehículo. En la siguiente gráfica se puede observar dicha gráfica.



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo

Estos resultados nos llevan a comprobar que el aumento de espesor de la farola no beneficia en ningún factor al nuevo diseño, en primer lugar le suma material (y por tanto coste) y en segundo lugar, aunque disminuye el tiempo del accidente, representa un peor comportamiento para los pasajeros.

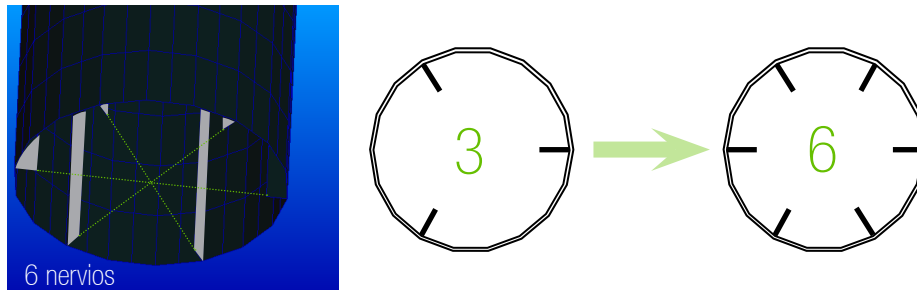


GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo

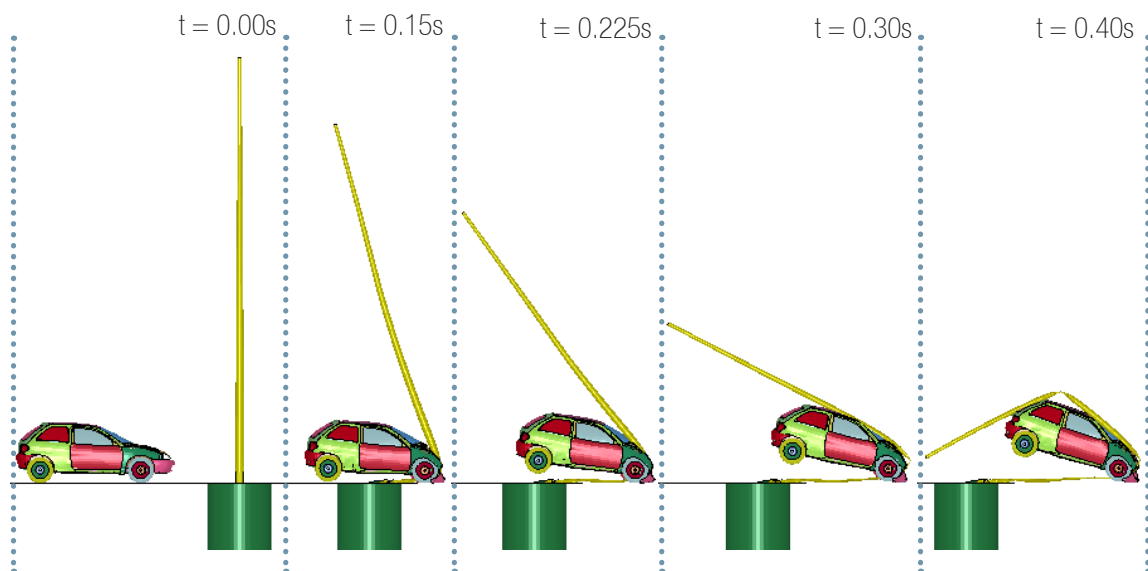


## \_8 MODIFICACIÓN 6: Cambio de geometría 1. Más nervios.

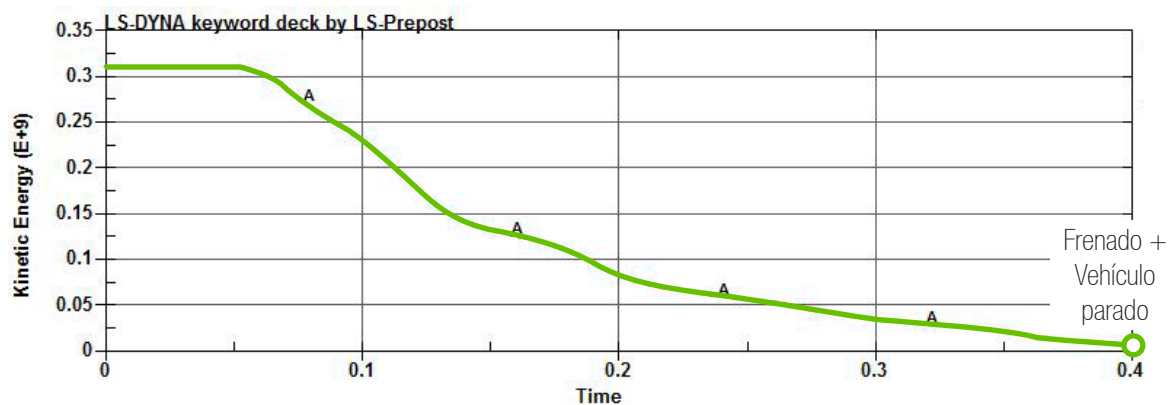
Vista la importancia de la orientación de la farola por la colocación de los diferentes nervios, pasamos a estudiar ahora si el uso de los nervios mejora o empeora el comportamiento, y tratamos de dotar a la farola de mayor resistencia ampliando el número de nervios a 6 como se muestra en el siguiente gráfico.



El comportamiento que el coche sufre durante el impacto es el siguiente:



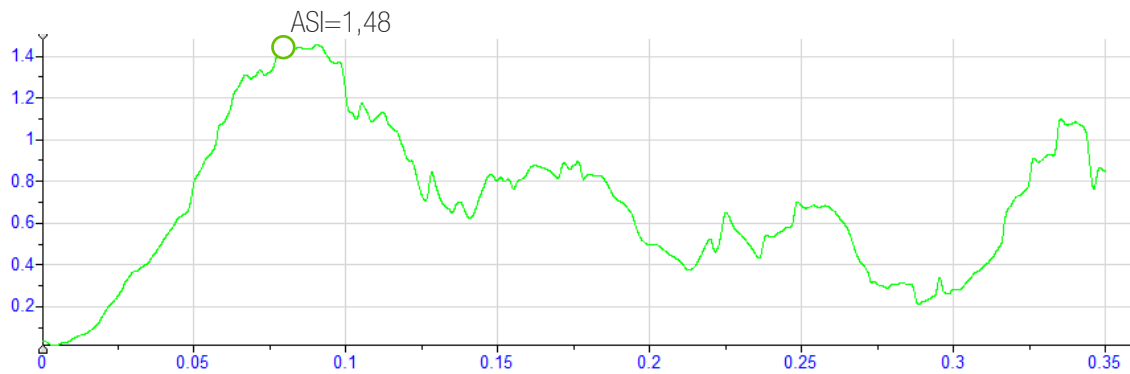
Podemos ver solo a primera vista como el comportamiento del impacto varía bastante, con lo que la importancia de los nervios existe. A continuación se muestra como el vehículo tarda más en frenar ya que le cuesta más tiempo vencer el aumento de resistencia de la farola por tener el doble nervios que en el caso anterior.



GRÁFICA: Resultado de la pérdida de energía cinética del vehículo durante el impacto

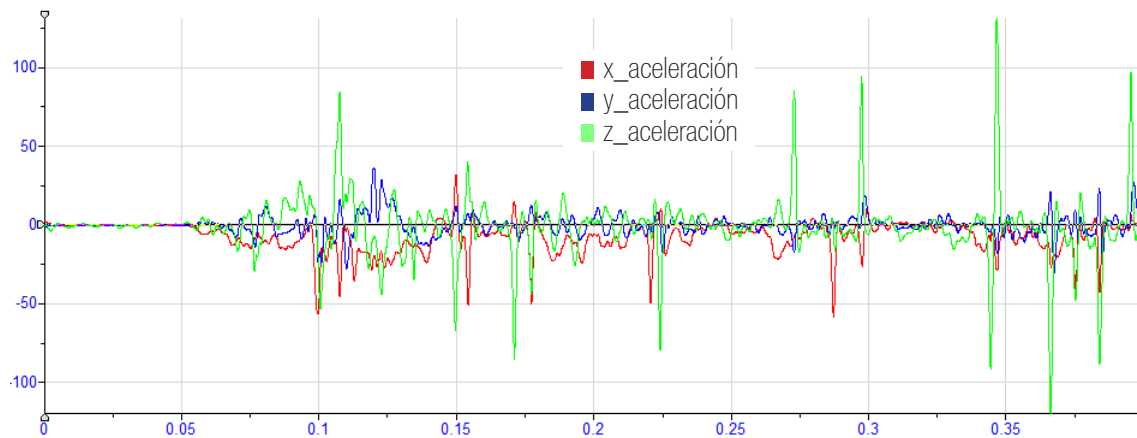
## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

Además, este aumento del tiempo de impacto no se transforma en una mejora para los pasajeros sino que todo lo contrario, el primer impacto contra la farola hace que obtengamos un peor ASI con un coeficiente de 1,48.



