



**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES
ESPECIALIDAD MECÁNICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO
ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE UN PARACHOQUES
ANTE GOLPES A BAJA VELOCIDAD**

Autor: Gabriel Guillermo Marroig Corripio

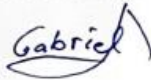
Director: Juan de Norverto Moriñigo

Julio 2023

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio y Simulación de un Parachoques ante Golpes a Baja Velocidad
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022-2023 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Gabriel Guillermo Marroig Corripio Fecha: ...29.../ ...06.../ ...2023...



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Morínigo Fecha://



**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES
ESPECIALIDAD MECÁNICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO
ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE UN PARACHOQUES
ANTE GOLPES A BAJA VELOCIDAD**

Autor: Gabriel Guillermo Marroig Corripio

Director: Juan de Norverto Moriñigo

Julio 2023

Madrid

Agradecimientos

Me gustaría agradecer ante todo a mi familia, por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de estos años, también querría agradecer a los profesores de la Universidad Pontificia Comillas, por todo su apoyo y por haber contribuido a mi formación integral la cual me ha permitido llegar a donde estoy hoy en día.

ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE UN PARACHOQUES ANTE GOLPES DE BAJA VELOCIDAD

Autor: Marroig Corripio, Gabriel Guillermo.

Director: Norverto Moriñigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En el proyecto se analiza el funcionamiento de los parachoques frente a impactos entre vehículos que circulan a baja velocidad, tanto colisiones frontales como laterales. Para ello, se parte del análisis de los materiales que conforman el parachoques, se estudia su comportamiento mediante simulaciones y se obtienen evidencias sobre las deformaciones asociadas al impacto. Finalmente, y a partir de diversos modelos de informes periciales, se realizarán propuestas de mejora.

Palabras clave: Parachoques, Leyes de Newton, Choque Inelástico, Coeficiente de Restitución, Resistencia a la Cizalladura, Tensión de Von Mises, Incremento Lineal, Flexibilidad, Rigidez, Reglamento 42.

1. Introducción

Desde la invención del automóvil en el año 1896 por el alemán Karl Benz hasta la actualidad, el uso del automóvil ha ido cobrando importancia, haciendo que para el año 2008 el INE recogiera en sus datos que un 45,3% de la población tenía un vehículo particular privado (coche, moto...) [1]. Este aumento del uso de los automóviles ha propiciado un aumento de accidentes de tráfico, algunos mortales. Las estadísticas sacadas de la web epData muestran que entre mayo de 2017 y mayo 2023 perdieron la vida 2331 personas, aunque un porcentaje de ese dato se debe al factor humano [2]. Constantemente se están realizando mejoras en los coches tanto en los elementos de seguridad pasiva como activa para reducir la mortalidad, ya sea de los ocupantes del vehículo como la de los peatones. Dado que es imposible garantizar un 100 por 100 de seguridad, es necesario la presencia de compañías aseguradoras que indemnicen a las víctimas de estos accidentes por los daños sufridos.

A las aseguradoras les interesa saber la velocidad que tenía el vehículo que impactó en los accidentes de tráfico en los que están involucrados dos vehículos, para poder asegurar que las lesiones sufridas por los ocupantes del vehículo impactado son debidas a dicho accidente de tráfico. Cuando las velocidades son elevadas, las pruebas visuales son determinantes para saber que la velocidad de impacto era lo suficientemente alta como para producir las lesiones en los ocupantes del vehículo, pero cuando las velocidades son bajas, normalmente las pruebas visuales no son concluyentes puesto que las deformaciones son demasiado bajas o cercanas a un valor nulo.

Con la realización de este proyecto se pretende una mejora de la comprensión y entendimiento de cómo se comporta el parachoques ante impactos de baja velocidad, estos impactos procederán de choques frontales y laterales. También se hará un análisis de algunos de los materiales que se utilizan en los parachoques en la actualidad, centrándonos en alguna de sus características, así como una propuesta de mejora de los informes periciales indicando

que elementos son necesarios para que una persona no experta en el ámbito de los accidentes de tráfico pueda entender a la perfección las características técnicas de los mismos.

2. Metodología y selección materiales para el parachoques

1. Diseño del prototipo de parachoques

Para la realización del prototipo de parachoques, primero se realizó una investigación cuyo fin era saber cuáles eran las dimensiones típicas de los parachoques actuales. La estructura que se emplea en los análisis de este proyecto es un parachoques de elaboración propia hecha con el programa Solid Edge, sus dimensiones tuvieron su origen en el labio inferior algunos parachoques que se emplean actualmente. El espesor elegido es bastante elevado (10 cm), pero esto se debe a que se incluyó el núcleo con la carcasa del parachoques, haciendo que el conjunto sea uno solo.



Imagen 1: Vista Superior del Prototipo de parachoques

2. Análisis de los materiales

Los materiales elegidos para esta investigación se corresponden con materiales que se usan en la actualidad. Una vez seleccionados, se hace uso del Software de Ingeniería Ces Edupack 2022 R2, que contiene la base de datos de todos los materiales. En ese programa se hará una verificación de que verdaderamente dichos materiales se usan en los parachoques, ya sean en la parte externa de los mismos o en su núcleo.

Los materiales se analizarán basándose en 3 parámetros: precio, comportamiento ante el fuego y actitud en el medio ambiente. En vista de que no hay suficiente tiempo para simular todos ellos, se hará una selección solo de aquellos materiales que tengan las características idóneas. Tras analizar una parte de la alta cantidad de materiales que pueden ser usados en los parachoques, se han seleccionado los siguientes materiales para simular: EPP 0.020, EPP 0.030, EPP 0.040, EPP 0.060 y el material TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded).

3. Análisis del parachoques ante golpes de baja velocidad

Se comenzará calculando las velocidades iniciales y finales del vehículo que impacta, con el fin de obtener el decremento de velocidad que tendrá el vehículo durante la colisión. Con este decremento y haciendo uso de la 2ª Ley de Newton se calculará la fuerza del impacto. Durante estos análisis será necesario realizar varias hipótesis una de las cuales es el decrecimiento lineal de la velocidad durante el impacto siendo este el de un choque inelástico. Con esta última hipótesis, será necesario calcular el coeficiente de restitución, el cual mide el grado de elasticidad de un choque y se obtiene de forma empírica.

Se comenzará haciendo un estudio de las deformaciones que tendrá el parachoques del coche que impacta. Al ser el coche que impacta, solo puede ser sometido a choques frontales. En este tipo de análisis haremos uso de la tercera Ley de Newton.

Después se hará el análisis de la aparición de la rotura en el parachoques del coche impactado. (Esta parte se explica más en detalle en el siguiente punto)

Por último, se realizarán las simulaciones del parachoques del vehículo impactado. Llegados a esta parte y en función de los análisis realizados previamente, desecharemos todos aquellos materiales que no cumplan algunos de los requisitos, ya sea porque no cumplen la normativa 42 respecto a la homologación de los parachoques, o por ser más caros que los demás materiales analizados. Se recogerán las deformaciones y se realizará una comparativa entre los distintos materiales analizados. Los resultados dependerán del material que tenga el coche impactado, así como del material del que este hecho el coche que impacta.

Para las simulaciones del coche impactado, solo se analizarán los materiales EPP. Esto se debe a que el material TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded), es un material que solo se usa en la carcasa y en los accidentes de tráfico la fuerza que recibe la carcasa será distinta a la que recibe el núcleo del parachoques, que en este caso emplean los materiales EPP.

4. Análisis de la aparición de la rotura en el parachoques

Para calcular la velocidad del coche que impacta sucederá la rotura en el vehículo impactado, se hará uso del parámetro Resistencia a la Cizalladura. Este parámetro indica la resistencia del material a la rotura ante fuerzas cortantes. Se seguirá usando el Software ANSYS para poder comprobar la tensión de rotura del prototipo de parachoques.

Se ira aumentando las fuerzas en el coche impactado, para cada uno de los materiales. Cuando la tensión de Von Mises en la cara donde ocurre la colisión, supere a la resistencia a la cizalladura del material habiendo previamente aplicado un parámetro de seguridad $N=2$, se podrá asegurar que se ha producido la rotura en la zona de la colisión. Una vez se sepa con que fuerza se produce la rotura en cada uno de ellos y sobre la hipótesis de que lo que recibe el parachoques del coche impactado procede del parachoques del coche que impacta, se hará uso de la segunda Ley de Newton y se verá cual será la variación de velocidad del coche que impacta, la cual dependerá del material de su parachoques. Una vez se tenga la variación de velocidad, se realizará un análisis de cuál será la velocidad inicial del coche que impacta para conseguir ese decremento de velocidad.

5. Propuesta de mejora de los informes periciales

Para esta última parte, se realizará un análisis de los elementos que se suelen poner en los informes periciales y en vista de que algunos parámetros que se tienen en cuenta para recrear los accidentes se obtienen de forma empírica, se indicará cuáles de ellos son necesarios para facilitar una lectura apropiada del informe.

3. Análisis de los Materiales y Resultados de las Simulaciones

A continuación, en este apartado se mostrarán todos los resultados obtenidos durante la realización del proyecto. Se dividirá esta parte en los puntos que se han desarrollado previamente.

- **Análisis de los materiales**

Se analizará una amplia variedad de materiales donde se centrará en cada uno por separado. Se mostrará primero la tabla donde se analiza el precio estimado del material, seguido por la tabla de su comportamiento ante el fuego y finalizando con el comportamiento en el medio ambiente.

a) Los materiales EPP

Material	Masa del parachoques en Kg	Precio/Kg	Media (Precio/Kg)	Precio Total \$
EPP 0.020	1,4954	1,64-1,8	1,72	2,572088
EPP 0.030	2,1339	1,64-1,8	1,72	3,670308
EPP 0.040	2,848	1,64-1,8	1,72	4,89856
EPP 0.060	4,275	1,64-1,8	1,72	7,353

Tablas 1: Masa y Precio de los Materiales EPP

Material	Comportamiento ante el fuego
EPP 0.020	Highly Flammable
EPP 0.030	Highly Flammable
EPP 0.040	Highly Flammable
EPP 0.060	Highly Flammable

Tablas 2: Comportamiento Ante el Fuego por los Materiales EPP

Material	Comportamiento en el medioambiente
EPP 0.020	Downcycle
EPP 0.030	Downcycle
EPP 0.040	Downcycle
EPP 0.060	Downcycle

Tablas 3: Comportamiento en el Medio Ambiente por los Materiales EPP

b) El material PUR

Material	Masa del parachoques en Kg	Precio/Kg	Media (Precio/Kg)	Precio Total \$
PUR®(casting resign, unsaturated)	74,85	1,09-1,37	1,23	92,0655

Tablas 4: Masa y Precio del Material Poliuretano

Material	Comportamiento ante el fuego
PUR®(casting resign, unsaturated)	Slow-Burning

Tablas 5: Comportamiento Ante el Fuego por el Material Poliuretano

Material	Comportamiento en el medio ambiente
PUR®(casting resign, unsaturated)	Downcycle

Tablas 6: Comportamiento en el Medio Ambiente por el Poliuretano

c) El material TPO

Material	Masa del parachoques en Kg	Precio/Kg	Media (Precio/Kg)	Precio Total \$
TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)	62,65	1,87-2,42	1,72	107,758
TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)	64,547	1,87-2,42	1,72	111,02084
TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)	64,471	1,87-2,42	1,72	110,89012
TPO (PP+EP(D)M,30-32% barium sulfate)	85,807	1,9-2,4	1,72	147,58804
TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)	70,576	2,39-2,91	2,65	187,0264
TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)	64,009	1,87-2,42	2,145	137,299305

Tablas 7: Masa y Precio de los Materiales TPO

Material	Comportamiento ante el fuego
TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M,30-32% barium sulfate)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)	Highly Flammable

Tablas 8: Comportamiento Ante el Fuego por los Materiales TPO

Material	Comportamiento en el medio ambiente
TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M,30-32% barium sulfate)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)	Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)	Recycle y Downcycle

Tablas 9: Comportamiento en el Medio Ambiente por los Materiales TPO

d) El material TPV

Material	Masa del parachoques en Kg	Precio/Kg	Media (Precio/Kg)	Precio Total \$
TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded)	89,817	4,02-4,26	4,14	371,84238

Tablas 10: Masa y Precio de los Materiales TPV

Material	Comportamiento ante el fuego
TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded)	Self-extinguishing

Tablas 11: Comportamiento Ante el Fuego por el Material TPV

Material	Comportamiento ante el medio ambiente
TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded)	Recycle y Downcycle

Tablas 12: Comportamiento en el Medio Ambiente por el Material TPV

- **Resultados Coche que Impacta.**

En esta parte se analizarán las deformaciones que sufrirán los materiales del parachoques del coche que impacta. Se anotarán los resultados y se hará una comparativa entre cada una de las distintas versiones de un mismo material.

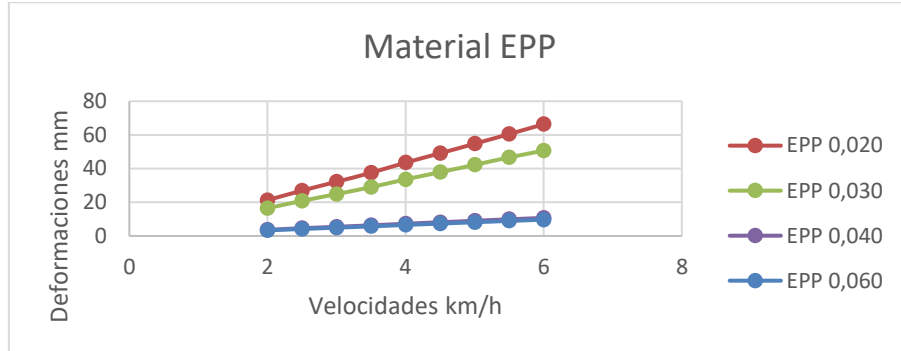


Imagen 2: Comparativa de los Materiales EPP en un Gráfico Deformación-Velocidad

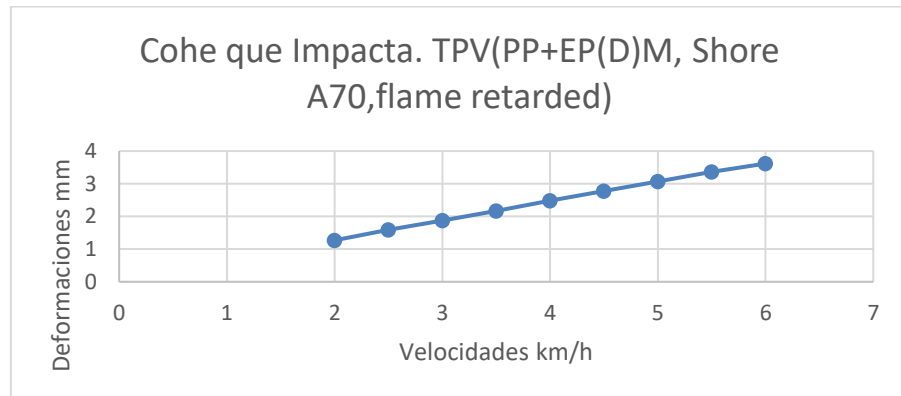


Imagen 3: Gráfico Deformación-Velocidad en un Material TPV

- **Resultados Aparición de la Rotura en el Coche Impactado.**

En esta parte se estudia a qué velocidad de impacto aparecerá una rotura en el coche impactado. Se mostrará una tabla con las velocidades iniciales necesarias para que un coche que impacta con cierto material produzca una rotura en el coche impactado. Dicha velocidad dependerá de los materiales de los dos coches.

En la segunda tabla se recogen las deformaciones y fuerzas necesarias para que haga aparición la rotura en el coche impactado.

Velocidad inicial del vehículo que impacta km/h		COCHE QUE IMPACTA			
COCHE IMPACTADO	Materiales Parachoques	EPP 0,020	EPP 0,030	EPP 0,040	EPP 0,060
	EPP 0,020	7,1	4,8	3,55	2,3
	EPP 0,030	14,55	9,2	7,05	4,5
	EPP 0,040	39,3	25,5	18	11,25
	EPP 0,060	82,75	55,75	39,7	24

Tablas 13: Velocidades Iniciales del Coche que Impacta en Función de los Materiales del Parachoques

	Materiales Parachoques	Deformaciones(mm)	Fuerzas Newton (N)
COCHE IMPACTADO	EPP 0,020	80,287	29
	EPP 0,030	85,698	54,7
	EPP 0,040	30,837	125
	EPP 0,060	36,59	240

Tablas 14: Deformaciones y Fuerzas que Aparecen Cuando Ocurre la Rotura en el Coche Impactado

- **Resultados Coche Impactado.**

Finalmente, para esta parte, las velocidades inferiores a 4km/h no serán analizadas puesto que por debajo de esa velocidad de impacto no se espera unas altas deformaciones. Tampoco se hará el análisis de un coche impactado con el material EPP 0,020 y EPP 0,060.

El material EPP 0,020 no cumple con el Reglamento 42 respecto a la homologación de los parachoques de un automóvil, el cual indica que el parachoques debe resistir impactos a 4 km/h para choques frontales y de 2 km/h para los choques traseros [4].

El material EPP 0,060 presenta un comportamiento de deformación parecido al material EPP 0,040. Por tanto, para obtener una futura reducción de gastos, se quitará el material más caro de las simulaciones del coche impactado.

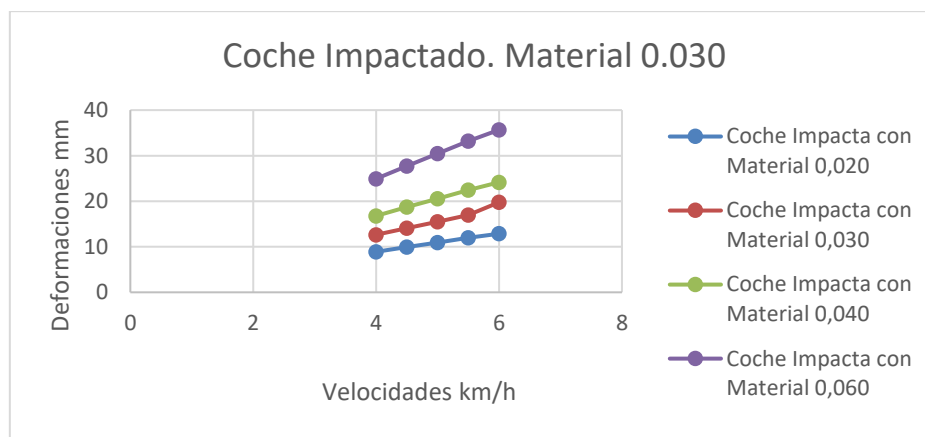


Imagen 4: Comparativa de las Deformaciones Producidas con los Materiales EPP en el Coche Impactado con Material 0,030

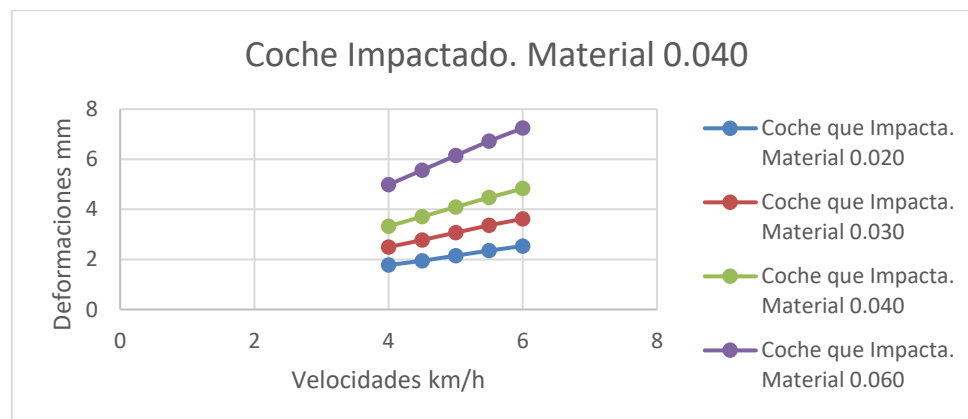


Imagen 5: Comparativa de las Deformaciones Producidas con los Materiales EPP en el Coche Impactado con Material 0,040

4. Conclusiones

Durante la realización de este proyecto se han obtenido las siguientes conclusiones:

- 4.1.1. Con los resultados se aprecia que existe una alta cantidad de materiales que presentan unas características idóneas para ser utilizados como parachoques. La alta variabilidad de las masas es debido a las dimensiones del prototipo, puesto que se puede apreciar que los materiales usados solo en la carcasa (TPV,TPO,PUR) tienen una masa más elevada que los materiales que se usan solo en el núcleo (EPP). El principal motivo de esta variación es el espesor del prototipo puesto que consta de unas dimensiones de 10 cm de espesor, parecida a las dimensiones del núcleo. Se puede apreciar en otros TFG, se hacen suposiciones de carcasas de parachoques usando espesores de 3 mm [3].
- 4.1.2. Respecto a la reciclabilidad, todos los materiales analizados pueden ser reciclados, aunque el material resultante solo en algunos casos será de igual calidad que su predecesor. Finalmente, sin gastar mucho dinero, el material poliuretano es el que mejor comportamiento tiene ante el fuego, pudiéndose autoextinguirse en el caso de que hiciera aparición.
- 4.1.3. En los análisis del coche que impacta, se puede apreciar un comportamiento lineal tanto de los materiales del núcleo como de la carcasa del parachoques. Este comportamiento, permitirá poder reducir el número de análisis en un trabajo futuro, pues haciendo simples reglas de tres se podrán conseguir estudiar las deformaciones resultantes en todos los puntos de velocidad. Además, se puede comprobar que los materiales flexibles aguantan menos fuerzas y presentan más deformaciones que los materiales más rígidos.
- 4.1.4. En los resultados del punto de rotura del coche impactado, se puede apreciar que cuanto más flexible es el material, menos fuerza es necesaria para que haga aparición la rotura. Esto facilitará que el coche que impacta con un material más rígido no necesite tanta fuerza/velocidad para propiciar la rotura en el coche impactado.
- 4.1.5. Para los resultados del coche impactado en el lateral, se comprueba que al igual que los resultados del coche que impacta, el comportamiento de los parachoques podrá ser igualado a un modelo lineal de deformación respecto a las velocidades de impacto. Cuanto más rígido sea el material del coche impactado más fuerzas soportará siendo las deformaciones más pequeñas.
- 4.1.6. Para la propuesta de mejora de los informes periciales, es necesario dejar indicados los planteamientos, hipótesis y los desarrollos que se han realizado a lo largo de la investigación del accidente que evalúan, puesto que la falta de estos elementos podría impedir una comprensión del porqué se obtienen esas conclusiones.
- 4.1.7. Si el accidente de tráfico se realizó a bajas velocidades, es muy difícil comprobar que los daños que presentan los ocupantes del vehículo se deban a dicho accidente, puesto que tanto las pruebas visuales, así como las simulaciones realizadas, no podrían demostrar exactamente cuál fue la velocidad de impacto del vehículo

5. Referencias

- [1] INE. “Encuesta de Hogares y Medio Ambiente“.Boletín Informativo del Instituto Nacional de Estadística, 6/2009. <https://www.ine.es/revistas/cifraine/0609.pdf>.

- [2] EpData. “Accidentes de tráfico, en datos y estadísticas”, La actualidad informativa de datos estadísticos de Europa Press ,junio 2023.
<https://www.epdata.es/datos/accidentes-trafico-datos-estadisticas/65/espana/106>
- [3] Aguilera Viladomiu, Edgar. “Diseño de un refuerzo para el parachoques delantero de un vehículo de turismo”, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona Tech, 9/2006. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2997/54860-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] ” Reglamento Número 42, anejo al Acuerdo de Ginebra de 20 de marzo de 1958, sobre prescripciones uniformes relativas a la homologación de vehículos automóviles en lo que concierne a sus dispositivos de protección, delanteros y traseros (parachoques,etc...)”. Boletín Oficial del Estado núm. 29. 8/1981.
[https://www.boe.es/eli/es/ai/1980/12/10/\(1\)/dof/spa/pdf](https://www.boe.es/eli/es/ai/1980/12/10/(1)/dof/spa/pdf)

STUDY AND BEHAVIOUR OF A CAR BUMPER AGAINST IMPACTS AT LOW SPEEDS

Author: Marroig Corripio, Gabriel Guillermo.

Supervisor: Norverto Moriñigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI-Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The project analyses the functionality of the bumpers against impacts between vehicles that circulate at low speeds both frontal and laterals accidents. For that, be part of the analysis of the materials that conforms the bumper, their behaviour is studied by simulations and evidence is obtained about deformations associated to impacts. Finally, and based to various models a proposal for improvement will be made.

Keywords: Bumpers, Newton's laws, Inelastic Collision, Coefficient of Restitution, Shear Strength, Von Mises Stress, Linear Increment, Flexibility, Stiffness, Regulation 42

1. Introduction

Since the creation of the automobile in 1896 by the German Karl Benz to the present, the use of the automobile has been obtaining importance, making that for the year 2008 the INE collected in its data that 45,3% of the population had a private vehicle (car, motorcycle...)[1]. This increase in the use of the automobile has led to a rise in traffic accidents, some of which have become fatal. Statistic from epData website show that between May of 2017 to May of 2023 the quantity of 2331 people lost their lives [2], although a percentage of this data is due to human factor. Improvements are being made in both passive and active safety features of cars to reduce mortality rates for both vehicle occupants and pedestrians. Since it is impossible to guarantee 100 per cent of security, the presence of insurance companies is necessary to compensate the victims of these accidents for the damage suffered.

Insurers are interested to know the velocity that has the car that impacted in traffic accidents involving two vehicles, to ensure that the health conditions of the occupants of the impacted vehicle are due to the traffic collision. When there are high speeds the visual proofs are decisive to know that the velocity of impact was too high to cause injuries to the occupants of the vehicle. But when there are low speeds, usually the visual proofs are not enough to conclude the velocity of the car that impacted because there are low deformations or nearly to zero.

With the realization of this project an improvement is intended to understand and comprehend the behavior of a car bumper in low-speed impacts, these will come from frontal and side collisions. There will be an analysis of some of the materials used in bumpers today, focusing on some of their characteristics, as well a proposal for expert reports indicating what elements are necessary so a person who is not an expert in the field of traffic collision can understand their technical characteristics.

2. Methodology and selection of the materials for the bumper.

2.1. Bumper prototype design

For the realization of the bumper prototype, first an investigation was made it with the purpose of knowing what the typical dimensions of currents bumpers are. The structure used in the analysis of this project is a self-made bumper made with Solid Edge Program, its dimensions originated from the lower lip of some bumpers that are currently used. The chosen thickness is high (10cm), but this is because the core was included with the bumper casing, making the whole one.

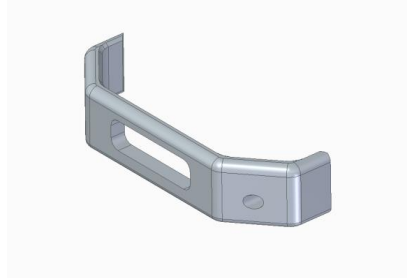


Figure 1: Bumper Prototype Top View

2.2. Analysis of the materials

The materials used for this project are related to materials that are currently used. Once selected, Ces Edupack 2022 R2 Engineering Software is used, which contains the database of all the materials. In this program, a verification will be made that these materials are currently used in the bumpers, whether they are on the outside of the bumpers or in their core.

