



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2017/2018

*MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DE
UN VEHÍCULO CONTRA UNA COLUMNA DE
PARKING*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNA/O

Sergio Roget Mourelle

TUTORAS/ES

Manuel López López

FECHA

SEPTIEMBRE 2018

ÍNDICE GLOBAL DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

Índice global del trabajo de fin de grado	2
Modelización tridimensional del impacto de un vehículo contra una columna de parking.....	3
1 Memoria	7
2 Conclusiones	50
3 Referencias.....	52

MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DE UN VEHÍCULO CONTRA UNA COLUMNA DE PARKING

En este trabajo se va a realizar el análisis de la normativa referente a la situación accidental del impacto de un vehículo contra una columna de parking, con la ayuda de simulaciones mediante el método de los elementos finitos. En estas simulaciones se usará un modelo de una camioneta para de este modo, poder efectuar dichas simulaciones con ordenadores comerciales.

Se estudiarán seis casos diferentes de impacto de un vehículo contra un pilar de parking: Con los dos primeros casos se valida el modelo comparando los resultados con la bibliografía y con los cuatro últimos se estudian las situaciones más comunes de impacto en un parking.

Además, en los casos de estudio se analiza el comportamiento de diferentes tipologías de sección de los perfiles ante esta situación accidental.

MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DO IMPACTO DUN VEHÍCULO CONTRA UNHA COLUMNA DE PARKING

Neste traballo vaise analizar as regulaci3ns sobre a situaci3n accidental do impacto dun veh3culo contra unha columna de estacionamento, coa axuda de simulaci3ns usando o m3todo de elementos finitos. Nestas simulaci3ns utilizarase un modelo de camioneta para poder realizar estas simulaci3ns con ordenadores comerciais.

Estudaranse seis casos diferentes de impacto dun veh3culo contra un pilar de estacionamento: cos primeiros dous casos, o modelo 3 validado comparando os resultados coa bibliograf3a e cas catro ultimas est3ndanse as situaci3ns de impacto m3is com3ns nun aparcadoiro.

Ademais, nos casos de estudo, analizase o comportamento dos diferentes tipos de secci3ns dos perf3s ante esta situaci3n accidental.

THREE-DIMENSIONAL MODELIZATION OF THE IMPACT OF A VEHICLE AGAINST A PARKING COLUMN

In this paper we will analyze the regulations regarding the accidental situation of the impact of a vehicle against a parking column, with the help of simulations using the finite element method. In these simulations a model of a truck will be used in order to be able to carry out these simulations with commercial computers.

Six different cases of impact of a vehicle against a parking pillar will be studied: With the first two cases, the model is validated by comparing the results with the bibliography and with the last four the most common impact situations in a car park are studied.

In addition, in the case studies, the behavior of different types of sections of the profiles is analyzed in the face of this accidental situation.

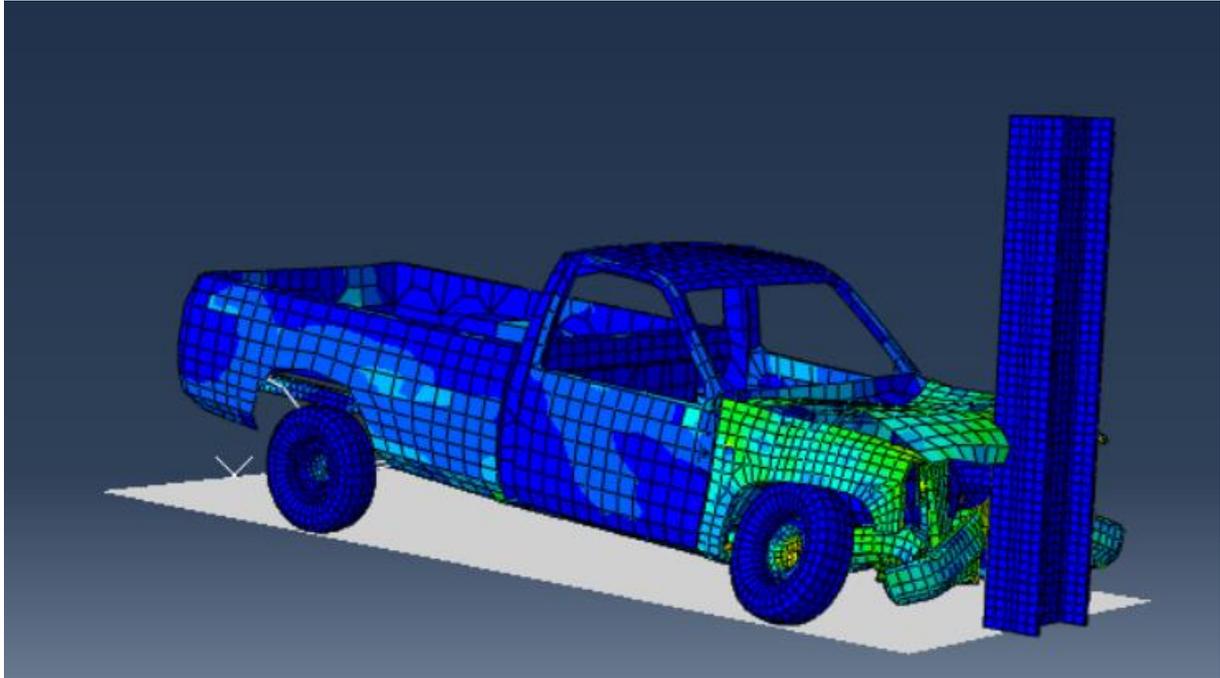


Ilustración 1 Escena final del impacto del vehículo contra la columna de parking



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2017/2018**

*MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DE
UN VEHICULO CONTRA UNA COLUMNA DE
PARKING*

Grado en Ingeniería Mecánica

Documento

MEMORIA

ÍNDICE DEL DOCUMENTO MEMORIA

1 Memoria	7
1.1 Abreviaturas:.....	7
1.2 Introducción al Método de los elementos finitos:.....	8
1.3 Justificación del proyecto.....	11
1.4 Antecedentes.....	12
1.5 Vehículo.....	14
1.6 Columnas.....	16
1.7 Ensamblaje.....	20
1.8 Impacto.....	23
1.8.1 Validación del modelo	23
1.8.1.1 Camioneta de 1990 kg contra perfil HEB a 20 km/h.....	23
1.8.1.2 Camioneta de 3000 kg contra perfil HEB a 20 km/h.....	28
1.8.2 Ensayos	31
1.8.2.1 Camioneta de 1990 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.....	31
1.8.2.2 Camioneta de 3000 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.....	36
1.8.2.3 Camioneta de 1990 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.....	38
1.8.2.4 Camioneta de 3000 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.....	43
1.9 Normativa.....	46
1.10 Resultados.....	47
2 Conclusiones	50
3 Referencias	52

1 Memoria

1.1 Abreviaturas:

TFG: Trabajo de fin de grado.

CAD: Computer Aided Design (diseño asistido por ordenador)

CAE: Computer-aided engineering (Ingeniería asistida por ordenador)

NCAC : The National Crash Analysis Center

MEF: Método de los elementos finito

1.2 Introducción al Método de los elementos finitos:

El método de los elementos finitos (MEF) es un método numérico que surge de la complejidad que existe en el estudio de los medios continuos, que son los que componen los sistemas reales. Este método es usado en una amplia variedad de campos, como son: la simulación de estructuras, estudio de flujos de calor y de fluidos, etc.

Las ilustraciones 2 y 3 son unas muestras de la amplia variedad de campos que puede abarcar el MEF.

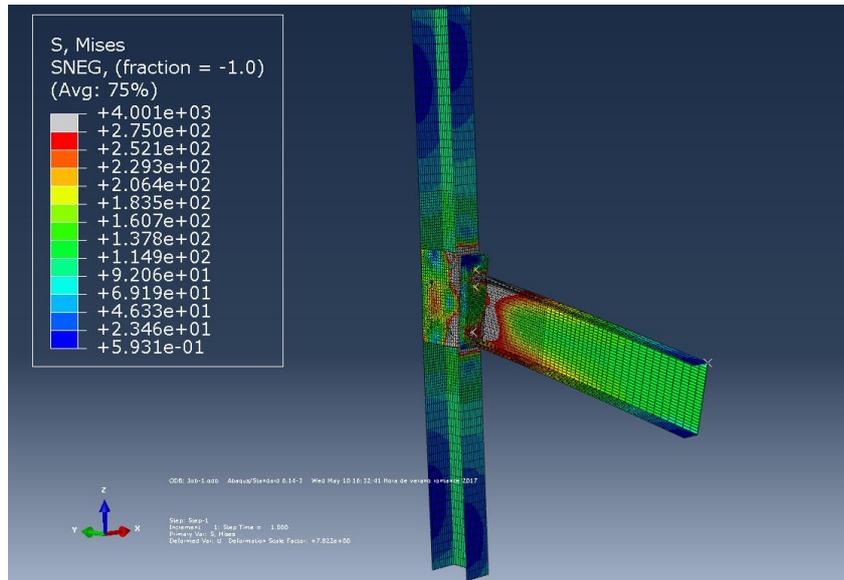


Ilustración 2 Análisis estructural de una unión metálica atornillada.

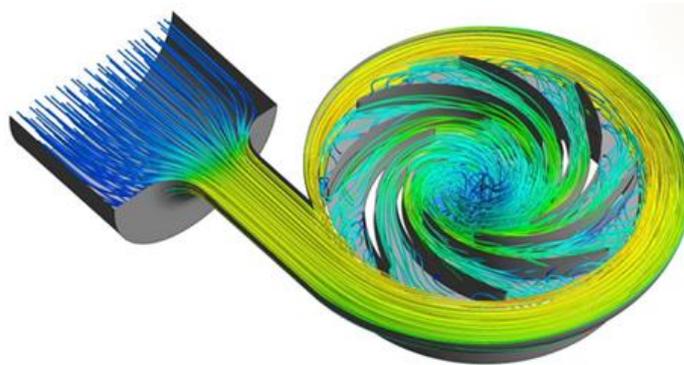


Ilustración 3 Simulación del flujo de agua en una turbina

El MEF consiste en resolver ecuaciones diferenciales que caracterizan el comportamiento físico del medio continuo a estudiar, cuyas soluciones nos dan una aproximación de la realidad, que en la práctica y en la mayoría de los casos se pueden considerar como reales. Estas ecuaciones diferenciales se obtienen a partir de la división de nuestro medio continuo en partes más pequeñas denominadas elementos, que se unen entre si mediante nodos, y que representan el comportamiento de la malla, que es el conjunto de los elementos y los nodos.

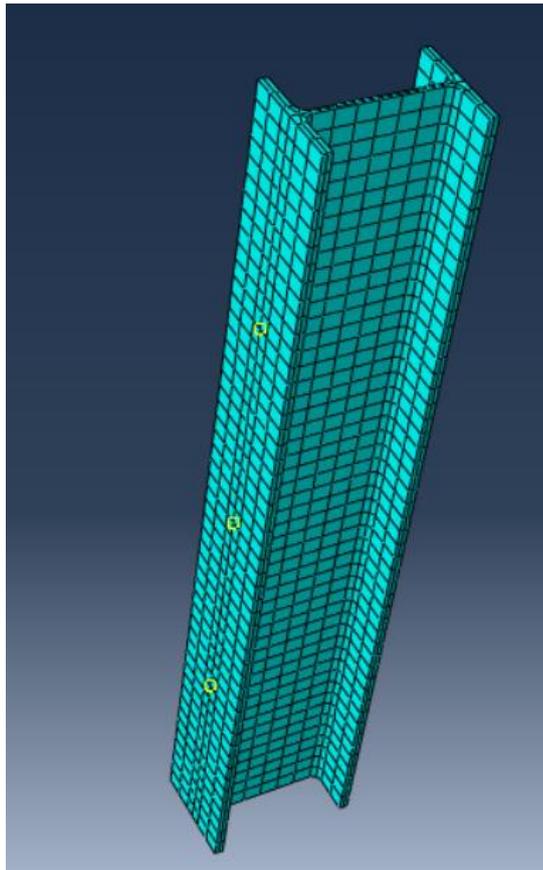


Ilustración 4 Ejemplo de una malla

Existen varios tipos de elementos que se adaptarán mejor o peor al modelo de estudio dependiendo de su geometría, pudiendo ser: unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales.

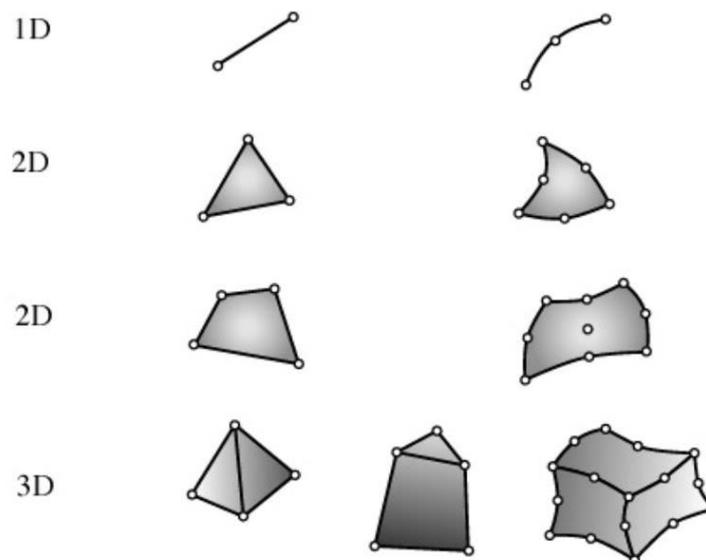


Ilustración 5 Tipos de elementos finitos

En la ilustración 5 se puede ver una muestra de diferentes elementos.

Es importante destacar que el tamaño del elemento es uno de los parámetros que más influye en los resultados y también en el tiempo de cálculo, por lo tanto, es importante reducir

el tamaño de estos elementos. Debiendo recordar, además, que a mayor número de elementos mayor carga de cálculo habrá.

El MEF, en la actualidad, se resuelve mediante métodos computacionales, ya que sin ellos muchos de los casos que a día de hoy se pueden abordar no se podrían resolver o requerirían mucho tiempo de resolución, por lo que es evidente que el desarrollo de este método está muy arraigado a los avances en el campo computacional, de ahí que este método sea relativamente moderno.

Los programas informáticos de MEF cumplen siempre tres etapas: el preprocesado, el cálculo y el postprocesado.

En la etapa de preprocesado nos encontramos con la definición completa de la malla, las fuerzas que se aplican a nuestro modelo, condiciones de contorno, modelo 3D, etc.

En la fase de cálculo se generan las ecuaciones diferenciales a resolver que representan a nuestro modelo de estudio y se solucionan en función de unos procesos de cálculo definidos.

Finalmente, en el postprocesado se procesan los resultados obtenidos con las ecuaciones diferenciales de forma que se puedan comprender de manera más sencilla y visual, y en caso de ser necesario se gestiona su almacenaje, pudiendo interactuar con ellos.

Para el desarrollo de este proyecto se ha utilizado el programa informático denominado Abaqus® para realizar las simulaciones necesarias y así poder efectuar el estudio que es el tema de este trabajo de fin de grado (TFG). Es necesario mencionar que este software de elementos finitos no tiene un sistema de unidades predefinido, por lo tanto, es necesario establecer unas unidades coherentes entre sí que deberemos usar a lo largo de todo el desarrollo de este proyecto.

Las unidades elegidas han sido:

Magnitud	Unidad
Fuerza	N
Longitud	mm
Tiempo	s
Masa	Tn
Tensión	MPa

Tabla 1 Unidades utilizadas en el programa de elementos finitos

1.3 Justificación del proyecto

La realización de este TFG tiene como objetivo principal el análisis de las normativas actuales debido a que en algunos casos pueden estar por debajo de la seguridad. En este caso, se examinará la colisión de un vehículo contra la columna de un parking dentro de un edificio.

Las normativas a este tipo de situaciones dan unos valores de fuerzas estáticas equivalentes a tener en cuenta que a lo largo de este proyecto se verá que no son suficientes, por lo menos en el supuesto concreto que se está examinando.

Este estudio se elabora con un modelo de camioneta simplificado. Esto nos lleva, por un lado, a que la normativa se podría actualizar sin el uso de un gran coste a nivel de recursos; por otra parte, a la realización de este estudio de las normativas con un modelo simplificado, ya utilizado anteriormente por López Blanco J.J. [4].

Por ello, y dado que no se podría abarcar en este trabajo todo el abanico de posibilidades que se ofrecía, se ha escogido el mencionado método para la elaboración de este análisis, siendo posible, de este modo, observar la validez del citado modelo en situaciones similares y reafirmar la idea de que con recursos moderados se pueden obtener resultados adecuados para un juicio rápido y fiable, dentro de un marco donde no se está haciendo un análisis exhaustivo.

Por último, en este TFG también se estudia el comportamiento y la eficiencia de emplear un perfil cuadrado en la columna de parking debido a que esto eliminaría el escenario de una colisión contra el eje débil de la columna, ya que como veremos en los siguientes capítulos, el pilar del parking es un perfil HEB.

1.4 Antecedentes

Las referencias bibliográficas básicas de donde se obtienen la información y datos necesarios para el desarrollo de este TFG son dos.

El primer y principal antecedente es el texto *“Tridimensional modelization of the impact of a vehicle against a metallic parking column at a low speed”* [1]. En este escrito se explica cómo las normativas en determinados aspectos promueven o favorecen a la inseguridad, como se produce en la situación que es objeto de este trabajo que como ya se ha venido mencionando a lo largo de este escrito es el impacto de un vehículo contra una columna de metal en un parking. Estas acciones en la edificación se deberían estudiar y evaluar mediante programas MEF, para actualizar dichas normativas como defiende la autora B. Ferrer. Además, este artículo, que se está intentando replicar, está basado en la tesis doctoral *“Estudio del comportamiento de pilares de edificación frente a cargas de impacto”* [3].

A lo largo de este estudio doctoral se han realizado ensayos reales y simulaciones de impactos con diferentes modelos de coches contra columnas de hormigón y de metal. En el desarrollo de esta tesis se ha utilizado un sofisticado sistema de cámaras para obtener unos resultados fiables de los desplazamientos obtenidos, además de una serie de sensores como serían acelerómetros, galgas extensiométricas, etc.

A continuación, en las ilustraciones 6 y 7, se muestran imágenes de los ensayos realizados en dicha tesis doctoral.



Ilustración 6 Selección de imágenes de la bibliografía [3]



Ilustración 7 Superposición de fotogramas de la cámara de alta velocidad. Referencia [3]

El segundo antecedente en el que se fundamenta este trabajo es: “*Simulación y análisis del impacto de un vehículo por elementos finitos*” de Juan José López Blanco [4]. De este TFG se ha reutilizado el modelo simplificado de la camioneta Chevrolet que ha sido validado a lo largo de dicho proyecto como un modelo representativo para el tipo de estudios y medios de los que disponemos. Estos recursos a los que nos referimos son los ordenadores que se han usado en la realización de este estudio como en el mencionado TFG, que en ambos casos son ordenadores comerciales de uso común, y que no son comparables en prestaciones a equipos profesionales. Por lo tanto, son equipos con una potencia de cálculo moderada para la realización de estos estudios, y de ahí que nos veamos en la necesidad de usar modelos de vehículos simplificados.