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo

En las siguientes gráficas podemos observar el resultado obtenido para cada una de las 3 aceleraciones que los pasajeros sufrirían en un impacto de estas características:



GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo

### 3.12 - RESUMEN DE RESULTADOS

Una vez realizados todos los casos de cálculos planificados para la primera fase del proyecto, en primer lugar pasamos a realizar 2 tablas resumen en la que se mostrarán simplemente indicados los resultados y que nos permitirán visualmente saber qué mejora o empeora el modelo.

ENSAYO	IMPACTO		MATERIAL		RESULTADO
	Velocidad [km/h]	Ángulo [°]	Límite elástico [MPa]	Límite de Rotura [MPa]	ASI Impacto
1_Completo Normativa (100)	100	0	280	370	1,2
2_Completo Normativa (35)	35	0	280	370	0,6
3_Giro1 (entre nervios)	100	+20	280	370	1,2
4_Giro2 (20° del nervio)	100	+70	280	370	1
5_Límite elástico (-100)	100	0	180	370	1,46
6_Límite rotura (+100)	100	0	280	470	1,16
7_Mayor espesor	100	0	280	370	1,28
8_Más nervios	100	0	280	370	1,48

ENSAYO	GEOMETRÍA			RESULTADOS		
	Espesor [mm]	Peso [kg]	Nervios [n°]	Tiempo Frenado [s]	ASI Impacto	ASI Total
1_Completo Normativa (100)	2	99,38	3	0,301	1,2	1,83
2_Completo Normativa (35)	2	99,38	3	0,18	0,6	0,6
3_Giro1 (entre nervios)	2	99,38	3	0,301	1,2	1,82
4_Giro2 (20° del nervio)	2	99,38	3	0,301	1	1,78
5_Límite elástico (-100)	2	99,38	3	0,245	1,46	1,46
6_Límite rotura (+100)	2	99,38	3	0,27	1,16	1,77
7_Mayor espesor	2,5	124,23	3	0,28	1,28	2,01
8_Más nervios	2	101,2	6	0,40	1,48	1,48

A partir de aquí, el siguiente paso será la interpretación de las mismas, que, junto con los conocimientos adquiridos durante la fase de cálculo nos llevarán a la creación de un nuevo modelo que, a priori, mejore el comportamiento de la farola finlandesa Kapu.



### 3.13 - CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

#### 1 MATERIAL

El uso del acero como material principal de fabricación es innegociable pero la elección del tipo de acero se convierte en uno de los factores más importantes.

La mejora del modelo pasará por el aumento claro del límite de rotura del material así como la disminución (en menor medida) del límite elástico.

Una nueva configuración puede ser:

Límite elástico: 280MPa → 250MPa

Límite rotura: 370MPa → 450MPa

#### 2 NERVIOS

Durante el estudio quedó clara la utilización de 3 nervios como mejor opción de diseño para impacto cuya orientación debe estar en una posición intermedia entre nervio directo y la posición media entre los nervios. Se lleva a cabo una reducción de su anchura a 15mm.

#### 3 ESPESOR

En este apartado se buscará la reducción máxima del espesor visto que a mayor espesor empeora el comportamiento. El límite del mismo vendrá dado por el cumplimiento de la normativa de cargas de viento vigente.

#### 4 GEOMETRÍA

Se buscará además un cambio en la geometría general del poste, con el objetivo de reducir el impacto sobre los pasajeros, buscando así un mayor plegado o absorción del nuevo diseño.

Una de las medidas vendrá encaminada en el aumento de la sección inferior de la farola sumada a una disminución de la anchura de los nervios.

#### 5 NUEVO CONCEPTO

Visto la influencia de los diferentes factores sobre el coeficiente ASI, se busca en el proyecto una revolución en la geometría de las farolas, mejorando el comportamiento en mayor medida. Por ello se busca a continuación la realización de un diseño geométrico que actúe como fusible mecánico garantizando la reducción de las aceleraciones de la cabeza de los pasajeros sin un aumento injustificado de material en el diseño que encarezca el producto

## 4.1 - LÍNEAS DE MEJORA DEL DISEÑO

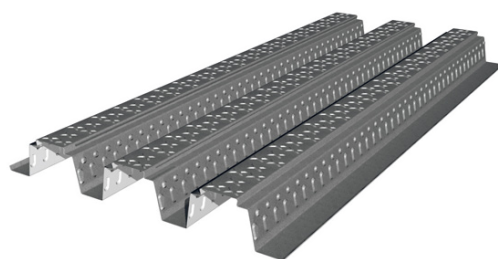
Una vez establecidas las modificaciones que se llevarán a cabo tras la obtención de las conclusiones del estudio, una de las líneas de mejora que se busca en el diseño final es la modificación de la geometría general del poste.

\_Para ello, una de las primeras ideas surgidas durante el proyecto fue la de diseñar un postizo o pieza auxiliar para utilizarla en cualquier farola actual con el fin de utilizarla como un fusible mecánico.

Esto supondría el ahorro de no tener que modificar e instalar nuevos modelos en toda la red luminaria del país, pero a la vez solo podría ser útil si todos los modelos actuales fueran iguales.

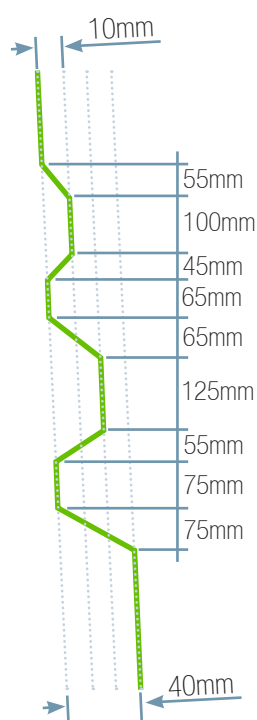
Por ello, en este proyecto se va a llegar a un fin intermedio, buscando cambiar una parte concreta de la farola (a ala altura de impacto del vehículo) dejando prácticamente igual el resto del modelo para, si la mejora es sustancial, adaptar esa parte del diseño a una pieza suplementaria que actuara como dicho fusible.

\_Para comenzar el diseño del "fusible" lo primero que se ha realizado es un estudio acerca de las geometrías típicas que se utilizan en chapa para, en primer lugar rigidizar la chapa en sí, y en segundo lugar utilizarla para situaciones en las que la pieza tenga que soportar impactos. La chapa colaborativa (imagen) es una geometría muy típica para estos casos y supone un gran avance en rigidez y absorción de impacto.



El uso de este tipo de chapa no será meramente la utilización de una chapa comercial sino que la idea es embebernos de la geometría que se utiliza para realizar nuestro propio diseño, así se buscará realizar una chapa colaborativa que además proporcione un descenso de rigidez continuo conforme nos alejamos del punto de impacto del vehículo para garantizar la absorción completa de la energía cinética del vehículo.

## 4.2 - DISEÑO DEL NUEVO MODELO



### GEOMETRÍA PRINCIPAL

El diseño del nuevo modelo tiene como principal características el diseño de la zona de impacto como se muestra en el gráfico situado a la izquierda de este texto.

Como se puede observar se busca el aumento de la rigidez, que garantice incluso la posibilidad de poder reducir el espesor de la farola ahorrando de este modo material y precio en la misma.

En cuanto al resto del tronco se trata de un polígono de 9 lados y las diferencias principales son el aumento del radio de la base, mientras que la altura y la sección superior se mantienen constantes.

### ESPESOR

Se reduce a un espesor comercial menor, de 1,6mm para ver si mejora el comportamiento general.