The materials will be analysed based on three parameters: price, behaviour before fire and attitude towards environment. Since there is not enough time to simulate all of them, a selection will be made only for those materials that have the ideal characteristics. After analysing a part of the large number of materials that can be used in bumpers, the following materials have been selected to simulate: EPP 0.020, EPP 0.030, EPP 0.040, EPP 0.060 and the material TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded).

2.3. Analysis of the bumper against low-speed impacts.

It will begin by calculating the initial and final speeds of the impacting vehicle, to obtain the decrease in speed that the vehicle will have during the collision. With this decrease and making use of the Newton is second law, the force of the impact will be calculated. During this analysis it will be necessary to do some hypotheses, one of which is the linear decrease of velocity during the impact this being that of an inelastic collision. With this last hypothesis, it will be necessary to calculate the coefficient of restitution, which measure the degree of elasticity of a collision and is obtained empirically.

It will start making a study of the deformations that the bumper of the car that impacts will have. Being the car that impacts, it only be subjected to frontal collisions. In this type of analysis, it will make use of Newton is third Law.

Then the analysis of the appearance of the break in the bumper of the impacted car will be made. (This part is explained in more detail in the next point).

Finally, the simulations of the impacted car will be done. At this point and based on the analysis done previously, it will be a discard all those materials that doesn't have some of the requirements, either because they don't comply with the Normative 42 regarding the approval of bumpers or are more expensive than other materials analysed with the same characteristics. The deformations will be collected, and it will be a comparison between the different materials analysed. The results will depend on the material that the impacted car has, as well as the material from which the impacting car is made.

For the impacted car simulation, only EPP material will be analysed. This is because the material TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded), is a material that is only used in the casing and in traffic accidents the force that the casing receives is going to be different from that which receives the core of the bumper, which in this case use EPP materials.

2.4. Analysis of the appearance of the break in the bumper

To calculate the speed of the car that impacts, the break occurs in the impacted vehicle, the parameter shear strength will be used. This parameter indicates the resistance of the material to break under shear forces. ANSYS Software will be used to check the breaking stress of the bumper prototype.

The forces in the impacted car will increase for each one of the materials. When the Von Mises stress on the face where the collision happens exceeds the shear strength of the material, having previously applied a safety parameter $N=2$, it can be ensured that failure has occurred in the collision area. Once it is known with what force the break occurs in each of the materials and on the hypothesis that what the bumper of the impacted car receives comes from the bumper of the car that impacts, Newton's second law will be used and speed variation of the car will be seen, which will depend on the material of its bumper. Once the speed variation is obtained, an analysis will be made of what the initial speed of the car that impacts will be necessary to achieve that speed decrease.

2.5. Proposal for improving expert reports

For this last part, it will be done an analysis of the elements that are usually included in the expert reports and since some parameters that are taken in account to recreate accidents are obtained empirically, it will indicate which of them are necessary to facilitate a proper reading of the report.

3. Analysis of the Materials and Results of the Simulations.

In this section all the results obtained during the realisation of the project will be shown. This part will be developed into the points that have been previously developed.

- Analysis of the materials.

A high variety of materials will be analysed where the focus will be on each one separately. The table where the estimated price of the material is analysed will be shown first, followed by the table of its behaviour before fire and ending with the behaviour in the environment.

a) Material EPP

Material	Mass of the bumper in Kg	Price/Kg	Average (ice/Kg)	Total Price \$
EPP 0.020	1,4954	1,64-1,8	1,72	2,572088
EPP 0.030	2,1339	1,64-1,8	1,72	3,670308
EPP 0.040	2,848	1,64-1,8	1,72	4,89856
EPP 0.060	4,275	1,64-1,8	1,72	7,353

Table 1: Mass and Price of the Materials EPP

Material	Behaviour Before Fire
EPP 0.020	Highly Flammable
EPP 0.030	Highly Flammable
EPP 0.040	Highly Flammable
EPP 0.060	Highly Flammable

Table 2: Behaviour Before Fire of the Materials EPP

Material	Behaviour in the Environment
EPP 0.020	Downcycle
EPP 0.030	Downcycle
EPP 0.040	Downcycle
EPP 0.060	Downcycle

Table 3: Behaviour in the Environment of the Materials EPP

b) Material PUR

Material	Mass of the bumper in Kg	Price/Kg	Average (ice/Kg)	Precio Total \$
PUR®(casting resign, unsaturated)	74,85	1,09-1,37	1,23	92,0655

Table 4: Mass and Price of the Material PUR

Material	Behaviour Before Fire
PUR®(casting resign, unsaturated)	Slow-Burning

Table 5: Behaviour Before Fire of the Material PUR

Material	Behaviour in the Environment
PUR®(casting resign, unsaturated)	Downcycle

Table 6: Behaviour in the Environment of the Materials PUR

c) Material TPO

Material	Mass of the bumper in Kg	Price/Kg	Average (ice/Kg)	Precio Total \$
TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)	62,65	1,87-2,42	1,72	107,758
TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)	64,547	1,87-2,42	1,72	111,02084
TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)	64,471	1,87-2,42	1,72	110,89012
TPO (PP+EP(D)M, 30-32% barium sulfate)	85,807	1,9-2,4	1,72	147,58804
TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)	70,576	2,39-2,91	2,65	187,0264
TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)	64,009	1,87-2,42	2,145	137,299305

Table 7: Mass and Price of the Materials TPO

Materials	Behaviour Before Fire
TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M,30-32% barium sulfate)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)	Highly Flammable

Table 8:Behaviour Before Fire of the Materials TPO

Materials	Behaviour in the Environment
TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M,30-32% barium sulfate)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)	Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)	Recycle y Downcycle

Table 9:Behaviour in the Environment of the Materials TPO

d) Material TPV

Materials	Mass of the bumper in Kg	Price/Kg	Average (ice/Kg)	Precio Total \$
TPV(PP+EP(D)M, Shore A70,flame retarded)	89,817	4,02-4,26	4,14	371,84238

Table 10:Mass and Price of the Materials TPV

Material	Behaviour Before Fire
TPV(PP+EP(D)M, Shore A70,flame retarded)	Self-extinguishing

Table 11:Behaviour Before Fire of the Materials TPV

Material	Behaviour in the Environment
TPV(PP+EP(D)M, Shore A70,flame retarded)	Recycle y Downcycle

Table 12:Behaviour in the Environment of the Materials TPV

- Results car that impacts

In this part, the deformations suffered by the materials of the bumper from the car that impacts will be analysed. The results will be recorded, and a comparison will be made between each of the different versions of the same material.

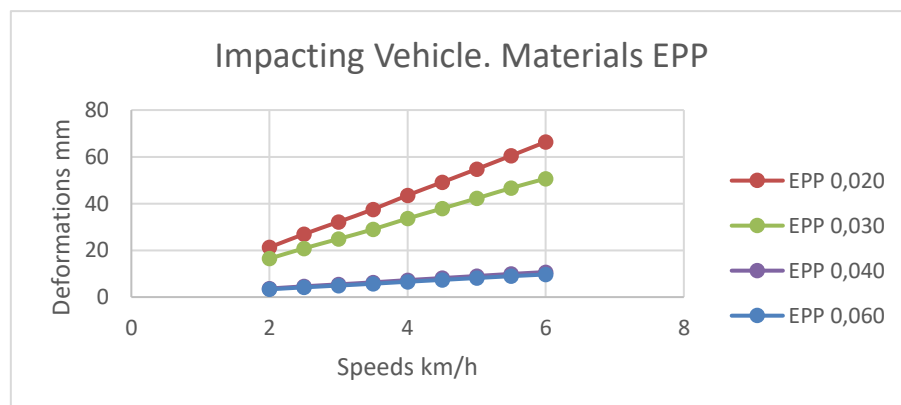


Figure 2: Comparison of EPP Materials in a Strain-Velocity Graph

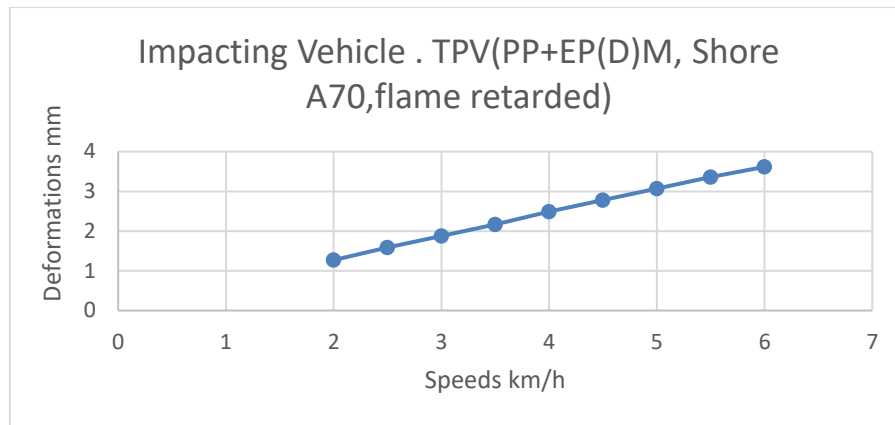


Figure 3: Comparison TPV Material in a Strain-Velocity Graph

- Results appearance of the breakage in the impacted car

In this part, it will be study at what impact speed a break will appear in the impacted car. A table will be shown with the initial speed necessary for a car that impacts with a certain material to cause a break in the impacted car. Said speed will depend on the materials of the two cars.

The second table shows the deformations and forces necessary for the break to appear in the impacted car.

Initial Speed of the Impacting Vehicle km/h		Impacting Vehicle			
Impacted Vehicle	Bumpers Materials	EPP 0,020	EPP 0,030	EPP 0,040	EPP0,060
	EPP 0,020	7,1	4,8	3,55	2,3
	EPP 0,030	14,55	9,2	7,05	4,5
	EPP 0,040	39,3	25,5	18	11,25
	EPP 0,060	82,75	55,75	39,7	24

Table 13: Initial Speeds of Impacting Car as a Function of Bumper Materials

	Bumpers Materials	Deformations (mm)	Newton Forces (N)
Impacted Vehicle	EPP 0,020	80,287	29
	EPP 0,030	85,698	54,7
	EPP 0,040	30,837	125
	EPP 0,060	36,59	240

Table 14: Deformations and Forces that Appear When the Breakage Occurs in the Impacted Car

- Results of the impacted car

Finally for this part, speeds below 4km/h will not be analysed since high deformations are not expected with that speeds. The analysis of a car impacted with the material EPP 0,020 and EPP 0,060 will not be done either.

The EPP 0,020 material does not comply with the Regulation 42 regarding the approval of automobile bumpers, which indicates that the bumper must resist impacts of 4 km/h for frontal impacts and 2km/h for rear impacts [4].

The EPP 0,060 material exhibit a deformation behaviour like the EPP 0,040 material. Therefore, to obtain a future cost reduction, the most expensive material will be removed from the impacted car simulation.

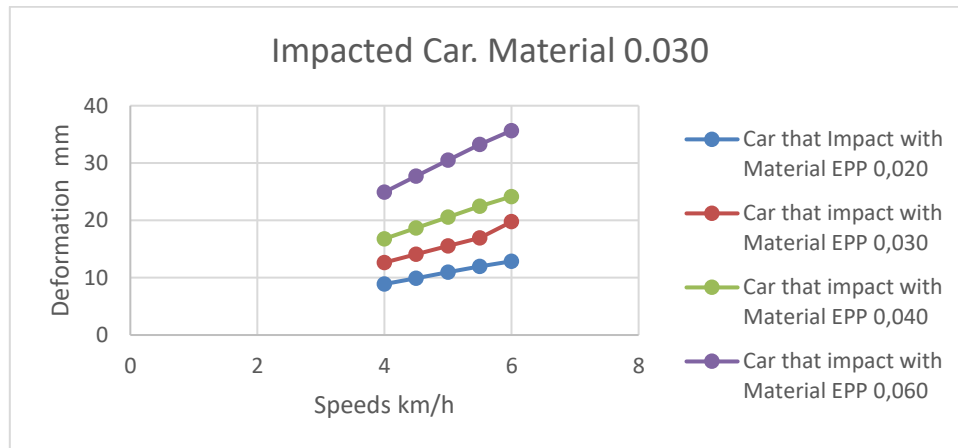


Figure 4: Comparison of the Deformations Produced with the EPP Material in the Car Impacted with Material 0,030

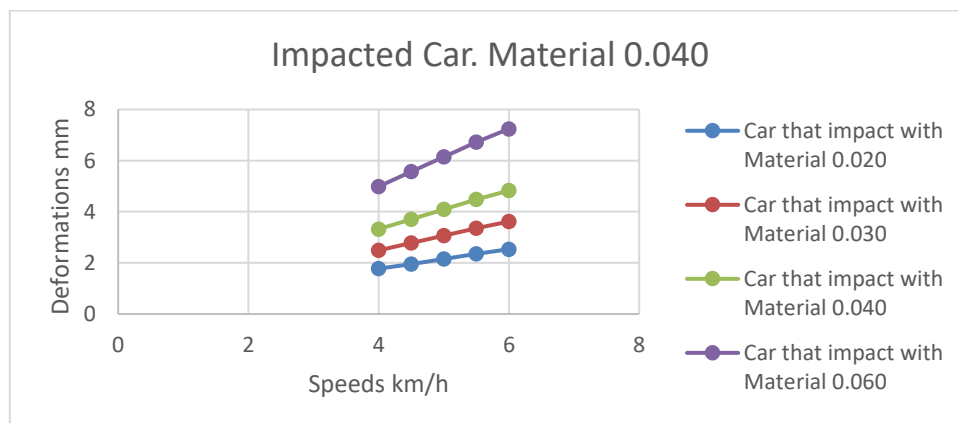


Figure 5: Comparison of the Deformations Produced with the EPP Material in the Car Impacted with Material 0,040

4. Conclusions

During the realization of this project the following conclusions have been obtained:

- 4.1.1.1. With the results, there is a high number of materials that have ideal characteristics to be used as a bumper. The high variability of the masses is due to the dimensions of the prototype, since the materials used only in the casing (TPV, TPO, PUR), have a higher mass than the materials only used in the core (EPP). The main reason for this variation is the thickness of the prototype since it consists of dimensions of 10 cm thick, like the dimensions of the core. It can be seen in other TFG, assumptions are made about bumper shells using thicknesses of 3 mm [3].

- 4.1.2. Regarding recyclability, all the materials analysed can be recycled, although the resulting material in some cases will be of the same quality as its predecessor. Finally, without spending a lot of money, the polyurethane material is the one that has the best behaviour in the face of fire, being able to self-extinguish in the events that appears.
- 4.1.3. In the analysis of the car impacts, a linear behaviour of both the core materials and the bumper casing can be seen. This behaviour will allow to reduce the number of simulations in future works, since by making simple rules of three it will be possible to study the resulting deformations at all speed points. In addition, it can be verified that flexible materials withstand less forces and present more deformations than more stiffness materials.
- 4.1.4. In the results of the breaking point of the impacted car, it can be seen that the more flexible material, less force is necessary for the break to appear. This will make it easier for the car that impacts with a more rigid material not to need as much force to cause the impacted car to break.
- 4.1.5. For the results of the impacted car from side collision, it is verified that like the results of the impacting car, the behaviour of the bumpers can be related to a linear model of deformation with respect to impact velocities. The more rigid material of the impacted car, the more forces it will withstand, the deformation will be smaller.
- 4.1.6. For the proposal to improve the expert reports, it is necessary to indicate the approaches, hypotheses and the developments that have been done throughout the investigation of the accident that they are evaluating, because the lack of these elements could prevent a misunderstanding of why these conclusions were obtained.
- 4.1.7. If the traffic collision took place at low speeds, it is very difficult to verify that the damage suffered by the occupants of the vehicle is due to said accident, since both the visual test and the simulations done could not demonstrate what was the impact velocity in the accident.

5. References

- [1] INE. “Encuesta de Hogares y Medio Ambiente”. Boletín Informativo del Instituto Nacional de Estadística, 6/2009. <https://www.ine.es/revistas/cifraine/0609.pdf>.
- [2] EpData. “Accidentes de tráfico, en datos y estadísticas”, La actualidad informativa de datos estadísticos de Europa Press, junio 2023. <https://www.epdata.es/datos/accidentes-traffic-datos-estadisticas/65/espana/106>
- [3] Aguilera Viladomiu, Edgar. “Diseño de un refuerzo para el parachoques delantero de un vehículo de turismo”, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona Tech, 9/2006. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2997/54860-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] “Reglamento Número 42, anejo al Acuerdo de Ginebra de 20 de marzo de 1958, sobre prescripciones uniformes relativas a la homologación de vehículos automóviles en lo que concierne a sus dispositivos de protección, delanteros y traseros (parachoques, etc...)”. Boletín Oficial del Estado núm. 29. 8/1981. [https://www.boe.es/eli/es/ai/1980/12/10/\(1\)/dof/spa/pdf](https://www.boe.es/eli/es/ai/1980/12/10/(1)/dof/spa/pdf)

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	11
1.1 Motivación del proyecto.....	11
1.2 Relación con los ODS	12
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	13
Capítulo 3. Estado de la cuestión.....	15
3.1 Ensayos de calor	15
3.2 Ensayos para la protección de peatones	16
3.3 Choques frontal RCAR	17
3.4 Herramientas de MAPFRE para analizar parachoques	19
3.5 Método de McHenry	19
Capítulo 4. Definición del Trabajo	23
4.1 Justificación.....	23
4.2 Objetivos	24
4.3 Metodología.....	24
Capítulo 5. Sistema/Modelo Desarrollado.....	26
5.1 Hipótesis.....	26
5.2 Análisis del parachoques del proyecto	27
5.3 Materiales Del parachoques	29
5.4 Fundamentos físicos y preparación de la simulación	33
5.5 Propuesta de Mejora de Informes Periciales	44
5.6 Desarrollo de las Simulaciones	46
5.6.1 Coche que impacta. Estudio de la Deformación. Choque Frontal.....	49
5.6.2 Coche Impactado. Estudio de la Rotura.....	86
5.6.3 Coche Impactado. Estudio de las Deformaciones. Choque Lateral.....	97
Capítulo 6. Análisis de Resultados.....	129
6.1 Análisis de los materiales que conforman el parachoques	129
6.1.1 Materiales EPP	129
6.1.2 Material PUR	130
6.1.3 Materiales TPO	130
6.1.4 Material TPV.....	131
6.1.5 Análisis de los resultados en los materiales expuestos previamente.....	131

6.2	Análisis de las simulaciones	132
6.2.1	Resultados Coche que Impacta. Choque Frontal	132
6.2.2	Resultados Aparición de la Rotura. Choque Frontal.	136
6.2.3	Resultados Coche Impactado. Choque Lateral.	138
Capítulo 7.	Conclusiones y Trabajos Futuros.....	143
7.1	Conclusiones	143
7.2	Futuros Trabajos.....	146
Capítulo 8.	Bibliografía y otros recursos.....	148
ANEXO I.	PLANOS DEL PROYECTO	154

Índice de figuras

Ilustración 1: Gráfico de Decesos en España por Accidentes de Tráfico[2]	11
Ilustración 2: Menú del Programa ANSYS	13
Ilustración 3: Menú Programa CES Edupack 2022 R2	14
Ilustración 4: Menú del Software Solid Edge.....	14
Ilustración 5: Modelo Nesslerdorfer Präsident [11]	15
Ilustración 6: Cámara Climática MP-TEST-M [5].....	16
Ilustración 7: Distintos Tipos de Ensayos para Peatones [8]	17
Ilustración 8: Choque Frontal RCAR [7]	18
Ilustración 9: Deformación del Vehículo en Función de la Fuerza de Impacto, Metodo McHenry[42][44].....	20
Ilustración 10: Toma de Medidas de Anchura y Profundidad de Deformación[42][44].....	21
Ilustración 11: Coeficientes de Rigidez según el Organismo NHTSA[42][44]	21
Ilustración 12: Núcleo Parachoques [18].....	28
Ilustración 13: Vista Inferior del Modelo de Parachoques	28
Ilustración 14: Vista Superior del Modelo de Parachoques	29
Ilustración 15: Materiales EPP que se Analizarán en el Software Edupack	31
Ilustración 16: Material Poliuretano que se Analizará en el Software Ces Edupack	31
Ilustración 17: Materiales TPO que se Analizarán en el Software Ces Edupack.....	32
Ilustración 18: Material TPV que se Analizará en el Software Ces Edupack	32
Ilustración 19: Simulación de un Choque Frontal Entre Dos Vehículos [31]	35
Ilustración 20: Planta del prototipo del parachoques con la dirección de la fuerza frontal. 35	
Ilustración 21: Parte delantera del Prototipo de parachoques Donde se Aplicará la Fuerza Frontal.....	35
Ilustración 22: Recreación de un Choque Lateral Entre Dos Vehículos[32]	36
Ilustración 23: Planta del Prototipo de Parachoques con la Dirección de la Fuerza Lateral36	
Ilustración 24: Parte Lateral del Prototipo de Parachoques Donde se Aplicará la Fuerza Lateral.....	37
Ilustración 25: Comparativa de la Obtención del Coeficiente de Restitución Según los Distintos Modelos Analizados[34]	39
Ilustración 26: Parámetros del Mallado.....	42
Ilustración 27: Parámetros Mesh Metrics	42
Ilustración 28: Parámetros del Body-Sizing.....	43
Ilustración 29: Prototipo Mallado + Mesh Metrics	43
Ilustración 30: Zona de Apoyo Fijo.....	44
Ilustración 31: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 6 km/h	49
Ilustración 32: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 5,5 km/h	50

Ilustración 33: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 5 km/h	51
Ilustración 34: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 4,5 km/h	52
Ilustración 35: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 4 km/h	52
Ilustración 36: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 3,5 km/h	53
Ilustración 37: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 3 km/h	54
Ilustración 38: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 2,5 km/h	54
Ilustración 39: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 2 km/h	55
Ilustración 40: Gráfica Deformación-Velocidad del Coche que Impacta con un Material EPP 0,020	56
Ilustración 41: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 6 km/h	57
Ilustración 42: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 5,5 km/h	57
Ilustración 43: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 5 km/h	58
Ilustración 44: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 4,5 km/h	59
Ilustración 45: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 4 km/h	59
Ilustración 46: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 3,5 km/h	60
Ilustración 47: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 3 km/h	61
Ilustración 48: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 2,5 km/h	62
Ilustración 49: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 2 km/h	62
Ilustración 50: Gráfica Deformación-Velocidad del Coche que Impacta con un Material 0,030	63
Ilustración 51: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 6 km/h	64
Ilustración 52: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 5,5 km/h	65

Ilustración 53:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 5 km/h	66
Ilustración 54:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 4,5 km/h	66
Ilustración 55:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 4 km/h	67
Ilustración 56:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 3,5 km/h	68
Ilustración 57:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 3 km/h	69
Ilustración 58:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 2,5 km/h	69
Ilustración 59:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 2 km/h	70
Ilustración 60:Gráfica Deformación-Velocidad del Coche que Impacta con un Material 0,040	71
Ilustración 61:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 6 km/h	72
Ilustración 62:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 5,5 km/h	72
Ilustración 63:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 5 km/h	73
Ilustración 64:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 4,5 km/h	74
Ilustración 65:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 4 km/h	75
Ilustración 66:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 3,5 km/h	76
Ilustración 67:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 3 km/h	77
Ilustración 68:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 2,5 km/h	77
Ilustración 69:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 2 km/h	78
Ilustración 70:Gráfica Deformación-Velocidad del Coche que Impacta con un Material 0,060	79
Ilustración 71:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 6 km/h	80
Ilustración 72:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 5,5 km/h	81
Ilustración 73:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 5 km/h	81
Ilustración 74:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 4,5 km/h	82
Ilustración 75:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 4 km/h	83

Ilustración 76:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 3,5 km/h....	83
Ilustración 77:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 3 km/h	84
Ilustración 78:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 2,5 km/h....	85
Ilustración 79:Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 2 km/h	85
Ilustración 80: Aparición de Tensiones Superiores a la Resistencia a la Cizalladura en los Apoyos Fijos. Material EPP 0,020	86
Ilustración 81: Tensiones en la Zona de Colisión. Material EPP 0,020	87
Ilustración 82: Deformaciones en el Parachoques del Coche Impactado. Material EPP 0,020	87
Ilustración 83:Aparición de Tensiones Superiores a la Resistencia a la Cizalladura en los Apoyos Fijos. Material EPP 0,030	89
Ilustración 84:Tensiones en la Zona de Colisión. Material EPP 0,030	89
Ilustración 85: Deformaciones en el Parachoques del Coche Impactado. Material EPP 0,030	90
Ilustración 86: Aparición de Tensiones Superiores a la Resistencia a la Cizalladura en los Apoyos Fijos. Material EPP 0,040	92
Ilustración 87:Tensiones en la Zona de Colisión. Material EPP 0,040	92
Ilustración 88: Deformaciones en el Parachoques del Coche Impactado. Material EPP 0,040	92
Ilustración 89:Aparición de Tensiones Superiores a la Resistencia a la Cizalladura en los Apoyos Fijos. Material EPP 0,060	94
Ilustración 90:Tensiones en la Zona de Colisión. Material EPP 0,060	95
Ilustración 91:Deformaciones en el Parachoques del Coche Impactado. Material EPP 0,060	95
Ilustración 92:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	98
Ilustración 93:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	99
Ilustración 94:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	99
Ilustración 95:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	100
Ilustración 96:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	101
Ilustración 97:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	101
Ilustración 98:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	102
Ilustración 99:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	103

Ilustración 100:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	104
Ilustración 101:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	104
Ilustración 102:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	105
Ilustración 103:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	106
Ilustración 104:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	107
Ilustración 105:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	107
Ilustración 106:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	108
Ilustración 107:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	109
Ilustración 108:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	110
Ilustración 109:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	110
Ilustración 110:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	111
Ilustración 111:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	112
Ilustración 112:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	113
Ilustración 113:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	114
Ilustración 114:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	114
Ilustración 115:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	115
Ilustración 116:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	116
Ilustración 117:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	117
Ilustración 118:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	118
Ilustración 119:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	118

Ilustración 120:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	119
Ilustración 121:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	120
Ilustración 122:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	121
Ilustración 123:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	121
Ilustración 124:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4,5km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	122
Ilustración 125:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4,5km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	123
Ilustración 126:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4,5km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	123
Ilustración 127:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4,5km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	124
Ilustración 128:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020	125
Ilustración 129:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030	126
Ilustración 130:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040	127
Ilustración 131:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	128
Ilustración 132:Comparativa de las Deformaciones-Velocidades Entre los Distintos Materiales EPP	133
Ilustración 133: Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material 0,020	133
Ilustración 134:Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material 0,030	134
Ilustración 135:Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material 0,040	134
Ilustración 136:Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material 0,060	134
Ilustración 137:Deformaciones-Velocidades en el Material TPV.....	135
Ilustración 138Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material TPV	135
Ilustración 139:Deformaciones que Presenta el Material 0,020.....	136
Ilustración 140: Vista Izquierda Plano del Prototipo.....	136
Ilustración 141: Tensiones que Superan el Máximo en el Punto de Apoyo. Material 0,040	137
Ilustración 142: Tensiones en la Cara de Contacto. Material 0,040.....	138
Ilustración 143:Gráfico Deformaciones-Velocidad del Coche Impactado de Material 0,030.	139
Ilustración 144:Gráfico Deformaciones-Velocidad del Coche Impactado de Material 0,040.	139

Ilustración 145:Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	140
Ilustración 146: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060.....	140
Ilustración 147:Deformaciones del Prototipo simulando un Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	141
Ilustración 148:Deformaciones del Prototipo simulando un Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	141
Ilustración 149::Deformaciones del Prototipo simulando un Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060	141
Ilustración 150: Partes de un Parachoques[38].....	143
Ilustración 151: Vista Superior de las Deformaciones del Prototipo.	145
Ilustración 152: Deformaciones Viga Biapoyada con Carga Distribuida[48].....	145

Índice de tablas

Tabla 1. Datos Técnicos de los Vehículos [15][16]	27
Tabla 2: Cambio de Km/h a m/s.....	40
Tabla 3: Masa en Kg de los distintos Materiales en el Modelo de Parachoques.....	46
Tabla 4: Estimación de las velocidades según el daño del Vehículo[42].....	97
Tabla 5. Masa y Precio de los Materiales EPP	129
Tabla 6. Comportamiento Ante el Fuego por los Materiales EPP.....	129
Tabla 7: Comportamiento en el Medio Ambiente por los Materiales EPP	129
Tabla 8: Masa y Precio del Material Poliuretano	130
Tabla 9: Comportamiento Ante el Fuego por el Material Poliuretano	130
Tabla 10: Comportamiento en el Medio Ambiente por el Poliuretano	130
Tabla 11: Masa y Precio de los Materiales TPO	130
Tabla 12: Comportamiento Ante el Fuego por los Materiales TPO.....	130
Tabla 13: Comportamiento en el Medio Ambiente por los Materiales TPO.....	131
Tabla 14: Masa y Precio de los Materiales TPV	131
Tabla 15: Comportamiento Ante el Fuego por el Material TPV	131
Tabla 16: Comportamiento en el Medio Ambiente por el Material TPV	131
Tabla 17: Velocidades Iniciales del Coche que Impacta en Función de los Materiales del Parachoques	137
Tabla 18: Deformaciones y Fuerzas que Aparecen Cuando Ocurre la Rotura en el Coche Impactado	137

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad el automóvil es uno de los vehículos de transporte más utilizados, las estadísticas del INE (Instituto Nacional de Estadística) de 2008 indican que un 45,3% de la población usa un vehículo privado (coche o moto) para desplazarse [1]. También el hecho de que se haga uso de estos vehículos de automoción ha propiciado que haya habido accidentes, algunos de los cuales han sido fatales a lo largo de la historia de la automoción. Las estadísticas sacadas de la web epData muestra que entre mayo de 2017 y mayo 2023 perdieron la vida 2331 personas [2] y aunque no se puede negar que un porcentaje de ese dato se debe al factor humano, cada vez se están realizando mejoras en los coches para volverlos más seguros, de esta forma se evitará que el número de fallecidos sea tan alto.