Además, de la validación realizada por Juan José López Blanco en su TFG, a lo largo de este proyecto se realizará otra comparativa, con el artículo anteriormente mencionado, para reafirmar la validez de este modelo simplificado y tener una orientación del margen de error en el que nos movemos.

1.5 Vehículo

El modelo utilizado para el vehículo representa una Chevrolet 1500 Pick Up, el cual ha sido descargado, en su momento, de la página web de la NCAC, que actualmente está fuera de servicio. En su defecto, podemos recurrir a otro enlace [7] en el que se encuentran disponibles los mismos archivos para su descarga.

El modelo de la camioneta ha sido simplificado por Juan José López Blanco en su ya mencionado trabajo “Simulación y análisis del impacto de un vehículo por elementos finitos”.

En este proceso de simplificación se han eliminado aproximadamente el 20% de los elementos del original, mediante la supresión de partes de la camioneta que no se consideran relevantes a la hora de realizar estas simulaciones como son las ventanillas, el radiador, frenos, etc. Conservando, por tanto, aquellas piezas que por su gran masa o por su carácter estructural en el vehículo se pueden entender como vitales, esto es, el chasis, la carrocería, el motor, la caja de cambios, etc.

A continuación, se muestran unas imágenes del vehículo simplificado en las que se puede apreciar la ausencia de los elementos simplificados anteriormente mencionados.

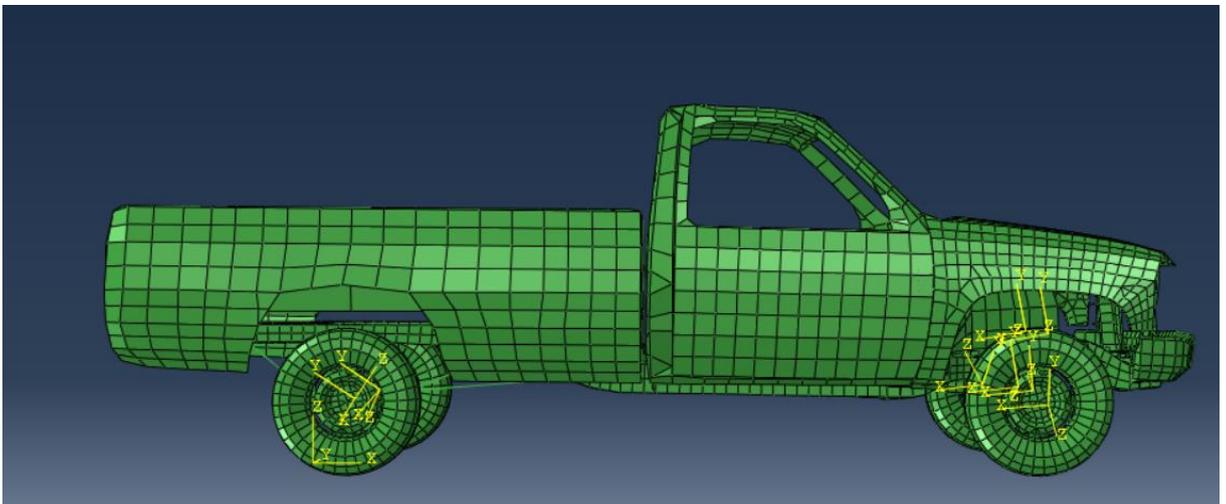


Ilustración 8 Vista lateral del modelo del vehículo ya simplificado

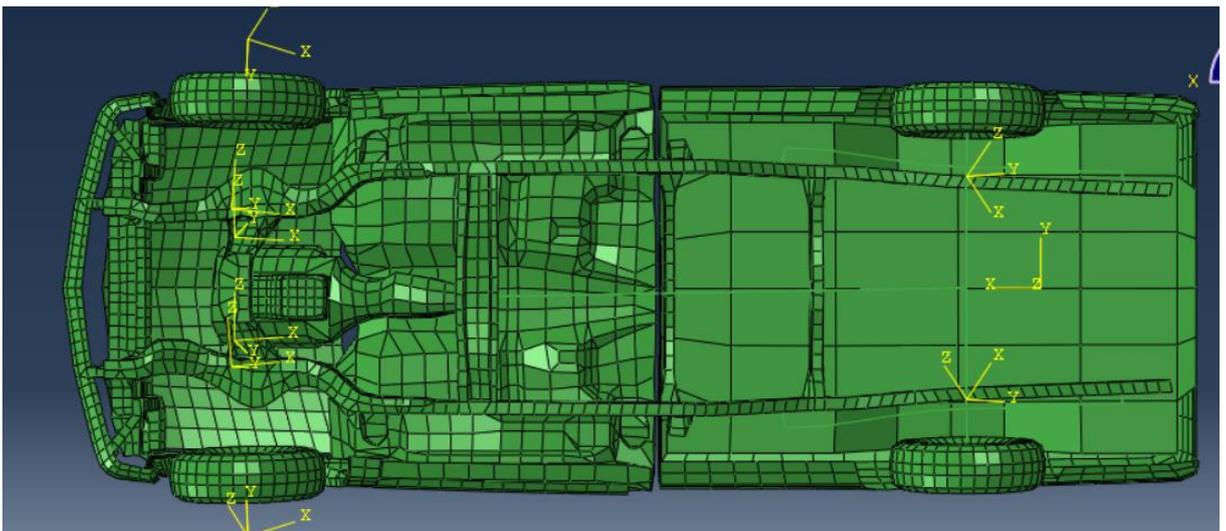


Ilustración 9 Vista inferior del modelo del vehículo ya simplificado

Además de la reducción de los elementos también se ha simplificado la cantidad de materiales usados en la camioneta, utilizando solo acero. Debido a la reducción de los

componentes también se ha tenido que insertar un punto de masa en el vano motor para volver a tener las casi dos toneladas de peso del modelo original.

Es importante destacar que este modelo se trata de una malla huérfana o independiente, es decir, que no hay una representación CAD de la cual dependa nuestra malla dentro del archivo que se está usando.

Asimismo, para poder estudiar el impacto de dos vehículos con masas diferentes hemos tenido que modificar ligeramente la camioneta, añadiéndole un punto de masa de 1010 kg en la zona de carga para de este modo obtener un peso total de 3000 kg dado que la masa de la camioneta es de 1990 kg.

Con respecto a este extremo, puede haber personas que consideren que una carga de 1010 kg para un vehículo de estas características es desmesurada. Sin embargo, es necesario precisar no solo que dicho peso era necesario para lograr que la camioneta tuviese una masa de 3000 kg sino también que existen ciertos modelos de pick up con capacidad de carga de hasta 1.400 kg. Por tanto, podemos concluir, que nos encontramos dentro de condiciones que se podrían dar en la realidad.

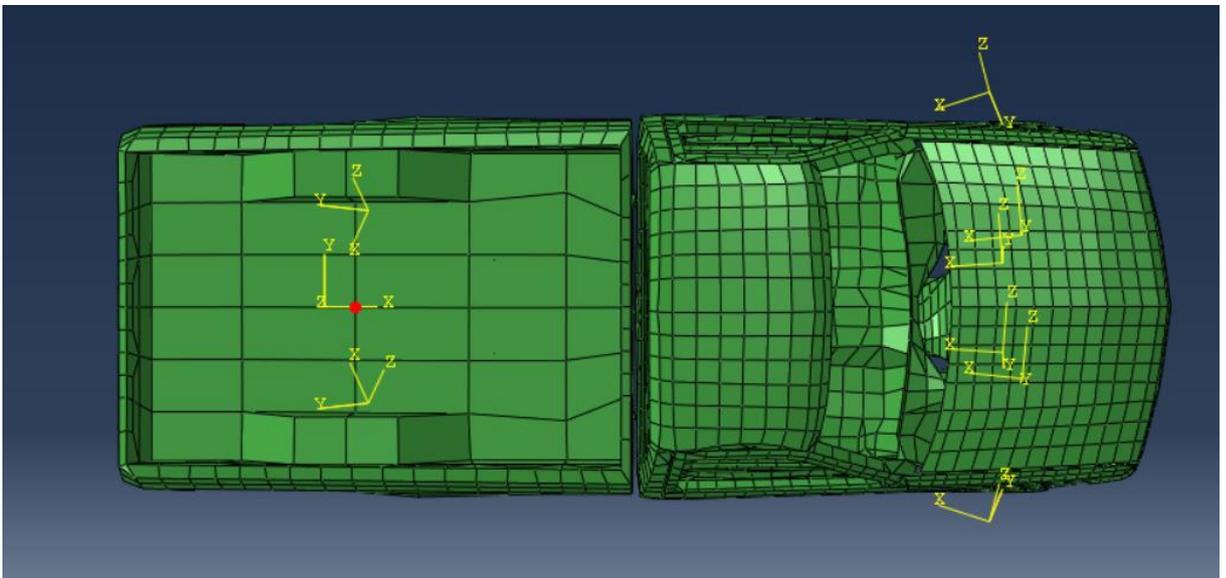


Ilustración 10 Vista del punto de aplicación de la carga del vehículo

En la ilustración 10 se puede ver el punto en donde se ha aplicado la carga de 1010 kg representado por un punto rojo.

1.6 Columnas

En este TFG se han utilizado dos perfiles de columna, un HEB-450 y un tubo cuadrado estructural.

En primer lugar, se ha escogido el perfil HEB-450 para poder comparar los resultados obtenidos con los del artículo [1] ya mencionado y así poder validar nuestro modelo nuevamente. A esta columna se le han aplicado las mismas cargas y dimensiones que en dicho artículo, lo cual nos establece una longitud de 2.5 m. El acero usado para caracterizar las propiedades de este pilar es un S-275, que es el que se emplea en el artículo [1].

Por lo que respecta al segundo perfil, se ha optado por una sección cuadrada, esto es, un tubo cuadrado estructural de 200 mm de lado y 12,5 mm de espesor en las paredes. Siempre teniendo en cuenta que la forma del perfil HEB-450 puede ser un inconveniente, dado que un eje tiene más inercia que el otro. A esta columna se le han aplicado las mismas cargas y la misma longitud que a la anterior.

Además, cabe precisar que con el objeto de generar las representaciones CAE de estas columnas hemos tenido que generar previamente su respectivo CAD a partir de los dos perfiles. Para ello, hemos dibujado los croquis de ambos perfiles acotándolos convenientemente, tal y como se puede observar en las ilustraciones 11 y 12; debiendo posteriormente, extrusionarlos y particionar dicha extrusión para conseguir un mallado estructurado para el tipo de geometría que estamos analizando dando lugar a lo que se puede contemplar en las ilustraciones 13 y 14.



Ilustración 11 Croquis acotado del perfil HEB - 450

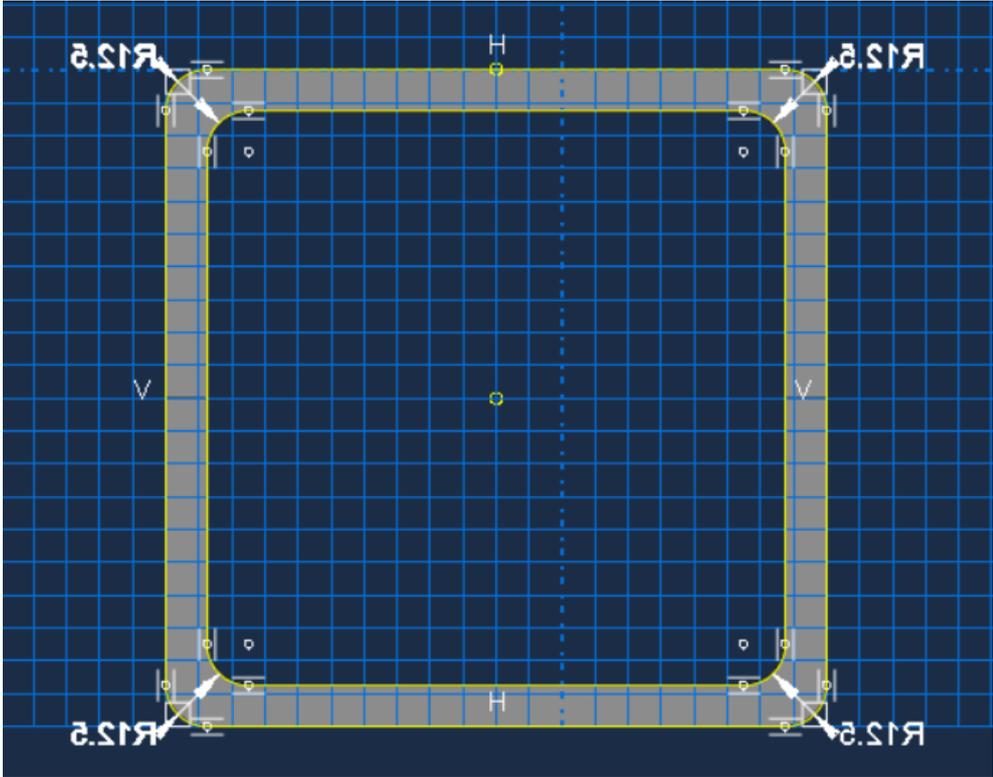


Ilustración 12 Croquis acotado del perfil del tubo cuadrado estructural

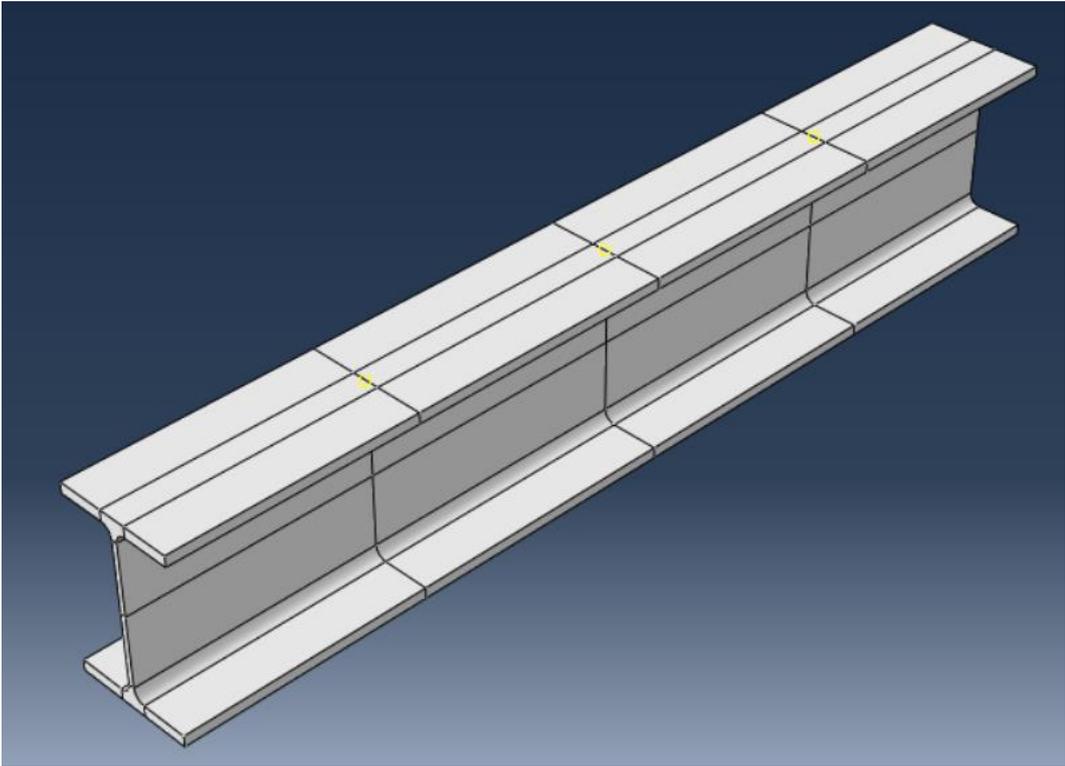


Ilustración 13 Extrusión ya particionada del pilar HEB - 450

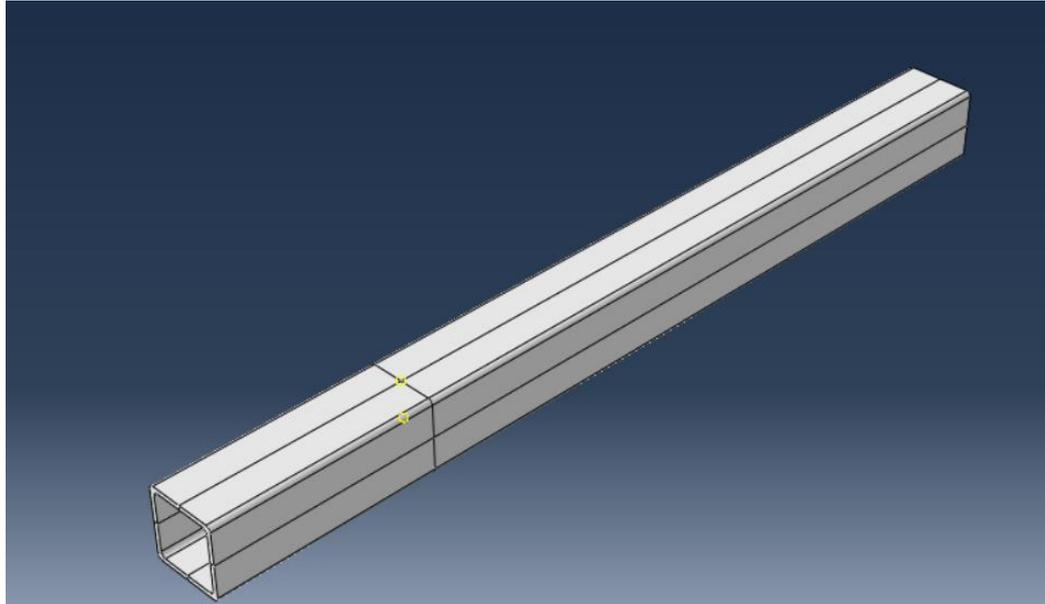


Ilustración 14 Extrusión ya particionada del pilar con perfil cuadrado

A continuación, se les ha asignado a ambas columnas el mismo material y se ha generado la malla partiendo del modelo CAD, tal y como se puede percibir en las ilustraciones 15 y 16.