### NERVIOS

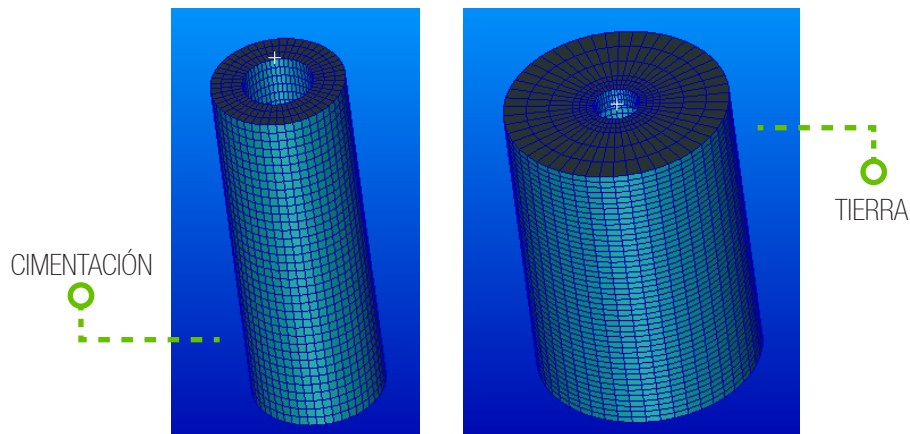
Se realizan 3 nervados como en el modelo Kapu, reduciendo la anchura de los mismos para reducir la rigidez ante impacto de la farola y que absorba mayor energía.

### REDUCCIÓN DE PESO

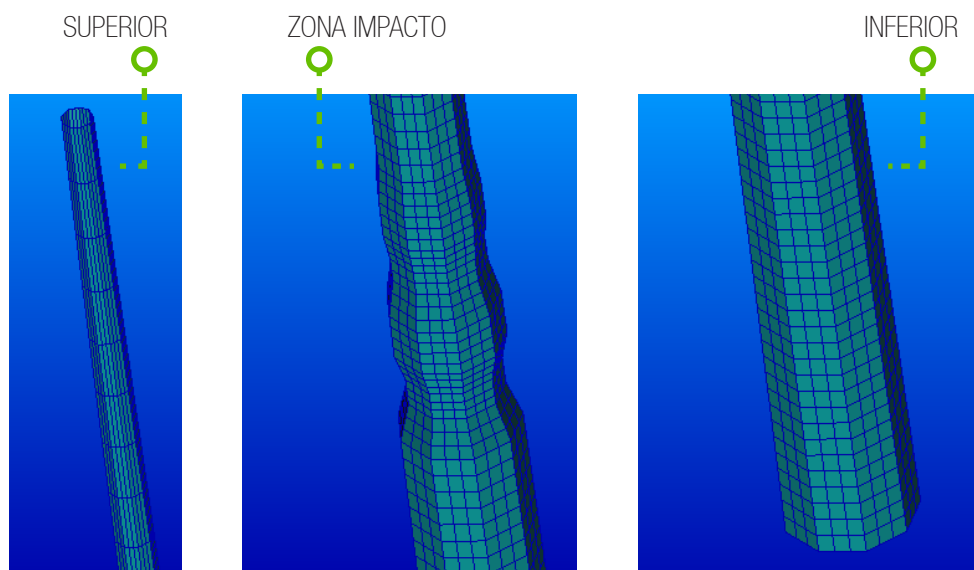
Estas modificaciones llevan consigo un descenso de unos 6 kg de acero en la fabricación de la farola sin los que el modelo debe cumplir las mismas solicitaciones.

## 4.3 - MODELADO Y MALLADO

Para este caso de cálculo pasamos a definir en mayor medida el tipo de mallado utilizado, que es muy similar al mallado del modelo KAPU, pero con alguna modificación debida a la geometría de la farola.



Para estos 2 componentes la única modificación realizada viene en la cimentación debido a que en este caso no hace falta dejar media parte al aire para realizar las conexiones y por lo tanto se trata de un cilindro más simple y continuo.



En este caso se separan las caras en elementos de 50x50, excepto en la zona de impacto donde se realizan elementos de 30x30 debido al menor tamaño de las caras.

Se separa en 3 elementos cada lado de manera que se forman elementos de 50x50 mm.

Se realiza una transición progresiva desde la zona final de impacto hasta la parte superior del tronco de la farola donde los elementos crecen desde 50mm a 200, debido a la pérdida de importancia del componente conforme crece en altura.

### 4.4 - PARÁMETROS ENSAYO

\*PART

\$# title

poste

\$#	pid	secid	mid	eosid	hgid	grav	adpopt	tmid
2	2	2	0	0	0	0	0	0

\*SECTION\_SHELL

\$#	secid	elform	shrf	nip	propt	qr/irid	icomp	setyp
2	1	0.000	0	0	0	0	0	0

\$#	t1	t2	t3	t4	nloc	mare	idof	edgset
2.000000	2.000000	2.000000	2.000000	2.000000	0.000	0.000	0.000	0.000

\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY

\$#	mid	ro	e	pr	sigy	etan	fail	tdel
2	7.8900E-9	2.1000E+5	0.300000	250.00000	0.000	1E+20	0.000	0.000

\$#	c	p	lcsc	lcsr	vp
0.000	0.000	1	0	0.000	

\$#	eps1	eps2	eps3	eps4	eps5	eps6	eps7	eps8
0.000	0.026000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

\$#	es1	es2	es3	es4	es5	es6	es7	es8
250.00000	450.00000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

27777km/h

1500mm

\*PART

\$# title

hormigon

\$#	pid	secid	mid	eosid	hgid	grav	adpopt	tmid
1	1	1	0	0	0	0	0	0

\*SECTION\_SOLID

\$#	secid	elform	aet
1	1	0	

\*MAT\_ELASTIC

\$ Material : hormigon

\$#	mid	ro	e	pr	da	db	not used
1	2.2000E-9	27000.000	0.200000	0.000	0.000	0	

\*PART

\$# title

tierra

\$#	pid	secid	mid	eosid	hgid	grav	adpopt	tmid
3	3	3	0	0	0	0	0	0

\*SECTION\_SOLID

\$#	secid	elform	aet
3	1	0	

\*MAT\_SOIL\_AND\_FOAM

\$ Material : tierra

\$#	mid	ro	g	bulk	a0	a1	a2	pc
3	1.7000E-9	49.500000	185.00000	0.012013	0.000	0.000	-0.172390	

\$#	vcr	ref
0.000	0.000	

\$#	eps1	eps2	eps3	eps4	eps5	eps6	eps7	eps8
0.000	0.010000	0.016000	0.020000	0.030000	0.300000	0.000	0.000	

\$#	eps9	eps10
0.000	0.000	

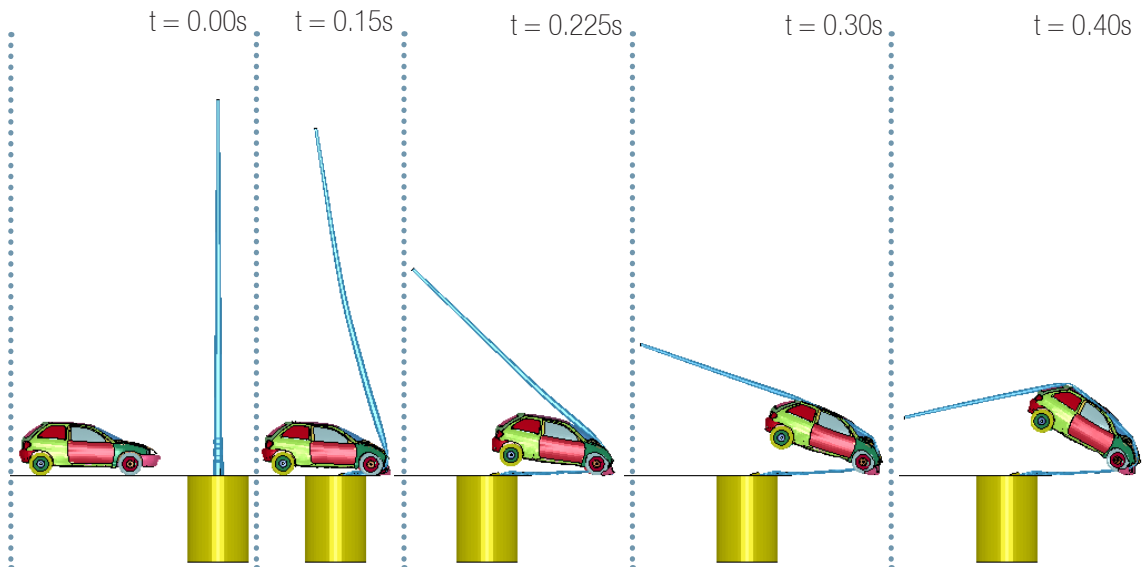
\$#	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
0.000	0.958000	1.875000	2.565000	4.398000	5.398000	0.000	0.000	