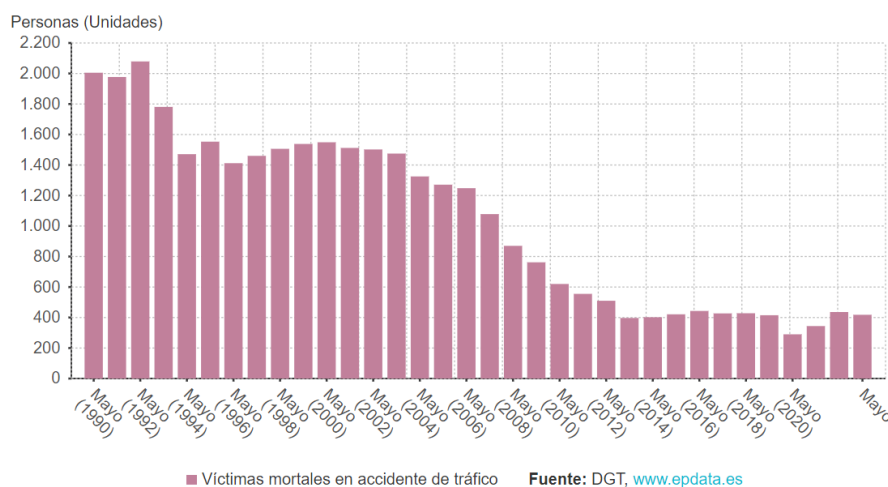


Ilustración 1: Gráfico de Decesos en España por Accidentes de Tráfico[2]

La creación de coches más seguros mediante mejoras no es una novedad que haya salido recientemente, puesto que ya desde 1885, año en el que se comenzó a desarrollar el automóvil a manos del alemán Karl Benz, el coche ha ido obteniendo modificaciones las cuales han ido enfocadas tanto para mejorar la seguridad de los ocupantes del vehículo como la de los peatones, así como mejorar el funcionamiento y rendimiento del vehículo teniendo en cuenta el apartado estético del mismo. El factor estético siempre ha influido notablemente en la modificación del vehículo, algunos elementos de seguridad como los parachoques tienen su origen en querer mejorar el apartado estético de dicho vehículo [3].

Como ya se ha mencionado anteriormente una de las modificaciones que se han añadido para mejorar la seguridad del vehículo han sido los parachoques, elementos de seguridad cuya principal función es disipar la energía cinética en caso de accidentes donde haya una baja velocidad por parte del vehículo. Si la velocidad es alta los parachoques ya no son muy efectivos y por tanto dichos accidentes pueden ocasionar daño a las personas, en estos casos, a las aseguradoras les interesa saber a qué velocidad iba el coche en la situación en la que se produjo el accidente para que, si la velocidad era alta, la víctima tenga derecho a una compensación económica por los posibles daños ocasionados.

1.2 RELACIÓN CON LOS ODS

Este proyecto está relacionado con algunos Objetivos del Desarrollo Sostenible: el objetivo número 8 y el objetivo número 15.

El objetivo 8 Trabajo Decente y Desarrollo Económico. Como ya se ha indicado antes en la parte de objetivos, analizaré los materiales que componen los parachoques e indicaré si son adecuados o no. Con ello, podemos dar preferencia al uso de materiales baratos pero que cumplan la función del parachoques de una manera adecuada lo cual es económicamente rentable. Por tanto, gracias a las simulaciones, una vez que pasen el filtro de si es adecuado o no, con la información de las propiedades de los materiales y fijándome en el precio por unidad de Kg del material, el cual se puede ver en la ficha técnica del material, realizaré un último filtro quedándome con aquellos materiales que sean adecuados y baratos. Esto propiciaría el crecimiento económico, ya que tendríamos un sistema más eficiente con el objetivo de abaratar el producto, y además como cumplirían el objetivo de amortiguar los accidentes a bajas velocidades, los cuales suele ocurrir en zona urbanas, pues mejoraría su seguridad física.

El objetivo número 15 Vida de Ecosistemas Terrestres. Al igual que he dicho antes con el objetivo número 8, para cumplir este objetivo número 15 me fijaré sobre todo en si dichos materiales actuales son reciclables o no. Para eso tendré que realizar un trabajo de investigación analizando los materiales que se están utilizando en la actualidad. Tras dicho trabajo de investigación descartaría todos aquellos materiales que no fueran reciclables. Gracias a este primer filtro que realizaría, los materiales resultantes no degradarían los ecosistemas terrestres

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Durante la realización de este proyecto se hará uso de los siguientes programas: ANSYS, Ces Edupack 2022 R2 y Solid Edge

1º. El Software ANSYS es de simulación CAE (Computer Aided-Engineering) se utilizará para el análisis y simulación de elementos finitos (FEA)[4]. ANSYS analiza el comportamiento de piezas o conjuntos de piezas sometidas a fenómenos físicos tales como fuerzas, presiones, etc. Se utilizará este programa para simular las fuerzas que experimentará un parachoques ante colisiones frontales o laterales e identificar con qué fuerzas se romperá el parachoques. En ANSYS se pueden realizar una gran variedad de proyectos sobre distintos módulos, pero en la realización de este proyecto se hará uso del módulo de “Transient Structural” el cual permite analizar una estructura sometida a fuerzas que varían con el tiempo. Esto se explicará mejor en la parte de metodología.

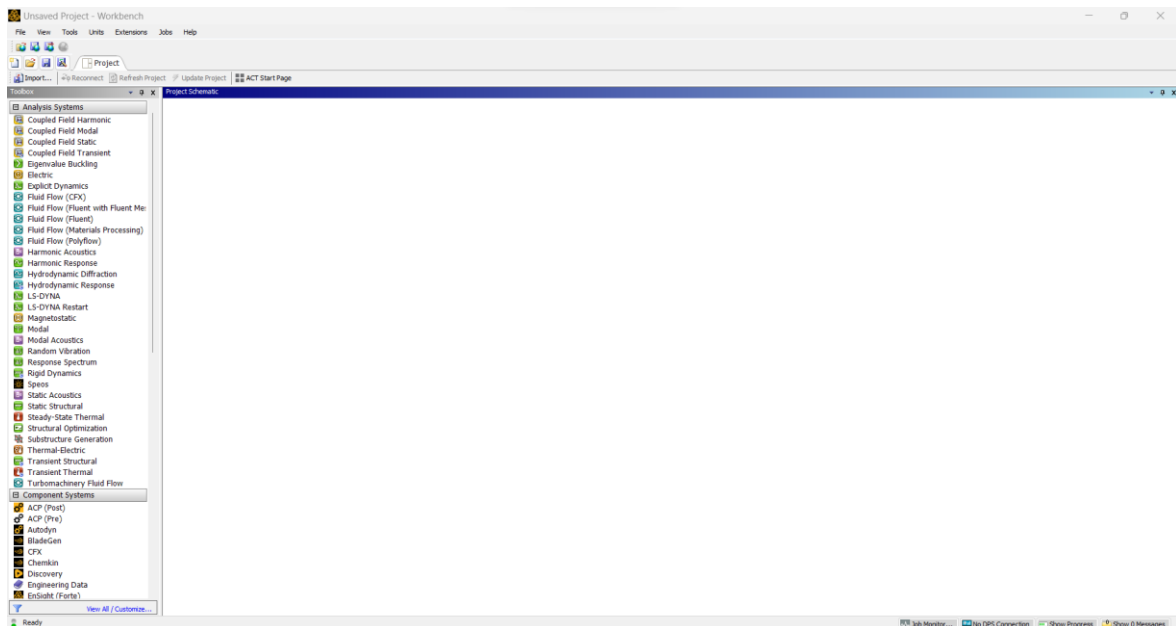


Ilustración 2: Menú del Programa ANSYS

2. El Software Granta Edupack 2022 R2 es un programa que recoge los parámetros tanto físicos como químicos de todos los materiales que existen. Este programa lo usaré tanto para ver las propiedades de los materiales del proyecto, como para verificar que verdaderamente dichos materiales se usan actualmente en la fabricación de parachoques. Se utilizará el Nivel 3, puesto que ofrece una versión del programa mucho más completa que los niveles 1 y 2.

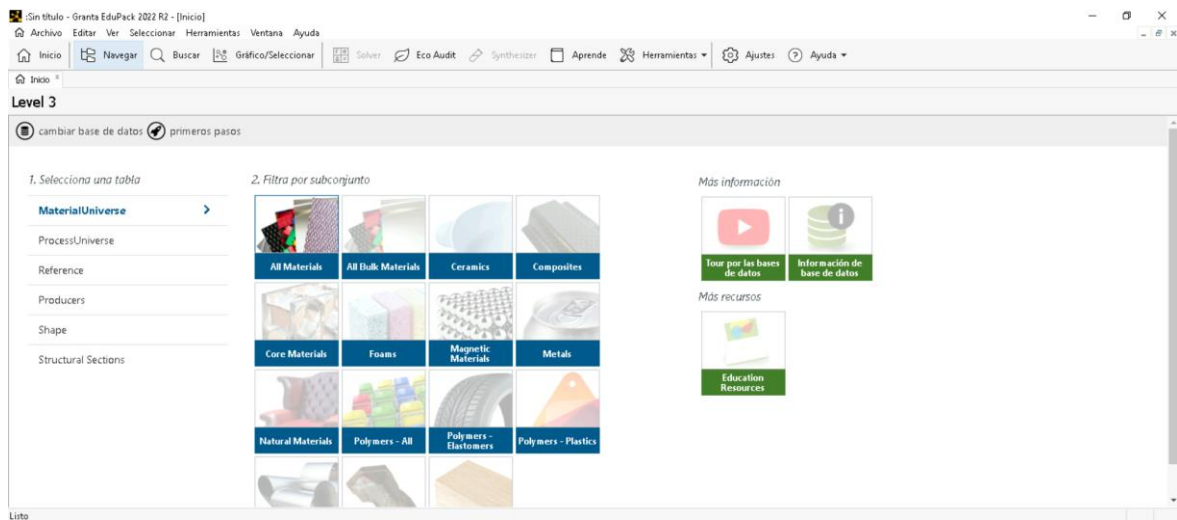


Ilustración 3: Menú Programa CES Edupack 2022 R2

3º. Para la obtención del parachoques se hará uso del programa Solid Edge. Un programa de diseño que me permitirá obtener un modelado realizado enteramente por mí para este proyecto y el cual tendrá el objetivo de parecerse y de comportarse como los parachoques que son usados actualmente.

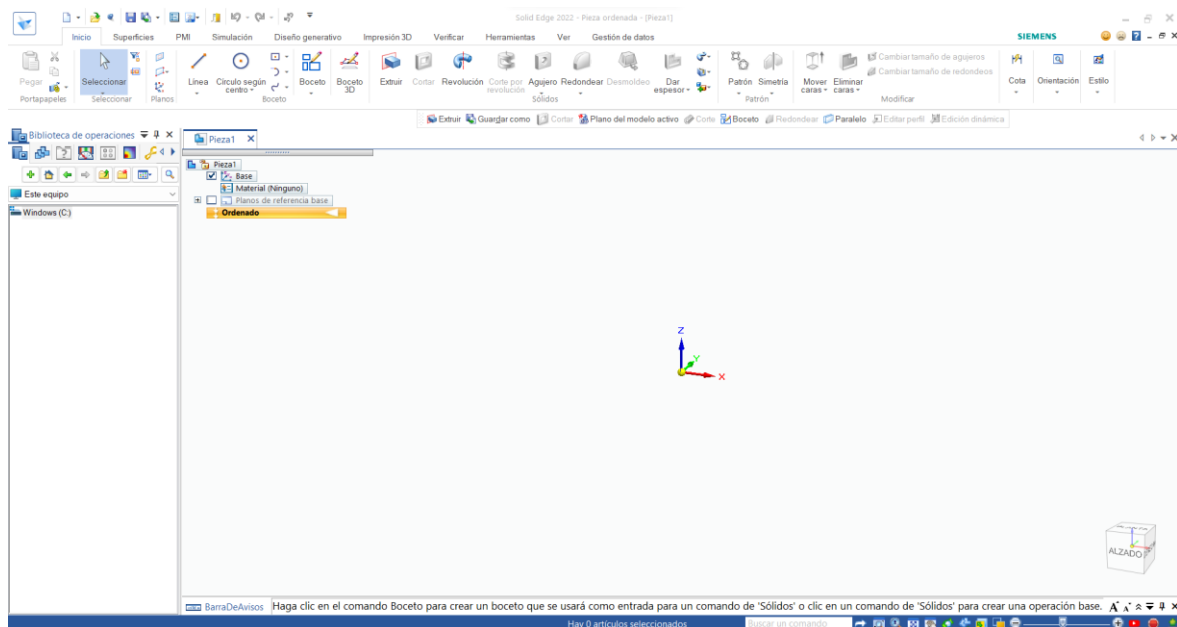


Ilustración 4: Menú del Software Solid Edge

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El diseño de los primeros automóviles (1886) no llevaban parachoques, su invención ocurriría años más tarde, en 1897 a manos del fabricante checo Nesselsdorfer Wagenbau-Fabriksgesellschaft, enfocado sobre todo a la mejora de la estética.



Ilustración 5: Modelo Nesselsdorfer Präsident [11]

En 1901 el inglés Frederick Richard Simms empezó a plantear el uso del parachoques como un elemento de la seguridad del vehículo. Desde entonces su diseño y materiales han ido evolucionando a la par que el resto del vehículo, con la ayuda de ensayos, herramientas y utensilios dirigidos a evaluar y mejorar este elemento.

En este apartado se presentan diversos ensayos y estudios recientes para la mejora del diseño de los parachoques, así como su comportamiento. En primer lugar recogemos los ensayos de calor que analizan el comportamiento de los componentes del vehículo en los diversos ciclos térmicos, a continuación veremos los ensayos relacionados con la protección de los peatones, en tercer lugar los que evalúan los costos de las colisiones a un parachoques, en cuarto lugar, se exponen los baremos que usa Mapfre para tasar los daños y los materiales y, por último, se presentará el método McHenry donde se estudia la energía que absorbe el vehículo en un impacto.

3.1 ENSAYOS DE CALOR

Hay distintas causas que pueden llevar al fallo del parachoques: mal montaje, fallo en las tolerancias del vehículo o por la expansión del plástico cuando es sometido a altas temperaturas. En este último caso se suelen hacer una sucesión de ensayos al parachoques para comprobar su funcionalidad cuando es expuesto a cargas térmicas como una exposición solar prolongada. Estos ensayos no son requeridos legalmente, pero forman parte de la construcción de los parachoques.

En estos ensayos de calor, los constructores de automóviles someten a los elementos que forman parte de los vehículos tanto a ciclos calientes como húmedos. De esta manera se

sabe cómo se comportará el conjunto del vehículo cuando esté expuesto a condiciones meteorológicas adversas.

Los ensayos de calor se dividen en 3 tipos:

- Cámara climática: consiste en introducir los elementos del vehículo en una cámara climática donde serán expuestos a los impactos térmicos de climas adversos. La instalación de esta cámara es muy cara, pero tiene como beneficios poder controlar los parámetros que se ensayan, así como ensayar los elementos por separado.
- Simulación solar: mediante el uso de bombillas se aplica la radiación solar. Con este ensayo se pretende alcanzar una temperatura superficial de 80 °C.
- Entorno real: consiste simplemente en trasladar al vehículo al terreno donde estén las condiciones climatológicas donde se quiera realizar el ensayo. El problema está en tener los medios para poder desplazar al vehículo de prueba.

En el caso de no contar con las piezas en físico se hace uso de cálculos o de simulaciones. Se realizan sobre elementos mallados con elementos finitos, se indican los puntos de apoyo fijo y los contactos con los demás elementos del coche. En todo caso estas simulaciones no se pueden considerar suficientemente representativas debido a la alta variedad de espesores, a los elementos geométricos pequeños como agujeros o a los contactos con otras piezas de un mismo conjunto lo que dificulta la obtención de valores exactos con la realidad. A pesar de lo indicado, se obtienen unas conclusiones que se consideran validas.

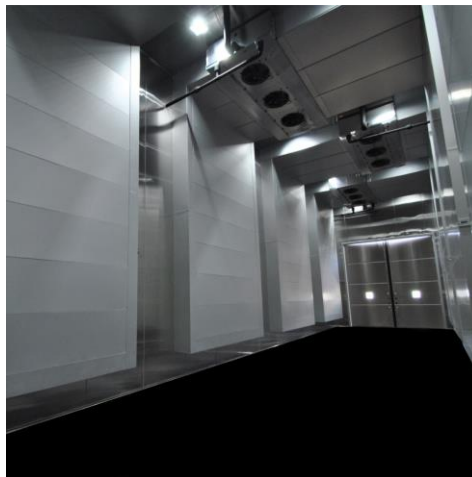


Ilustración 6: Cámara Climática MP-TEST-M [5]

3.2 ENSAYOS PARA LA PROTECCIÓN DE PEATONES

El Parlamento Europeo y la Comisión Europea adoptaron ya en 2003 unos preceptos técnicos para la protección de peatones en caso de que ocurriera una colisión con un automóvil. Esta normativa fue sustituida en 2009 por el Reglamento (CE) nº 78/2009 de 14

de enero, relativo a la homologación de vehículos en lo que se refiere a la protección de peatones y otros usuarios vulnerables de la vía pública y actualmente por el Reglamento 2019/2144, de 27 de noviembre de 2019 [6].

El objetivo de estos preceptos es minimizar los daños que sufren los peatones cuando son impactados por un vehículo. Para ello se realizarán una serie de ensayos los cuales pretenden obtener unos valores límites, estableciendo de esta forma los requisitos básicos de homologación de vehículos. Estos ensayos se dividen en: Ensayo de impacto cabeza niño/adulto (Child head/adult head), Ensayos de impactos muslos-parachoques-capó (Upper Leg) y Ensayos de impacto de pierna (tibia)-parachoques (Leg)[7]. Nos centraremos en este último ensayo puesto que es el único que afecta al diseño del refuerzo del parachoques.

En el ensayo de pierna se realizan como mínimo tres impactos del tipo piernas-parachoques. Una con cada tercio del parachoques (tercio central y los tercios de los exteriores). Para representar la tibia y el fémur durante el ensayo se hace uso de dos segmentos rígidos unidos entre ellos por una articulación de rodilla. La longitud del impactador es en torno a 926 ± 5 mm con una masa de en torno $13,4 \pm 0,2$ kg. El diámetro de la tibia y del muslo es de 70 ± 1 mm y están recubiertos de 25 mm de espuma que representa la masa muscular y de 0,5 mm de neopreno que representa la piel.

Al prototipo de pierna se verá sometido a velocidades de en torno a $11,1 \pm 0,2$ m/s (40 km/h). La simulación debe de tener los recursos necesarios para ser capaz de medir la aceleración de varios puntos de la tibia cercana a la rodilla, y su desplazamiento a rotura de la articulación.

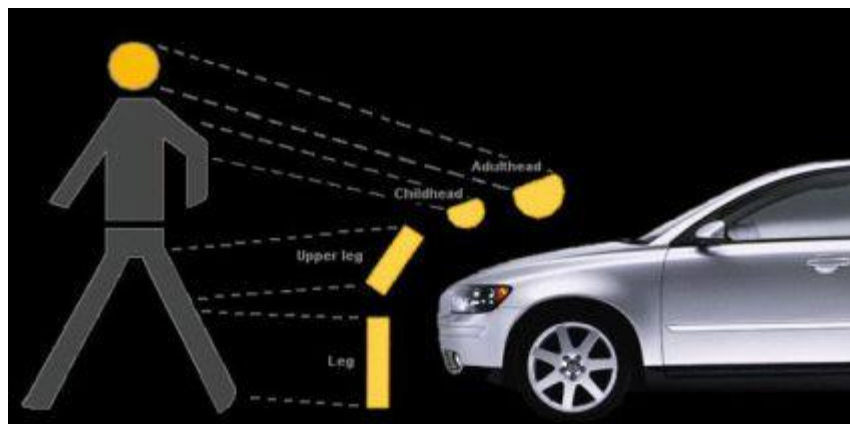


Ilustración 7: Distintos Tipos de Ensayos para Peatones [8]

3.3 CHOQUES FRONTAL RCAR

La organización internacional Research Council for Automobiles Repair (RCAR) opera con la intención de reducir los costes de los seguros mejorando la resistencia a la rotura o dañabilidad, la reparabilidad y seguridad de los vehículos [7].

RCAR establece un protocolo para medir la dañabilidad y la reparabilidad de los vehículos, siendo el resultado una lista de indicaciones sobre las piezas, su sustitución, reparación, tiempo de montaje y precio de los recambios, entre otros. Dicho ensayo es usado por las aseguradoras para fijar el precio del seguro de los vehículos. Según los costes se obtendrá el grado de reparabilidad y dañabilidad de RCAR el cual se verá complementado con las mejoras que se realicen al coche con el fin de minimizar los daños sufridos en una colisión.

La simulación del choque frontal RCAR al parachoques se realiza a una velocidad de 15 km/h[10], la cual origina que los daños sean lo suficientemente grandes como para que el dueño del vehículo impactado solicite el cambio del elemento a la compañía de seguros. Estos costes pueden verse incrementados ya que, durante el impacto, el parachoques puede hacer tope y transmitir energía a los elementos que tiene detrás, produciéndose un daño adicional al parachoques[7].

De esta forma, el diseño final del parachoques no solo deberá tener en cuenta los resultados obtenidos en el choque frontal RCAR, sino tendrá que reducir los daños a los otros elementos internos del vehículo.

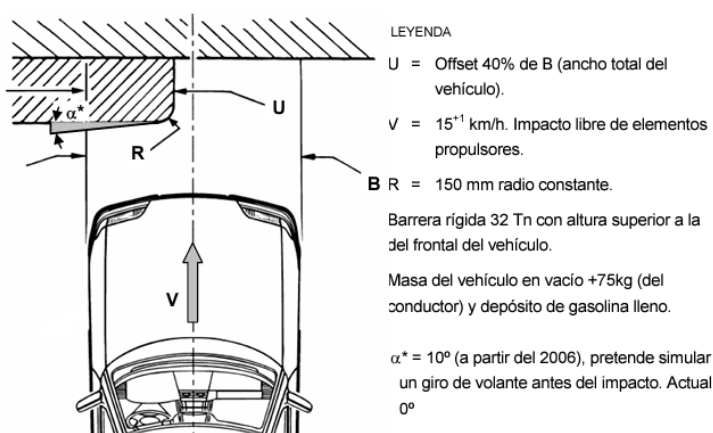


Ilustración 8: Choque Frontal RCAR [7]

Para superar con una nota elevada los choques RCAR, los constructores están situando elementos en la parte delantera del vehículo, cuyo objetivo es absorber la energía del impacto impidiendo que esta se traslade al resto de elementos del vehículo.

También hay que tener en cuenta que los puntos donde habrá más probabilidades de que se transmita la energía del choque a los elementos internos son los puntos de fijación del parachoques en la zona frontal. En esos puntos pueden aparecer unos daños elevados haciendo que los costes de reparabilidad aumenten. Por tanto, será necesario tener un buen diseño de las fijaciones para lograr un buen comportamiento del parachoques durante el ensayo.

Aparte de los choques RCAR, se están realizando otros tipos de ensayos similares a los anteriores, como los de IIHS (Insurance Institute for Highway Safety). Según el protocolo Low-Speed Crash Test Protocol (Version V)[9], se realizan dos choques frontales contra barrera plana a 0° y 30°[7].

3.4 *HERRAMIENTAS DE MAPFRE PARA ANALIZAR PARACHOQUES*

A diferencia de otros ensayos, CEVISMAT (centro I+D de MAPFRE) tuvo en cuenta en sus investigaciones la reparación y el pintado de los parachoques, permitiendo que surjan los Baremos CEVISMAT, “herramientas que proporcionan valores medios que abarcan todo tipo de casuísticas y simplifican su creciente complejidad, facilitando su utilización al tasador, sin perder cercanía con la realidad” [12].

El Baremo de reparación de CEVISMAT en la parte de plásticos, tiene en cuenta dos aspectos para definir:

- El primero es la extensión, que define los daños en tres niveles, a través de la longitud de la rotura y superficie deformada.
- El segundo es la morfología, la cual define la intensidad de la deformación, una mala geometría en la zona o la pérdida de material.