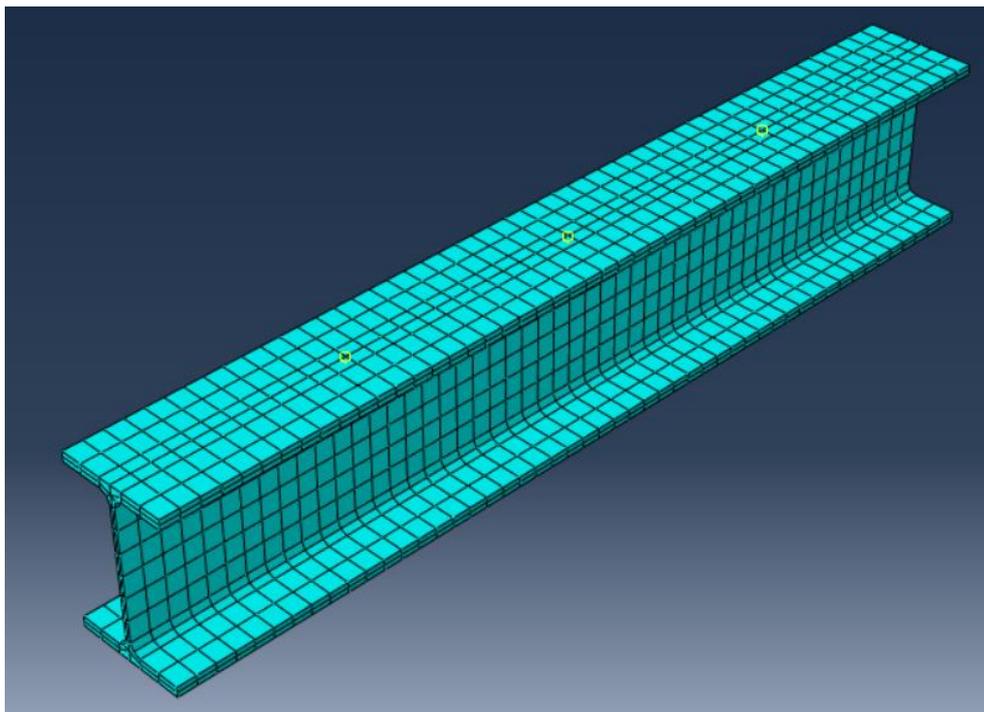


Ilustración 15 Malla de la viga con perfil HEB - 450

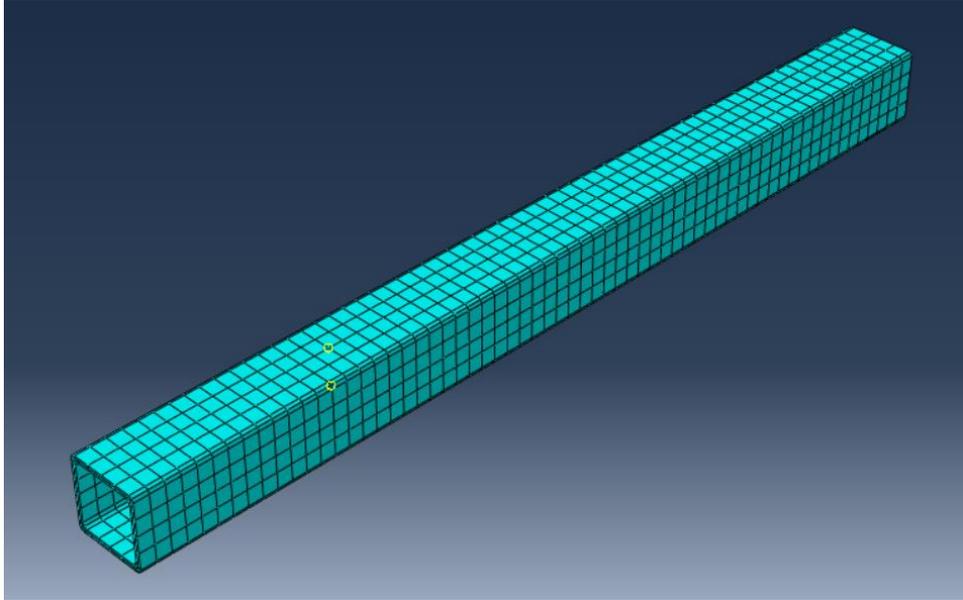


Ilustración 16 Malla de la viga con perfil cuadrado

```
Total number of nodes: 3315  
Total number of elements: 2000  
2000 linear hexahedral elements of type C3D8R
```

Ilustración 17 Cantidad de nodos y elementos y su tipo del pilar HEB

```
Total number of nodes: 4608  
Total number of elements: 3024  
3024 linear hexahedral elements of type C3D8R
```

Ilustración 18 Cantidad de nodos y elementos y su tipo del pilar con perfil cuadrado

Como se puede observar en la ilustración 17, la malla del pilar HEB está compuesta por 2000 elementos hexaédricos de tipo C3D8R, que indica que es un elemento sólido, mientras que el perfil cuadrado está compuesto por el mismo tipo de elementos, pero aumentando su número hasta los 3024 como se muestra en la ilustración 18.

1.7 Ensamblaje

Tras la creación de los dos modelos de vigas se genera el ensamblaje, ya sea con la malla de la camioneta y la del pilar para crear la simulación dinámica del impacto o la malla de la columna sola para originar la simulación estática.

El ensamblaje “dinámico” está compuesto por el modelo de la camioneta, el modelo del pilar pertinente y una superficie que representa el suelo, como se observa en las ilustraciones 19 y 20.

A la hora de realizar el ensamblaje se han tenido que definir una serie de condiciones de contorno como son: el tipo de contacto, el campo de velocidades del vehículo, la fuerza de la gravedad y las cargas a las que está sometido el pilar.

Asimismo, para definir el contacto ha sido necesario aplicar dos tipos de contacto denominados general contact y Surface to Surface contact, previamente se han tenido que definir las propiedades del contacto. Para el contacto normal se estableció un “Hard Contact” y para el contacto tangencial un coeficiente de fricción de 0.3.

A continuación, se muestran dos imágenes del ensamblaje “dinámico”.

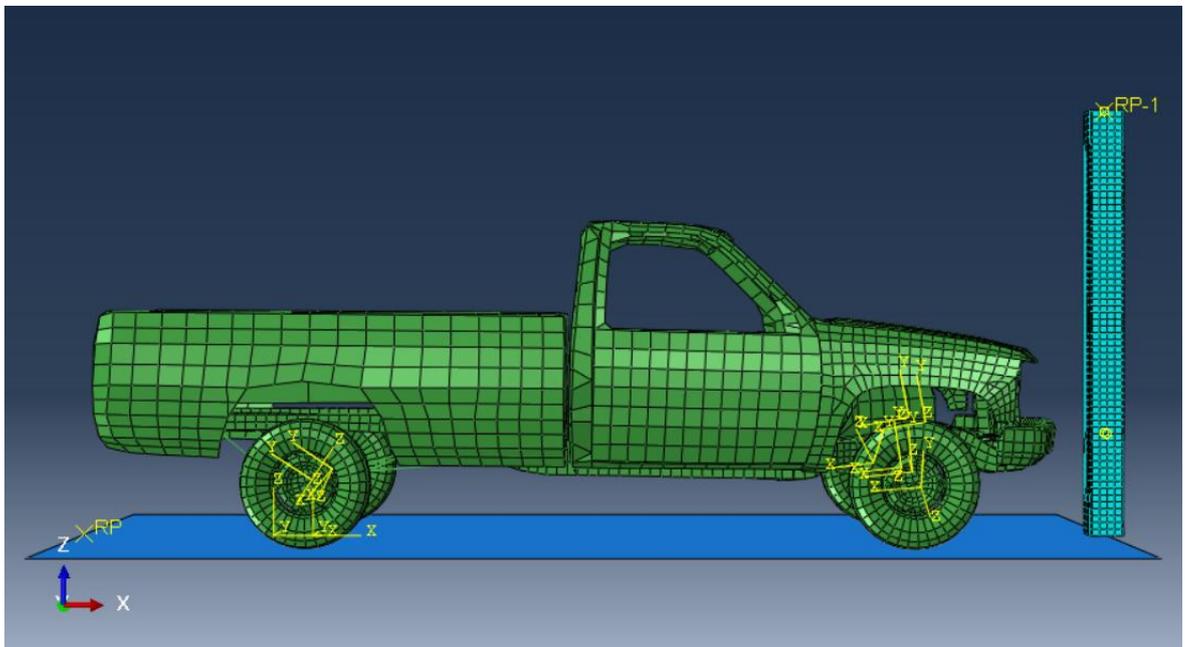


Ilustración 19 Vista lateral del ensamblaje del vehículo y el pilar

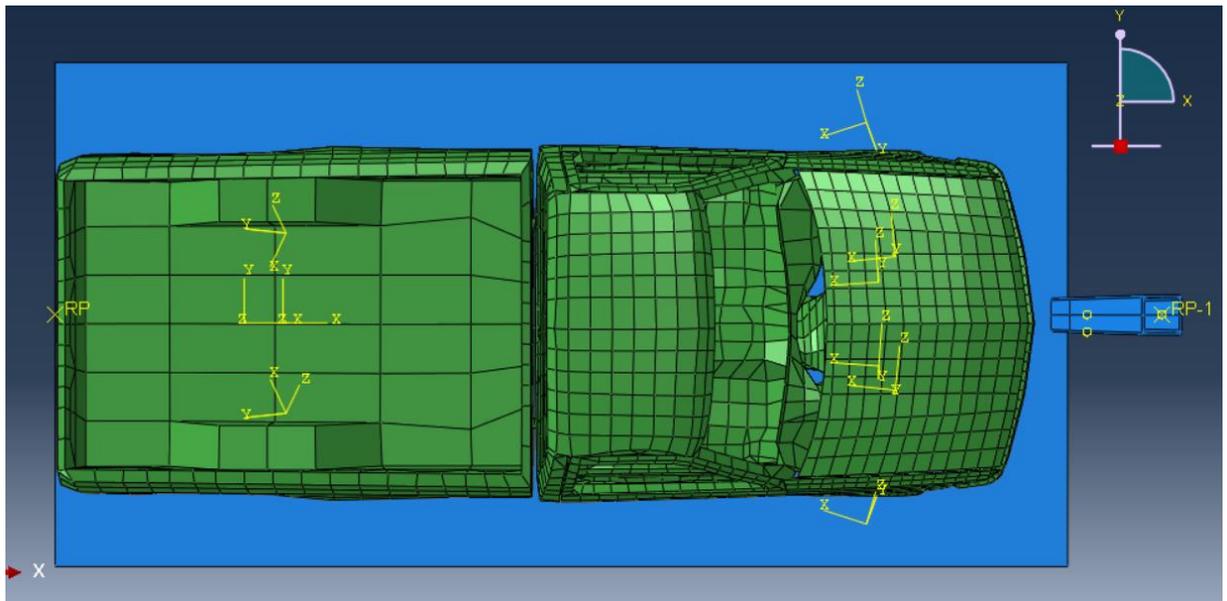


Ilustración 20 Vista superior del ensamblaje del vehículo con el pilar.

El ensamblaje “estático” está compuesto por el modelo del pilar y una superficie que representa el suelo.

En ambos casos, tanto en el estático como en el dinámico, se les tendrá que aplicar a las columnas las condiciones de contorno indicadas en el artículo [1]. Estas condiciones consisten en un empotramiento en la base de la columna para simular la unión con el suelo. Y en la parte superior una carga axial de 3436 kN en sentido negativo en el eje z, un momento de 4.58 kN·m y una restricción que impide el desplazamiento en el eje x. Estas cargas de la parte superior representan las cargas transmitidas por el edificio al pilar, ya que debemos recordar que se está emulando la columna de un parking en el interior de un edificio de 4 plantas de alto y un sótano.

Además de las condiciones de contorno del pilar, en el ensamblaje estático, se ha aplicado una carga sobre una superficie determinada del pilar, que representará a la carga estática equivalente de la cual se hablará más detalladamente en el apartado siguiente.

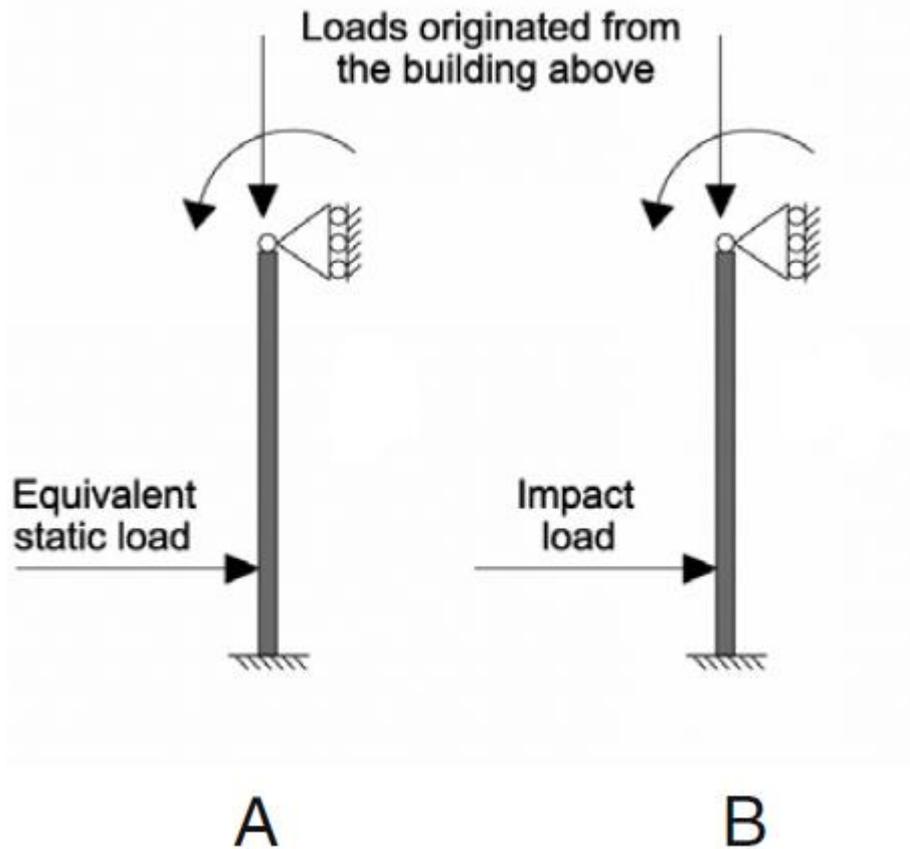


Ilustración 21 Imagen de la bibliografía [1]

En la ilustración 21 se puede ver una representación esquemática de cómo se han dispuesto las cargas en los pilares para representar las cargas que les son transmitidas por el edificio.

1.8 Impacto

A lo largo de este proyecto vamos a poder observar seis variaciones de la misma colisión consistente en el impacto de una camioneta contra el pilar de un parking. Las diferentes variaciones se harán todas a igual velocidad, pero modificando tanto la masa del vehículo como la orientación de las columnas y sus perfiles.

Por cada colisión vamos a generar dos simulaciones, una estática y otra dinámica.

La simulación dinámica estribará en representar el impacto del vehículo contra el pilar para así obtener el desplazamiento máximo que sufre la columna. No obstante, la estática se fundamentará en aplicar una fuerza estática equivalente sobre el pilar hasta alcanzar el mismo desplazamiento que sufrió la columna en la simulación dinámica.

Una vez hayamos conseguido que los desplazamientos en las dos situaciones sean iguales podremos concluir que la fuerza estática equivalente corresponde a la colisión que estamos analizando.

1.8.1 Validación del modelo

En primer lugar, se han escogido dos variantes de la colisión que queremos estudiar para comparar los resultados obtenidos con los del artículo de investigación, para así validar la metodología que estamos usando, y también para poder afirmar que el modelo simplificado de la camioneta sigue siendo válido en este trabajo. También nos aporta una orientación sobre el margen de error que estamos teniendo y en las ordenes de magnitud que nos movemos. Con este fin se han usado las dos siguientes variantes de impacto para poder compararlas con los del artículo.

1.8.1.1 Camioneta de 1990 kg contra perfil HEB a 20 km/h

Este sería el primer caso de impacto, en el que en la simulación dinámica se ha colisionado la camioneta con una masa de 1990 kg contra el perfil HEB-450 en su posición de menor inercia, a una velocidad de 20 km/h.

En este caso la masa del vehículo no es igual a la del artículo [1], hay una diferencia de 190 kg, pero se considera que la divergencia de masas es bastante pequeña como para despreciar dicha disparidad. Además, que al ser un modelo simplificado ya asumimos un cierto grado de error, y como veremos da valores bastante cercanos a los del artículo.

A continuación, se pueden observar unas imágenes de la simulación dinámica.

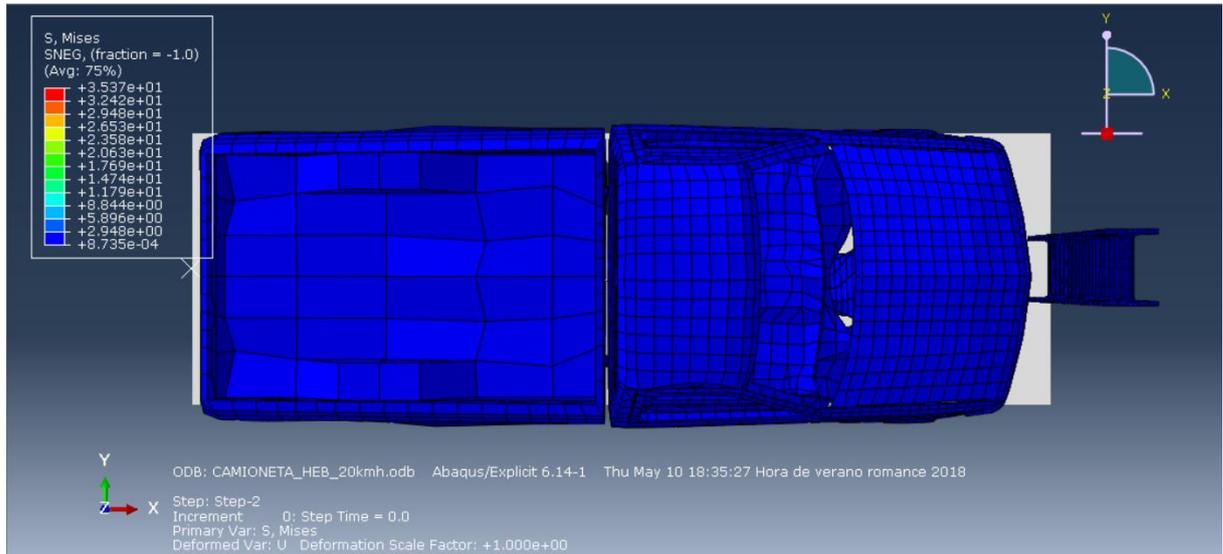


Ilustración 22 Vista superior de la escena inicial del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

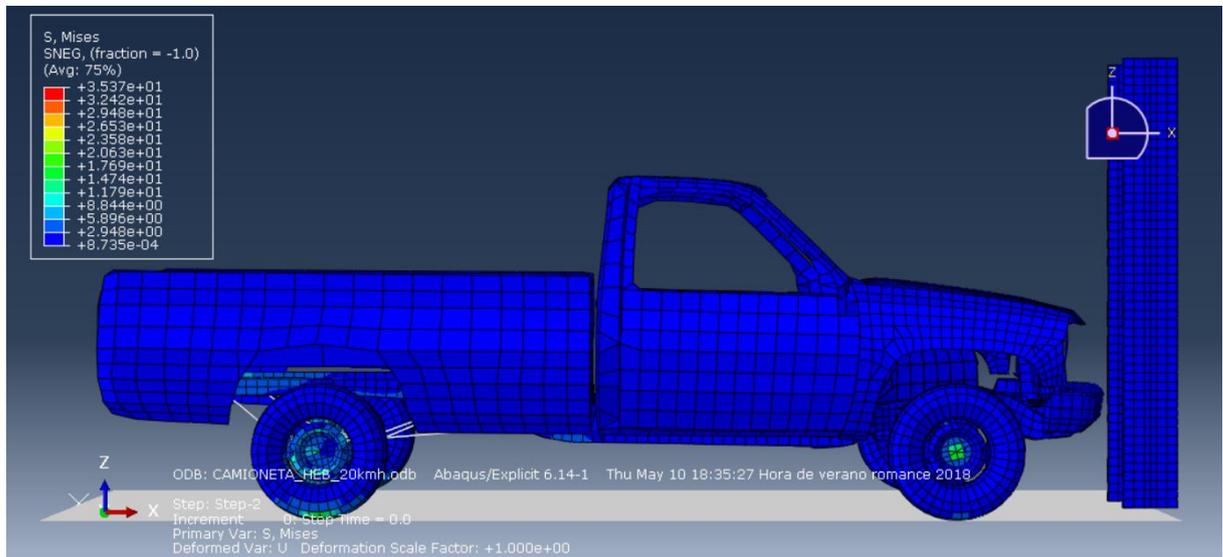


Ilustración 23 Vista lateral de la escena inicial del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

En las ilustraciones 22 y 23 se puede ver a la camioneta antes del impacto, y se ve en las ruedas unas tensiones debidas a la reacción con el suelo que indica que la condición de contorno que representa a la fuerza de la gravedad está funcionando adecuadamente.