\$#	p9	p10
0.000	0.000	

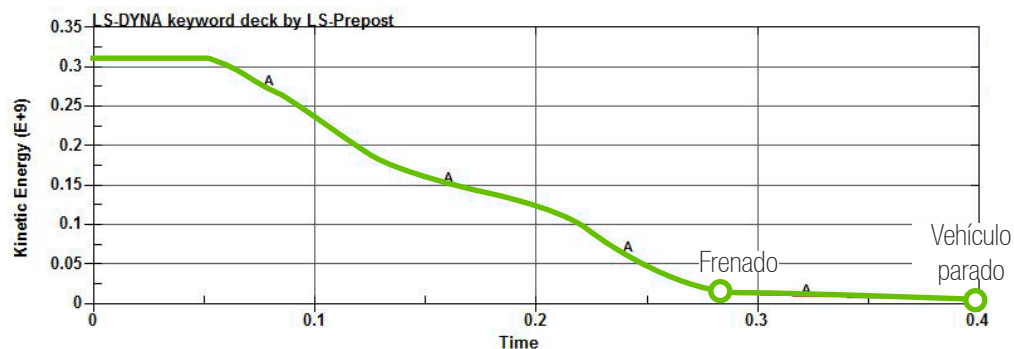
## 4.5 - RESULTADOS OBTENIDOS

Tras realizar el ensayo con nuestro nuevo modelo, los resultados obtenidos son mejores que los obtenidos con el modelo kapu en cuanto al parámetro ASI, pero el comporta general del impacto así como las aceleraciones sufridas por los pasajeros hacen que se produzca un segundo impacto (farola contra el techo) que es bastante perjudicial. Además la alta resistencia de la farola hace que el coche tienda a cabecear y su parte trasera se levante un ángulo superior incluso a los  $45^\circ$ .

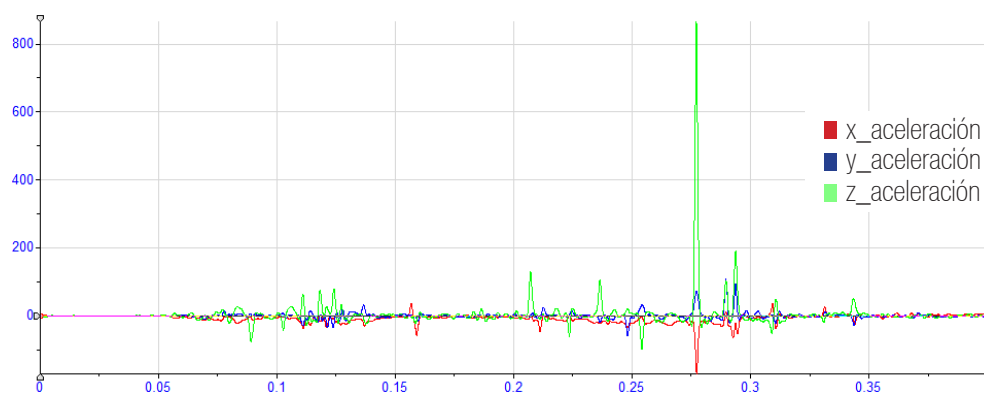
A continuación se muestran los resultados obtenidos:



En la siguiente gráfica se muestra como se producen 2 "frenazos", donde el segundo es el que daña a los pasajeros produciéndoles unas aceleraciones demasiado grandes.

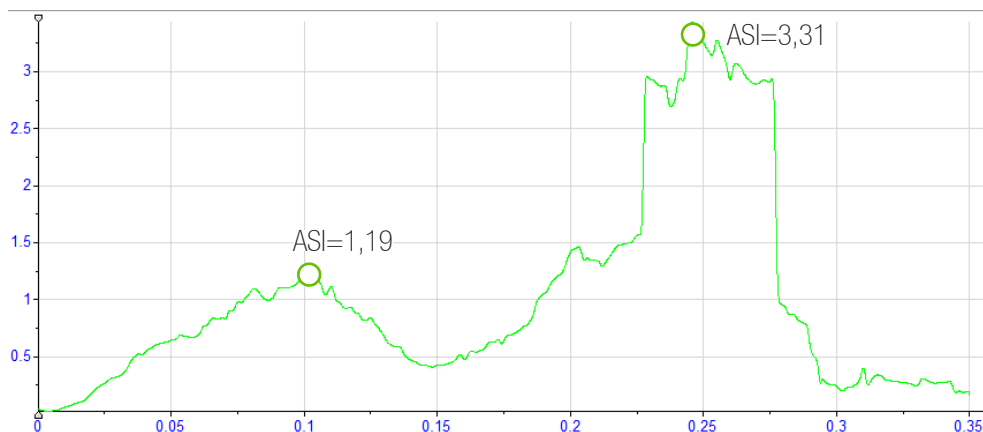


GRÁFICA: Resultado de la pérdida de energía cinética del vehículo durante el impacto



GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo





GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo

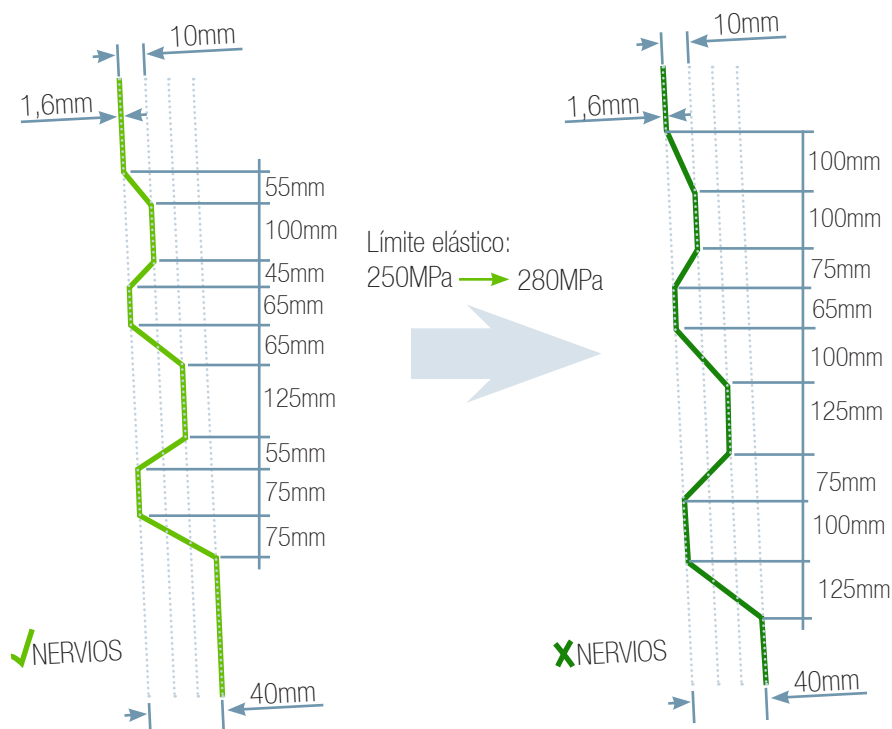
Como se ha demostrado, el diseño realizado es va bien encaminado a una buena solución, pero de momento se queda corta la mejora producida e incluso puede ser perjudicial para el impacto de los pasajeros.

Por ello, se han realizado una serie de mejoras sobre este diseño para conseguir mejorar del todo el concepto y que se trate de un concepto competitivo a todos los niveles.

## 4.6 - MODIFICACIONES Y RECÁLCULO

Una vez comprobados los pros y contras del nuevo modelo pasamos a evolucionarlo, siguiendo las directrices marcadas desde un principio obtenidas del estudio pero adaptando las modificaciones a los resultados obtenidos en el último en sayo.