La herramienta de “Tiempo y Materiales de Pintura CEVISMAT”, consta de cinco niveles para determinar el tipo de reparación del parachoques, dos para las piezas nuevas y tres para las dañadas. También puede llegar a distinguir el tipo de acabado que necesita con las posibles combinaciones del texturado, el pintado parcial o completo, etc.... Estos datos indicados por el tasador, así como la marca y el modelo del coche, permiten al software de valoración obtener información del tamaño del parachoques. De esta forma el Baremo recoge los cambios de tendencia que se producen en su tamaño [12].

3.5 *MÉTODO DE MCHENRY*

Los primeros estudios que surgieron para analizar las deformaciones permanentes de un coche tras un impacto se le atribuyen a Kenneth L. Campbell quien a partir de ensayos de colisiones frontales contra barreras rígidas realizadas en General Motors, formulo una ecuación lineal que relacionaba la profundidad de deformación con la velocidad de impacto[46]:

$$v = (b_0 + b_1 * d)$$

Siendo los parámetros:

v= Velocidad de impacto.

d= profundidad de deformación.

b_0 = velocidad máxima que se tiene sin deformaciones plásticas.

b_1 =coeficiente de deformación plástica.

Basándose en los trabajos de Kenneth L. Campbell aparece el método McHenry desarrollado por Raymond R. McHenry, el cual permite determinar la energía que se consume durante una colisión de vehículos, a través de las deformaciones que sufre el coche. Primero modelizó un sistema compuesto de una masa y un muelle, de manera que este último absorba la energía cinética al deformarse por el choque[42][44].

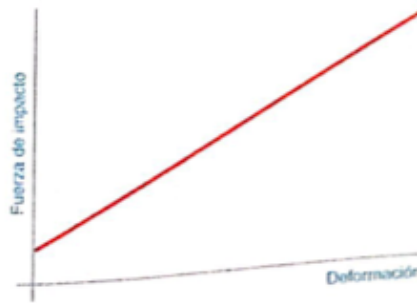


Ilustración 9: Deformación del Vehículo en Función de la Fuerza de Impacto, Metodo McHenry[42][44]

Se usará la integral del trabajo, realizado por la fuerza hasta la profundidad de deformación C, incluyendo en el cálculo la energía elástica absorbida por el vehículo antes de que presente una deformación plástica.

$$E_{\text{impacto}} = \int \left(A \cdot C_i + \frac{1}{2} \cdot B \cdot C_i^2 + \frac{A^2}{2 \cdot B} \right) dL$$

Siendo los siguientes parámetros:

A: Coeficiente de rigidez A que representa la fuerza máxima que permite la estructura del coche sin deformación permanente.

B: coeficiente de rigidez B el cual representa la pendiente de la gráfica que relaciona linealmente la fuerza y la deformación residual del coche.

C_i : profundidad de la deformación en metros.

dL: anchura de la deformación en metros.

Se integra numéricamente en función de dos, cuatro o seis medidas de la profundidad de deformación residual del vehículo y haciendo la hipótesis de una variación lineal de deformación entre cualquiera de las dos medidas.

a) Dos medidas

$$E_{\text{deformación}} = L * \left[\frac{A}{2} * (C_1 + C_2) + \frac{B}{6} * (C_1^2 + C_1 * C_2 + C_2^2) + \frac{A^2}{2 * B} \right]$$

b) Cuatro Medidas

$$E_{deformación} = \frac{L}{3} * \left[\frac{A}{2} * (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + C_4) + \frac{B}{6} * (C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + C_4^2 + C_1 * C_2 + C_2 * C_3 + C_3 * C_4) + \frac{3A^2}{2B} \right]$$

c) Seis Medidas

$$E_{deformación} = \frac{L}{5} * \left[\frac{A}{2} * (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + 2C_4 + 2C_5 + C_6) + \frac{B}{6} * (C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + 2C_4^2 + 2C_5^2 + 2C_6^2 + C_1 * C_2 + C_2 * C_3 + C_3 * C_4 + C_4 * C_5 + C_5 * C_6) + \frac{5A^2}{2B} \right]$$

Si después de un accidente queda un perfil muy irregular se aconseja tomar más dos medidas (cuatro o seis). También habría que tener en cuenta si el golpe propicia deformaciones simultáneamente en la parte delantera y el lateral o la parte trasera y el lateral. Se considerará aquella de las dos zonas que posea una anchura de deformación mayor cuando se elijan los coeficientes de rigidez “A” o “B” [44].

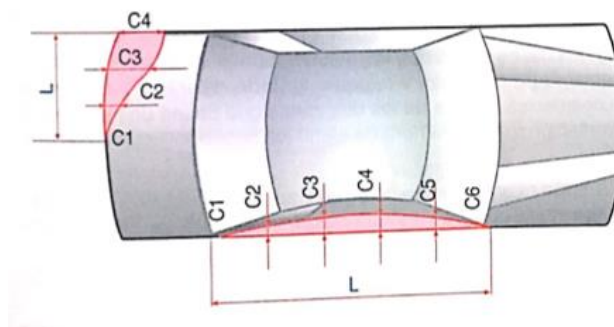


Ilustración 10: Toma de Medidas de Anchura y Profundidad de Deformación[42][44]

En la siguiente tabla se incluyen los coeficientes A y B obtenidos por la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) para 5 categorías de vehículos, las cuales dependerán de las dimensiones y del tipo de carrocería.

VALORES DE RIGIDEZ						
Categoría de los vehículos en función de la batalla, anchura y datos por defecto						
		1	2	3	4	5
Batalla (m)	desde	2,055	2,408	2,581	2,804	2,985
	hasta	2,408	2,581	2,804	2,985	3,130
Via delant. (m)		1,298	1,387	1,496	1,570	1,618
Longitud (m)		4,059	4,442	4,983	5,405	5,682
Anchura (m)		1,544	1,707	1,844	1,956	2,0269
Tara (kg)		1,119	1,247	1,471	1,788	2,068
Coeficientes de rigidez						
Golpe frontal	A (N/m)	52.784	45.268	55.405	62.222	56.804
	B (N/m²)	323.407	295.883	385.336	233.954	254.597
Golpe trasero	A (N/m)	63.969	63.339	71.660	62.396	51.910
	B (N/m²)	261.478	282.121	302.764	389.453	481.670
Golpe lateral	A (N/m)	13.458	24.469	30.237	24.994	30.936
	B (N/m²)	254.597	461.027	392.217	344.050	323.407

Ilustración 11: Coeficientes de Rigidez según el Organismo NHTSA[42][44]

Los coeficientes de rigidez mostrados en la tabla anterior van a tener las siguientes restricciones[44]:

- La rigidez del vehículo es uniforme en toda la anchura de la superficie afectada.
- La fuerza actúa perpendicularmente a la superficie del vehículo.
- La deformación se mide perpendicularmente a la superficie.
- La deformación posee una profundidad casi constante desde el suelo hasta el techo del coche.
- El área de impacto de los 2 vehículos involucrados en el accidente tendrá una velocidad común cuando se produzca la máxima profundidad de deformación.
- Las fuerzas exteriores al sistema (Ejemplo: Fuerza de rozamiento) son despreciables respecto a las fuerzas internas. Velocidad equivalente de barrera (EBS)

Una vez que se tiene la energía de deformación por el método de McHenry se puede obtener la velocidad equivalente de impacto contra una barrera fija o EBS. Para ello se hace uso de un balance de energías:

$$[42] E_{\text{deformación}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (EBS)^2$$

$$[42] EBS = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{deformación}}}{m}}$$

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

Con la realización de este proyecto se pretende no solo complementar la información que se obtiene en los ensayos que hemos visto previamente, sino mejorarlos ya que aparte de realizar simulaciones para ver las deformaciones, se realizarán análisis a más parámetros de los materiales, así como una propuesta de mejora de los informes periciales.

En la parte de simulaciones nos centraremos en las deformaciones que sufren los parachoques ante los choques que ocurren en un rango de velocidades de 2 km/h a 6 km/h. En la realidad, ante estas bajas velocidades el comportamiento elástico de los materiales facilita que el parachoques no presente ninguna deformación plástica. Por tanto, con este proyecto, se podrá tener una estimación de cómo se comportará el material antes de volver a su posición inicial.

Los impactos que se simularán en el proyecto serán todos producidos por la acción de dos vehículos, esto facilitará una comprensión del comportamiento de los parachoques en los accidentes de tráfico en los que están involucrados dos vehículos. En este proyecto se harán los análisis al parachoques independientemente de que el vehículo sea el que impacta o el impactado.

Para completar la parte de los análisis, se estudiará con que velocidad de impacto se produce la rotura en el coche impactado, esto permitirá que se puedan hacer hipótesis de las velocidades de impacto teniendo solamente los datos de los materiales del parachoques y de los daños ocasionados.

En este proyecto se tendrán en cuenta más parámetros aparte del precio del parachoques, ya que se tendrán en cuenta el comportamiento ante el fuego y el comportamiento en el medio ambiente. Esto permitirá que los constructores y diseñadores de parachoques puedan tener más filtros para seleccionar los materiales que se utilizarán en su elaboración.

Por último, la propuesta de mejora de informes periciales de este proyecto servirá como indicativo de los elementos que tienen que estar presentes en un informe pericial, para poder facilitar la lectura y comprensión de los detalles técnicos del choque de tráfico.

4.2 OBJETIVOS

Los objetivos que se persiguen en la realización de este proyecto son:

- Análisis de los materiales que conforman los parachoques: a lo largo de la historia del parachoques, se han utilizado una gran variedad de materiales pues pasamos de aceros con fines estéticos hasta el polipropileno en la actualidad, y aun hoy en día todavía se están añadiendo nuevos tipos de materiales. Con los datos que encuentre indicaré que tipos de materiales son o no son adecuados, teniendo en cuenta sobre todo su impacto económico y ambiental.
- Propuesta de mejora de los informes periciales: algunos informes periciales no proporcionan la suficiente información para que se comprenda a la perfección los detalles técnicos del siniestro. En otros informes ocurre lo contrario, proporcionan demasiados datos los cuales no añaden información relevante de los detalles técnicos del siniestro. Este proyecto intentará proponer una propuesta de mejora de los informes periciales.
- Determinar cómo se comporta un parachoques ante los golpes de baja velocidad: primero se hará un estudio de cómo se comporta el auto que impacta ante las fuerzas de una colisión frontal. Después veré a qué velocidad de los autos que impactan se produce la rotura del material en el auto impactado (este punto lo desarrollo mejor en el siguiente objetivo), una vez obtenidos dichos datos, simularé el comportamiento del parachoques del coche que es impactado, para esta parte haré simulaciones de tanto colisiones frontales, como laterales.
- Investigar la rotura del parachoques: investigaré a qué velocidad del coche que impacta se producirá la rotura del material del coche impactado. Una vez se tengan los datos de la velocidad y las fuerzas que se producen por la velocidad con la que se impacta, se recopilarán los resultados obtenidos, mostrando cómo varían las velocidades a las que se produce la rotura dependiendo de los materiales, tanto del coche que impacta como del impactado.

4.3 METODOLOGÍA

Para la realización del primer objetivo, se hará una ardua investigación de los materiales que se han estado utilizando a lo largo de la historia del parachoques, así como de los materiales que se están utilizando en la actualidad. Una vez encontrados los nombres o las familias de materiales que se emplean, usaré el Software Granta Edupack 2022 R2, y fijándome en el apartado de “aplicaciones” de cada material investigado anteriormente, confirmaré si verdaderamente dichos materiales son útiles en el ámbito de los parachoques de los vehículos. Con esta verificación sacaré los datos tanto de su precio, como de su impacto ambiental y de su comportamiento ante el fuego. Estos factores que acabo de

mencionar son los factores que considero importantes, y en especial el de comportamiento del material ante un incendio, sobre todo porque estarían en juego las vidas de los ocupantes del vehículo.

Para realizar el segundo objetivo, haré una investigación sobre lo que un informe pericial de un accidente de tráfico busca mostrar. Contrastando la información de los numerosos informes periciales que me han sido proporcionados, haré un análisis de qué información resulta útil para la comprensión del accidente. Además, indicaré qué información es necesaria, pues a veces las aseguradoras no muestran en sus informes periciales los datos que se han usado para recrear el accidente. Muchos de estos datos, como veremos durante el proyecto, surgen a partir de hipótesis, así como de parámetros que se obtienen de forma empírica.

Para llevar a cabo el tercer objetivo usaré el programa de simulaciones denominado ANSYS, en este programa simularé fuerzas originadas por colisiones a baja velocidad a un parachoques, de elaboración propia, diseñado con el programa Solid Edge. Una vez tenga el prototipo del parachoques, haré un estudio de las deformaciones que sufre el coche que impacta, para eso aplicaré varias fuerzas, las cuales van a depender del material del coche que impacta. Por último, para completar este objetivo, recopilaré las deformaciones que le sucede al coche que es impactado, haciendo que las fuerzas provengan de choques laterales. Estas deformaciones dependerán tanto del material del que está hecho el parachoques del vehículo impactado como del material y velocidad del vehículo que impacta en la colisión. Gracias a los datos que obtendré del cuarto objetivo, podré indicar a qué velocidades de los coches ya no es posible hacer simulaciones, puesto que el material del parachoques se rompe.

Para completar el último objetivo volveré a hacer un uso del Software ANSYS, esta vez estudiaré el comportamiento que realiza el parachoques que es impactado. Analizaré las tensiones que se originan, y, haciendo uso de la fórmula de las tensiones de Von Mises y usando un coeficiente de seguridad de dos, incrementaré las fuerzas hasta el momento en que las tensiones que aparezcan en el punto de colisión del vehículo superen a la tensión de cizalladura del material, habiendo aplicado la seguridad. Una vez que se supera dicha tensión ya podremos afirmar que ha aparecido una rotura en la zona de impacto.

Capítulo 5. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO

En este capítulo desarrollaré las partes que tendré en cuenta para la elaboración de mi proyecto, habrá partes de este capítulo donde indique al principio la teoría que es necesaria para la comprensión tanto de la parte teórica como analítica y el porqué de las elecciones que he hecho.

Empezaré el capítulo indicando las hipótesis que aplicaré a lo largo del proyecto, seguiré con los análisis del prototipo de parachoques que he elaborado, así como de los materiales que conforman los parachoques, a continuación se explicarán los conceptos físicos que serán tenidos en cuenta en el proyecto, así como de la metodología donde se profundizará más en las decisiones que he ido tomando a lo largo del proyecto, seguidamente indicaré la propuesta del informe pericial, haciendo previamente un resumen de las partes que debería tener y por ultimo haré las simulaciones empezando primero por el coche que impacta, seguido por la rotura del coche impactado y finalizando por las deformaciones que presenta.

5.1 HIPÓTESIS

Para comenzar con los cálculos que realizaré en los sucesivos análisis, indicaré y tendré en cuenta las siguientes hipótesis:

1. Temperatura. La temperatura será la de ambiente, por tanto, el cuerpo no se verá sometido ni a dilataciones ni a contracciones, que pudieran facilitar o impedir una deformación de la colisión. De todas formas, tras realizar un par de simulaciones, el parachoques se comporta de igual manera ya este la temperatura de las simulaciones a 20 °C o a 23 °C
2. Estructura del parachoques. Se supondrá que la cubierta del parachoques es del mismo material que el núcleo del parachoques. Esta hipótesis afectará ampliamente a la obtención de unos resultados más cercanos a la realidad. Además, carcasa y núcleo del parachoques se comportarán como un único conjunto, haciendo que las fuerzas del impacto se vean profundamente afectadas.
3. La fuerza. La fuerza durante el impacto, el cual su duración será en torno a 0.075 segundos, se supondrá constante, puesto que suponemos que no ha habido suficiente tiempo para la variación de la fuerza. Por tanto, por la segunda Ley de Newton la aceleración también será constante. En la simulación se definirá que la fuerza sea superficial y se extenderá por toda la cara donde se produce el impacto.
4. Fuerzas de contacto. La fuerza que origina el parachoques del coche que impacta, será la que reciba el parachoques del coche que es impactado. Aunque esto pueda parecer demasiado ideal, en la vida real las fuerzas en una colisión se distribuyen a

lo largo del vehículo que colisiona. Por tanto, no es descabellado realizar este tipo de hipótesis.

5. Fuerza de rozamiento. La fuerza de rozamiento no se va a tener en cuenta, a pesar de esto, se hará un estudio detallado de impactos inelásticos, choques donde suelen aparecer este tipo de fuerzas. Por tanto, entrará en juego el coeficiente de restitución, coeficiente que ya hemos definido anteriormente.
6. La velocidad inicial de los vehículos. El vehículo que impacta será el que empiece con velocidad, la cual irá variando durante las simulaciones, mientras que el impactado se encontrará parado justo antes del momento de la colisión. Como es de suponer al finalizar la colisión ambos vehículos contarán con unas velocidades las cuales serán distintas a las iniciales.
7. Los datos técnicos de los vehículos. Al ser análisis de solo el parachoques en un principio no se tiene información inicial de la masa del vehículo que impacta y del vehículo que es impactado. Por tanto, usaré unos datos técnicos de coches que se están utilizando actualmente. Para el vehículo que impacta usaré un modelo de coche Škoda Octavia 2.0 TDI 170 CV RS (2006-2008) y para el vehículo impactado usaré los datos técnicos de un modelo BMW 320D TOURING (2005-2007)
8. Tiempo de impacto. En el segundo 4 de la simulación es cuando comenzará el choque, y se analizará las deformaciones máximas y mínimas que ocurren, en el momento del impacto y hasta el momento en el que termina el análisis. (Segundo 5)

A continuación, pongo una tabla con las hipótesis de los datos técnicos de los coches que he indicado anteriormente:

MODELO	MASA	VELOCIDAD INICIAL	T. AMBIENTE
<u>Škoda Octavia 2.0 TDI 170 CV RS (2006-2008)</u>	1505 kg	Cambia	20°C-22°C
<u>BMW 320D TOURING (2005-2007)</u>	1580 kg	0 m/s	20°C-22°C

Tabla 1. Datos Técnicos de los Vehículos [15][16]

5.2 ANÁLISIS DEL PARACHOQUES DEL PROYECTO

Antes de comenzar con el análisis debemos tener claro qué es un parachoques y cuál es su función dentro del vehículo.

- El parachoques es un elemento indispensable del automóvil, el cual se suele situar en la parte delantera o trasera del vehículo. Su principal función es proteger a los ocupantes del vehículo ante los impactos a baja velocidad. Hay distintos tipos de parachoques, los de acero soportan bien los impactos mientras

que los parachoques de plástico son menos resistentes y se rompen tras un fuerte impacto, pero pueden llegar a deformarse bastante absorbiendo la energía de impacto[13].

Se tendrá en cuenta el Reglamento número 42 sobre la homologación de los vehículos automóviles, respecto a los dispositivos de protección delanteros y traseros. En este reglamento se indica que los parachoques deben aguantar sin sufrir deformaciones, impactos de 4 km/h[14].

La estructura que se empleará en los análisis es un parachoques de elaboración propia hecha con el programa Solid Edge, las dimensiones tuvieron su origen en el labio inferior de parachoques que se usan en la actualidad en especial uno de la marca Mitsubishi[17]. De esa parte del parachoques, saque las dimensiones de largo y de ancho. Pero al ver que la anchura no era tan grande, pues la amplie hasta tener una anchura parecida a la que tendría un coche de la marca SEAT. El espesor es bastante elevado (10 cm), pero esto se debe a que he incluido el núcleo del parachoques con la carcasa del parachoques, haciendo que el conjunto sea uno solo. El valor del espesor del núcleo es bastante elevado, tal y como lo podemos apreciar mismamente en las imágenes de núcleos de parachoques de la empresa Knauf Industries[18], o en páginas web como alibaba.com[19].

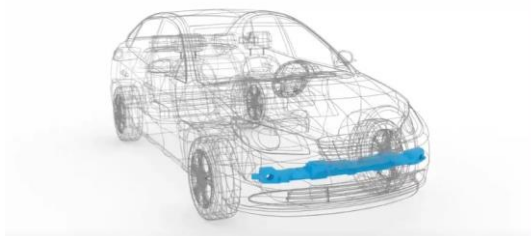


Ilustración 12: Núcleo Parachoques [18]

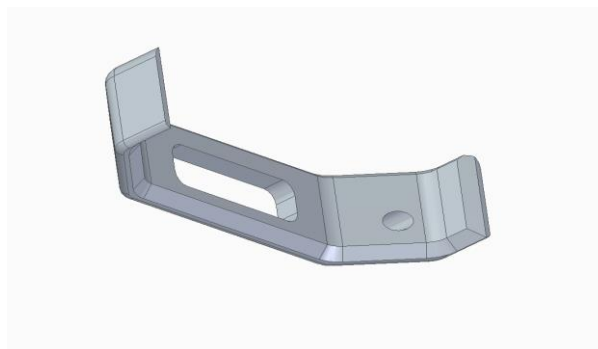


Ilustración 13: Vista Inferior del Modelo de Parachoques



Ilustración 14: Vista Superior del Modelo de Parachoques

5.3 MATERIALES DEL PARACHOQUES

En este apartado se realizará el estudio de los materiales que conforman actualmente los parachoques. Tal y como se indicó en el apartado de objetivos, calcularé el precio aproximado que se obtendrá con cada uno de los materiales de los paragolpes, así como el impacto que tienen tanto a la presencia de un incendio, como en el medioambiente.

Para calcular la parte del precio del parachoques, usaremos del programa Edupack el parámetro *precio/kg*. Por tanto, tendremos que calcular la masa del material en nuestro prototipo del parachoques. Usando la fórmula de:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

ρ = densidad kg/m³

V = volumen del parachoques m³

M = masa del parachoques kg

El programa ANSYS te proporciona ya directamente la masa del vehículo en dicho modelo. Tal y como veremos habrá ciertos materiales cuya masa sea demasiado elevada, esto se debe debido a la hipótesis de que el prototipo “carcasa del parachoques + núcleo del parachoques” sea un único conjunto.

También hay que tener en cuenta que el precio mostrado en este apartado se refiere al material en bruto, sin haber sido modificado por las operaciones necesarias para obtener el parachoques. Esto afectará al precio final. Esto lo indicaré y desarrollaré en el apartado de análisis de los resultados.

Para el segundo parámetro dejaré indicado si el material es inflamable, puesto que en un accidente puede hacer aparición un incendio, y la presencia de elementos inflamables podrían poner en peligro la vida del conductor y de los ocupantes del vehículo.

Para esta parte, me basaré principalmente en el criterio que existe en el software Granta Edupack 2022 R2, el cual, respecto al tema de la inflamabilidad de los materiales, estos son divididos en 4 fases dependiendo del Índice de Oxígeno Limite (LOI por sus siglas en ingles) que es la cantidad mínima de oxígeno en una mezcla de N y O (en % de vol,) para mantener la llama de la combustión activa[22]:

- Highly Flammable- <20%
- Slow Burning- 20-25%
- Self Extinguishing- 26-49%
- Non-Flammable - >50%

Para la realización de la última parte del análisis la cual sería ver el impacto ambiental que tienen los materiales del parachoques en el medio ambiente nos centraremos en la propiedad de reciclaje, infrarreciclaje y si es biodegradable.

- Reciclaje (Recycle)= indica que el material que se recicla tiene una calidad y una funcionalidad igual que el material antiguo.
- Infrarreciclaje (Downcycle)= indica que el material que se recicla tiene una calidad y una funcionalidad menor que el material antiguo[20].
- Biodegradable (Biodegrade)= indica que el material puede ser descompuesto por la acción de agentes externos biológicos en productos más simples [21].

Primero se realicé un estudio en las distintas páginas web para tener una idea de que tipos de materiales se usan actualmente en los parachoques. En las páginas de Mexpolimeros[38] y Knauff industries[18] así como en páginas de compras de parachoques[40], se encuentran una variedad de materiales. Tal y como se comentó en la metodología se analizará en Edupack, si verdaderamente se están utilizando en el sector automotriz.

Materiales parachoques:

Polipropileno expandido (EPP): es una espuma del polipropileno que actualmente está siendo utilizada y promovida por la industria de la automotriz. Esto se debe a que tiene buena resistencia a los impactos por su baja rigidez, es un buen aislante térmico y tiene una buena resistencia tanto térmica como química[47]. Como se puede obtener dentro de un diverso rango de densidades, esto facilitará que se puedan obtener parachoques más ligeros con unas buenas propiedades. Este tipo de materiales son ampliamente usados para los núcleos de los parachoques o en el recubrimiento de estos[18].

En el programa de materiales CES Edupack, se hace uso de la Gravedad específica o densidad relativa para diferenciar los distintos tipos de densidad con el que cuenta el material.

La fórmula es la siguiente[23]:

$$SG = \frac{\rho_{sustancia}}{\rho_{agua}}$$

SG= gravedad específica (specific gravity)

$$\rho_{sustancia} = \text{densidad de la sustancia} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{agua} = \text{densidad del agua} - \text{respecto a una temperatura de } 4^{\circ}C \left[\frac{Kg}{m^3} \right] -$$

Los EPP encontrados en Edupack que tienen buenas características resistivas y cuya una de sus aplicaciones principales son ser utilizados en el núcleo del parachoques son: PP foam(closed cells, 0.020), PP foam(closed cells, 0.030), PP foam(closed cells, 0.040), PP foam(closed cells, 0.060).



Ilustración 15: Materiales EPP que se Analizarán en el Software Edupack

Poliuretano (PUR): es un polímero que se obtiene al realizar una mezcla de Polioliol con Isocianato. Las propiedades predominantes de este material son: la excelente tenacidad, flexibilidad, alta capacidad de alargamiento, gran resistencia a aceites y grasas, excelente resistencia al desgarro y abrasión, buenas propiedades mecánicas, así como buenas propiedades como aislante tanto térmico como acústico[37].

El poliuretano es ampliamente usado en un automóvil, siendo alguna de sus aplicaciones: cuadro de mandos, asientos de espuma, parachoques, volantes, etc... Se estima que si un automóvil tiene un peso aproximado de 1000 kg siendo 100 kg de plásticos. Alrededor de 15 kg de los plásticos será poliuretano[24].

El poliuretano encontrados en Edupack es: PUR®(casting resin, unsaturated)



Ilustración 16: Material Poliuretano que se Analizará en el Software Ces Edupack

Olefina termoplástica (TPO): se originan haciendo mezclas de resinas de polipropileno con elastómeros, siendo algunas de estas: etileno copolímero de olefina (EOC), copolímero de etileno-propileno (EPR) y monómero de etileno propileno-dieno (EPDM). Actualmente los materiales TPO se dividen en 2 categorías, la primera sería una mezcla simple de poliolefina termoplástica y la segunda sería una mezcla de poliolefina termoplástica con una mezcla simple de elastómero la cual tiene una fase de caucho vulcanizado (TPV)[25].

Las propiedades de estos materiales son, buen comportamiento a bajas y altas temperaturas ($-70^{\circ}\text{C} \div 130^{\circ}\text{C}$), tienen buena resistencia química, son ligeros y tienen buena resistencia al impacto[25]. Otras aplicaciones de los materiales TPO son: aislante de techos, fabricación de membranas de impermeabilización y fabricación de aislantes de conductores eléctricos libres de halógeno[43].

En el programa de materiales CES Edupack aparecen una gran extensión de materiales, todos ellos siendo mezclas de polímeros con un extra de otros materiales, siendo el polipropileno la base. Todos estos materiales pueden ser usados en los exteriores del automóvil. En este análisis solo escogeré 6 para realizar la investigación.