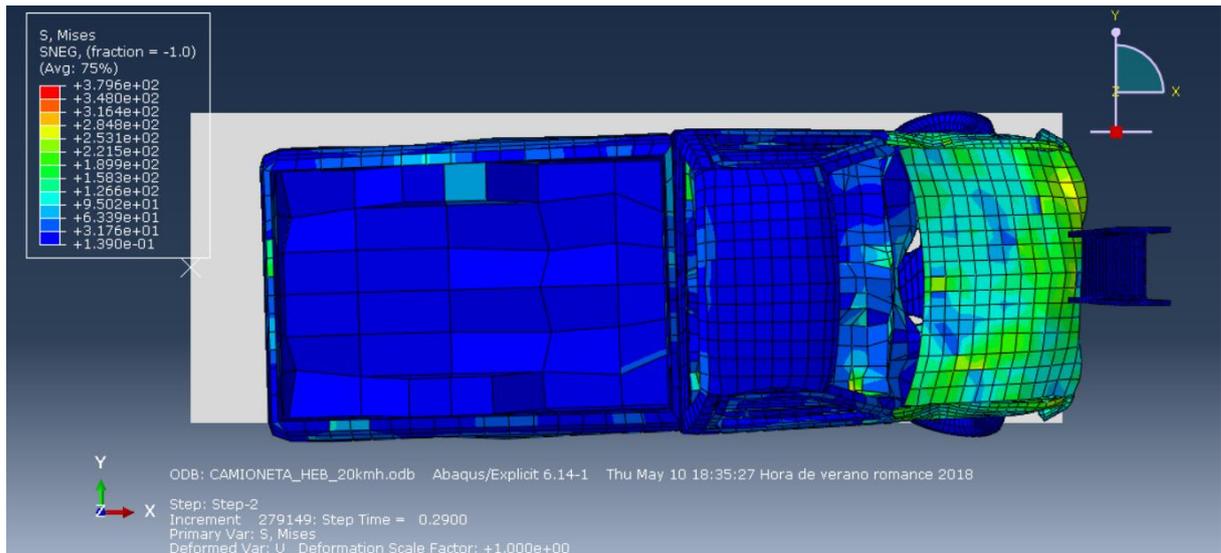


Ilustración 24 Vista superior de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

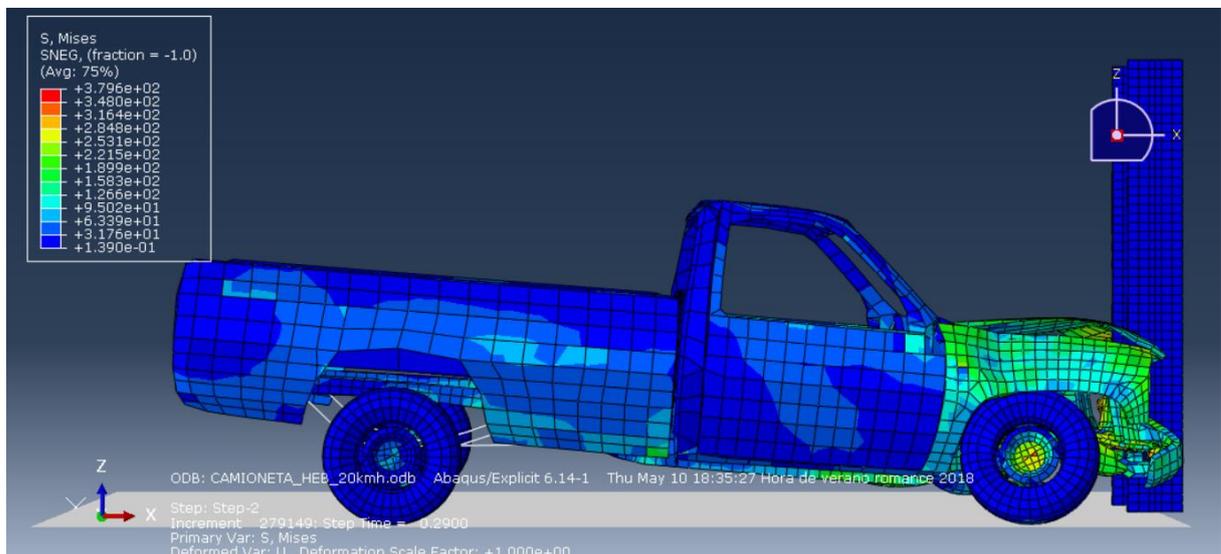


Ilustración 25 Vista lateral de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

En las imágenes 24 y 25 se puede ver la deformación que sufre la camioneta tras el impacto. Dicha deformación está concentrada principalmente en el vano motor.

En la simulación dinámica del impacto obtenemos que el desplazamiento máximo del pilar durante la colisión ha sido, en este caso, de 1.165mm, lo que utilizaremos más adelante para obtener la fuerza equivalente en la simulación estática.

Asimismo, cabe precisar que para este proceso se han empleado 43 minutos de tiempo de cálculo, por lo que en este punto es donde se puede apreciar la importancia y la necesidad de usar modelos simplificados, dado que, en caso contrario, este proceso se alargaría considerablemente. Para hacernos una idea de este aumento del tiempo se puede observar que en el TFG de Juan José López Blanco la simulación del vehículo contra una pared duró unos 14 minutos, aproximadamente.

Como se puede observar con lo anteriormente mencionado, al añadir la columna con 2000 elementos y hacer una simulación en la que interaccionen la columna con la camioneta ha aumentado muy considerablemente el tiempo de simulación, aun teniendo un modelo simplificado del vehículo.

Tras la simulación dinámica del impacto realizamos la simulación estática con una carga equivalente estática, aplicada sobre un área del pilar como establece el CTE [5] “La fuerza equivalente de impacto se considerará actuando en un plano horizontal y se aplicará sobre una superficie rectangular de 0,25 m de altura y una anchura de 1,5 m, o la anchura del elemento si es menor, y a una altura de 0,6 m por encima del nivel de rodadura, en el caso de elementos verticales, o la altura del elemento, si es menor que 1,8 m en los horizontales.” , lo que se puede apreciar en las siguientes ilustraciones.

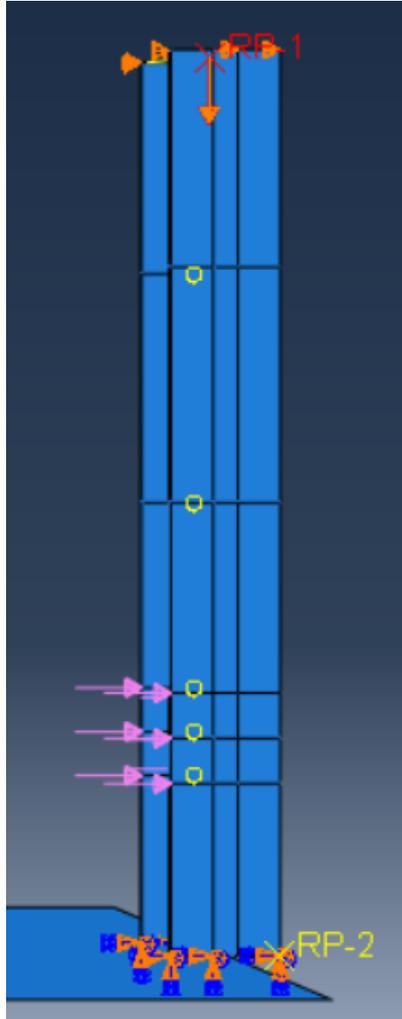


Ilustración 26 Vista lateral del pilar con la fuerza equivalente aplicada en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

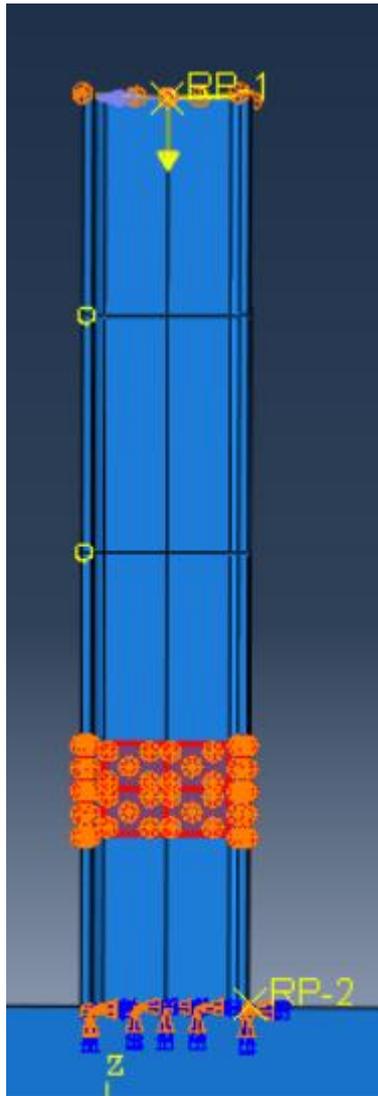


Ilustración 27 Vista frontal del pilar con la fuerza estática equivalente aplicada en la superficie especificada en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

En las ilustraciones 26 y 27 se puede ver como se ha tenido que definir la fuerza estática equivalente sobre la superficie acotada del pilar.

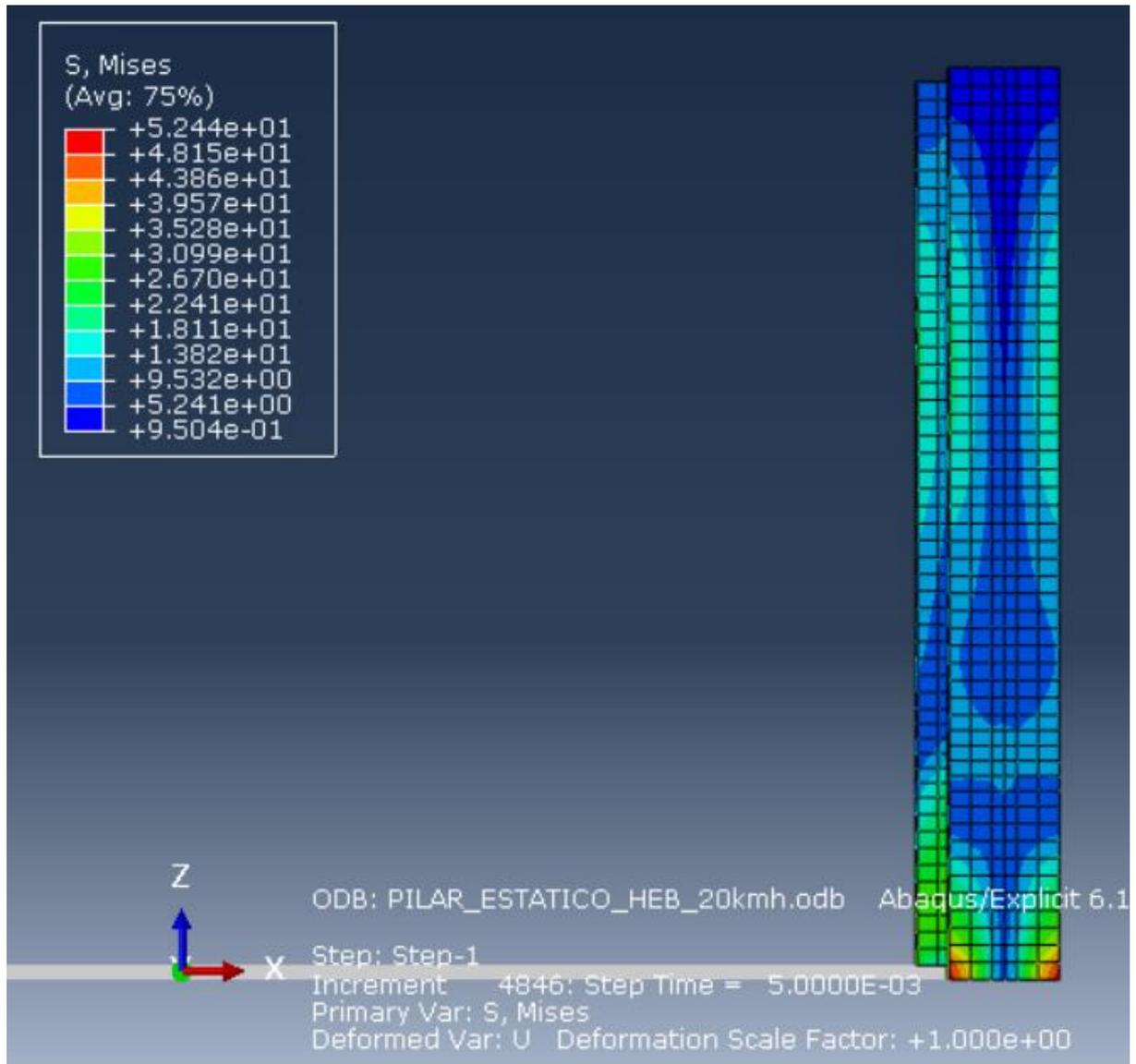


Ilustración 28 Tensiones que aparecen en el pilar tras la simulación estática en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

En la imagen 28 se puede apreciar que las tensiones más grandes que sufre el pilar se concentran principalmente en la unión con el suelo debido a la poca distancia que hay desde la zona de impacto a ese punto.

En esta simulación estática se ha aplicado una carga estática en un área concreta de la columna hasta que el desplazamiento de la columna en el caso estático fuera igual al caso dinámico, 1.165mm, de este modo, obtenemos que la fuerza estática equivalente es de 99.5 kN.

1.8.1.2 Camioneta de 3000 kg contra perfil HEB a 20 km/h

En esta variante de colisión, en la simulación dinámica se ha estrellado la camioneta con una masa de 3000 kg contra el perfil HEB-450 en su posición de menor inercia, a una velocidad de 20 km/h.

En este caso la masa del vehículo si es igual a la del vehículo de la bibliografía [1], así que también tenemos un patrón con las condiciones exactamente idénticas para comparar los resultados obtenidos con los del ya mencionado artículo [1].

La escena inicial del impacto es similar a la que se muestran en las ilustraciones 22 y 23.

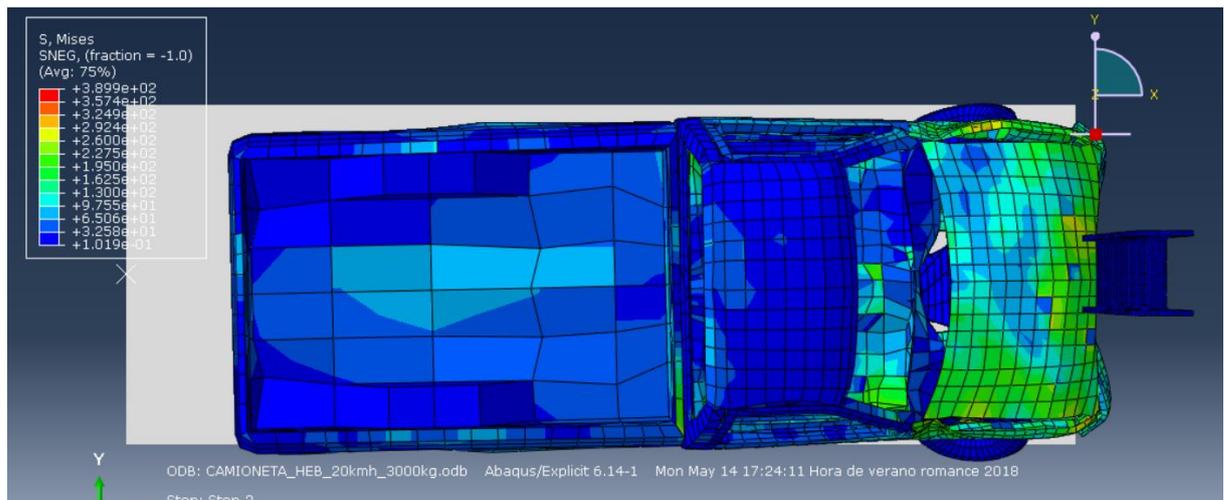


Ilustración 29 Vista superior de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 3000 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

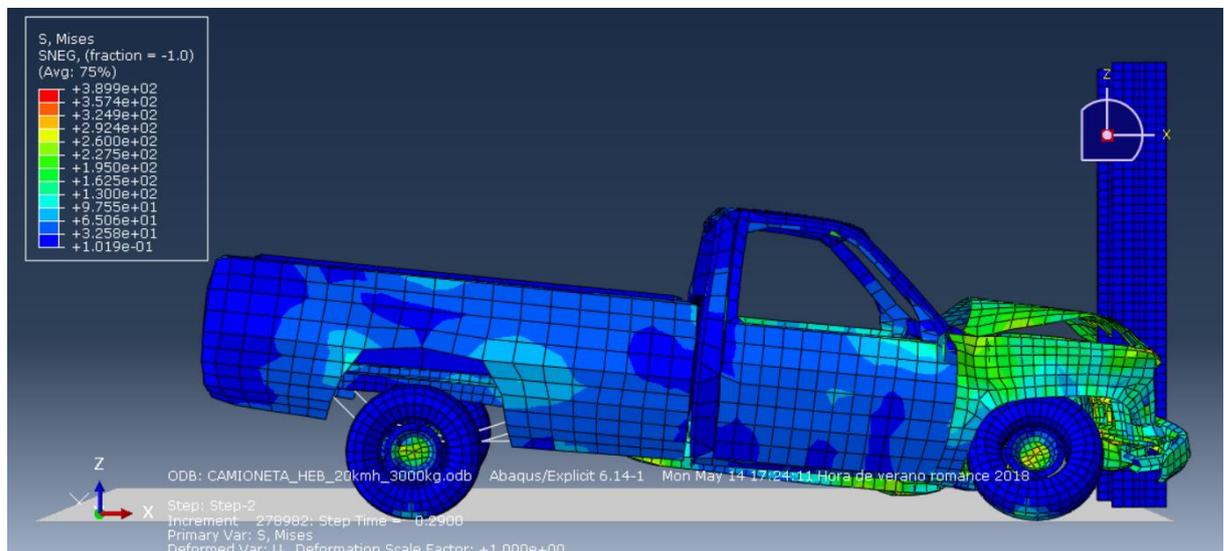


Ilustración 30 Vista lateral de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 3000 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

En las figuras 29 y 30 se aprecia que la deformación sigue originándose principalmente en el vano motor, pero se puede ver que se ha propagado más a lo largo del chasis en comparación con las ilustraciones 24 y 25.