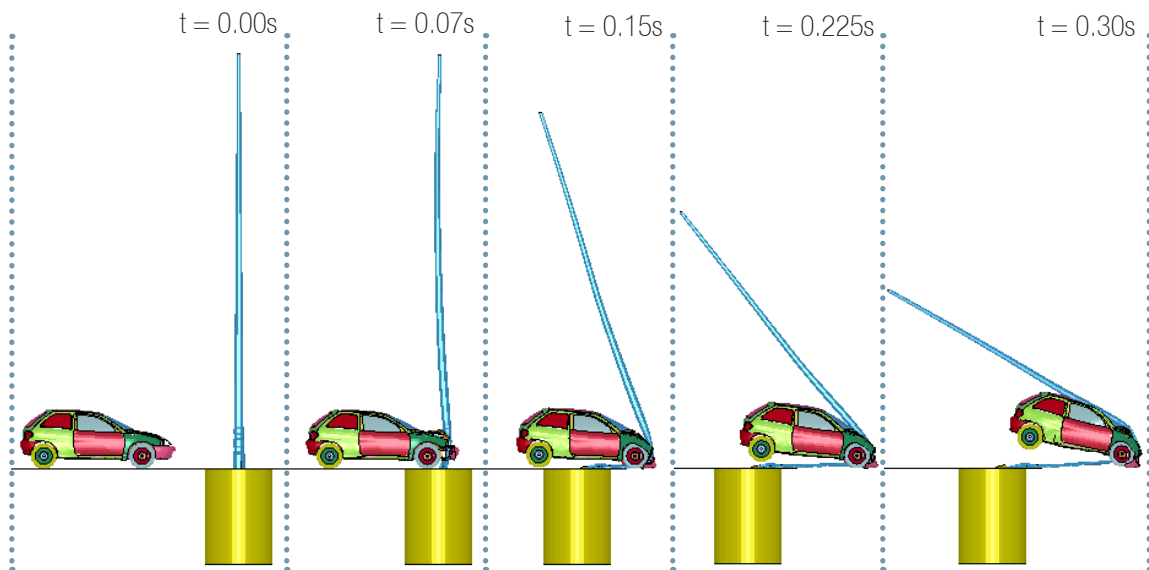
Por ello, las medidas tomadas a cabo son, eliminación completa de los nervios, una modificación de la geometría suavizando las transiciones y ángulos de la zona colaborativa y eliminación de los nervios rigidizadores.



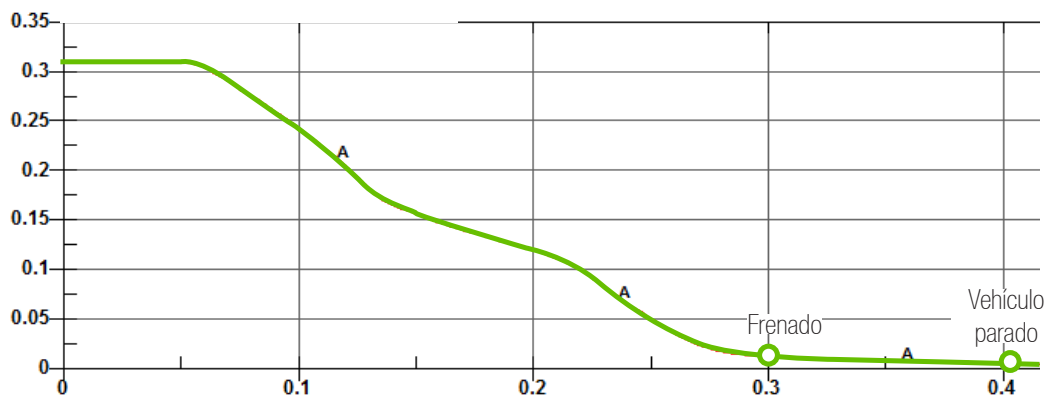
Esta modificación geométrica lleva consigo además una nueva pérdida de peso de la farola ahorrando material para conseguir un mismo objetivo.

## 4.7 - RESULTADOS FINALES DE LA ALTERNATIVA

El resultado obtenido en el último ensayo realizado en el proyecto es el siguiente:

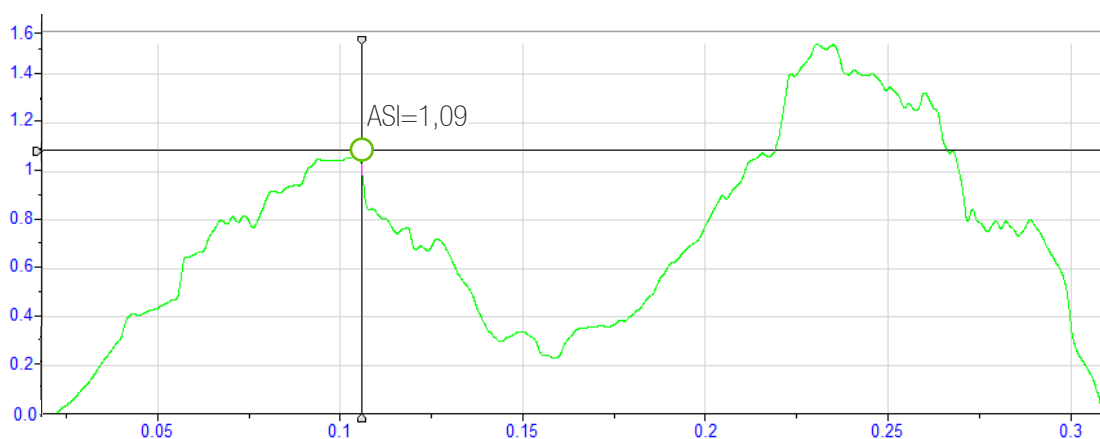


Estudiando el tiempo que tarda el vehículo en perder la totalidad de la velocidad que lleva, los resultados obtenidos son muy similares al resto de modelos, lo que nos hace ver que apenas tiene importancia el tiempo de pérdida de energía si los pasajeros no sufren aceleraciones muy grandes durante ese tiempo.

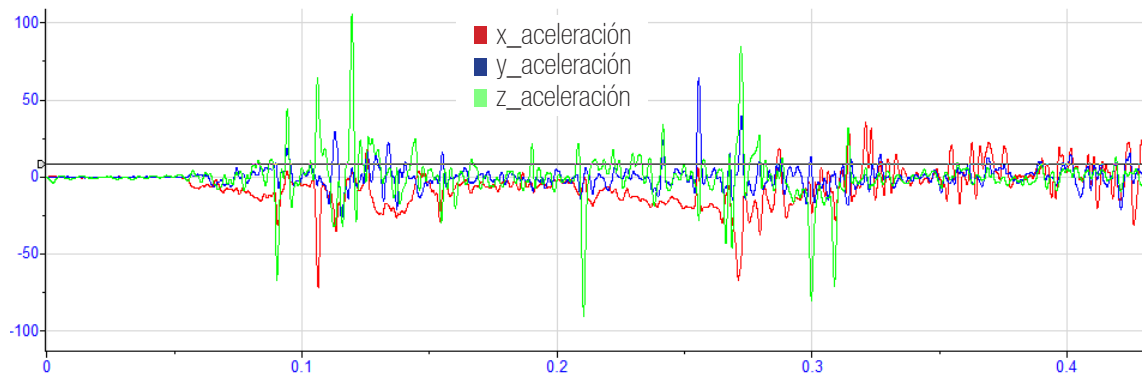


GRÁFICA: Resultado de la pérdida de energía cinética del vehículo durante el impacto

Donde si viene la mejora, tanto sobre el último diseño presentado, como sobre el modelo Kapu es en el coeficiente ASI (objetivo principal del proyecto), donde además de obtener un valor menor de 1'2, se obtiene una gráfica más regular donde se puede observar que el impacto de la farola con el coche no conlleva ninguna importancia.



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo



GRÁFICA: Representación de las 3 aceleraciones en función del tiempo

En las siguientes imágenes se pueden ver las deformaciones sufridas tanto por el vehículo que impacta, como por la farola que recibe el impacto. En esta imagen se ve perfectamente la deformación que sigue la farola y como el "fusible" cosique el objetivo final del proyecto.