Los TPO encontrados en Edupack son: TPO (PP+EP(D)M, Shore A75), TPO (PP+EP(D)M, Shore D60), TPO (PP+EP(D)M, Shore D50), TPO (PP+EP(D)M, 30-32% barium sulfate), TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber) y TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40).

-  TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)
-  TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)
-  TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)
-  TPO (PP+EP(D)M, 30-32% barium sulfate)
-  TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)
-  TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)

Ilustración 17: Materiales TPO que se analizarán en el Software Ces Edupack

Elastómero Termoplástico Vulcanizado (TPV): son termoplásticos vulcanizados los cuales son creados a partir de una mezcla entre una matriz termoplástica y un caucho capaz de vulcanizar [26]. Vulcanizar el caucho es cuando se añade azufre al caucho natural haciendo uso de calor, el objetivo es reducir las propiedades plásticas y mejorar la elasticidad[28].

Las propiedades de estos materiales son: buena resistencia química, a la abrasión y a la intemperie con alta memoria elástica. Tiene una alta gama de durezas entre dureza Shore de 35 A a 50 D, con una temperatura de funcionamiento entre -40 a 130°C y funciona como aislante eléctrico[27].

Al igual que el material TPO hay una alta variedad de TPV que se usan en la industria automotriz, pero debido a la falta de tiempo analizaré el siguiente material encontrado en Edupack: TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded)

-  TPV (PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded)

Ilustración 18: Material TPV que se analizará en el Software Ces Edupack

Conclusiones sobre la elección de materiales:

Como hemos podido apreciar, hay un número bastante elevado de materiales que podrían ser parte de un parachoques, pero en vista de la falta de tiempo y para comenzar las simulaciones del parachoques a la mayor brevedad posible. He seleccionado los siguientes materiales: EPP 0.020, EPP 0.030, EPP 0.040, EPP 0.060 y el material TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded).

Los polipropilenos expandidos los he elegido puesto que actualmente están siendo usados y promovidos por una empresa multidisciplinar llamada Knauf Industries que posee varios sectores, uno de los cuales es el sector de la automotriz[18]. Dicho material está siendo utilizado para recubrimientos de los parachoques, así como del núcleo de estos.

El material TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded) lo he elegido en vista de los resultados obtenidos. Este material como se puede ver en el apartado de Análisis de los Resultados, se caracteriza por ser uno de los que he analizado que puede ser reciclado obteniendo un producto con una calidad igual a la de su predecesor, y, además su comportamiento ante el fuego le hace el más idóneo para accidentes de tráfico donde se produzcan incendios. Por eso y pese a que sea un elemento caro y que no encontré ninguna empresa de automotriz que usen expresamente este material para sus diseños, lo analizaré por estar alineado con los ODS.

5.4 FUNDAMENTOS FÍSICOS Y PREPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN

En este apartado comenzaré a desarrollar todos los aspectos que se tendrán en cuenta en la realización de las simulaciones del proyecto. En cada parte pondré un poco de la teoría que es necesaria saber para la comprensión del proyecto. Así mismo al final de esta parte indicaré también las diferentes hipótesis que tendré en cuenta en la realización de este.

5.4.1.1 Choques elásticos y choques inelásticos

Debemos tener en cuenta, antes de empezar el análisis, la diferencia entre un choque elástico e inelástico:

- Choques elásticos: los choques elásticos son aquellos choques donde los vehículos durante la colisión no han sufrido deformaciones permanentes. Los choques elásticos son choques ideales, los cuales, en la realidad, solo apareceren como choques parcialmente elásticos. En este tipo de choques aparece el principio de conservación del momento lineal y la conservación de la energía cinética[29].

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$$

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \vec{v}_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \vec{v}_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \vec{v}_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \vec{v}_2'^2$$

Siendo los parámetros anteriores:

- m_1 : masa del vehículo que impacta en kg
- m_2 : masa del vehículo que es impactado en kg
- v'_1 : velocidad final del vehículo que impacta en m/s
- v'_2 : velocidad final del vehículo que es impactado en m/s
- v_1 : velocidad inicial del vehículo que impacta en m/s
- v_2 : velocidad inicial del vehículo que es impactado en m/s

- **Choques inelásticos:** los choques inelásticos ocurren cuando se ha disipado calor durante la colisión, en otras palabras, ha habido disipación de energía en la deformación y no se ha conservado la energía cinética. Este tipo de choques son los modelos más cercanos en la realidad, puesto que se tiene en cuenta el calor disipado por las fuerzas de rozamiento del coche con el suelo.

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$$

$$[35] \quad \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \vec{v}_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \vec{v}_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \vec{v}_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \vec{v}_2'^2 + \text{Energía}_{\text{deformación}}$$

5.4.1.2 Choques Frontales y Choques Laterales.

En este proyecto se hará dos tipos de análisis, en ellos se estudiarán las deformaciones que aparecen en cada uno de los vehículos en una colisión. Estos análisis se realizarán a colisiones las cuales se dividirán en:

- **Choques Frontales:** tipo de colisión que se produce cuando dos vehículos impactan en su zona delantera[30]. Dependiendo del ángulo de colisión de los vehículos se hablará de colisión frontal central (si los ejes de ambos vehículos coinciden), colisión frontal excéntrica (si los ejes longitudinales de los coches no son coincidentes) y las colisiones angulares (los ejes longitudinales de los vehículos forman un ángulo menor que 90 grados).

Durante el análisis del parachoques para choques frontales me centraré en los choques frontales centrales. Someteremos a esfuerzos frontales tanto al coche que impacta, como al coche que es impactado, estudiaremos las deformaciones que sufrirá, las cuales dependerán tanto del material con el que está hecho el parachoques del vehículo que impacta, como de la velocidad de este.



Ilustración 19: Simulación de un Choque Frontal Entre Dos Vehículos [31]

A continuación, se muestra la dirección de la fuerza que se aplicará durante las simulaciones de los choques frontales que se realicen durante el proyecto. Durante estas simulaciones se aplicará una fuerza superficial por toda la cara del choque.

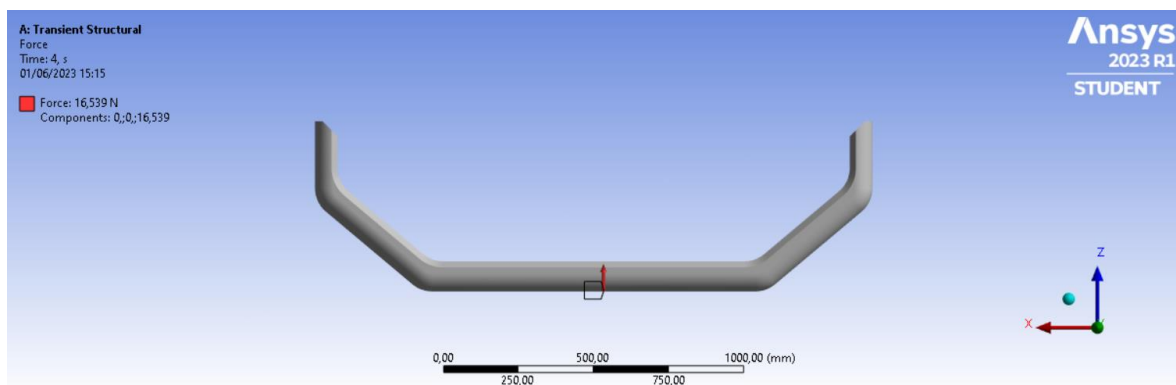


Ilustración 20: Planta del prototipo del parachoques con la dirección de la fuerza frontal

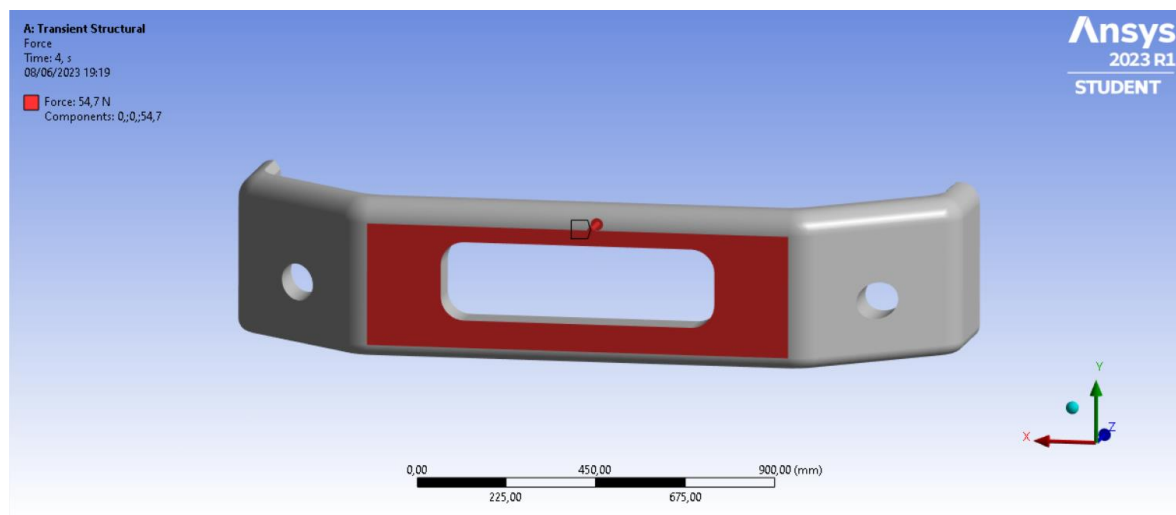


Ilustración 21: Parte delantera del Prototipo de parachoques Donde se Aplicará la Fuerza Frontal

La flecha roja de la imagen indica la dirección a la que va la fuerza durante el choque en el vehículo que impacta como el que es impactado. Durante el análisis la fuerza se aplicará por toda la superficie de la cara del choque, esa flecha no indica que la fuerza se aplique a un solo punto.

- Choques Laterales: también llamada colisión de embestida, es la colisión que tiene su punto de contacto en el lateral del vehículo, cuando el otro vehículo impacta con su parte delantera. Este tipo de colisiones pueden ser perpendiculares (los ejes del vehículo forman 90°) u oblicuas (los ejes forman ángulos superiores o inferiores a 90°). Además de esta clasificación, también está la clasificación de choques anteriores, centrales y posteriores. Como solo estamos simulando el parachoques las colisiones laterales en la parte delantera del vehículo, serán de tipo anteriores (se produce el choque en la parte delantera del vehículo)[32].

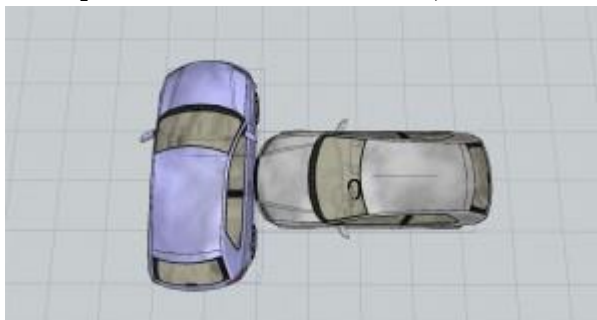


Ilustración 22: Recreación de un Choque Lateral Entre Dos Vehículos[32]

Este tipo de choques serán analizados solo para los coches impactados, puesto que su uso en los coches que impactan no tiene sentido.

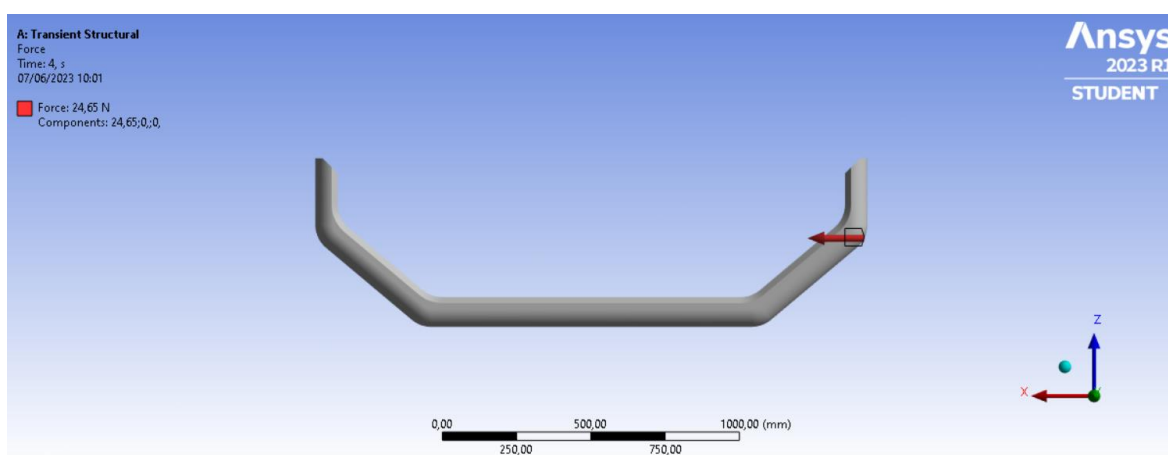


Ilustración 23: Planta del Prototipo de Parachoques con la Dirección de la Fuerza Lateral

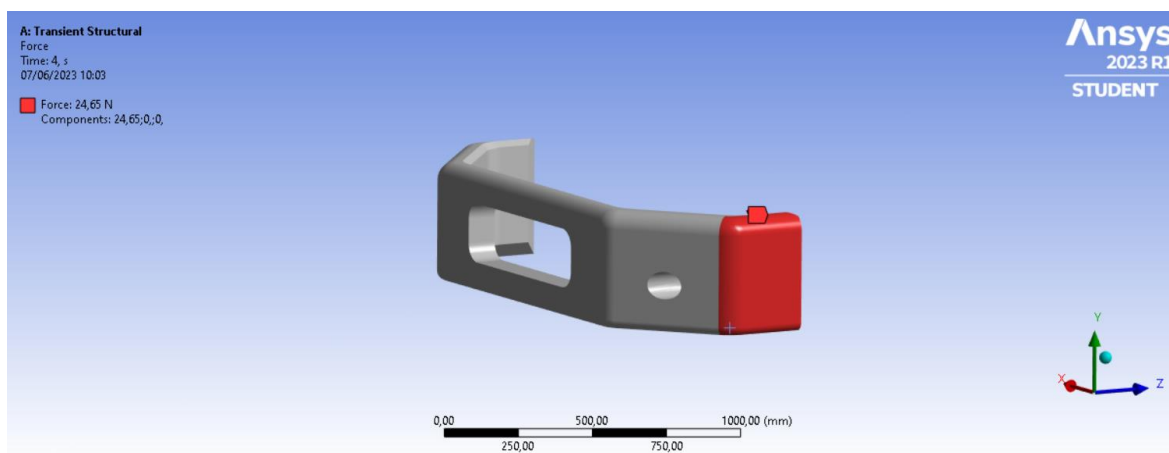


Ilustración 24: Parte Lateral del Prototipo de Parachoques Donde se Aplicará la Fuerza Lateral

La flecha roja indica la dirección a la que va la fuerza durante el choque en el vehículo impactado. Durante el análisis la fuerza se aplicará por toda la superficie de la cara del choque. No en un punto aislado.

5.4.1.3 Coeficiente de Restitución

Para definir la elasticidad de un choque aparece el coeficiente de restitución. En el caso global, el cual sería la colisión de 2 vehículos, siendo v_1 y v_2 sus velocidades iniciales y v'_1 y v'_2 sus velocidades finales. El coeficiente de restitución se expresa con la siguiente fórmula [33]:

$$\varepsilon = -\frac{v'_2 - v'_1}{v_2 - v_1}$$

Y si la colisión se produjera entre un coche y un obstáculo enorme y perfectamente rígido: $v'_2 = v_2 = 0$

$$\varepsilon = -\frac{v'_i}{v_i}$$

En un choque perfectamente elástico, el coeficiente de restitución será igual a 1. En un choque perfectamente inelástico el coeficiente de restitución será igual a 0.

Como se puede comprobar, las fórmulas anteriores del coeficiente de restitución no las podemos usar si se está tratando de sacar el coeficiente de restitución con las velocidades como incógnitas. Por tanto, es necesario plantear otro planteamiento.

La restitución está fuertemente relacionada con la respuesta elástica de los materiales durante el momento de la colisión. Normalmente se ha relacionado el concepto de restitución con la severidad del impacto, y aunque conceptualmente esta afirmación no ha sido definida

por los americanos, matemáticamente el coeficiente de restitución está relacionado, con la variación de la velocidad del vehículo o el módulo de velocidad de impacto[34].

Durante este proyecto usaremos la siguiente fórmula para el coeficiente de restitución, coeficiente que indica la cantidad de energía que se absorbe en el momento de la colisión, y que dependerá del módulo de la velocidad del impacto. La fórmula para sacar este coeficiente de restitución es de origen empírico, donde los parámetros Alpha y Beta se obtienen de forma experimental. Dichos valores pueden variar dependiendo de la investigación y del investigador.

$$\varepsilon = \alpha * e^{-\beta(v_1-v_2)}$$

ε =coeficiente de restitución

α y β : son parámetros que se obtienen de forma empírica.

v_1 =velocidad del coche de impacto m/s

v_2 =velocidad del coche impactado m/s

En el año 1967 T. Sato propuso la siguiente formula empírica[34]:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419*(v_o)}$$

ε =coeficiente de restitución

v_o =velocidad impacto m/s

A partir de 1967, los estudios se centrarían a velocidades superiores a los 25 km/h, donde el coeficiente de restitución se despreciaba y no sería hasta finales del siglo XX cuando se vuelva a retomar los análisis de choques a bajas velocidades. Denis Wood desarrolla un modelo matemático haciendo hincapié en las semejanzas de la estructura de un vehículo durante la colisión a la de un tubo de paredes delgadas cerca de los límites críticos de pandeo. En este modelo matemático al igual que el de su predecesor, el coeficiente de restitución disminuye, pero de forma discontinua. Esto se debe a la variación de la rigidez que se encuentra en el choque a medida que aumenta la deformación en la estructura del vehículo.

Como el modelo de Wood no era fiable para las velocidades inferiores a 12 km/h, Vicent W. Antonetti, basándose en el modelo de Wood, propondría la siguiente ecuación[34]:

$$\varepsilon = 0,5992 \cdot e^{(-0,2508 \cdot v_1 + 0,01934 \cdot v_1^2 - 0,001279 \cdot v_1^3)}$$

Para el año 2003 Anibal O. Garcia realizará una propuesta de corrección para los modelos indicados previamente y que dependerá de la velocidad de choque[34]:

$$\varepsilon = 0,45 * e^{-0,145*(v_1)} \text{ si } v_1 < \frac{15m}{s}$$

$$\varepsilon = 0,12 * e^{-0,055*(v_1)} \text{ si } v_1 > \frac{15m}{s}$$

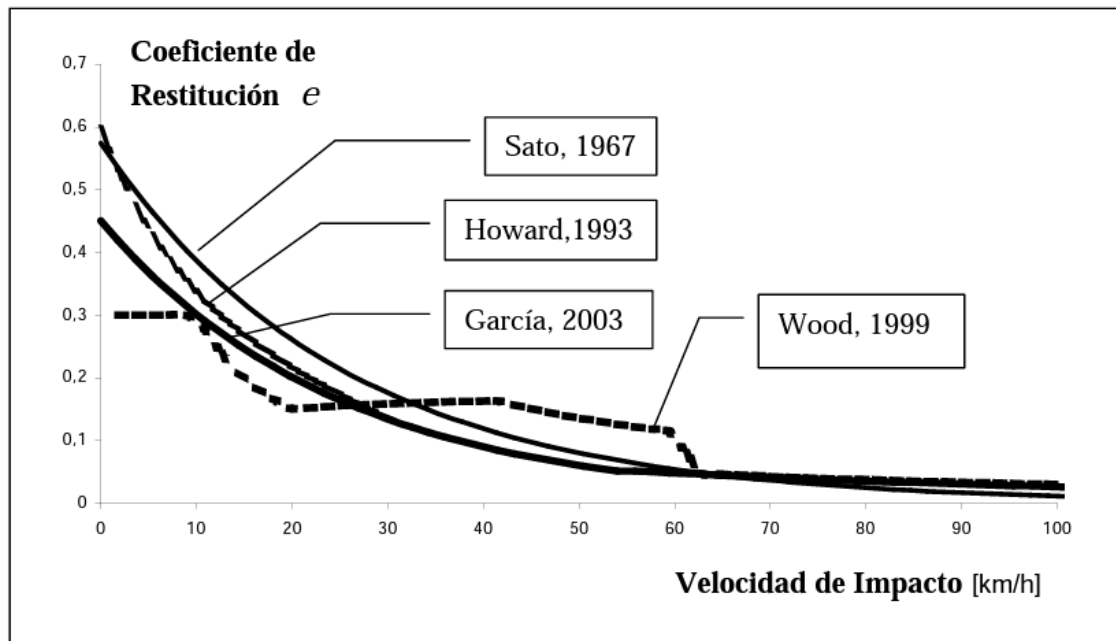


Ilustración 25: Comparativa de la Obtención del Coeficiente de Restitución Según los Distintos Modelos Analizados[34]

Por la falta de tiempo, solo usaré uno de los métodos explicados anteriormente para calcular el coeficiente de restitución. Para la realización del análisis en este proyecto usaré el método T. Sato usando valores $\alpha=0,574$ y $\beta=0,1419$. Los motivos para la selección de este método son varios:

- Con este método cuando el accidente pasa en bajas velocidades, el coeficiente de restitución es el que más se aproxima a 1, esto indica que el choque es parcialmente elástico, pudiéndose llegar a usar la equivalencia de un choque elástico, es decir que no hay energía de deformación. En los demás métodos, el coeficiente de restitución no es tan elevado, y el modelo de accidente de choque elástico no podría ser considerado.
- No cae de forma tan abrupta a altas velocidades el coeficiente de restitución. Esto propicia una obtención del coeficiente de restitución a velocidades superiores a 25 km/h. Tal como veremos en la parte del proyecto denominado Rotura del material, esto será un factor para tener en cuenta.

5.4.1.4 Estudio de las Deformaciones y Velocidades del Coche que Impacta

Una vez obtenido el coeficiente de restitución, aplicaremos la ecuación de Huygens-Newton la cual relaciona entre sí, las velocidades iniciales y finales del vehículo causante del accidente [35].

$$v_{final1} = \frac{m_1 - \varepsilon * m_2}{m_1 + m_2} v_{inicial1}$$

También se puede obtener la velocidad final del vehículo que ha sido impactado, pero como en este proyecto no será necesario obtenerla, dejaré la fórmula para un estudio futuro donde haga simulaciones donde se requiera la velocidad del coche impactado.

$$v_{final2} = \frac{m_1 * (1 + \varepsilon)}{m_1 + m_2} v_{inicial1}$$

A continuación, para realizar los cálculos tendré en cuenta las leyes de Newton.

Los análisis se realizarán para bajas velocidades (por debajo de 6km/h). Por tanto, realizaré un cambio de unidades de Km/h a m/s para facilitar el uso de las ecuaciones de la Ley de Newton.

Km/h	m/s
6	1,66666667
5,5	1,52777778
5	1,38888889
4,5	1,25
4	1,11111111
3,5	0,97222222
3	0,83333333
2,5	0,69444444
2	0,55555556
1,5	0,41666667
1	0,27777778

Tabla 2: Cambio de Km/h a m/s

Se hará uso de la segunda ley de Newton. De esta manera definiremos la fuerza con la que impacta el vehículo a un obstáculo. Para aplicar la fórmula se usará la masa del vehículo que impacta y su aceleración. Se hará la hipótesis que durante el choque la velocidad sufre una caída lineal permitiendo usar la siguiente formula de la aceleración.

$$a_{vehiculo} = \frac{v_{final} - v_{inicial}}{tiempo}$$

$$F = m_{parachoques} * a$$

El motivo por el que solo empleo la masa del parachoques del vehículo que impacta, es debido, a que en la vida real en los accidentes de tráfico la energía se dispersa por todo el vehículo, pero si usásemos la masa del vehículo y dicha fuerza resultante se aplicase solo al parachoques, las deformaciones obtenidas no serían correctas ($\approx 1,6$ m de deformación a 6 km/h), por eso mismo, se repartirá la fuerza del accidente entre las diferentes masas del vehículo, y se tendrá en cuenta únicamente la fuerza que recibiría el parachoques.

Para estudiar el comportamiento del coche que impacta se hará uso de la 3 Ley de Newton la ley de acción y reacción, la fuerza del coche que impacta con el obstáculo ejercerá una fuerza de misma magnitud y sentido contrario hacia el coche. Por tanto, teniendo en cuenta esta fórmula el parachoques se verá sometido a la misma fuerza con la que choca con el obstáculo.

$$F_{1-2} = -F_{2-1}$$

5.4.1.5 Punto de Rotura del Material. Coche Impactado

A continuación, realizaré el estudio de la rotura del parachoques del coche impactado, con los diversos materiales que hemos estudiado previamente. Cada material del parachoques (coche impactado) será sometido a fuerzas, las cuales se verán incrementadas, hasta que en el punto de colisión se supere unas tensiones superiores a la “Resistencia da la cizalladura” o “Shear Strenght” del material que se esté analizando.

Se usará un factor de seguridad $N=2$ y para las tensiones, se usará la fórmula de la tensión equivalente de Von Mises:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

Las tensiones $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son las tensiones principales. Para este proyecto, el programa ANSYS ya te realiza el cálculo de σ_{VM} .

Una vez que se supere la tensión de rotura, se recogerá el dato de la fuerza, y haciendo la suposición de que toda la fuerza que recibe el parachoques del vehículo impactado proviene del parachoques del vehículo que impacta, se usará la segunda ley de Newton para obtener el decremento de la velocidad. Dicho decremento variará dependiendo del material del que este hecho el vehículo que impacta.

Obtenido el decremento de velocidades, se irá viendo con que velocidad inicial del vehículo que impacta se logra ese decremento. Para ello se irá incrementando las velocidades, usando las fórmulas del coeficiente de restitución y de Huygens-Newton estudiadas previamente. Cuando se obtenga una velocidad final que origine un decremento

de velocidades igual al que se ha obtenido previamente, habremos obtenido la velocidad inicial del vehículo que impacta.

En los análisis del coche impactado, solo simularemos con el material EPP, esto se debe a que el material EPP se utiliza en los núcleos del parachoques. Por tanto, las fuerzas que reciben son distintas a las que recibiría los materiales del que está hecho la carcasa.

5.4.1.6 Estudio de las Deformaciones. Coche Impactado.

Ahora realizaremos un estudio del coche impactado. En este apartado nos centraremos sobre todo en los choques laterales, puesto que dichos choques solo pueden suceder al vehículo que es impactado.

Las fuerzas de impacto serán las que procedan del coche que impacta, por tanto, en las simulaciones tendré en cuenta los diversos materiales con los que está hecho el parachoques. En esta simulación al igual que en el apartado de rotura, supondremos que toda la fuerza que proporciona el parachoques del vehículo causante del accidente es recibida por el parachoques del vehículo del coche impactado.

Antes de realizar el análisis, con los datos obtenidos previamente quitaré algunos materiales de los análisis, ya sean porque no cumplen con el Reglamento 42 de la Homologación de los Parachoques, o porque hay varios materiales que tienen las mismas propiedades de deformación, pero unos son más caros que otros.