En esta simulación dinámica se obtiene un desplazamiento en la columna de 1.218mm.

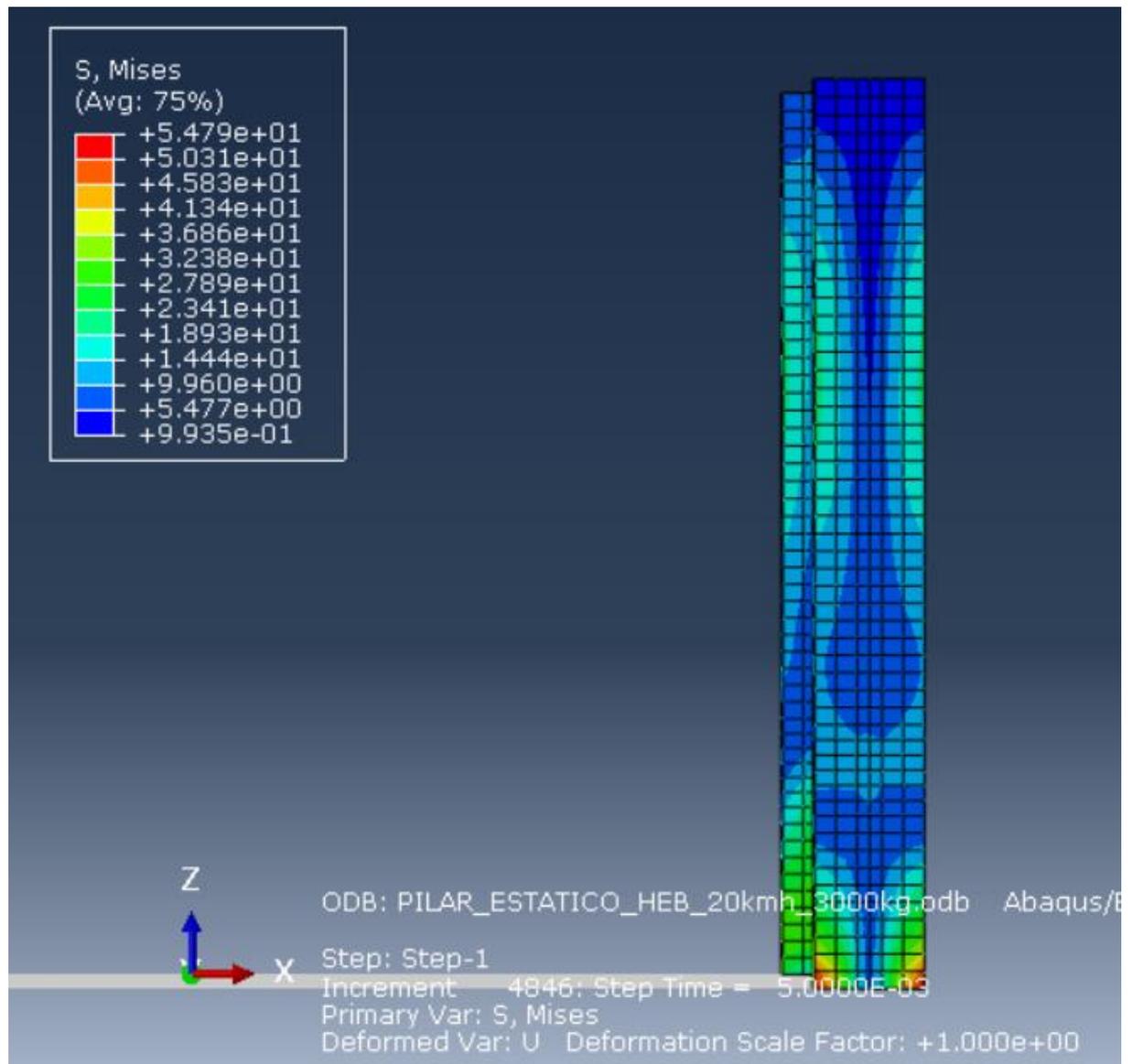


Ilustración 31 Tensiones que aparecen en el pilar tras la simulación estática en el caso de camioneta de 3000 kg contra perfil HEB a 20 km/h.

En la ilustración 31 se puede observar que las tensiones son mayores a las que surgen en la ilustración 28 debido a que la masa de la camioneta es superior.

En la simulación estática de este supuesto, la colocación de las cargas en la columna es igual a las ilustraciones 25 y 26, solo variando el módulo de la fuerza estática equivalente. Tras esta simulación finalmente obtenemos una fuerza equivalente de 104 kN.

Para validar este modelo, en primer lugar, se han comparado las deformadas de los vehículos, para tener una orientación de lo aproximados que son los resultados obtenidos con este método, con las del escrito mencionado a lo largo de este trabajo.

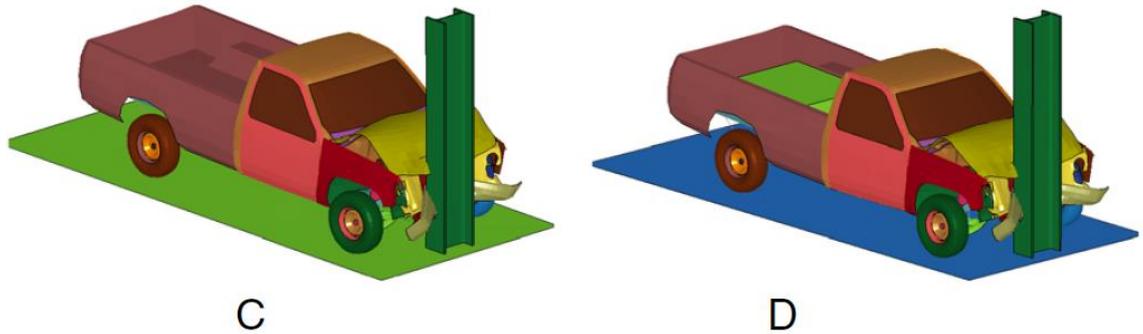


Ilustración 32 Imagen obtenida de la referencia [1] donde el caso C es la camioneta sin carga mientras que el caso D es la camioneta con carga.

Cotejando las ilustraciones 23,24,28,29 y 31 se percibe que las deformaciones son similares.

Por último, para terminar la comparación con el artículo [1] se han contrastado los desplazamientos y las fuerzas obtenidas, como se puede ver en la tabla que hay a continuación a modo de resumen.

Modelo	TFG		REFERENCIA [1]		ERROR	
	Desp (mm)	F estática (KN)	Desp (mm)	F estática (KN)	Desp (mm)	F estática (KN)
CAMIONETA HEB 20km/h 1990 kg	1,165	99,5	1,3	105	-10%	-5%
CAMIONETA HEB 20km/H 3000 kg	1,218	104	1,4	114	-13%	-9%

Tabla 2 Resumen de los desplazamientos y las fuerzas equivalentes.

Como se puede apreciar la desviación que tenemos en los resultados de este trabajo, es de aproximadamente un 10% inferior de media a los datos del artículo. Por lo tanto, como se está considerando que es un modelo simplificado para tener datos orientativos se entiende que es asumible dicha variación, dado que la finalidad de este trabajo es evaluar los valores propuestos por la normativa. Por consiguiente, se considera validado el modelo de estudio y se procede a continuar con los ensayos.

1.8.2 Ensayos

Después de validar el modelo con los dos casos anteriores, se realiza otra serie de simulaciones. El objeto de estas es la de obtener los resultados necesarios para estimar como de adecuados son los valores que proporciona la normativa y evaluar el comportamiento ante el impacto contra perfiles cuadrados.

1.8.2.1 Camioneta de 1990 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h

En este supuesto, en la simulación dinámica se ha colisionado la camioneta con una masa de 1990 kg contra el perfil HEB-450 en su posición de máxima inercia, a una velocidad de 20 km/h.

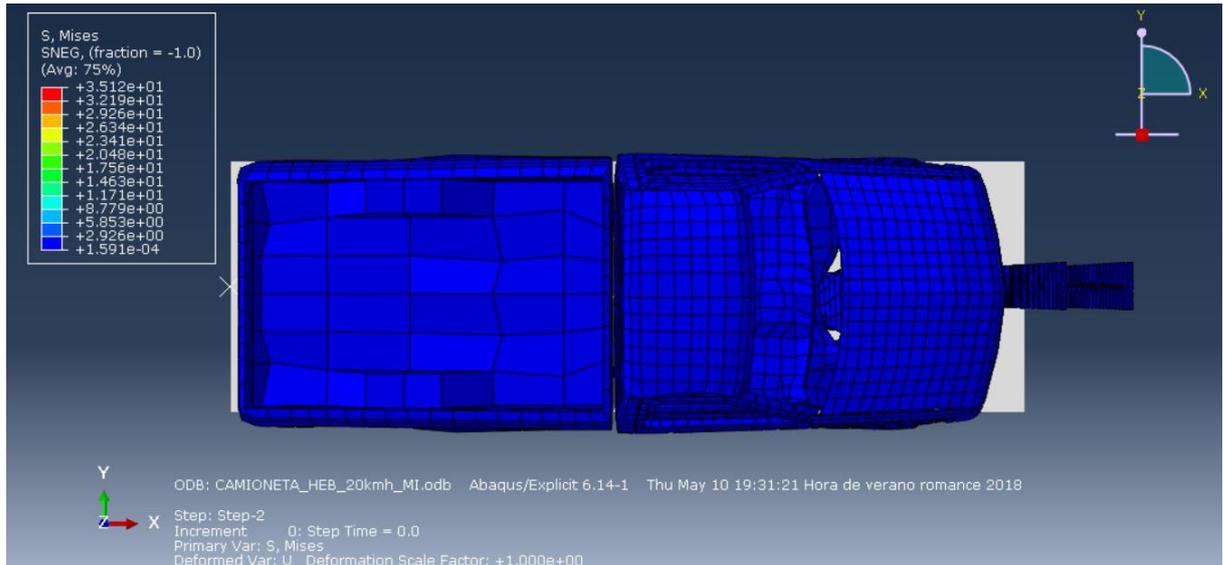


Ilustración 33 Vista superior de la escena inicial del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

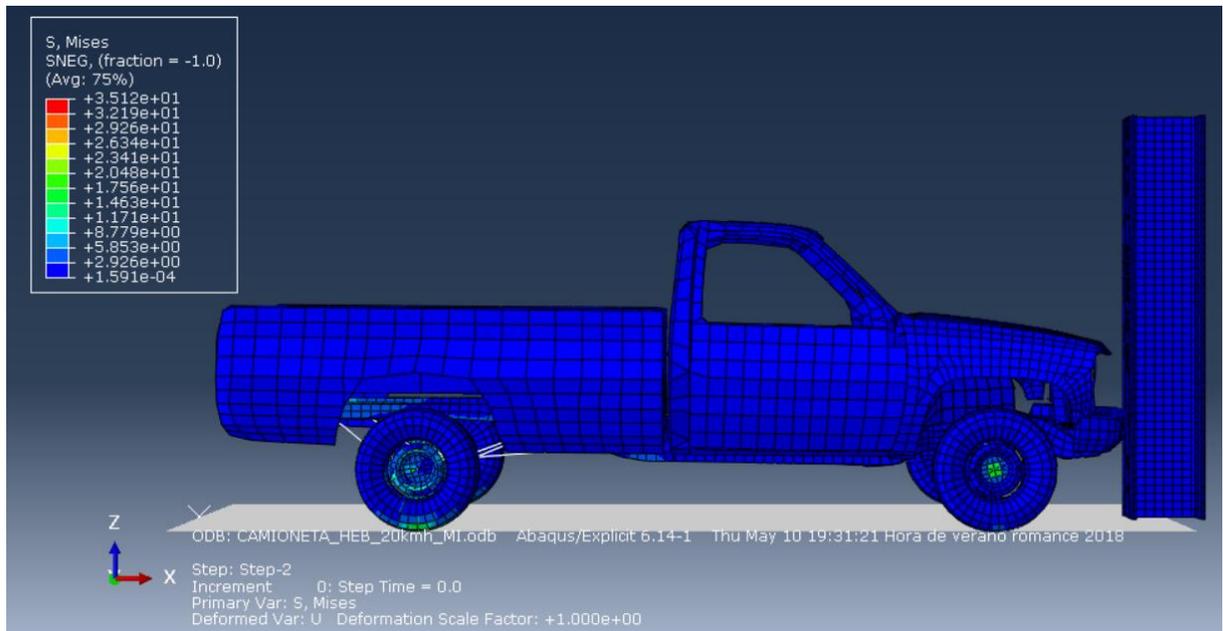


Ilustración 34 Vista lateral de la escena inicial del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

En las ilustraciones 33 y 34 se puede observar como la orientación del perfil del pilar ha girado 90 grados con respecto a las ilustraciones 22 y 23.

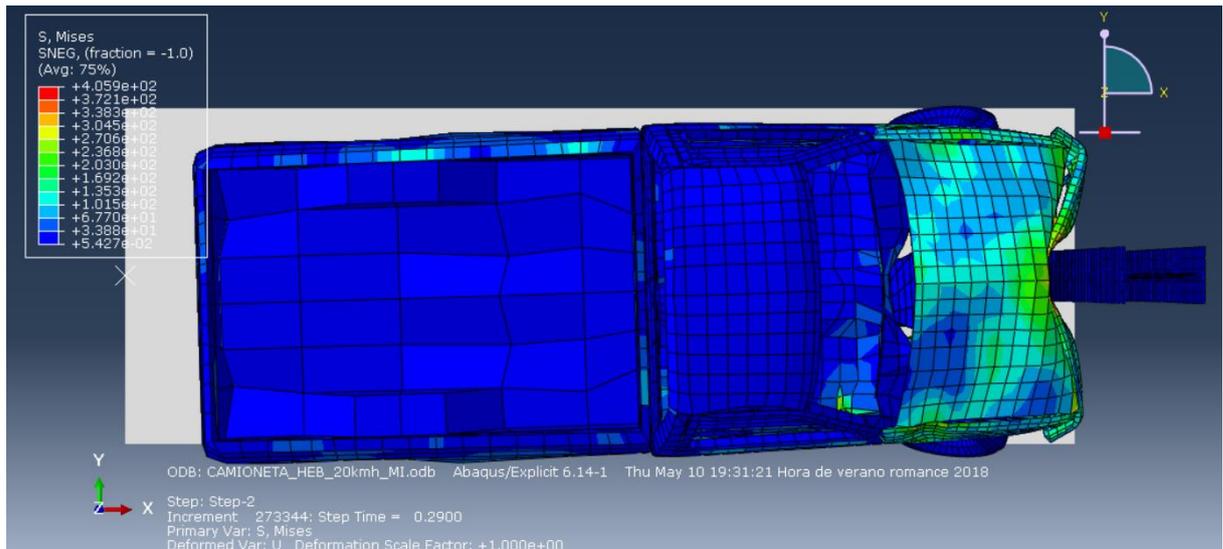


Ilustración 35 Vista superior de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

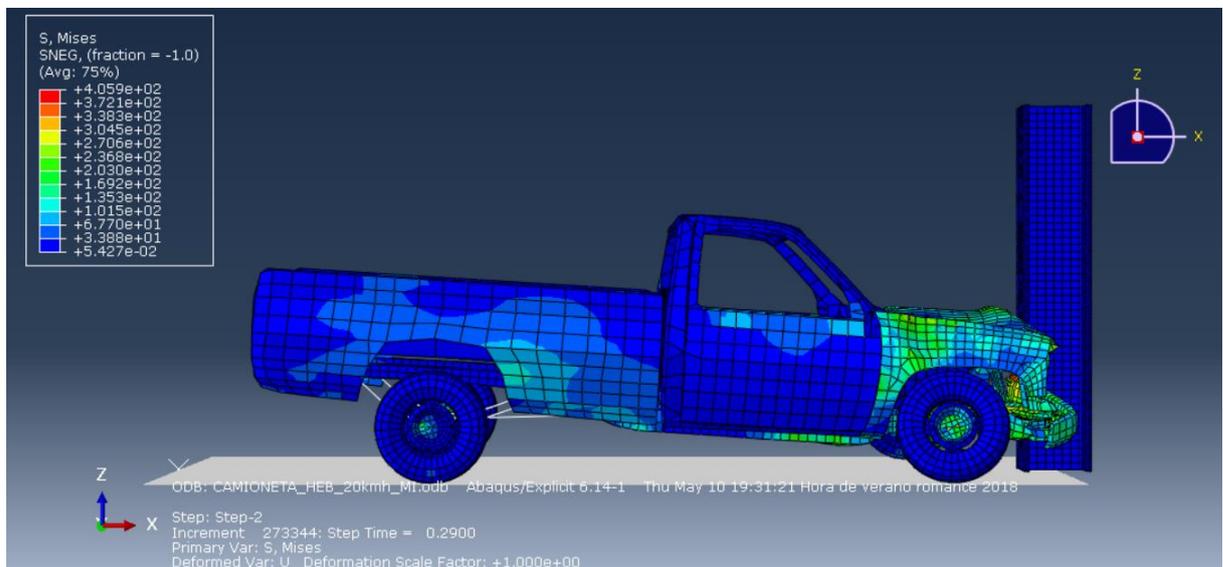


Ilustración 36 Vista lateral de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

En las ilustraciones 35 y 36 se muestra nuevamente las tensiones que sufre la camioneta tras el impacto, pero en este caso el pilar HEB está posicionado con el alma del pilar en paralelo con la dirección del vehículo.