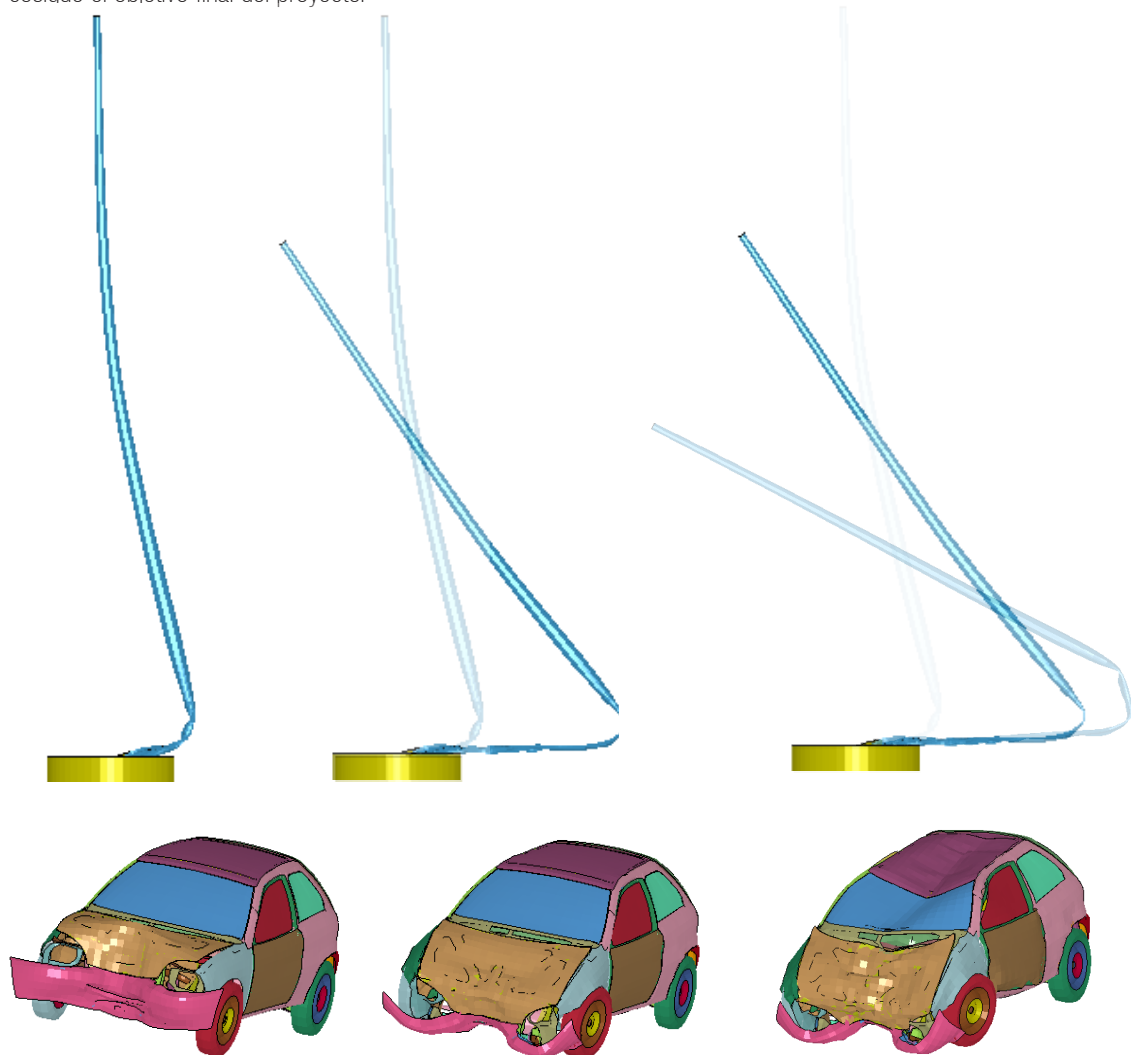


IMAGEN: Deformación sufrida por el vehículo y la farola durante el impacto

Si estudiamos el comportamiento de la farola en cuanto a su deformación podemos observar como con el nuevo modelo se ha conseguido una farola que deforma menos que el modelo KAPU, pero que absorbe más energía durante la deformación. Podemos observar como mientras la farola finlandesa era absorbida en prácticamente toda la longitud por el vehículo, este nuevo modelo tiene bastante más altura de farola sin utilizar.

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

En las siguientes tablas se recoge un resumen final de los resultados obtenidos desde el primer concepto estudiado (Kapu) pasando por el primer concepto diseñado, hasta el modelo definitivo y final del proyecto.

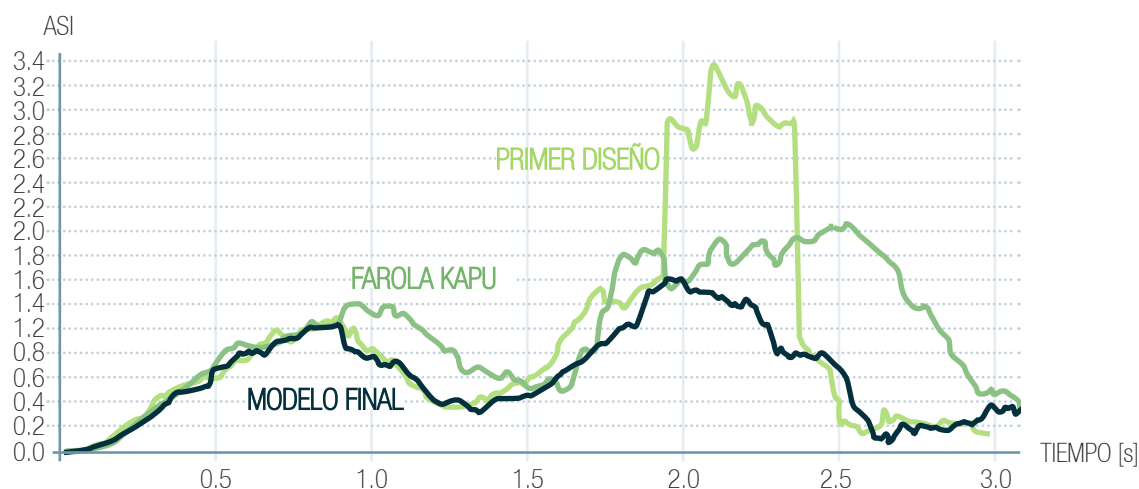
ENSAYO	IMPACTO		MATERIAL		RESULTADO
	Velocidad [km/h]	Ángulo [°]	Límite elástico [MPa]	Límite de Rotura [MPa]	
1_Farola Kapu	100	0	280	370	1,2
2_Primer concepto	100	0	250	450	1,19
3_CONCEPTO FINAL	100	0	280	450	1,09

ENSAYO	GEOMETRÍA			RESULTADOS		
	Espesor [mm]	Peso [kg]	Nervios [n°]	Tiempo Frenado [s]	ASI Impacto	ASI Total
1_Farola Kapu	2	99,38	3	0,301	1,2	1,83
2_Primer concepto	1,6	93,15	3	0,298	1,19	3,31
3_CONCEPTO FINAL	1,6	91,71	0	0,304	1,09	1,47

Una vez estudiados los resultados de las tablas resumen, la principal conclusión que se obtiene es la mejora que implementa el modelo diseñado sobre el modelo Kapu estudiado desde el principio.

Se muestra como se ha rebajado hasta 0,11 el valor del coeficiente ASI, mejorando además el comportamiento general del impacto y todo esto con una rebaja de casi 8kg de acero.

Esta reducción viene acompañada de una mejora en el material de fabricación por lo que hablamos de un modelo mejor en completo y que debe servir como raíz para estudiar la posibilidad de la realización de una pieza "fusible" que mejore cualquier modelo de farola actual.



GRÁFICA: Resultado del coeficiente ASI a lo largo del tiempo

Podemos dar pues con este modelo como finalizado el estudio dinámico del comportamiento de la farola y la demostración de las líneas de trabajo impuestas al comenzar esta fase. Se puede ver en la gráfica como además del mejor coeficiente mínimo además el nuevo modelo presenta el mejor comportamiento general ante el impacto de la farola con el techo del vehículo por lo que el resultado final del proyecto es totalmente satisfactorio.