5.4.1.7 Mallado y Puntos de Apoyo.

Finalmente, para poder comenzar con las simulaciones es necesario aplicar una malla alrededor de la figura. Si la malla es fina se obtendrán mejores resultados, pero tardará más la simulación que si la malla es basta, donde se conseguirán peores resultados, pero será más rápida la simulación. En este proyecto, haciendo uso de la prueba y error, se aplicaron los siguientes parámetros para obtener las soluciones.

Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
☐ Target Elemen...	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Jacobian Ratio (Gauss Points)

Ilustración 26: Parámetros del Mallado

☐ Min	6,5126e-003
☐ Max	0,96058
☐ Average	0,42766
☐ Standard Devi...	0,20465

Ilustración 27: Parámetros Mesh Metrics

☒	Scope
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
☒	Definition
Suppressed	No
Type	Element Size
☐ Element Size	75, mm
☒	Advanced
☐ Defeature Size	Default
Behavior	Hard

Ilustración 28: Parámetros del Body-Sizing

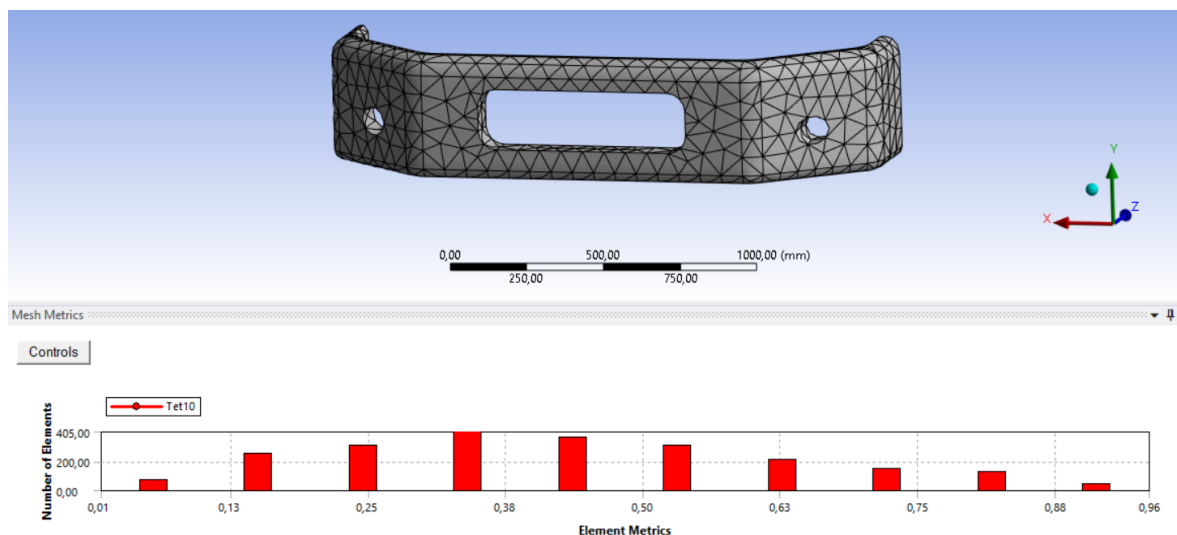


Ilustración 29: Prototipo Mallado + Mesh Metrics

Tal y como se puede comprobar en la imagen de arriba, el mallado del prototipo no presentará ningún error en la simulación, y es aceptable dentro de los límites establecidos.

El parachoques en la vida real este sujeto a la carrocería del vehículo, por tanto, consta de varios puntos de apoyo. Dichos puntos de apoyo los he tenido en cuenta en las simulaciones, aplicándolos a los extremos del prototipo.

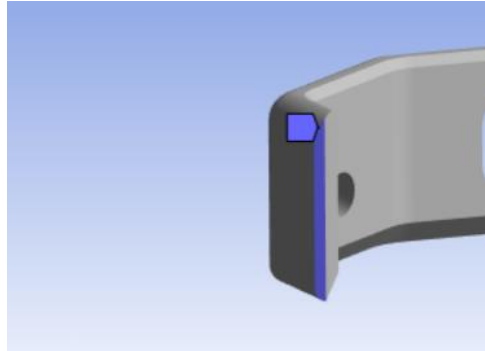


Ilustración 30: Zona de Apoyo Fijo

5.5 PROPUESTA DE MEJORA DE INFORMES PERICIALES

Un informe pericial es un documento escrito redactado por un experto o perito en un determinado tema, quien expondrá sus conclusiones e indagaciones al respecto[36]. Este documento se utiliza como prueba en un proceso judicial donde el perito debe mostrarse imparcial a lo largo de la investigación.

Para que el informe pericial de accidentes de tráfico sea un informe claro y rápido de analizar se suelen estructurar en los siguientes apartados[45]:

- Portada del informe: es la primera hoja que hay en el informe pericial e indica la fecha y lugar del accidente, así como los tipos de vehículos que han colisionado.
- Objeto del informe: se indica que es lo que se pretende demostrar con el informe, también se suelen recoger los datos de las fuentes de información utilizadas.
- Características y daños de los vehículos: se indican las características técnicas de los vehículos, así como el número de ocupantes que había en cada vehículo en el momento del impacto. También se indican los daños que presenta y el lugar donde están localizados.
- Huellas y vestigios: se obtiene del atestado lo relacionado con las huellas y la localización de los restos de los vehículos.
- Descripción del lugar del accidente: se describen las carreteras, indicando la anchura, si hay pendientes y la señalización de esta.
- Estudio técnico: se indican los cálculos que se realizarán en el informe, se desarrollara de forma ordenada, y se explique de tal forma que se entienda por otra persona experta en el tema.
- Conclusión: se recogerán en este apartado de forma breve, pero de una manera que se entienda, las conclusiones del informe. Se indicará cualquier comentario que sea necesario para que el desarrollo del accidente quede claro.
- Anexos: a veces no es necesario incluir este apartado, aquí se pondrán los documentos usados para la realización del accidente y que es necesario indicar

para dejar constancia de estos. También se puede dejar las fotografías del lugar del accidente, el croquis, los fotogramas del desarrollo del accidente entre otros.

Una vez visto la estructura que debe tener un informe pericial, pasemos a la propuesta de mejora del informe pericial.

Tanto la portada y el objeto del informe son elementos que deben estar en un informe pericial, puesto que son necesarios para el entendimiento de a quién y por qué se está realizando dicho informe pericial.

Las características del daño de vehículo también son una parte indispensable del mismo puesto que dependiendo de los daños que presente el vehículo se podrá realizar suposiciones de si las velocidades eran superiores a 4km/h gracias al Reglamento 42 sobre homologación de parachoques. Ya que si es inferior a 4 km/h no presentará ningún indicio de deformación en el coche siniestrado. Para velocidades superiores a 4 km/h es necesario comprobar si el coche en el momento del impacto iba con velocidades superiores a 9km/h, puesto que a esa velocidad ya pueden aparecer lesiones por el latigazo vertical[35].

También en el apartado de características, es necesario en un informe pericial que se indique también el tipo de choque, puesto que el reposacabezas no protege a los ocupantes del vehículo de un choque lateral, esto se debería tener en cuenta en las conclusiones, ya que podrían generarse lesiones con velocidades más bajas de las que se presentan en un accidente de tráfico de un choque frontal.

Para el apartado de huellas y vestigios, así como de descripción del lugar de accidente, se deberían incluir en ese apartado, tanto las huellas de frenado (si las hubiere), puesto eso sería un claro indicativo de que el vehículo tenía una alta velocidad, así como la velocidad que indica las señales de tráfico, puesto que serán indispensable para hacer las hipótesis iniciales para hacer las simulaciones.

Para la parte del estudio técnico es necesario tener como datos, la señalización de la velocidad en esa zona. Informes periciales de Juan de Norverto Moriñigo[49], se realizan suposiciones en las simulaciones usando datos de velocidades a la que un vehículo podría ir en una situación parecida en el momento en que sucedió el accidente. Estas suposiciones, aparte de las pruebas visuales, son elementos determinantes para poder tener unas conclusiones coherentes con la realidad.

En algunos informes periciales, si hacen suposiciones de que el choque es inelástico, calculan la Energía de deformación del parachoques, partiendo de suposiciones de velocidades iniciales mencionadas anteriormente. Al aplicar la fórmula del coeficiente de restitución, en algunos informes solo muestran el resultado, sin mostrar cual fórmula empírica han utilizado, esa fórmula debería indicarse, puesto que ya hemos visto que hay numerosos métodos para obtener dicho coeficiente.

Una vez se tiene dicho coeficiente y con los datos técnicos del vehículo, se calculan las velocidades finales tal y como las he calculado yo a lo largo del informe. Finalmente, con la fórmula del balance de energías del choque inelástico se permitiría obtener la Energía de la deformación.

En los casos en que el daño del accidente fuese muy notorio, se podría usar el método de McHenry visto en el capítulo de estado del arte. Ahí se podría calcular el EBS o velocidad equivalente de impacto contra una barrera fija. Por supuesto, sería necesario tener en cuenta las hipótesis antes mencionadas.

La conclusión y los anexos se deben colocar, puesto que en esos apartados se muestra las conclusiones de lo que se ha investigado durante la recreación de los accidentes, así como las referencias bibliográficas que se han tenido en cuenta durante la realización de lo mismo.

Para finalizar esta parte del proyecto, es necesario indicar en un informe pericial los desarrollos de los cálculos, así como la solución de estos. Para demostrar por qué se obtienen esos datos y que no aparezcan sin ningún planteamiento de cálculo o razonamiento.

5.6 DESARROLLO DE LAS SIMULACIONES

Primero sacaremos el coeficiente de restitución, aplicando tal como se dijo previamente el método de T. Sato con sus valores alfa y beta. Una vez se tenga el coeficiente de restitución se obtendrán las velocidades finales las cuales se obtendrán usando la fórmula de Huygens-Newton que las relaciona con sus respectivas velocidades iniciales. Finalmente se calculará la fuerza que se aplicará a cada velocidad donde se deberá tener en cuenta el peso del parachoques del coche que impacta, el cual variará para los distintos tipos de materiales que se usan.

Material	Masas (Kg)
EPP 0.020	1,4954
EPP 0.030	2,1339
EPP 0.040	2,848
EPP 0.060	4,275
TPV	89,817

Tabla 3: Masa en Kg de los distintos Materiales en el Modelo de Parachoques

V inicial= 6 km/h

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{6}{3,6}\right)} = 0,45$$

Obtenemos la velocidad final del vehículo que impacta y aplicamos la segunda y tercera Ley de Newton

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,45 * 1580}{1505 + 1580} 1,667 = 0,43 \frac{m}{s}$$

$$a_{vehiculo} = \frac{0,43 - 1,667}{0,075} = -16,48 \frac{m}{s^2}$$

V inicial 5,5 km/h

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-01419 \left(\frac{5,5}{3,6} \right)} = 0,46$$

Obtenemos la velocidad final del vehículo que impacta y aplicamos la segunda y tercera Ley de Newton

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,46 * 1580}{1505 + 1580} 1,52777 = 0,38 \frac{m}{s}$$

$$a_{vehiculo} = \frac{0,38 - 1,52777}{0,075} = -15,303 \frac{m}{s^2}$$

V inicial 5 km/h

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-01419 \left(\frac{5}{3,6} \right)} = 0,47$$

Obtenemos la velocidad final del vehículo que impacta y aplicamos la segunda y tercera Ley de Newton

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,47 * 1580}{1505 + 1580} 1,38888 = 0,34 \frac{m}{s}$$

$$a_{vehiculo} = \frac{0,34 - 1,38888}{0,075} = -13,98 \frac{m}{s^2}$$

V inicial 4,5 km/h

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-01419 \left(\frac{4,5}{3,6} \right)} = 0,48$$

Obtenemos la velocidad final del vehículo que impacta y aplicamos la segunda y tercera Ley de Newton

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,48 * 1580}{1505 + 1580} 1,25 = 0,26 \frac{m}{s}$$

$$a_{vehiculo} = \frac{0,26 - 1,25}{0,075} = -12,666 \frac{m}{s^2}$$

V inicial 4 km/h

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-01419 \left(\frac{4}{3,6} \right)} = 0,49$$

Obtenemos la velocidad final del vehículo que impacta y aplicamos la segunda y tercera Ley de Newton

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,49 * 1580}{1505 + 1580} 1,1111111 = 0,26 \frac{m}{s}$$

$$a_{vehiculo} = \frac{0,26 - 1,1111111}{0,075} = -11,34 \frac{m}{s^2}$$

V inicial 3,5 km/h

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419 \left(\frac{3,5}{3,6} \right)} = 0,5$$

Obtenemos la velocidad final del vehículo que impacta y aplicamos la segunda y tercera Ley de Newton

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,5 * 1580}{1505 + 1580} 0,972222 = 0,23 \frac{m}{s}$$

$$a_{vehiculo} = \frac{0,23 - 0,972222}{0,075} = -9,896 \frac{m}{s^2}$$

V inicial 3 km/h

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419 \left(\frac{3}{3,6} \right)} = 0,51$$

Obtenemos la velocidad final del vehículo que impacta y aplicamos la segunda y tercera Ley de Newton

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,51 * 1580}{1505 + 1580} 0,833333 = 0,19 \frac{m}{s}$$

$$a_{vehiculo} = \frac{0,19 - 0,833333}{0,075} = -8,57777 \frac{m}{s^2}$$

V inicial 2,5 km/h

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419 \left(\frac{2,5}{3,6} \right)} = 0,52$$

Obtenemos la velocidad final del vehículo que impacta y aplicamos la segunda y tercera Ley de Newton

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,52 * 1580}{1505 + 1580} 0,694444444 = 0,15 \frac{m}{s}$$

$$a_{vehiculo} = \frac{0,15 - 0,694444444}{0,075} = -7,2592 \frac{m}{s^2}$$

V inicial 2 km/h

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419 \left(\frac{2}{3,6} \right)} = 0,53$$

Obtenemos la velocidad final del vehículo que impacta y aplicamos la segunda y tercera Ley de Newton

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,53 * 1580}{1505 + 1580} 0,55555556 = 0,12 \frac{m}{s}$$

$$a_{vehiculo} = \frac{0,12 - 0,55555556}{0,075} = -5,807 \frac{m}{s^2}$$

5.6.1 COCHE QUE IMPACTA. ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN. CHOQUE FRONTAL

Ahora realizaré los análisis de impactos con los distintos materiales del parachoques del coche que impacta (Velocidad inicial > 0), dichos impactos serán a consecuencia de una colisión de tipo frontal. Se simularán con los distintos tipos de materiales, se comprobará y se recogerán los datos de las deformaciones que ocurren en el parachoques

5.6.1.1 Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,020

Vinicial= 6 km/h

$$F = 1,4954 * 16,48 = 24,65 \text{ N}$$

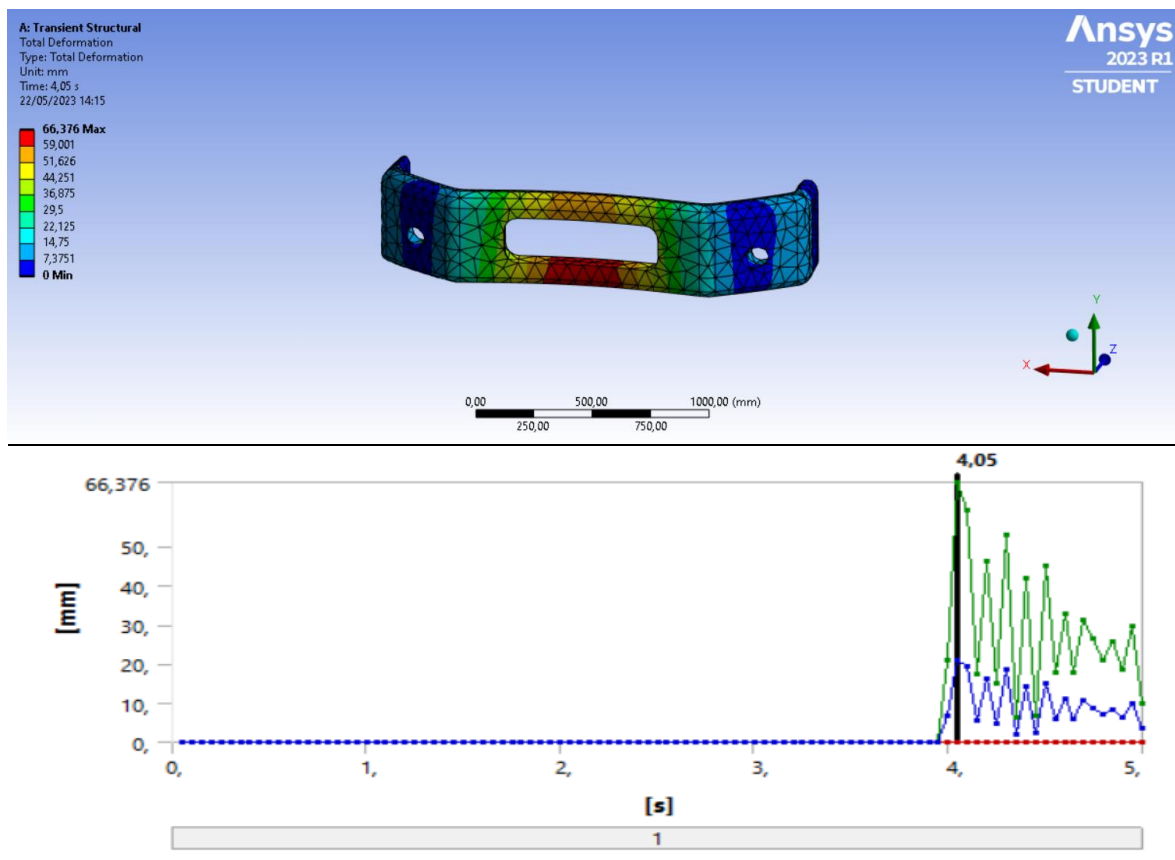


Ilustración 31: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 6 km/h

V inicial 5,5 km/h

$$F = 1,4954 * 15,303 = 22,8851 \text{ N}$$

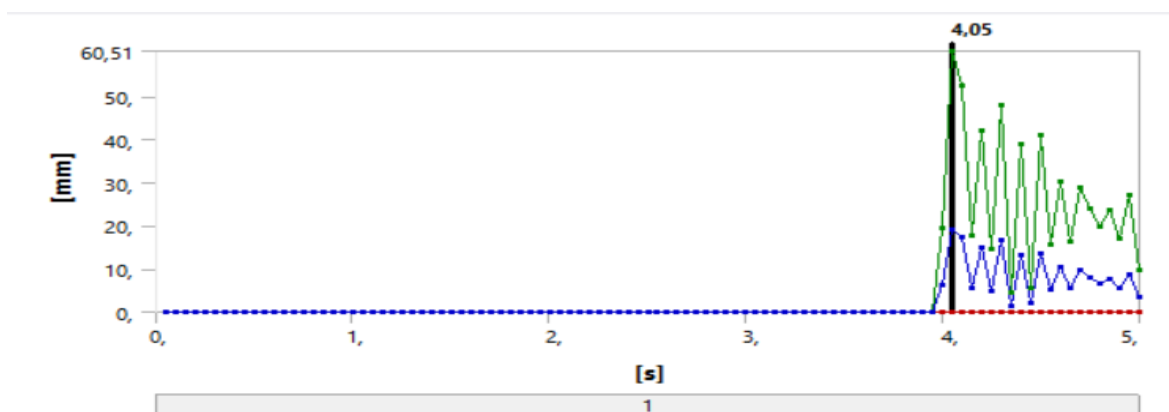
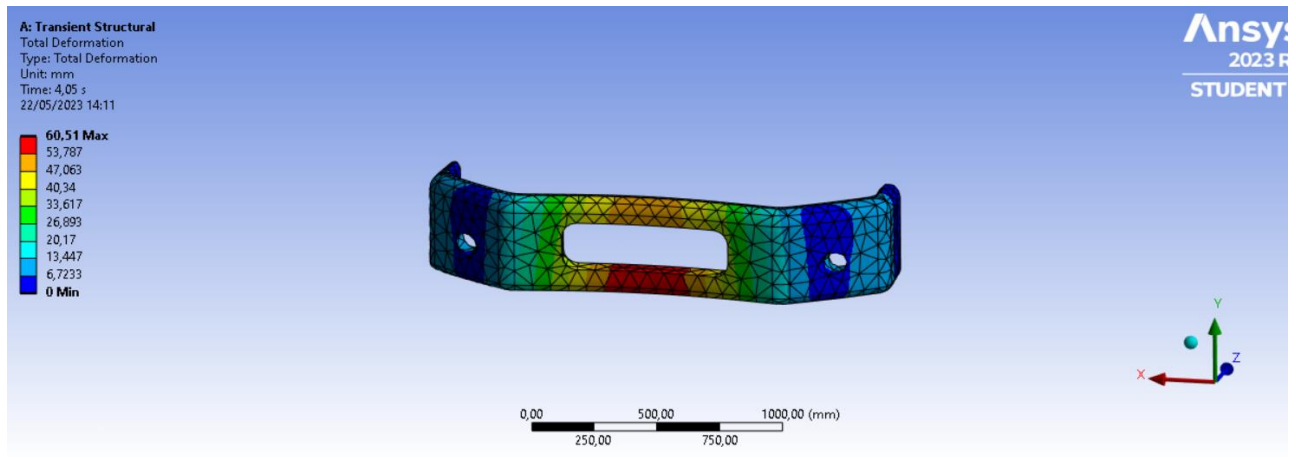


Ilustración 32: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 5,5 km/h

V inicial 5 km/h

$$F = 1,4954 * 13,98 = 20,91 \text{ N}$$

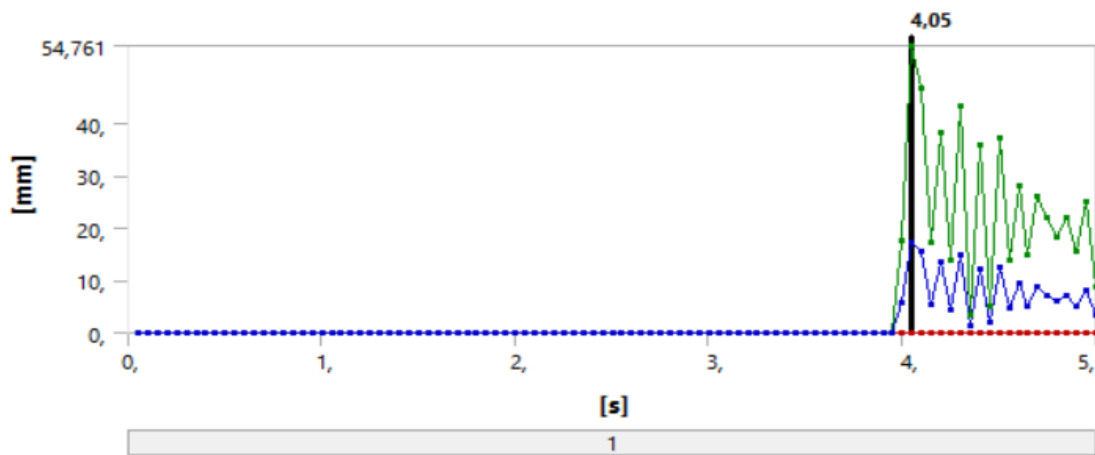
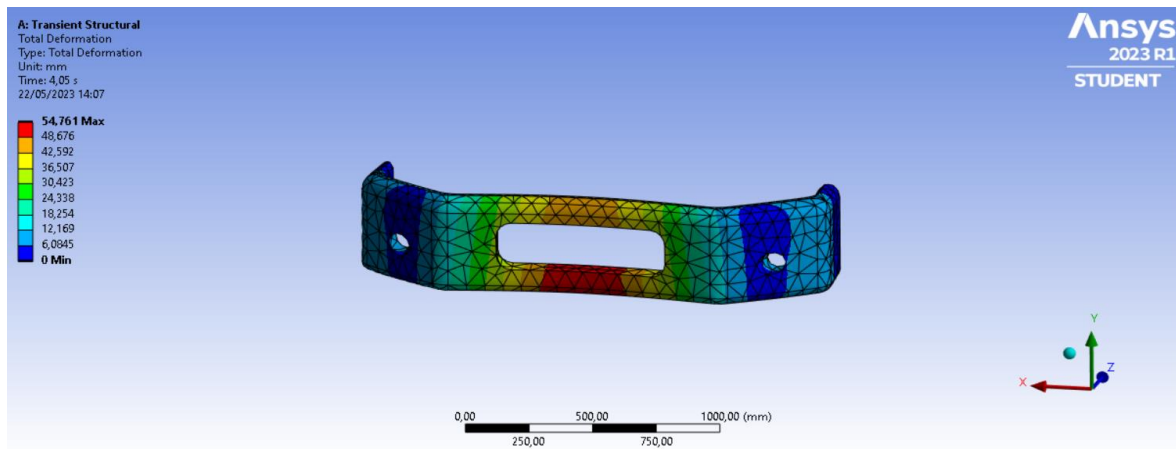
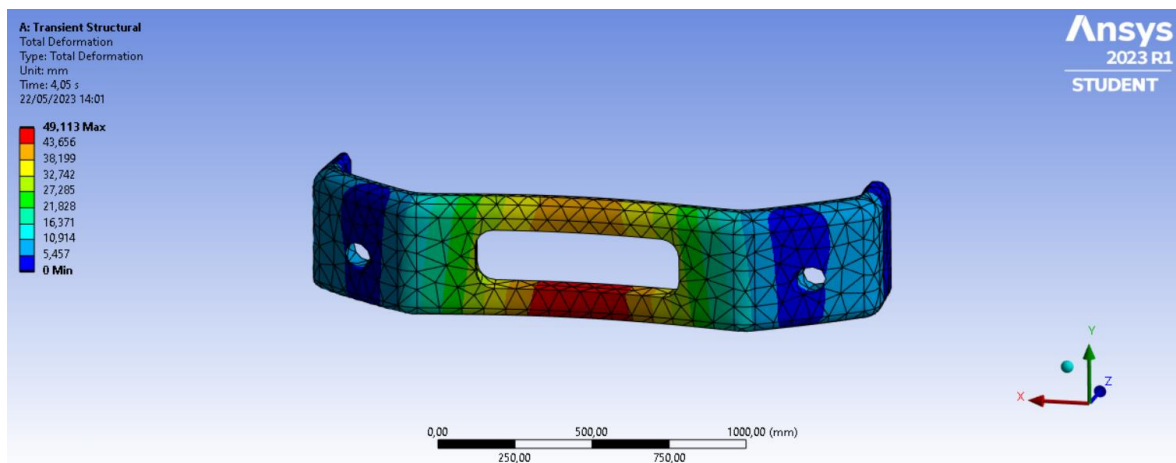