El desplazamiento de la columna obtenido en esta simulación ha sido de 0.202mm.

Para la realización de la simulación estática es necesario cambiar el área de aplicación de la fuerza estática equivalente ya que el perfil de la columna ha cambiado de orientación, como se puede apreciar en las ilustraciones siguientes.

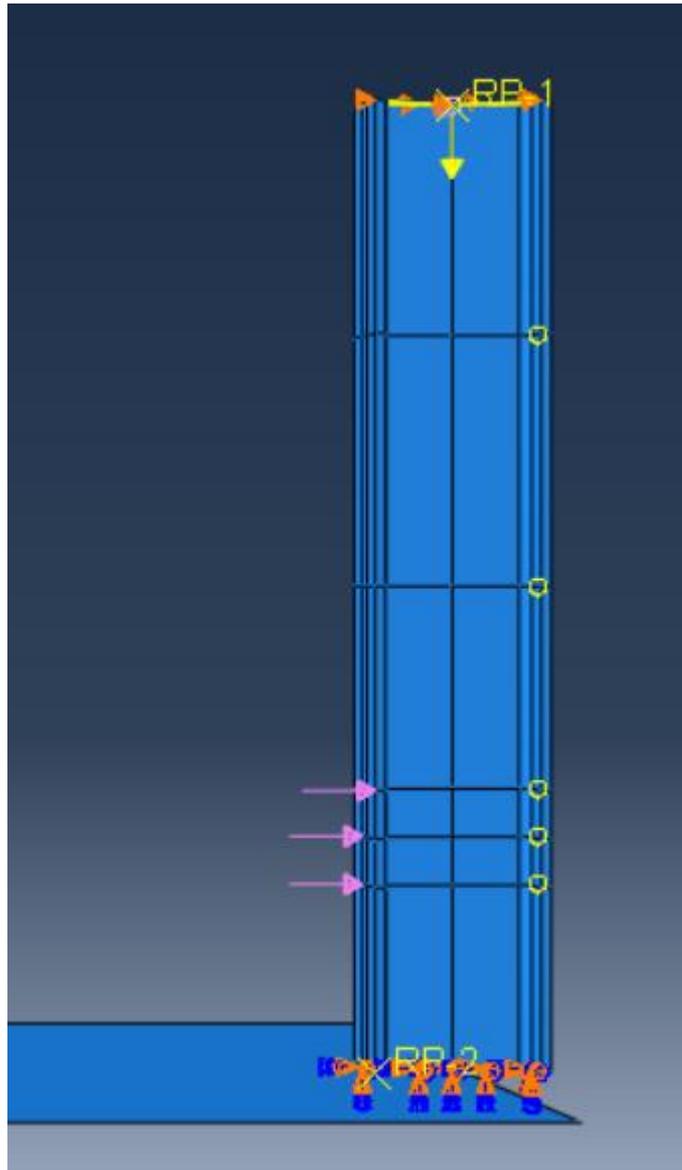


Ilustración 37 Vista lateral del pilar con la fuerza equivalente aplicada en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

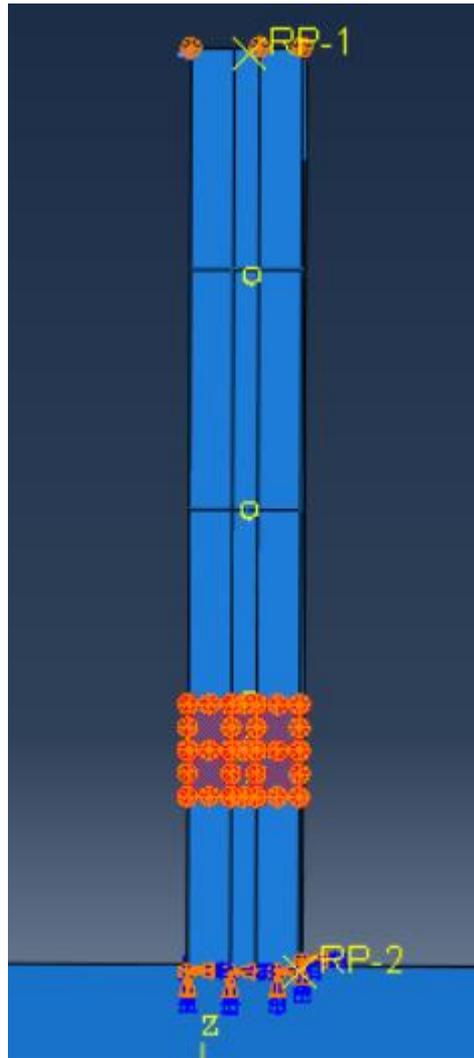


Ilustración 38 Vista frontal del pilar con la fuerza estática equivalente aplicada en la superficie especificada en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

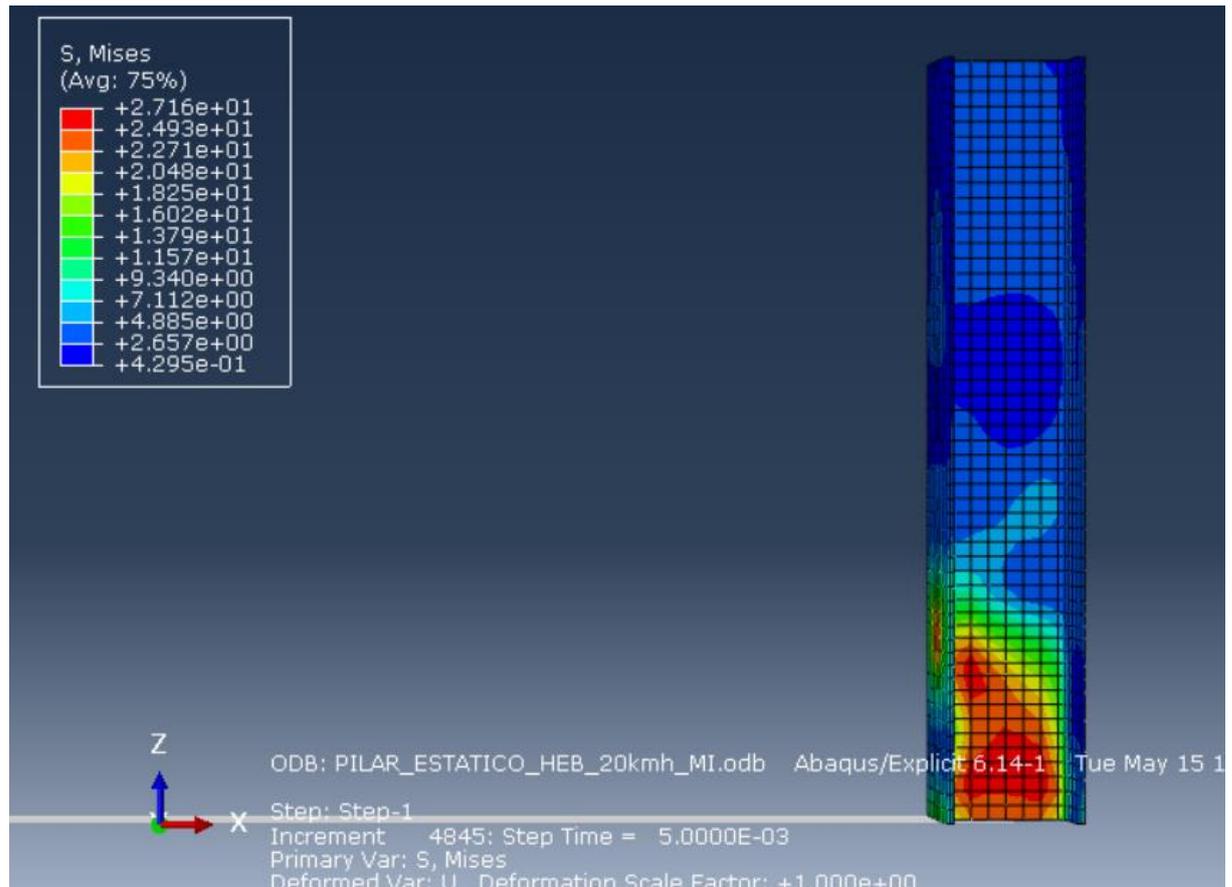


Ilustración 39 Tensiones que aparecen en el pilar tras la simulación estática en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

En la ilustración 39 se puede apreciar como al haber rotado el perfil las tensiones más grandes las sufre el alma del pilar en vez de sus alas.

Tras la realización de esta simulación estática se ha obtenido una fuerza estática equivalente de 110 kN.

1.8.2.2 Camioneta de 3000 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h

En este caso, en la simulación dinámica se ha impactado la camioneta con una masa de 3000 kg contra el perfil HEB-450 en su posición de máxima inercia, a una velocidad de 20 km/h.

La escena inicial de este supuesto es similar a la de las ilustraciones 33 y 34.

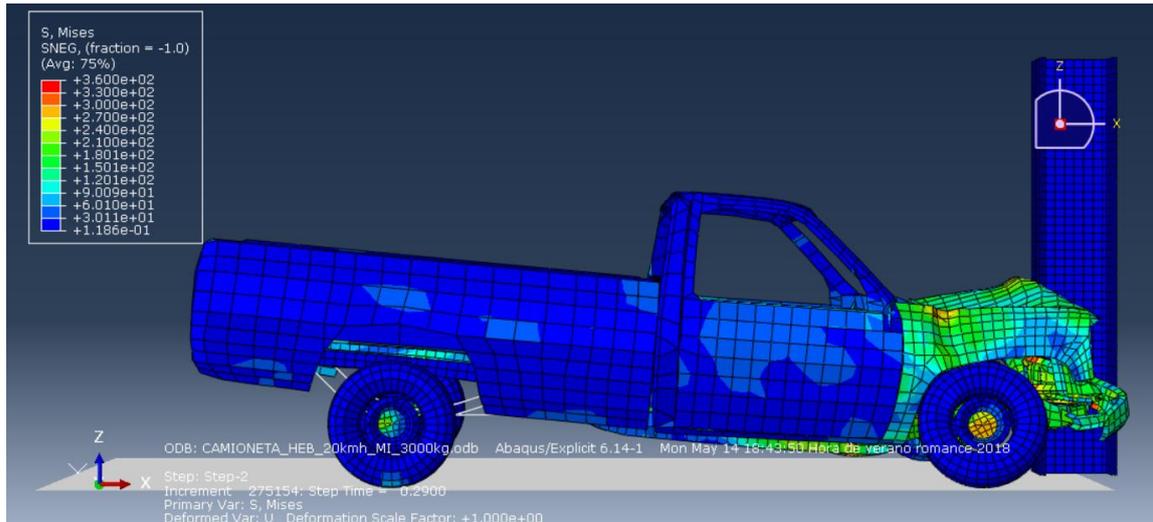


Ilustración 40 Vista lateral de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 3000 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

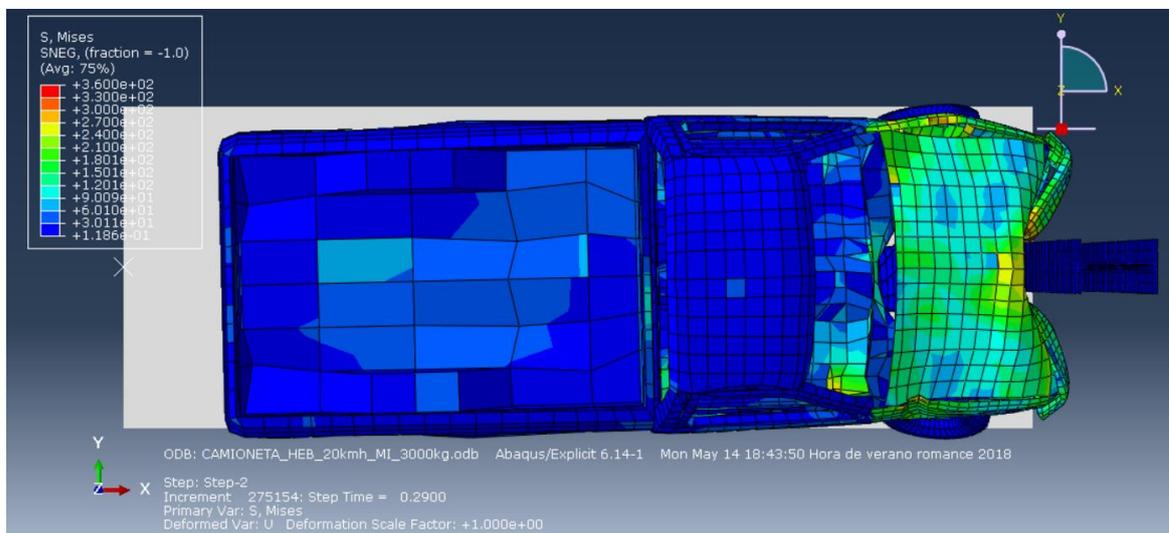


Ilustración 41 Vista superior de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 3000 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

En las ilustraciones 40 y 41 se puede advertir que las deformaciones que sufre la camioneta son mayores a las que se observan en las ilustraciones 35 y 36.

Tras la simulación dinámica de este caso se obtiene un desplazamiento en la columna de 0.232mm.

La colocación de las cargas en el pilar en este supuesto es idéntica a las ilustraciones 36 y 37.

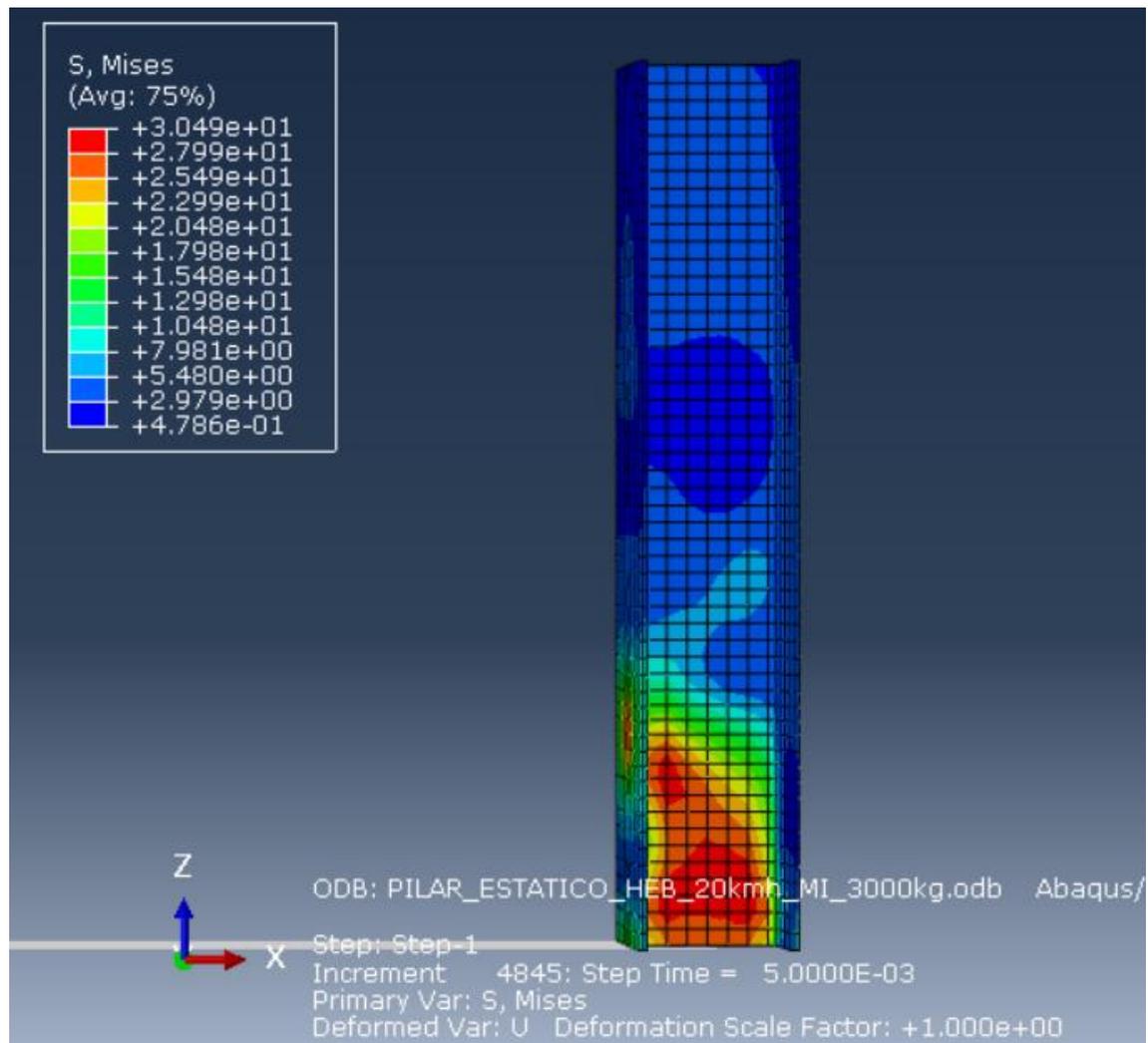


Ilustración 42 Tensiones que aparecen en el pilar tras la simulación estática en el caso de camioneta de 3000 kg contra perfil HEB en posición de máxima inercia a 20 km/h.

En la ilustración 42 se puede apreciar que las tensiones más grandes se originan en el alma del pilar, en el área que va desde la zona de impacto hasta el empotramiento inferior.

Tras la realización de esta simulación estática se ha conseguido una fuerza estática equivalente de 123.5 kN.

1.8.2.3 Camioneta de 1990 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h

En esta simulación se ha colisionado la camioneta con una masa de 1990 kg contra el perfil cuadrado, a una velocidad de 20 km/h.

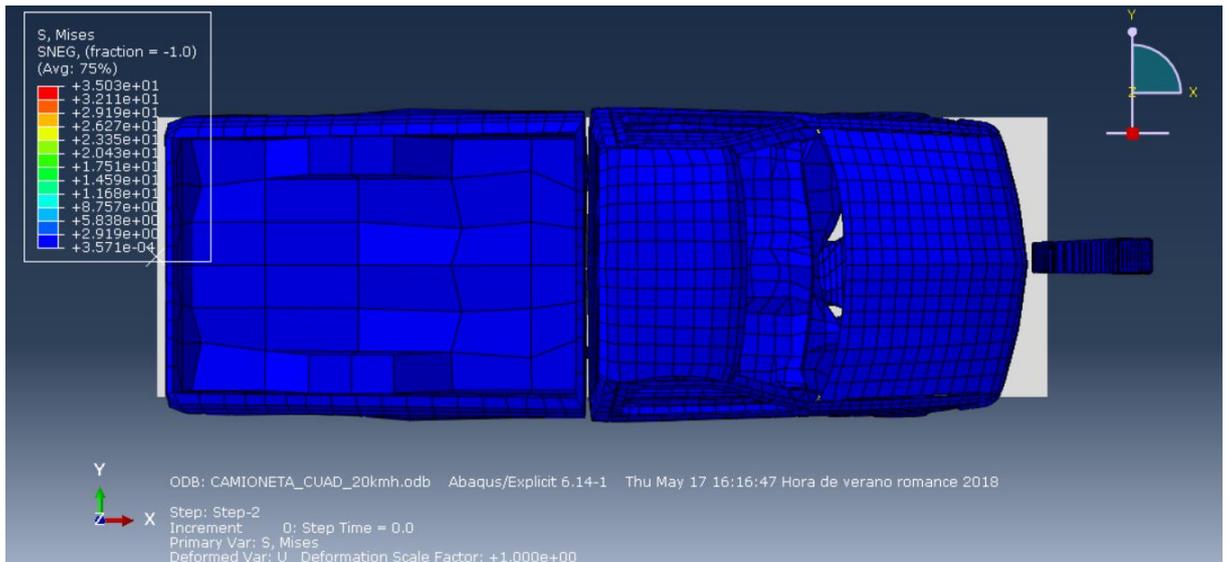


Ilustración 43 Vista superior de la escena inicial del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.