## 4.8 - JUSTIFICACIÓN MECÁNICA

### ANÁLISIS DE CARGAS DE VIENTO

Antes de comenzar el estudio dinámico del impacto del vehículo sobre la farola, pasamos a realizar un estudio previo de la farola, con el fin de que, el diseño final del proyecto cumpla con todas las solicitaciones.

Para ello comenzamos por realizar un estudio del comportamiento de la farola con respecto a las posibles cargas de viento que deba soportar. Para ello, partimos de la normativa europea que nos indica tanto cómo es la realización del estudio como los resultados mínimos o máximos que debemos obtener.

### UNE 135311: Señalización vertical. Elementos de sustentación

Peso propio:

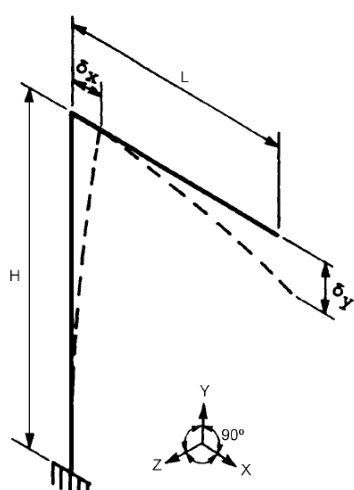


Tabla 1 – Desplazamientos permisibles máximos por peso propio, cargas permanentes y sobrecargas de uso en banderolas

Longitud dintel, L m	Dintel	Soporte
	$\delta_y$	$\delta_x$
$\leq 6$	$\leq L / 130$	$\leq H / 300$
$6,1 \leq L \leq 6,5$	$\leq L / 140$	$\leq H / 300$
$6,6 \leq L \leq 7,5$	$\leq L / 150$	$\leq H / 300$
$7,6 \leq L \leq 8,5$	$\leq L / 160$	$\leq H / 300$
$8,6 \leq L \leq 9,0$	$\leq L / 170$	$\leq H / 300$
$\geq 9,1$	$\leq L / 200$	$\leq H / 300$

Viento:

Debido al efecto eólico se debe considerar una sobrecarga unitaria de viento de  $1500 \text{ N/m}^2$ , como suma de presión más succión, actuando perpendicularmente a los carteles sobre una de sus caras.

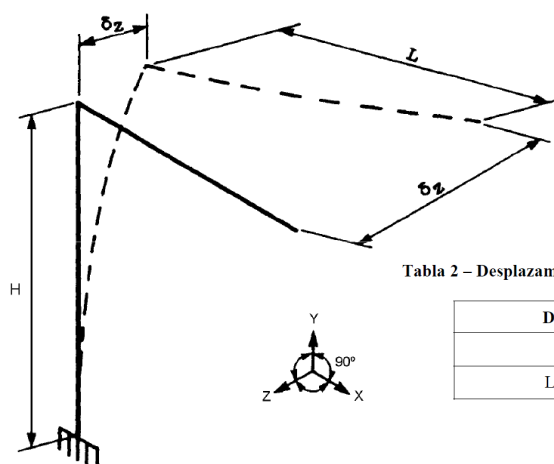


Tabla 2 – Desplazamientos permisibles máximos por viento en banderolas

Dintel	Soporte
$\delta_z$	$\delta_z$
$L / 20$	$H / 100$

## APARTADO 1: MEMORIA DEL PROYECTO

Estas hipótesis se deben mayorar con los coeficientes:

- 1,35 para acciones constantes, cargas permanentes y sobrecargas
- **1,50 para viento**
- 1,33 para la acción térmica

En esta norma no se consideran el efecto sísmico, la fatiga, ni la resistencia al fuego.

Una vez especificada la Normativa vigente de cargas de viento para este tipo de mobiliario urbano, como en todo el proceso, pasamos a quedarnos con la información que nos servirá en el diseño de la propuesta final.

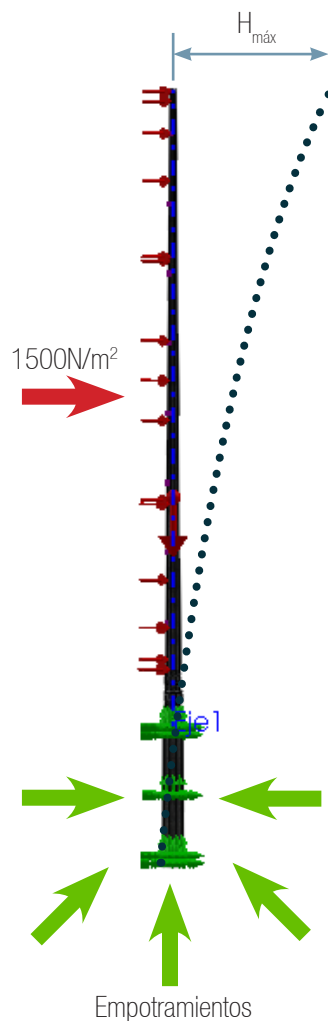
Por ello, solo nos quedaremos con el cálculo de desplazamiento del punto de máxima altura del tronco, que como se indica tiene un desplazamiento máximo de  $H/100$ mm.

$$H = 12000\text{mm} \longrightarrow H/100 = 120\text{mm}$$

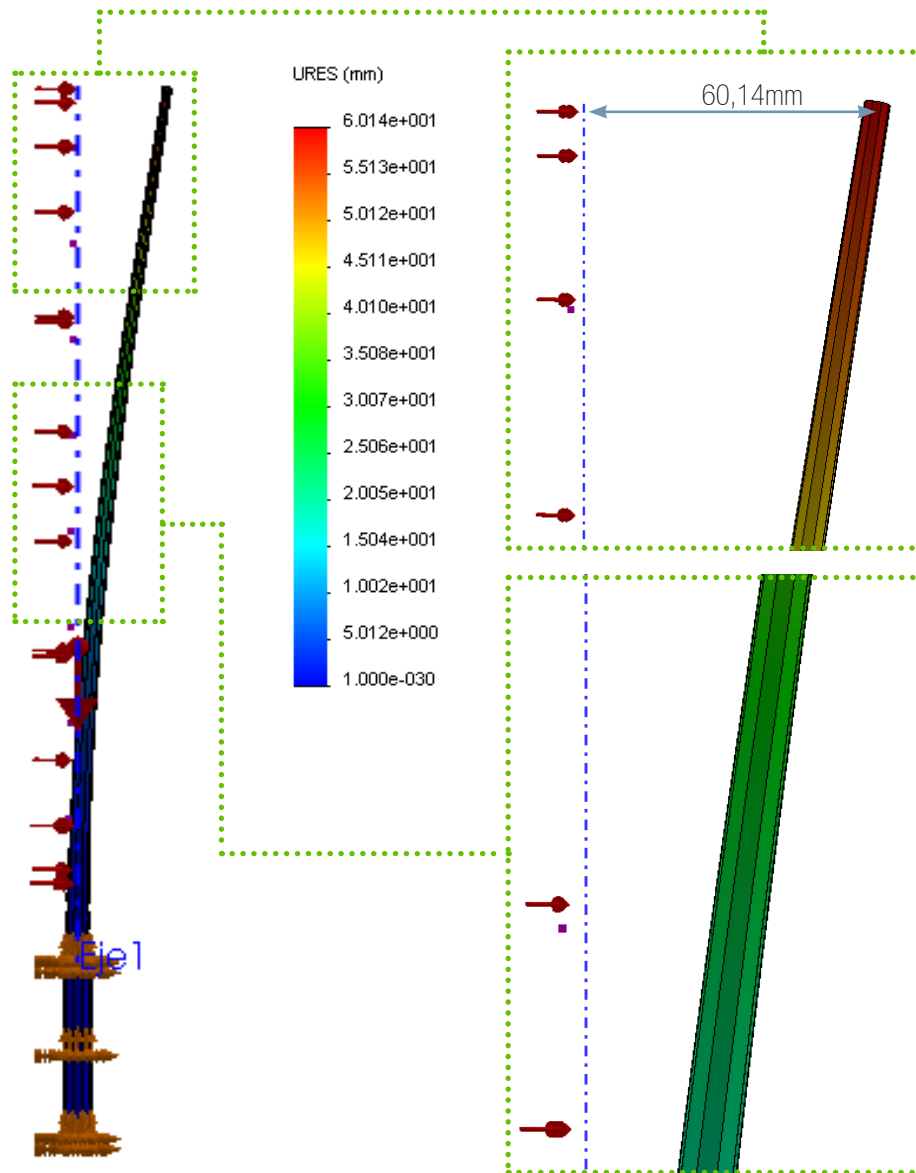
Si aplicamos el coeficiente de seguridad de 1,5 la distancia máxima pasa a ser:

$$H_{\text{máx}} = 80\text{mm}$$

### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO:



## RESULTADOS DEL ENSAYO:



$$60,14 < 80\text{mm}$$

Podemos observar como el nuevo diseño del poste resiste perfectamente las cargas de viento impuestas por la Normativa Europea al respecto por lo que ya solo deberemos centrarnos en el diseño en sí y su fabricación.