Ilustración 33: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 5 km/h

V inicial 4,5 km/h

$$F = 1,4954 * 12,666 = 18,94 \text{ N}$$



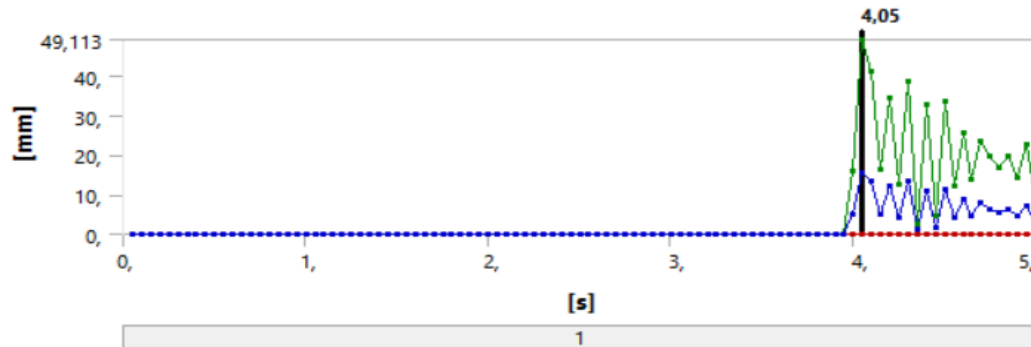


Ilustración 34: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 4,5 km/h

V inicial 4 km/h

$$F = 1,4954 * 11,34 = 16,97N$$

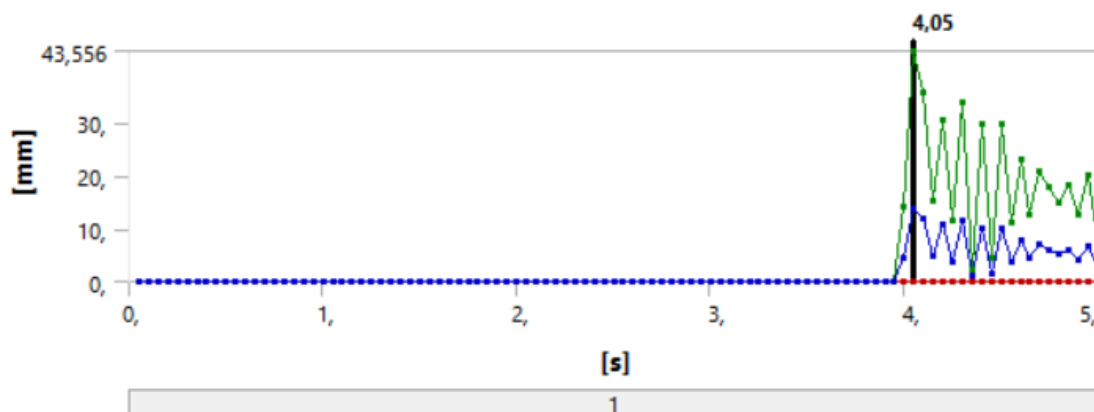
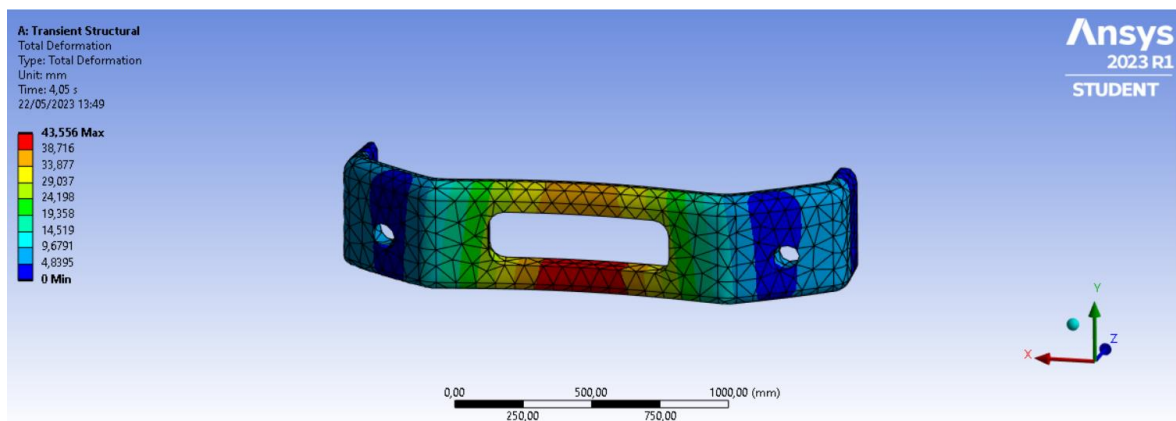


Ilustración 35: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 4 km/h

V inicial 3,5 km/h

$$F = 1,4954 * 9,896 = 14,7989N$$

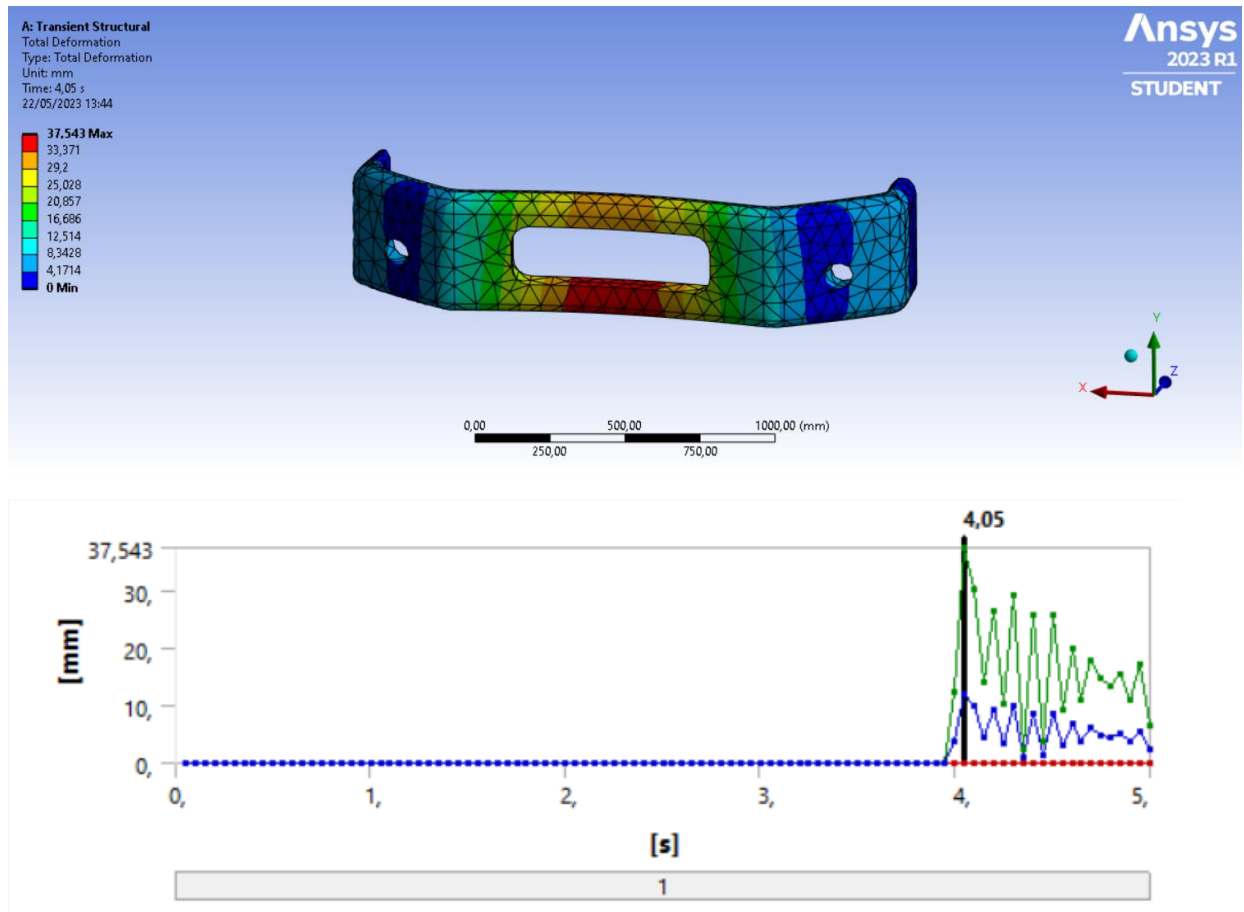
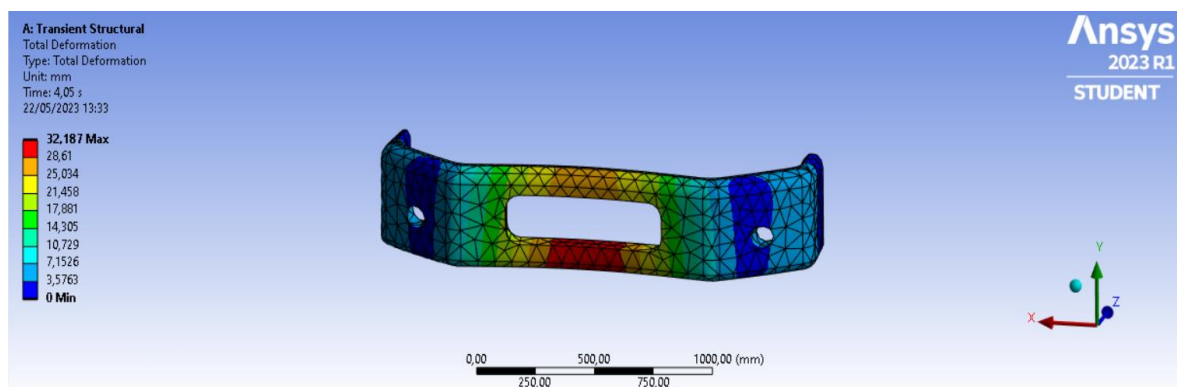


Ilustración 36: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 3,5 km/h

V inicial 3 km/h

$$F = 1,4954 * 8,5777 = 12,827N$$



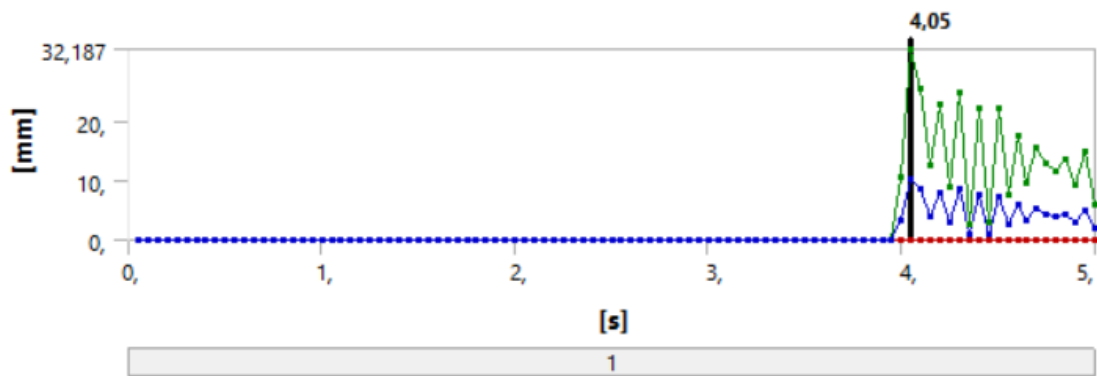


Ilustración 37: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 3 km/h

V inicial 2,5 km/h

$$F = 1,4954 * 7,2592 = 10,85549N$$

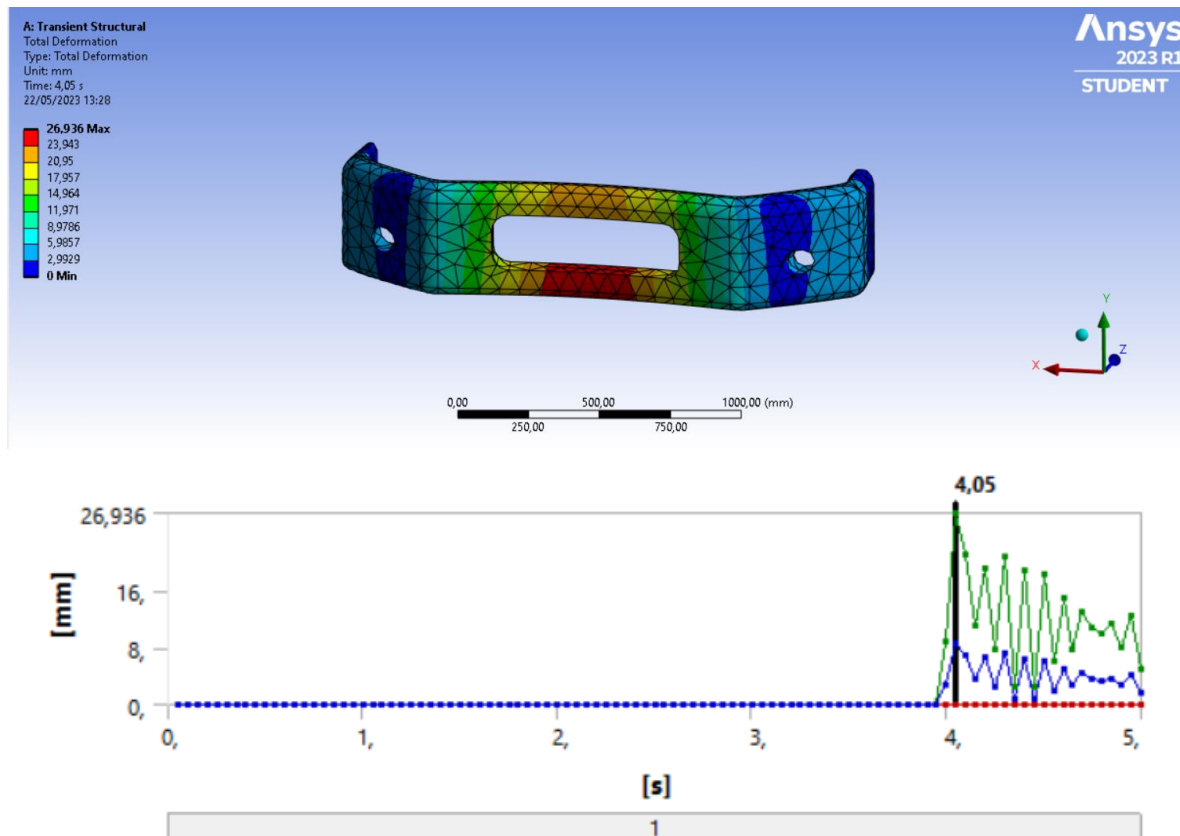


Ilustración 38: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 2,5 km/h

V inicial 2 km/h

$$F = 1,4954 \cdot 5,807 = 8,6843N$$

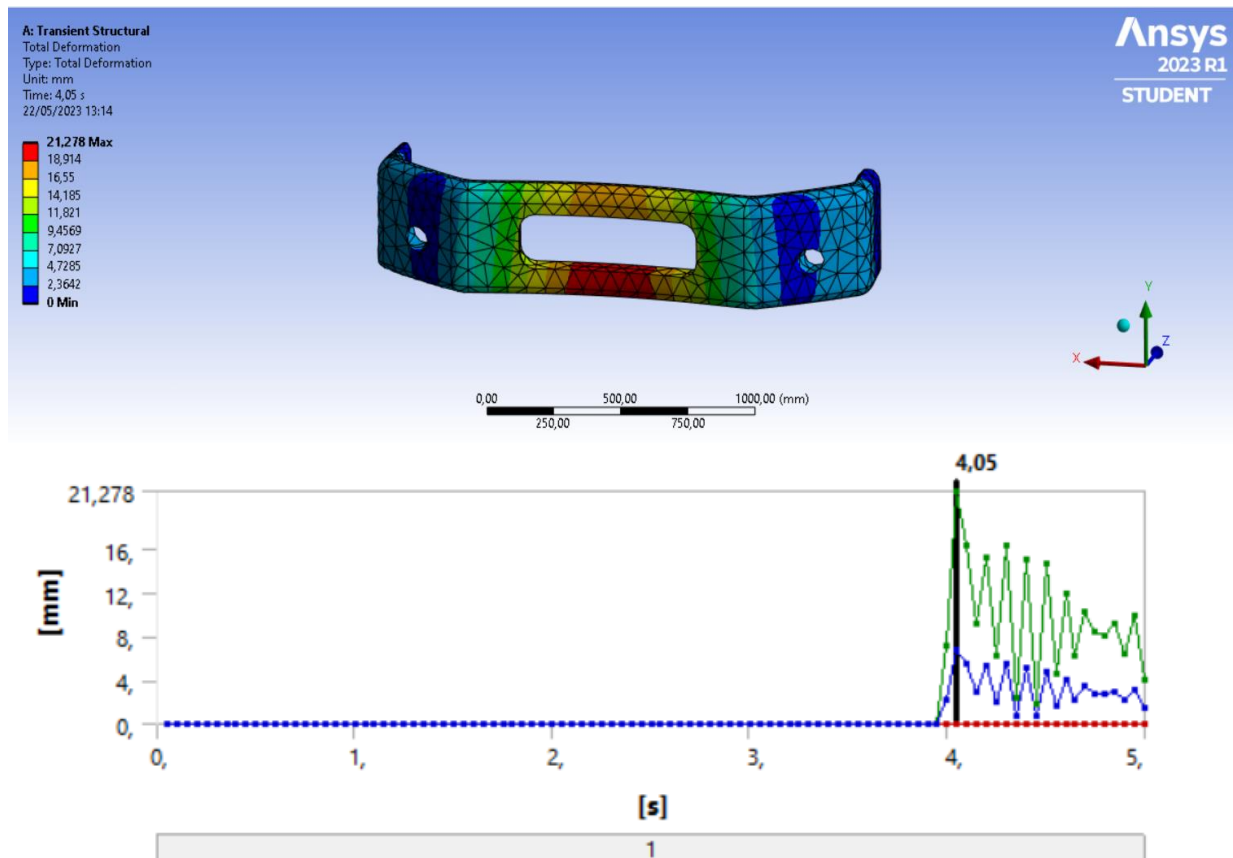


Ilustración 39: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,020 a 2 km/h

Hacemos una recogida de las deformaciones y se puede ver un incremento lineal de deformaciones, a cuanto más velocidad tiene el coche que impacta.

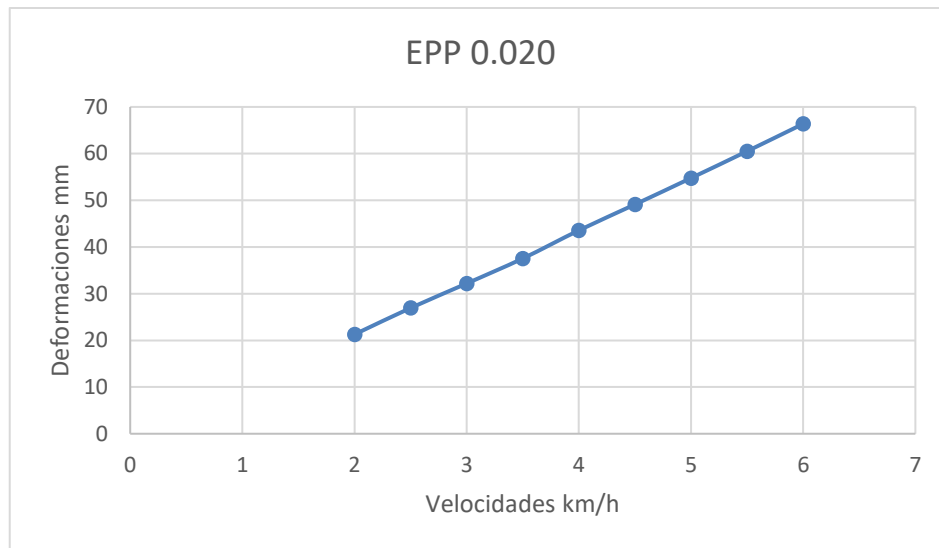
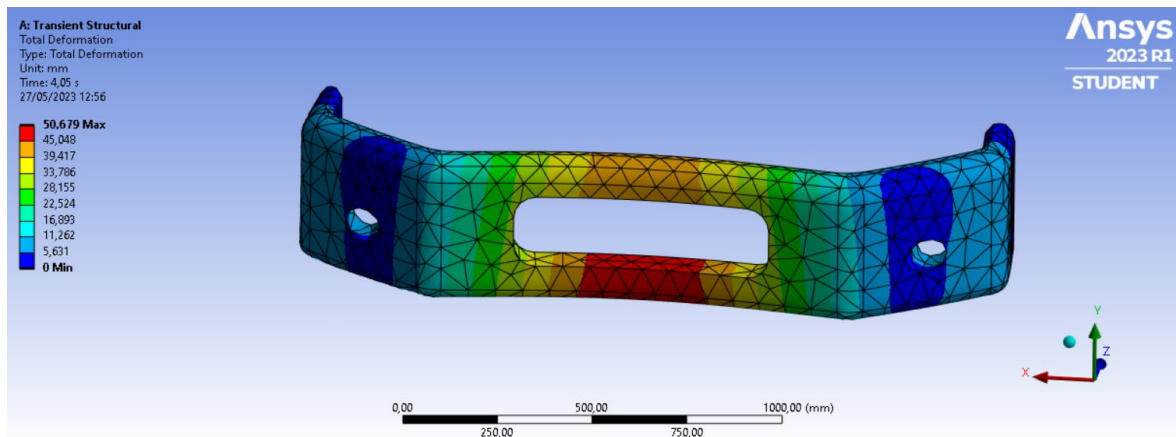


Ilustración 40: Gráfica Deformación-Velocidad del Coche que Impacta con un Material EPP 0,020