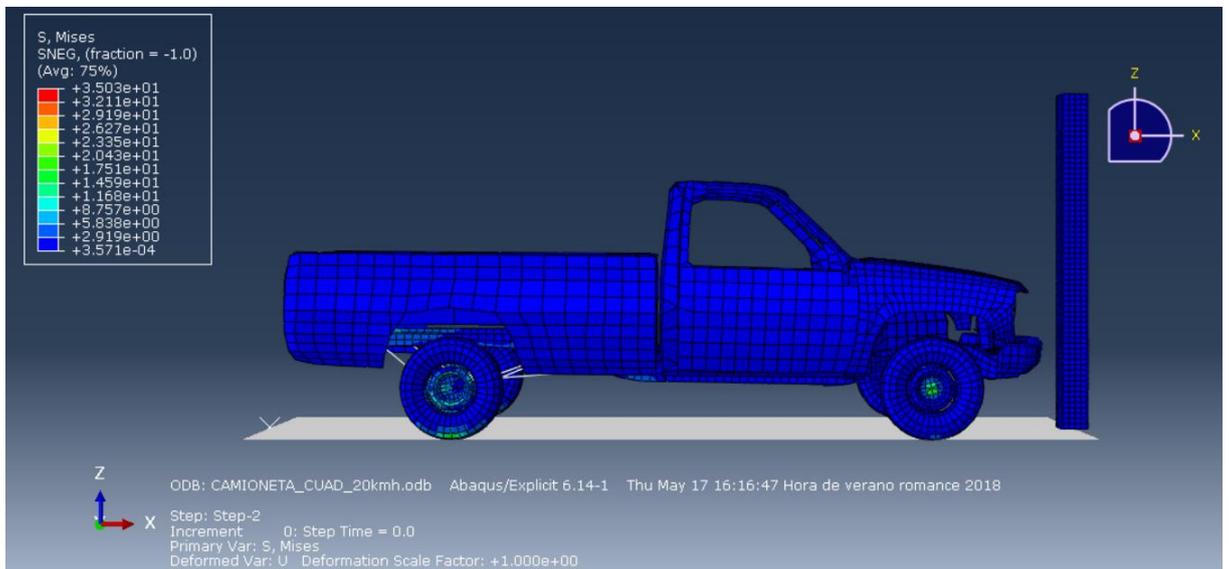


Ilustración 44 Vista lateral de la escena inicial del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.

En las ilustraciones 43 y 44 se puede ver el ensamblaje de la camioneta con el pilar de perfil cuadrado.

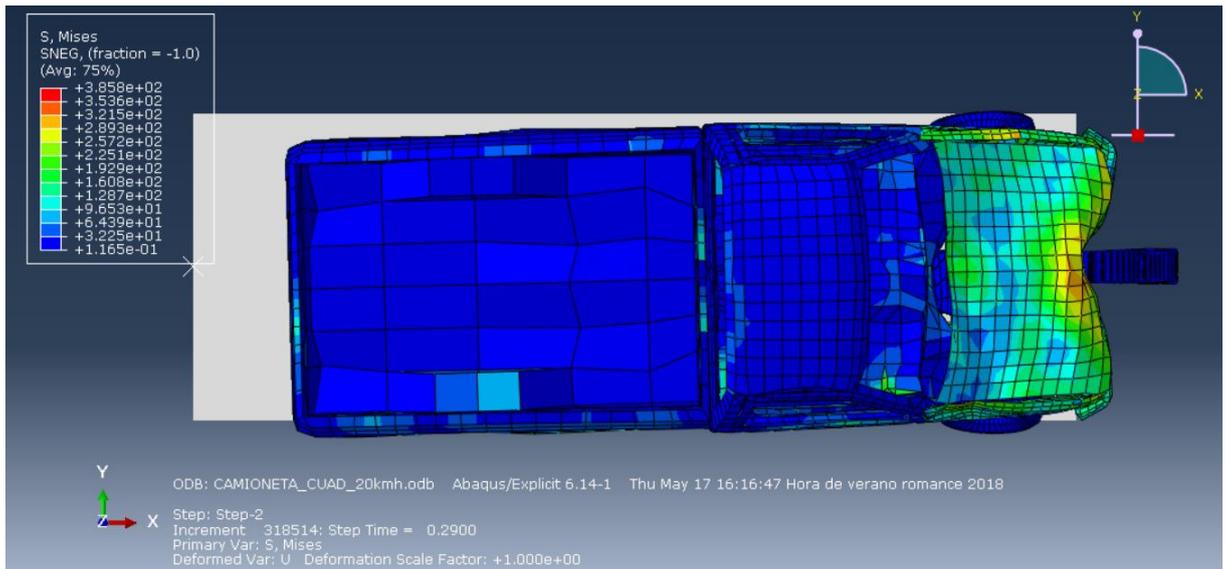


Ilustración 45 Vista superior de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.

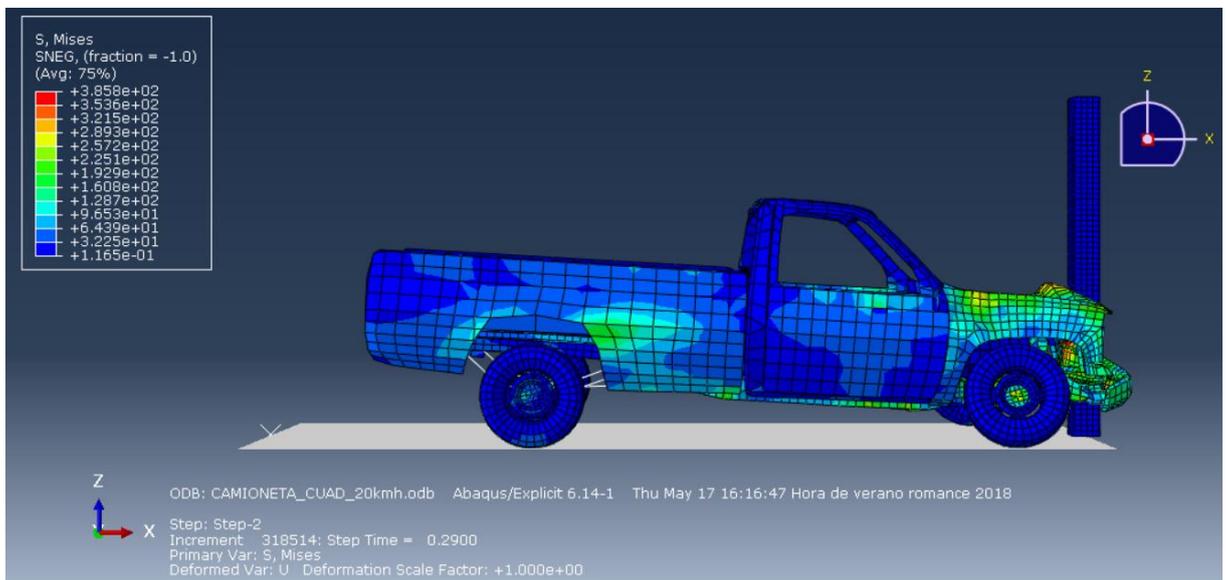


Ilustración 46 Vista lateral de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.

En las ilustraciones 45 y 46 se muestra la deformación que sufre la camioneta tras el impacto contra la columna de perfil cuadrado.

Tras la simulación dinámica de este caso se obtiene un desplazamiento en la columna de 0.563mm.

Como se ha cambiado el perfil del pilar es necesario volver a especificar el área en la cual se va a aplicar la fuerza estática como se puede apreciar en las siguientes ilustraciones.

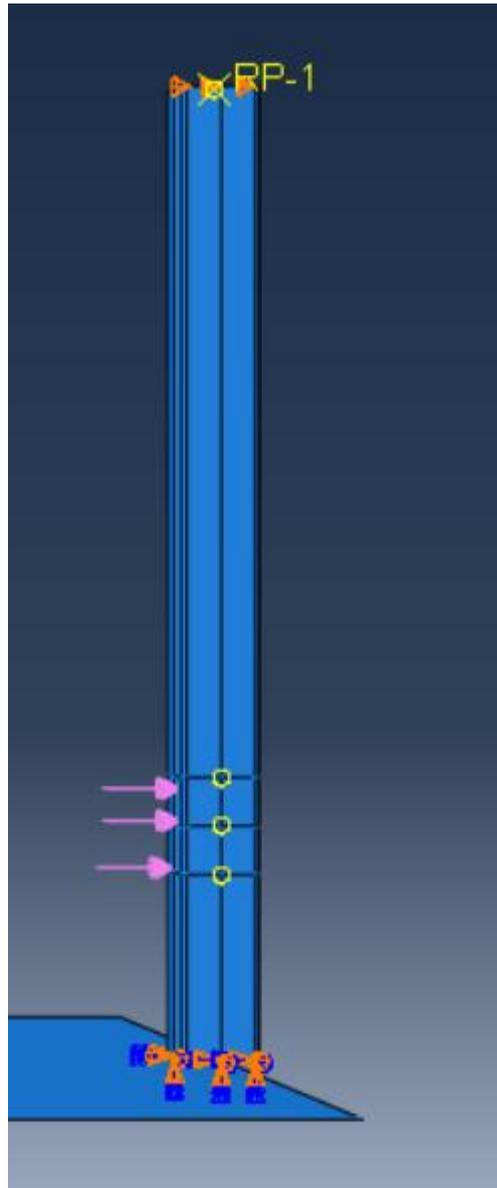


Ilustración 47 Vista lateral del pilar con la fuerza equivalente aplicada en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.



Ilustración 48 Vista frontal del pilar con la fuerza estática equivalente aplicada en la superficie especificada en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.

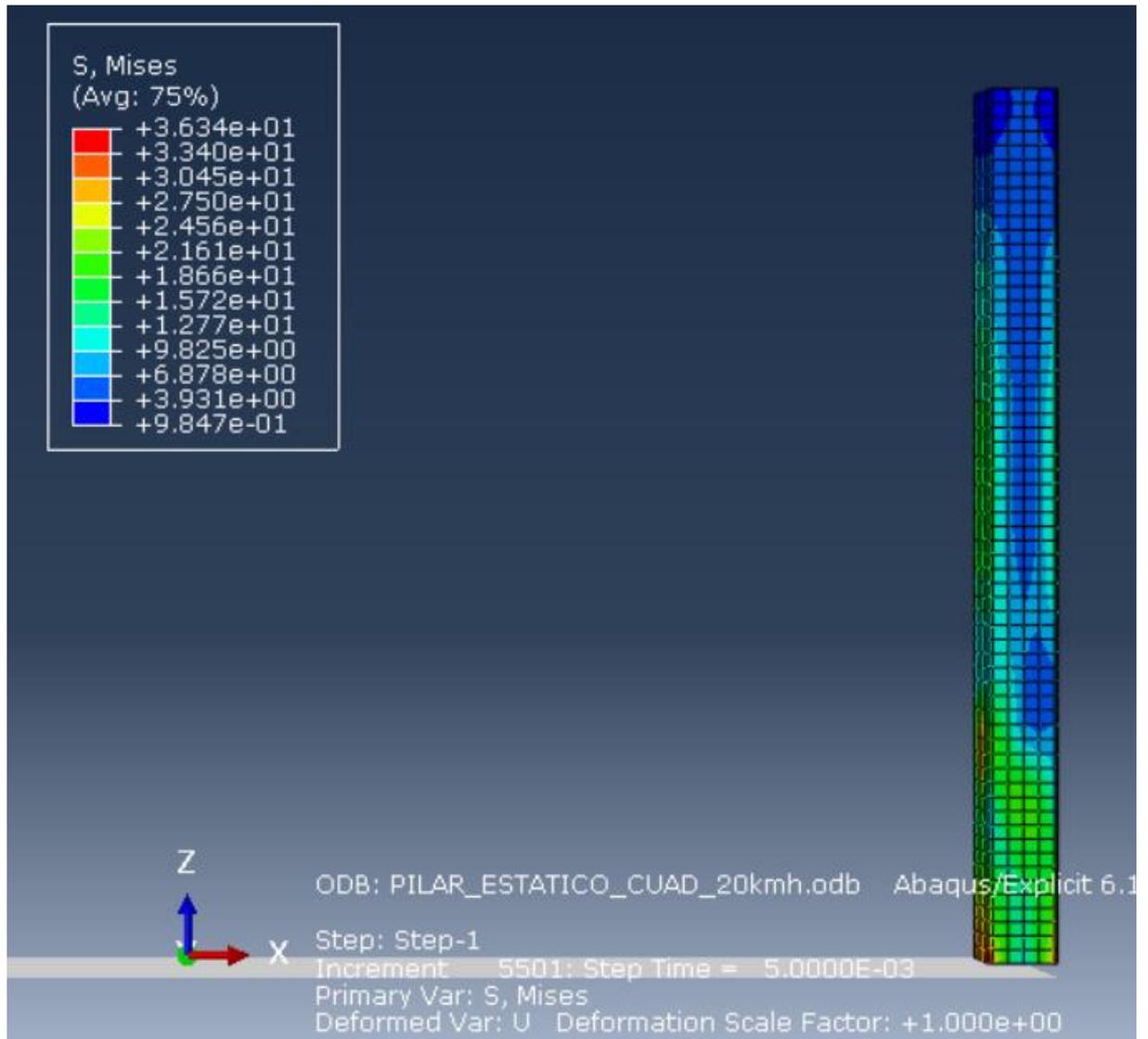


Ilustración 49 Tensiones que aparecen en el pilar tras la simulación estática en el caso de camioneta de 1990 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.

En la ilustración 49 se puede apreciar que las tensiones máximas se producen en el empotramiento inferior del pilar, siendo mayores en la cara del pilar en donde impacta la camioneta.

Tras el desarrollo de esta simulación estática se ha alcanzado una fuerza estática equivalente de 63.5 kN.

1.8.2.4 Camioneta de 3000 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h

En esta simulación se ha colisionado la camioneta con una masa de 3000 kg contra el perfil cuadrado, a una velocidad de 20 km/h.

La escena inicial es similar a las ilustraciones 43 y 44.

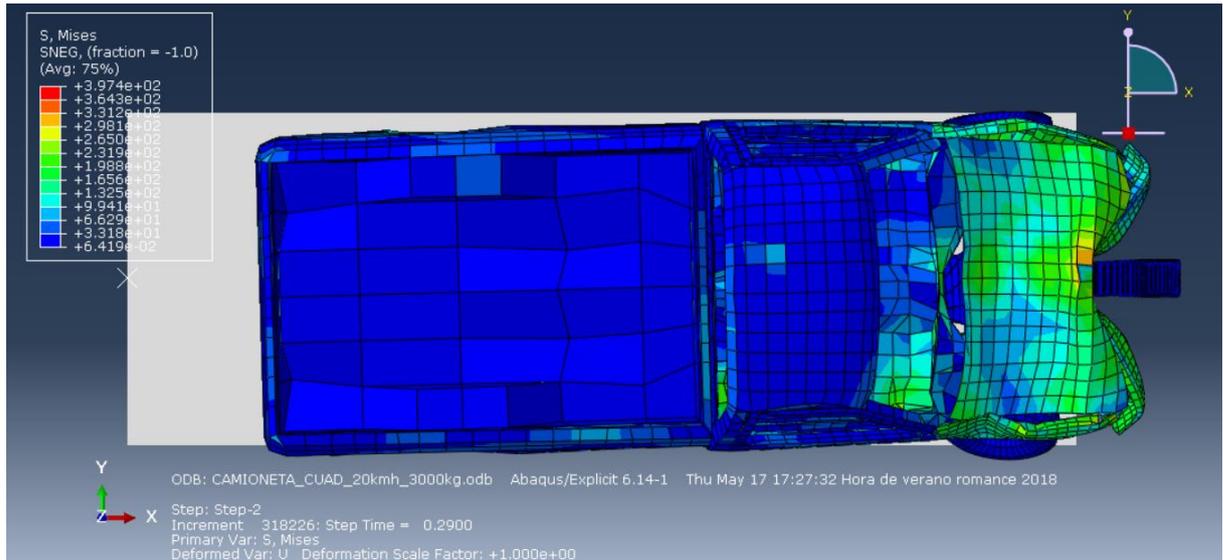


Ilustración 50 Vista superior de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 3000 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.

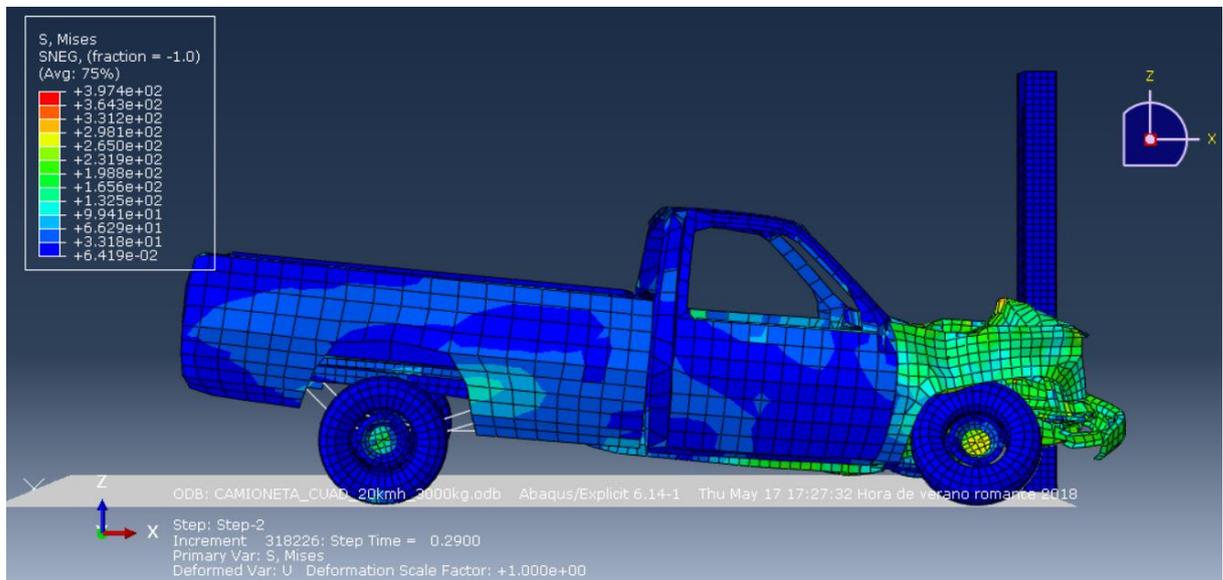


Ilustración 51 Vista lateral de la escena final del impacto en el caso de camioneta de 3000 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.