### 4.9 - LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

Una vez obtenidos los últimos resultados mostrados en el proyecto, la solución no debería considerarse como definitiva dado que la mejora del modelo puede seguir siendo implementada. Por ello, y con los conocimientos adquiridos sobre el contexto durante el proyecto, se establecen a continuación una serie de líneas futuras de trabajo en las que se deberían basar las próximas modificaciones y mejoras del modelo.

#### 1 CONCIENCIACIÓN E INVESTIGACIÓN

Aunque el porcentaje de accidentes de este tipo no es uno de los más frecuentes, la severidad de los mismos hace que deba aumentar la concienciación en el diseño pasivo de este tipo de mobiliario público. Esto hace que exista la necesidad de mejorar la investigación en el sector para mejorar el tipo de productos.

#### 2 MATERIALES DEL FUTURO

Durante todo el proyecto se ha visto la vital importancia del material seleccionado para el diseño del modelo en los resultados obtenidos ante un impacto de un vehículo.

Por ello, una de las líneas futuras deberá ser el estudio e implementación de nuevos materiales, evolucionando las capacidades y características de los que se usan en la actualidad.

#### 3 FABRICACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN

Ésta será una de las grandes líneas de mejora en este tipo de productos. Solo en España existe una pluralidad de modelos de farola que, en primer lugar, no poseen un diseño pasivo reseñable, y en segundo lugar es totalmente diferenciado dependiendo el lugar que se mire.

Por ello, el diseño de un fusible mecánico genérico que pudiera ser adaptable a cualquier tipo de farola y, sirviera para que cualquier modelo de farola estándar se convirtiera en un modelo pasivo, sería el objetivo final de este tipo de estudio.

Además debería buscarse la mejora del diseño de los modelos desde el punto de vista de la fabricación de los mismos para buscar soluciones que faciliten la estandarización de un producto que no se trata de un embellecedor, sino de un sistema de seguridad pasiva en el sector de la automoción.

#### 4 GEOMETRÍA FUSIBLE

Visto el gran avance que este tipo de geometría ha entrañado sobre el modelo Kapu, una de las líneas de trabajo más importantes vendrán de la mano de la mejora de este tipo de geometría. Ya no solo desde el punto de vista mecánico y el comportamiento de la farola, sino desde el punto de vista de la fabricación de la misma.

Este proyecto puede ser un punto de partida que, con la investigación suficiente podría terminar en el diseño de una pieza universal que mejorara el comportamiento pasivo de cualquier modelo de farola sea cual sea su aplicación actual.



## 4.10 - CONCLUSIONES FINALES DEL PROYECTO

Como se ha descrito anteriormente, el proyecto termina aquí pero la investigación y las posibilidades de mejora pueden continuar siguiendo las líneas de trabajo que se han expuesto en el proyecto. Este proyecto ha tratado de investigar y estudiar las diferentes posibilidades que, gracias al conocimiento que hemos adquirido en el sector y gracias a su implementación en los diferentes programas de cálculo, han llevado a darnos una serie de líneas de trabajo que servirán como guión para que, el modelo explicado en el proyecto, se pueda estudiar o pueda ser usado para basarse en él y llegar a una gran solución final.

Todo estudio lleva consigo la consecución de unas conclusiones finales globales como punto final el proyecto y que se pasan a definir a continuación:

- 1 En primer lugar, el estudio ha resultado ser muy interesante por la demostración de las grandes diferencias entre un comportamiento mecánico estático, que estamos más acostumbrados a estudiar, y el estudio dinámico de un impacto a 100km/h donde las propiedades que pueden parecer favorecedoras, pueden resultar más desfavorables y en sentido contrario.
- 2 La importancia de la caracterización correcta de los materiales ha sido otra de las conclusiones obtenidas en el estudio, donde la diferencia entre una buena definición de un acero, o del material que se usa como tierra hace que el estudio sea o no sea adecuado y representativo/capaz de reproducir el ensayo real.
- 3 La gran capacidad de aproximación a un resultado real que da un correcto mallado (mediante un software específico) controlando mejor la geometría del mallado, su densidad en las diferentes zonas de actuación, etc.
- 4 El aprendizaje obtenido en el campo de estudio del proyecto, así como en el manejo de diferentes softwares específicos que para impactos dinámicos como es LS-Dyna Manager, que ha resultado interesante para completar la formación mecánica obtenida durante el Máster.
- 5 La posibilidad de extrapolar las líneas de trabajo o perfiles de avance de este proyecto a cualquier otro proyecto que trate de un tema similar, pudiéndose tratar de postes, barreras o cualquier objeto solicitado a impactos de grandes velocidades.

## \_REFERENCIAS

[B1]- DGT: "Siniestralidad vial. España 2013"

[B2]- "Estrategia de Seguridad Vial 2011-2020". RESUMEN EJECUTIVO. Dirección General de Tráfico.

[B3]- Plan de investigación en Seguridad vial y movilidad 2013-2016. DGT.

[B4]- RACE: "Las farolas como elemento en la seguridad pasiva de la vía" [Agosto de 2005]

[B5]- CSS: "The use of passively safe signpost and lighting columns" G.L.Williams, J.V.Kennedy, J.A.Carroll, and R Beesley [Publicado: Agosto 2008]

[B6]- EN1317 barrier tests: The relationship between ASI and injury - June 2009 - Richard Sturt – Arup: [www.arup.com](http://www.arup.com)

[B7]- Fundación CIDAUT: "Identificación y caracterización de los objetos de los márgenes de la carretera que son impactados en accidentes por salidas de vía" [Diciembre 2012]

[B8]- "The influence of ASI on injury risk in impacts with roadside safety barriers". Richard Sturt\* and Christina Fel I- Ove Arup & Partners - The Arup Campus, Blythe Gate, Blythe Valley Park, Solihull, - West Midlands, B90 8AE

[B9]- GUÍA-EA-ANEXO II: Ministerio de Industria, Energía y Turismo

[B10]- "SignPost-SOLUTIONS LTD". 12m KAPU Passively Safe Lighting Column (100,HE,2)

- "Passively safe columns and signposts". Traffic Management Products.

Otros documentos utilizados para la realización del proyecto:

[B11]- "Frontal crash simulation of vehicles against lighting columns using FEM" Yehia A. Abdel-Nasser. Naval Architecture and Marine Engineering Department, Faculty of Engineering, Alexandria University, Egypt [Noviembre 2011]

[B12]- "New design of roadside pole structure: crash analysis of different longitudinal tubes using LS DYNA" Dr Ahmed Elmarakbi. Mr Niki Fielding [2009]

[B13]- "Improving the crash compatibility of cars and roadside poles" Michael Griffiths. Road Safety Solutions. Australia

[B14]- Normativas Europeas (Universidad de Zaragoza)

[B15]- LS-DYNA USER'S MANUAL. Nonlinear Dynamic Analysis os Structures

[B16]- "Computational simulations of road safety barriers using LS-DYNA". University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, Eslovenia.

[B17]- "Improving the crash compatibility of cars and roadside poles". Michael Griffiths. Road Safety Solutions. Australia. John Jarvie

[B18]- "Energy absorbing materials and structures in the future design of the road safety equipment". Dr.sc. Drazen Živkovic, Mechanical engineer

[B19]- "Passive Safety UK Guidelines for Specification and Use of Passively Safe Street Furniture on the UK Road Network"

[B20]- "Roadside Infrastructure for Safer European Roads". Chalmers University of Technology

Febrero 2015



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad Zaragoza**



**Universidad**  
Zaragoza

1542