En las ilustraciones 50 y 51 se puede observar la deformación que sufrió el vehículo tras la colisión contra la columna de parking con perfil cuadrado.

Tras la simulación dinámica de este supuesto se logra un desplazamiento en la columna de 0.633mm.

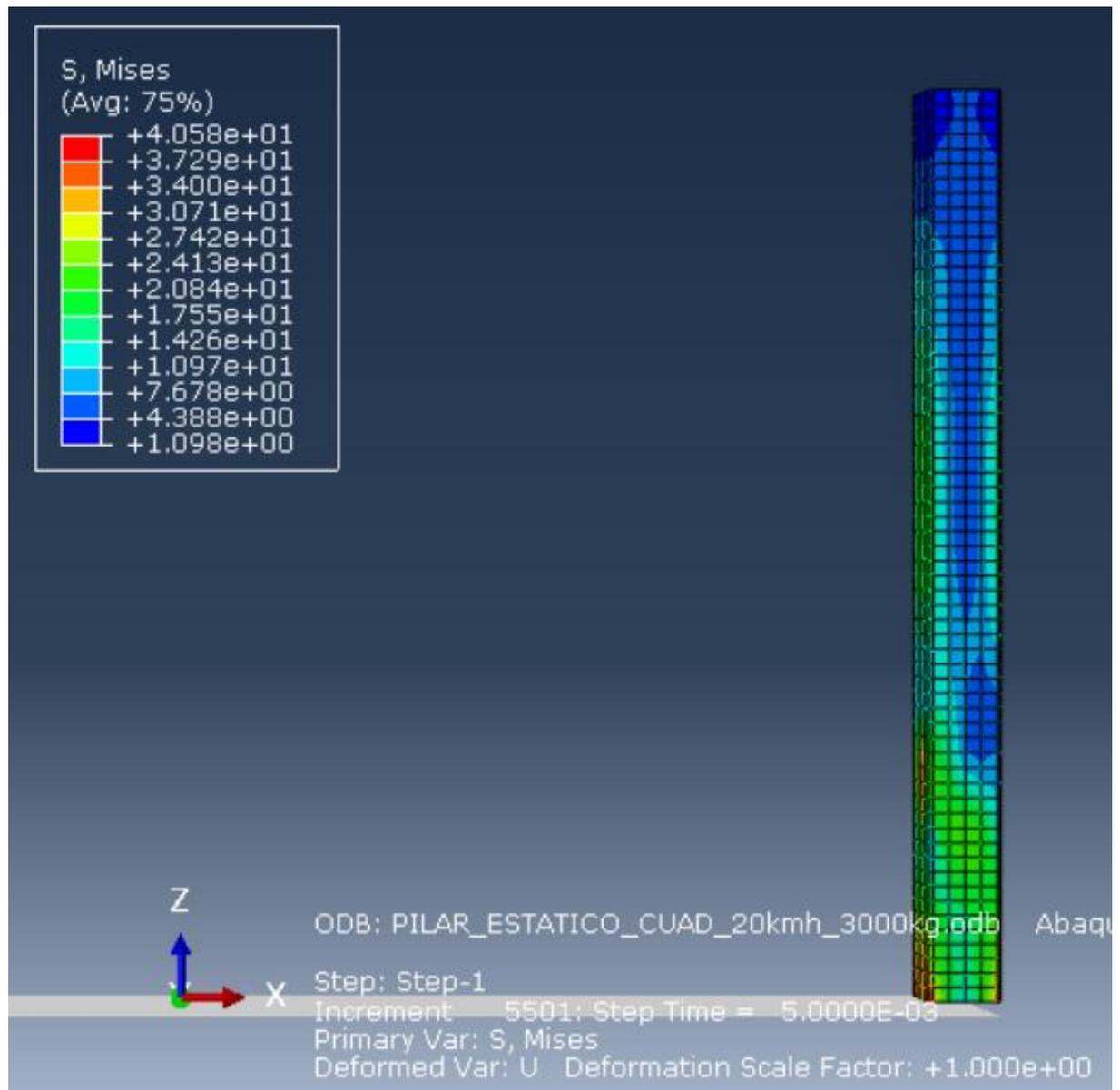


Ilustración 52 Tensiones que aparecen en el pilar tras la simulación estática en el caso de camioneta de 3000 kg contra perfil CUADRADO a 20 km/h.

En la ilustración 52 se puede ver como las tensiones se concentran principalmente en la cara del perfil en donde impactó el vehículo, con tendencia a concentrarse en el empotramiento inferior.

Tras la realización de esta simulación estática se ha obtenido una fuerza estática equivalente de 71 kN.

1.9 Normativa

Las normativas utilizadas en este estudio han sido dos: El código técnico de la edificación (CTE) [5] y el Eurocódigo [6].

En el Documento Básico de Seguridad Estructural Acciones en la Edificación del CTE se recogen las acciones a tener en cuenta en caso de impacto de vehículos contra elementos estructurales. En el punto 4.3.2 de esta normativa, se especifica que: *“Los valores de cálculo de las fuerzas estáticas equivalentes debidas al impacto de vehículos de hasta 30 kN de peso total, son de 50 kN en la dirección paralela la vía y de 25 kN en la dirección perpendicular, no actuando simultáneamente.”*

Para este trabajo se ha optado por el supuesto en el que el impacto se realiza en la dirección de la vía, dado que es el escenario más perjudicial.

En el Eurocódigo se ha elegido el Eurocódigo 1 y más concretamente el apartado 1.7 de esta norma. En este apartado se dan los mismos valores de fuerzas estáticas equivalentes que en el Código Técnico de la Edificación. Sin embargo, en el Eurocódigo 1 a mayores añade en el Anexo C una fórmula con la que obtener una fuerza estática equivalente, y de ese modo hacer un estudio un poco más avanzado del impacto.

$$F = v \cdot \sqrt{k \cdot m}$$

En donde:

F es la fuerza estática equivalente

v es la velocidad del vehículo

k es la rigidez del vehículo, para el cual la normativa nos da un valor promedio de 300 kN/m

m es la masa del vehículo

Por lo tanto, a modo de resumen, se obtiene la siguiente tabla de valores:

	Eurocódigo [6]		CTE [5]
	Anexo C	Apartado 1.7	Apartado 4.3.2
Modelo	Fuerza (KN)	Fuerza (KN)	Fuerza (KN)
CAMIONETA HEB 20km/H MI 1990 kg	134,4	50	50
CAMIONETA HEB 20km/H MI 3000 kg	165,0	50	50
CAMIONETA HEB 20km/h 1990 kg	134,4	50	50
CAMIONETA HEB 20km/H 3000 kg	165,0	50	50
CAMIONETA CUAD 20km/h 1990 kg	134,4	50	50
CAMIONETA CUAD 20km/H 3000 kg	165,0	50	50

Tabla 3 Recoge los diferentes valores que aporta la normativa.

En donde “MI” indica que el pilar está orientado con el eje de máxima inercia en la misma dirección que la vía.

En esta Tabla 3 ya se puede observar que hay cierta disparidad entre las fuerzas recomendadas por la normativa cuando empiezas a profundizar un poco en el estudio del impacto. Se puede ver que, en algunos casos, dependiendo de la normativa que se aplique, se triplica la fuerza estática equivalente que habría que tomar como parámetro de diseño de los pilares.

1.10 Resultados

Para poder analizar los resultados obtenidos a lo largo de todos los ensayos realizados se ha construido una tabla que los recoge.

Modelo	Desp(mm)	Fuerza estatica (KN)	Comparacion con [5] y [6]	
			Columna 1	Columna 2
CAMIONETA HEB 20km/H MI 1990kg	0,202	110	120%	-18%
CAMIONETA HEB 20km/H MI 3000kg	0,232	123,5	147%	-25%
CAMIONETA HEB 20km/h 1990kg	1,165	99,5	99%	-26%
CAMIONETA HEB 20km/H 3000kg	1,218	104	108%	-37%
CAMIONETA CUAD 20km/h 1990kg	0,563	63,5	27%	-53%
CAMIONETA CUAD 20km/H 3000kg	0,633	71	42%	-57%

Tabla 4 Resumen de los resultados obtenidos a lo largo de las múltiples simulaciones realizadas en este trabajo

En donde “MI” indica que el pilar está orientado con el eje de máxima inercia perpendicularmente a la dirección que la vía.

Como se puede observar en la tabla 4 los menores desplazamientos se producen en el perfil HEB orientado en posición MI, como era de esperar, pero también en este caso es donde tenemos las fuerzas estáticas equivalentes más grandes.

Los desplazamientos más grandes se encuentran en el perfil HEB que tiene el eje de máxima inercia en paralelo con la dirección de la vía. Sin embargo, en este caso concreto, las fuerzas estáticas equivalentes que nos encontramos no son ni las más grandes ni las más pequeñas de todas las obtenidas. Asimismo, los desplazamientos más pequeños logrados han sido en el pilar con perfil cuadrado, además de habernos encontrado con las fuerzas estáticas equivalentes más pequeñas.

En esta tabla también se puede ver un porcentaje que indica la diferencia de los valores obtenidos a lo largo de las simulaciones con los que aporta la normativa [5][6]. En la columna 1 se comparan los resultados obtenidos con los valores que aportan el CTE y el Eurocódigo 1 en el apartado 1.7, que son los mismos, mientras que en la columna 2 se comparan los resultados obtenidos con los valores que se obtienen aplicando la fórmula del Anexo C del Eurocódigo 1. Como se puede ver en la columna 1, en el caso del perfil HEB en la posición MI y con una camioneta de 3000 kg impactando contra dicho pilar, la diferencia que se obtiene en la fuerza estática equivalente es de casi un 150% superior. Por otra parte, también se ve que en el caso del perfil cuadrado y una camioneta de 1990 kg la diferencia es de apenas un 30%. En cualquier caso, todos los resultados obtenidos han sido claramente superiores a los datos de referencia que aporta la normativa.

Por otro lado, vemos en la columna 2 que todos los resultados obtenidos son inferiores a los que nos aporta el Anexo C [6]. Por lo tanto, se puede afirmar que el Anexo C si estaría dentro del ámbito de la seguridad.

También debemos precisar que en ninguna de las normativas se hace referencia a la velocidad del vehículo, es decir, que en ninguna se especifica para que velocidad del vehículo están consideradas las fuerzas que mencionan, exceptuando el Anexo C del Eurocódigo 1. La velocidad para este tipo de situaciones es un parámetro muy importante que establecer claramente, ya que su variación implica una variación cuadrática en la energía cinética del vehículo, lo que haría que cambiaran las fuerzas estáticas equivalentes muy rápidamente.

Asimismo, es necesario recalcar que se ha usado un modelo simplificado del vehículo, y por lo tanto, si se quisiera actualizar la normativa sería necesario hacer un estudio con un modelo más complejo. No obstante, a pesar de haber empleado un modelo simplificado se han obtenido valores más elevados que los que indican las normativas, exceptuando el Anexo C del Eurocódigo 1. Los valores de fuerza equivalente obtenidos con la fórmula del anexo sí que son superiores a los resultados alcanzados en las simulaciones realizadas en este trabajo. Por lo tanto, sería un punto de partida interesante y adecuado, a la vista de lo analizado en

este trabajo, si se quisiera modificar la normativa. Y se considera que el Anexo C del Eurocódigo 1 si está del lado de la seguridad, no como sería el caso del CTE.

Por otra parte, para el estudio de las diferentes tipologías de pilares realizado en este trabajo, se han recogido una serie de datos en la siguiente tabla.

Modelo	Desp(mm)	Inercia (mm ⁴)	Desp/I
CAMIONETA HEB 20km/H MI	0,202	798900000	2,5E-10
CAMIONETA HEB 20km/H MI 3000kg	0,232	798900000	2,9E-10
CAMIONETA HEB 20km/h	1,165	117200000	9,9E-09
CAMIONETA HEB 20km/H 3000kg	1,218	117200000	1,0E-08
CAMIONETA CUAD 20km/h	0,563	48590000	1,2E-08
CAMIONETA CUAD 20km/H 3000kg	0,633	48590000	1,3E-08

Tabla 5 Datos que hacen referencia a los perfiles de los pilares

A la hora de analizar los perfiles se ha tenido que buscar un parámetro de comparación entre las diferentes tipologías, ya que solo con los desplazamientos y las fuerzas obtenidas no se podrían comparar.

Por lo tanto, se ha decidido comparar la eficiencia de cada perfil y su comportamiento frente al impacto mediante la ejecución de un procedimiento que consiste en relacionar el desplazamiento que se ha producido en el pilar con la inercia de este, para así poder valorar cómo se comporta cada perfil frente al impacto.

Como se puede observar en la Tabla 5, se expone el ratio entre el desplazamiento de la columna y la inercia, y ese valor será el patrón de comparación.

La Tabla 5 está ordenada de menor a mayor en función del parámetro recién mencionado. Así podemos ver que el que mejor se ha comportado ha sido el perfil HEB, en posición MI. En cambio, el que peor se ha comportado frente el impacto ha sido el perfil cuadrado. Dejando en el medio de los dos casos al perfil HEB orientado en la posición de menor inercia, que como ya se sabe es la situación más desventajosa para este tipo de perfiles.

También se puede observar que el perfil cuadrado ha obtenido valores muy cercanos al perfil HEB en posición de menor inercia.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2017/18

*MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DE
UN VEHICULO CONTRA UNA COLUMNA DE
PARKING*

Grado en Ingeniería Mecánica

Documento

CONCLUSIONES

2 CONCLUSIONES

En definitiva, se han modelizado dos impactos que se han podido validar con la bibliografía [1], y por lo tanto se ha obtenido un modelo de elementos finitos eficiente que nos permite modelar colisiones a diferentes velocidades y contra diferentes tipologías de columnas u objetos similares.

Gracias a los resultados obtenidos con el modelo de elementos finitos utilizado en este trabajo, han quedado patentes una serie de conclusiones referentes a la normativa estudiada en este proyecto.

En primer lugar, cabe decir que la velocidad es un parámetro clave que hay que definir claramente, ya que la variación de la velocidad implica una variación cuadrática en la energía cinética del vehículo, lo que puede provocar cambios muy bruscos en la fuerza estática equivalente. Y es necesario recalcar que tanto el CTE como el Eurocódigo 1, obviando el Anexo C, no establecen para que velocidades del vehículo definen las fuerzas estáticas equivalentes que aportan.

En segundo lugar, es preciso indicar que a la vista de los resultados tanto el CTE como el apartado 1.7 del Eurocódigo 1 están del lado de la inseguridad. Como se puede observar en la columna 1 de la Tabla 4. En algunos casos el porcentaje de inseguridad ha llegado hasta prácticamente el 150%. En cambio, el Anexo C del Eurocódigo 1 favorece claramente a la seguridad como se puede ver también en la columna 2 de la Tabla 4.

Cabe precisar, además, que en la mayoría de los casos en los que nos encontremos con acciones como las que se han analizado en este trabajo, nos encontraremos con pilares muy resistentes que prácticamente no les afecta este tipo de acciones. Esto es debido a que normalmente se trata de edificios grandes que las propias necesidades estructurales del edificio ya implican dimensionar los pilares de tal forma que van a poder resistir el tipo de impactos aquí analizados. No obstante, hay que tener en cuenta que no todas las edificaciones son tan grandes como la que se consideró en este trabajo. Por lo tanto, reafirmo la necesidad de revisar las normativas actuales, ya que si los impactos se produjeran en un parking en donde la estructura no estuviera pensada para soportar un gran edificio, igual podría llegar a haber consecuencias estructurales.

También hemos podido ver que el perfil que mejor se ha comportado ha sido el perfil HEB, en posición MI. En cambio, el que peor se ha comportado frente al impacto ha sido el perfil cuadrado. Dejando en el medio de los dos casos al perfil HEB orientado con el eje de máxima inercia en paralelo al sentido de la marcha del vehículo (posición de menor inercia), que como ya se sabe es la situación más desventajosa para este tipo de perfiles.

Asimismo, cabe concluir que es más eficiente a la hora de resistir el impacto del vehículo el perfil HEB-450. Por lo tanto, no sería lógico el empleo del perfil cuadrado, ya que no hay ningún argumento de peso que justifique su uso frente al HEB-450, a pesar de que en la orientación más desventajosa para el perfil HEB se ha comportado prácticamente igual que el perfil cuadrado.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2017/18

*MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DE
UN VEHICULO CONTRA UNA COLUMNA DE
PARKING*

Grado en Ingeniería Mecánica

Documento

REFERENCIAS

3 REFERENCIAS

[1] B. Ferrer, S. Ivorra, E. Segovia, R. Irlles, Tridimensional modelization of the impact of a vehicle against a metallic parking column at a low speed. Alicante: Universidad de Alicante, 2010.

[2] B. Ferrer, S. Ivorra, E. Segovia, R. Irlles, Impact load in parking steel column: code review and numerical approach. Alicante: Universidad de Alicante, 2009

[3] M.^a Belén Ferrer Crespo, Estudio del comportamiento de pilares de edificación frente a cargas de impacto. Alicante: Universidad de Alicante, 2011

[4] Juan José López Blanco, Simulación y análisis del impacto de un vehículo por elementos finitos. A Coruña: Universidad de la Coruña, 2017

[5] Código técnico de la edificación (CTE). Documento básico: Seguridad Estructural-Acciones en la edificación. España 2009.

[6] Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions: Unión Europea, 2010

[7]<https://web.archive.org/web/20150415013506/http://www.ncac.gwu.edu:80/vml/models.html> [Accedido en Julio 2018]

[8] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029610000854> [Accedido en Julio 2018]

[9] <https://law.resource.org/pub/eu/eurocode.html> [Accedido en Julio 2018]

[10] Dassault Systèmes, Abaqus. Abaqus 6.14 Abaqus User's Guide, 2014

[11] AENOR, Norma UNE 157001. España 2014

[12]https://www.nemasa.com/editor/pdf/REGLAMENTO%20GENERAL%20DE%20REGIMEN%20INTERNO%20DEL%20USO%20DE%20PARKINGS%20PUBLICOS_11.pdf [Accedido en Julio 2018]

[13] Anxo Sendín Lama, Diseño, simulación FEM y optimización de una estructura de asiento en aluminio para vehículos M1. Vigo: Universidad de Vigo, 2016.