5.6.1.2 Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,030

V inicial 6 km/h

$$F = 2,1339 * 16,48889 = 35,18564$$



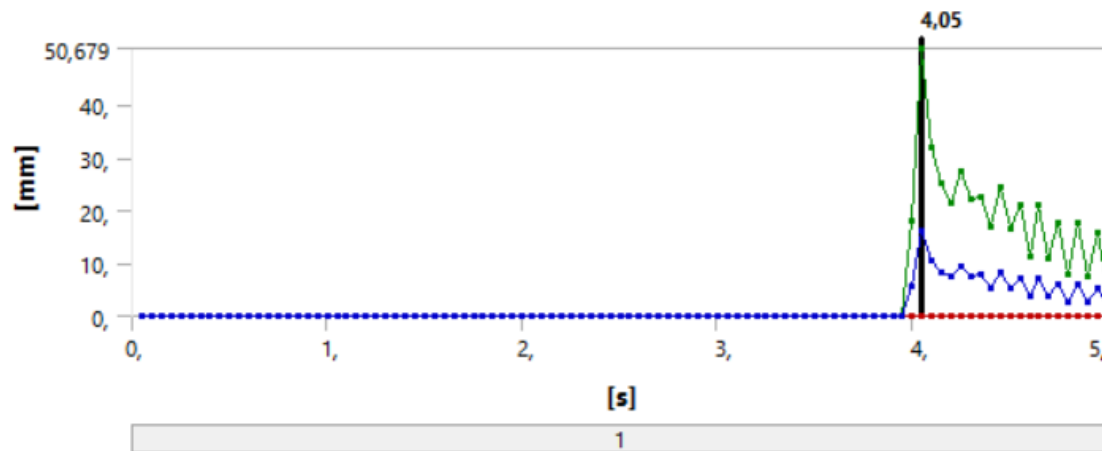


Ilustración 41: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 6 km/h

V inicial 5,5 km/h

$$F = 2,1339 \cdot 15,303 = 32,6565N$$

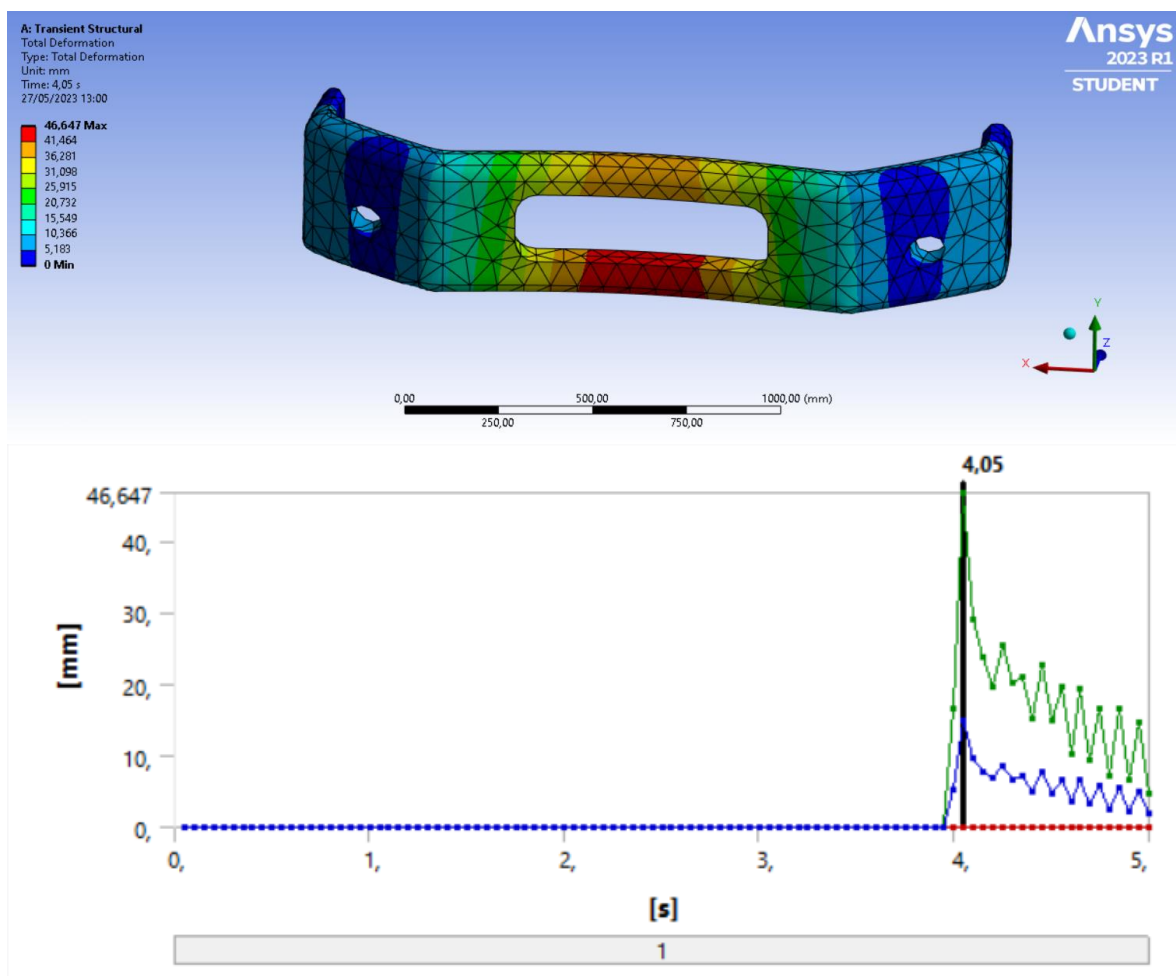


Ilustración 42: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 5,5 km/h

V inicial 5 km/h

$$F = 2,1339 * 13,98 = 29,8429N$$

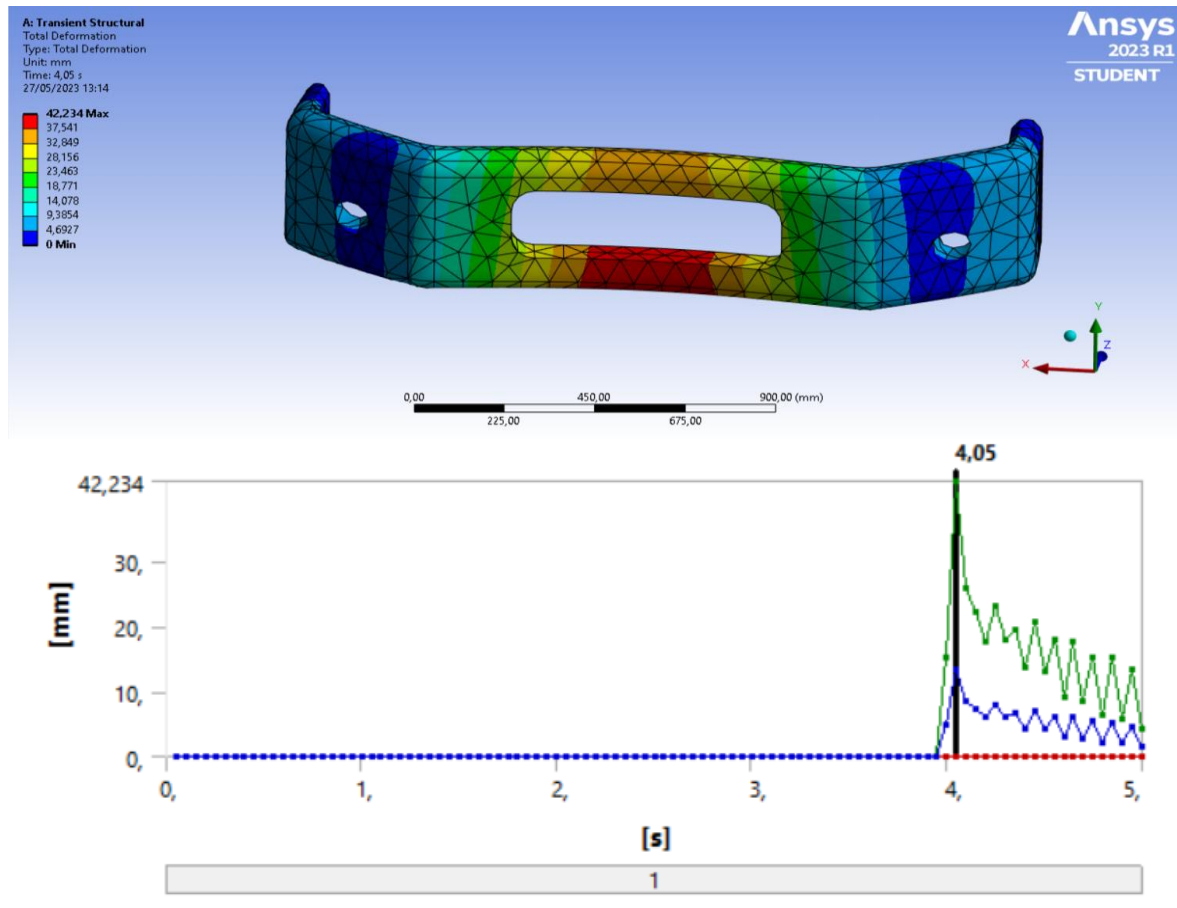
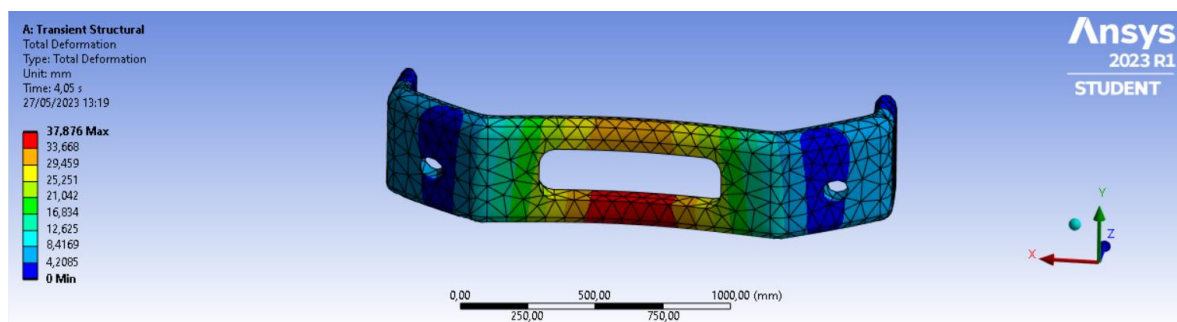


Ilustración 43: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 5 km/h

V inicial 4,5 km/h

$$F = 2,1339 * 12,66666 = 27,02N$$



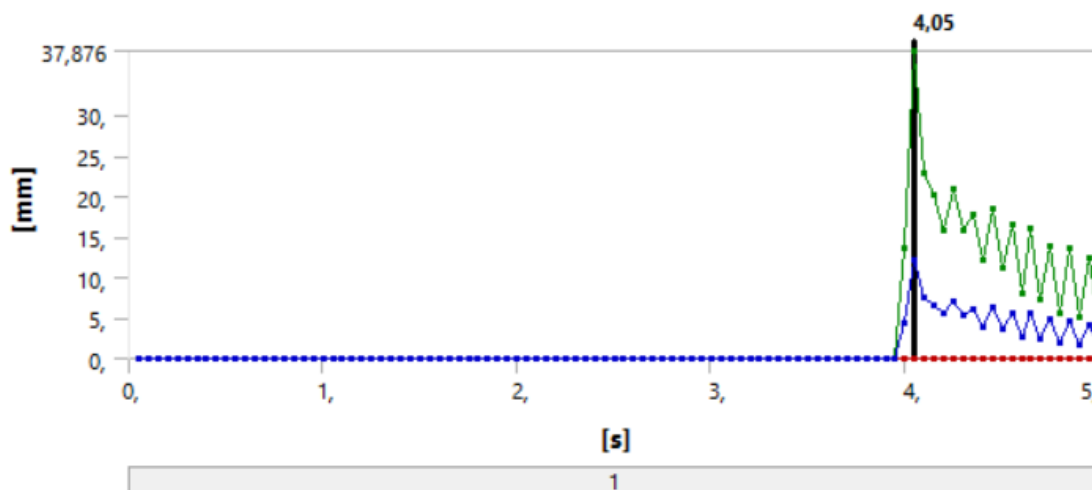


Ilustración 44: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 4,5 km/h

V inicial 4 km/h

$$F = 2,1339 * 11,3481 = 24,2158N$$

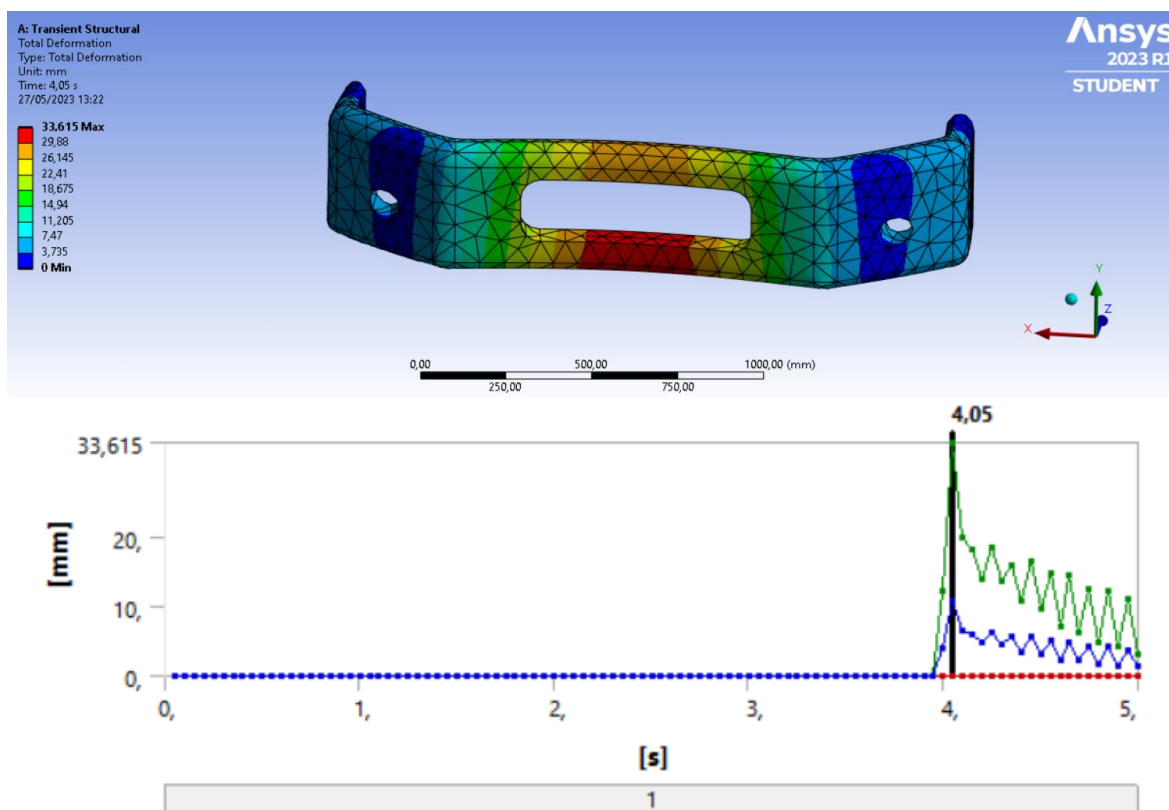


Ilustración 45: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 4 km/h

V inicial 3,5 km/h

$$F = 2,1339 \cdot 9,8962 = 21,1177N$$

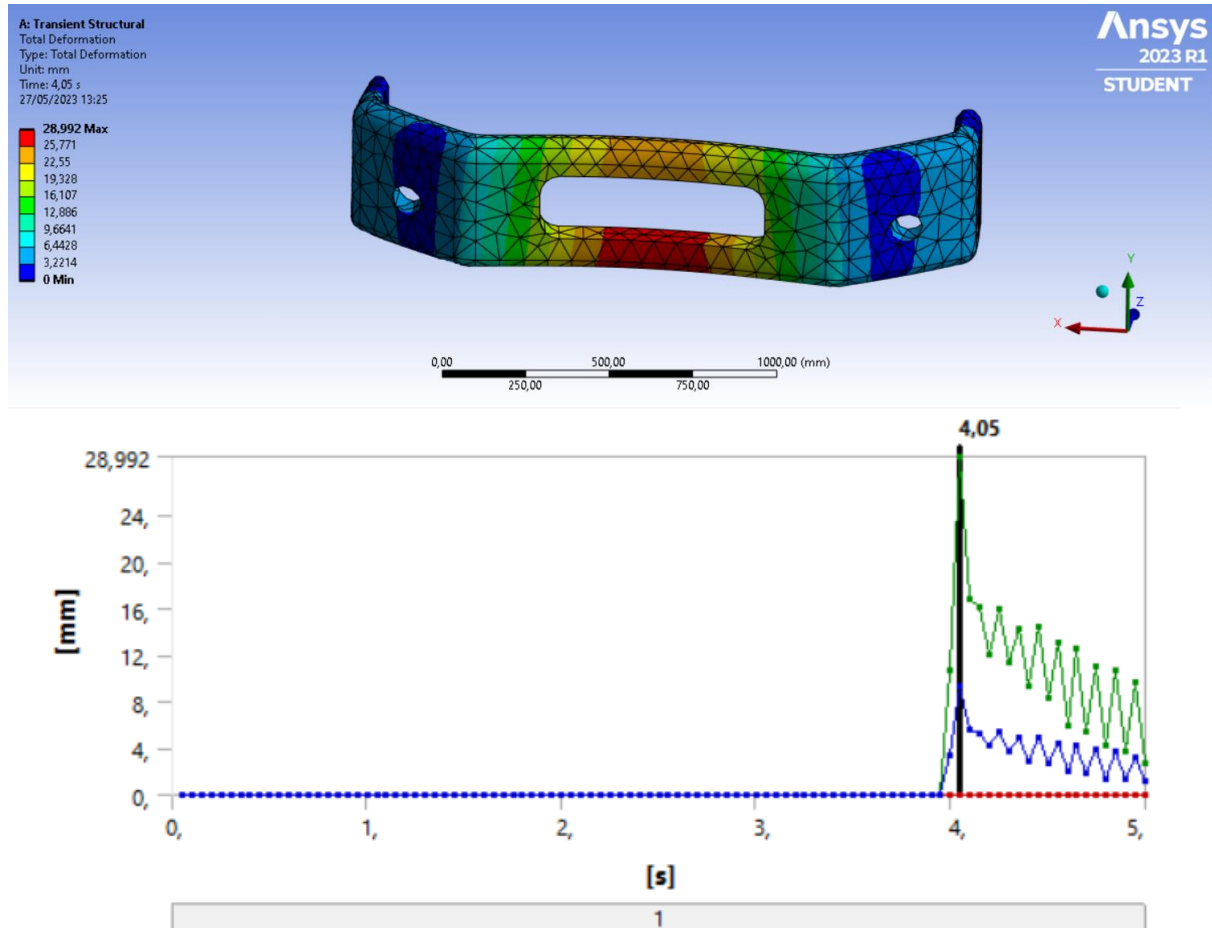


Ilustración 46: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 3,5 km/h

V inicial 3 km/h

$$F = 2,1339 \cdot 8,5777 = 18,3034N$$

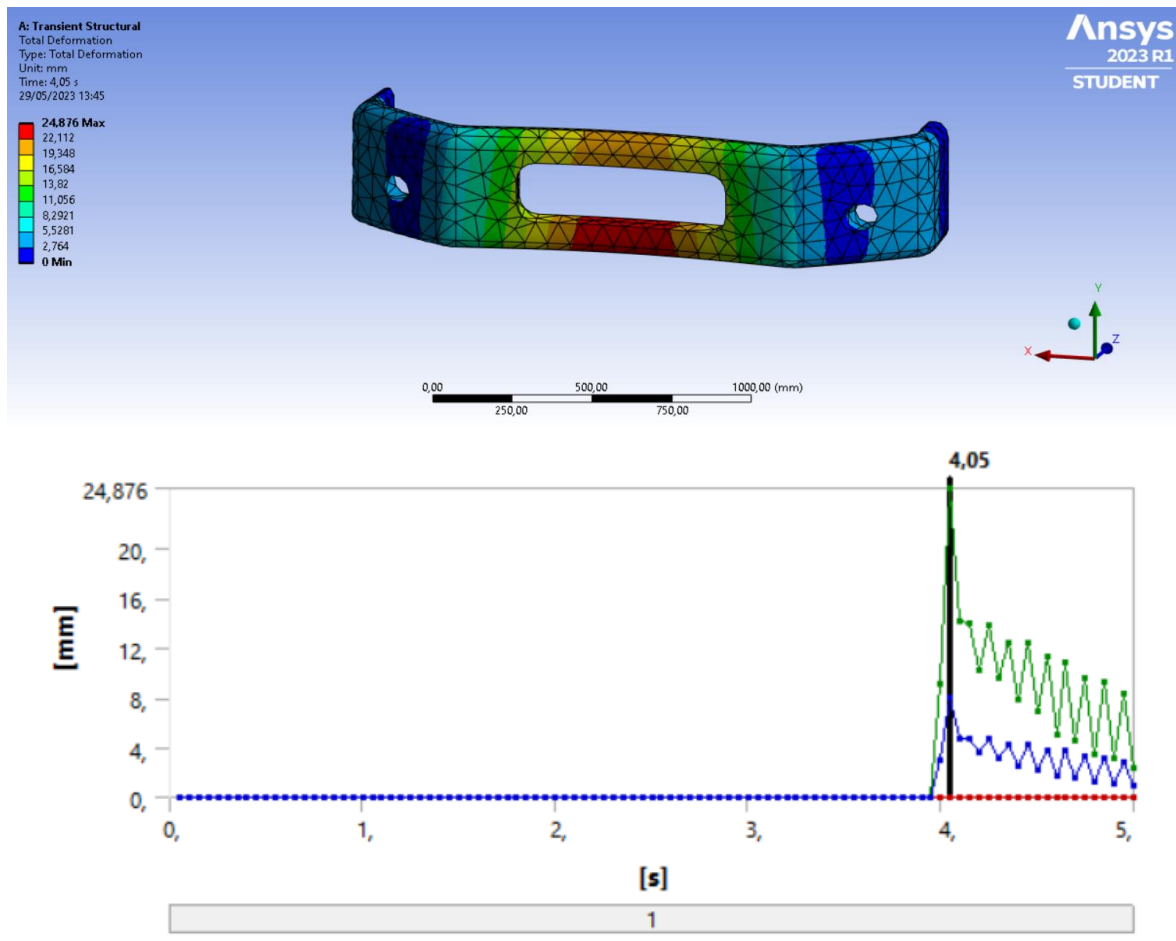
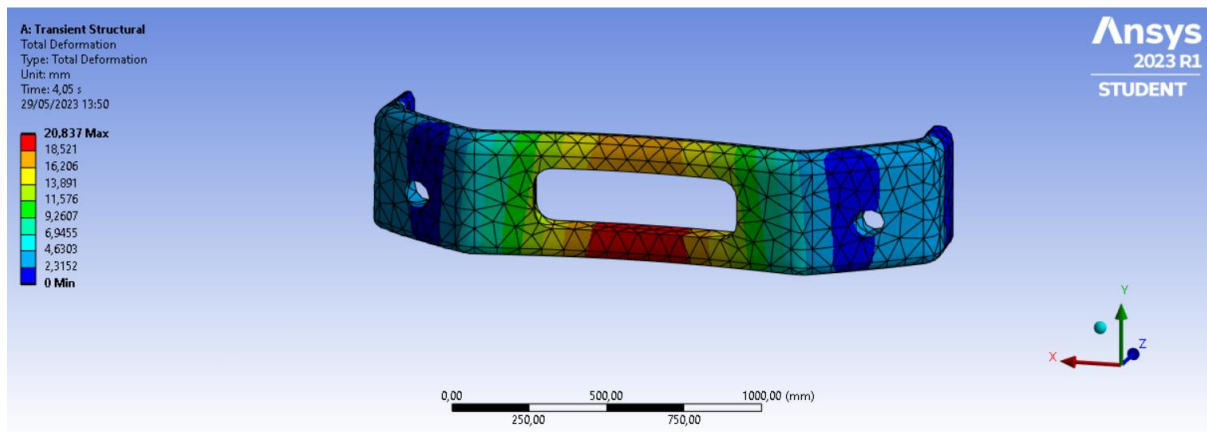


Ilustración 47: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 3 km/h

V inicial 2,5 km/h

$$F = 2,1339 \cdot 7,259 = 15,4905N$$



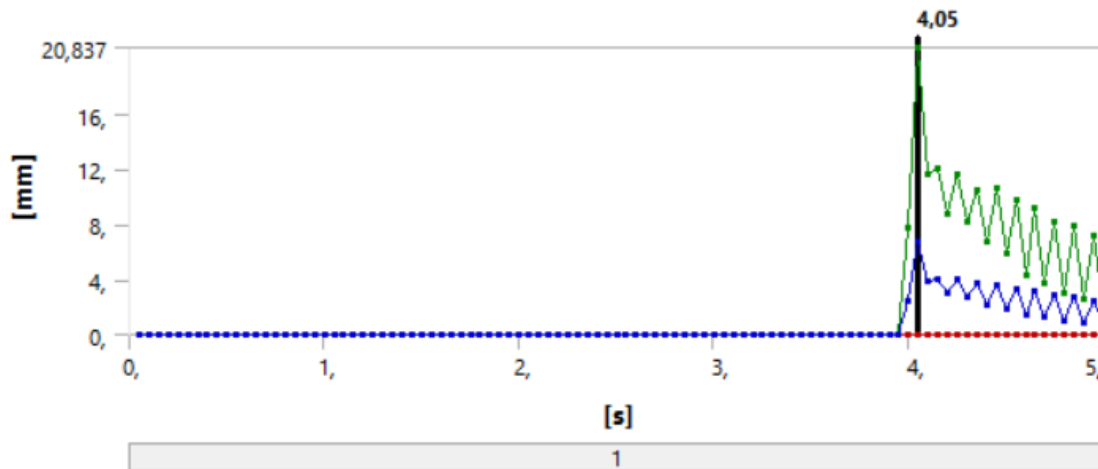


Ilustración 48: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 2,5 km/h

V inicial 2 km/h

$$F = 2,1339 * 5,807 = 12,3924N$$

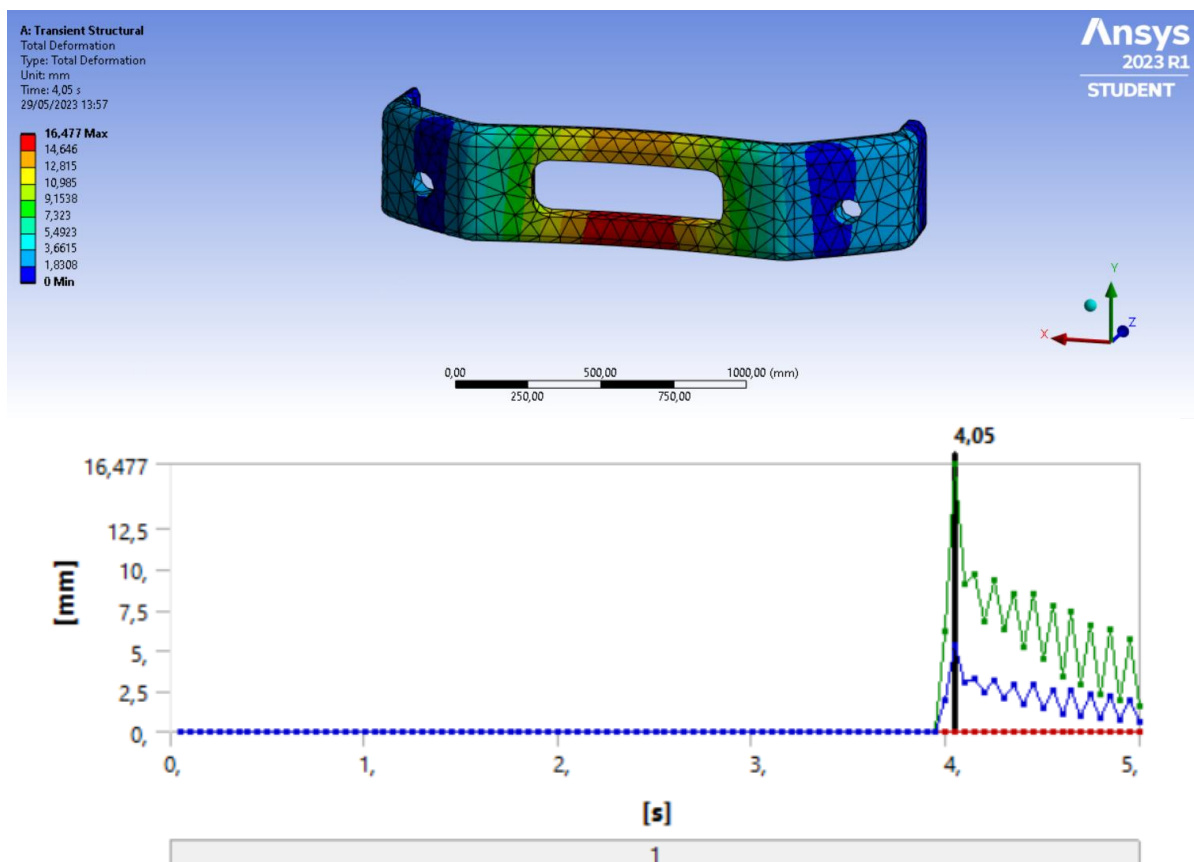


Ilustración 49: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,030 a 2 km/h

Hacemos una recogida de las deformaciones y podemos ver un incremento lineal de deformaciones, a cuanto más velocidad tiene el coche que impacta.

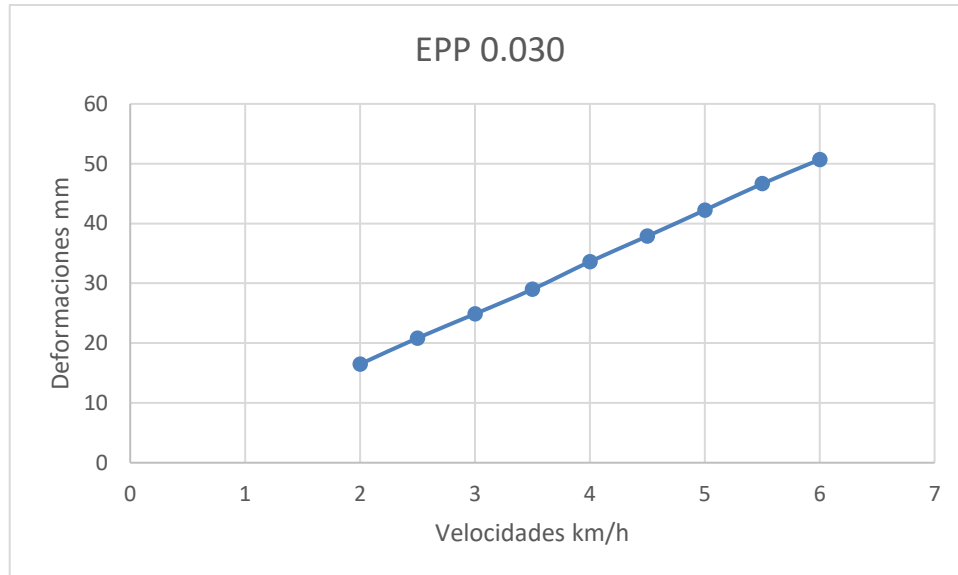
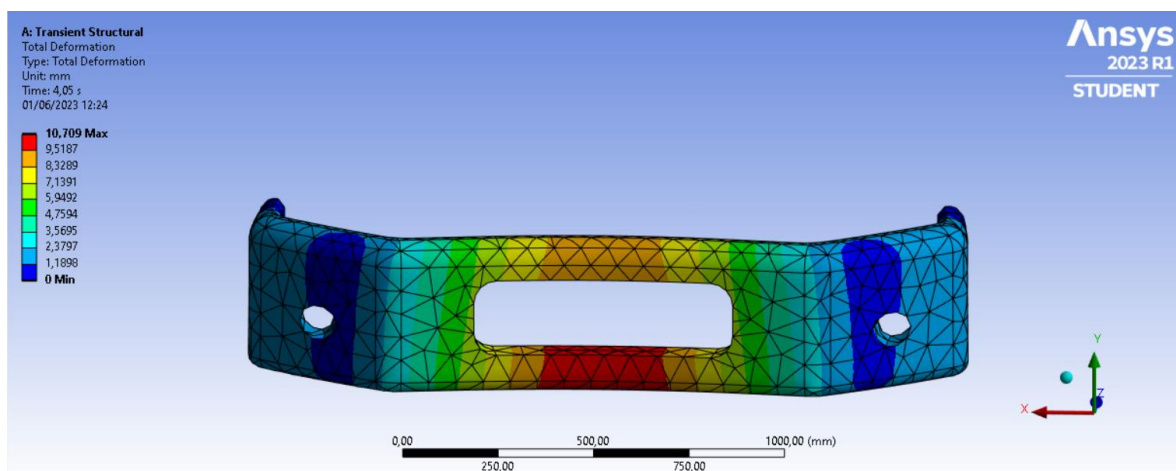


Ilustración 50: Gráfica Deformación-Velocidad del Coche que Impacta con un Material 0,030

5.6.1.3 Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,040

V inicial 6 km/h

$$F = 2,848 * 16,48 = 46,96N$$



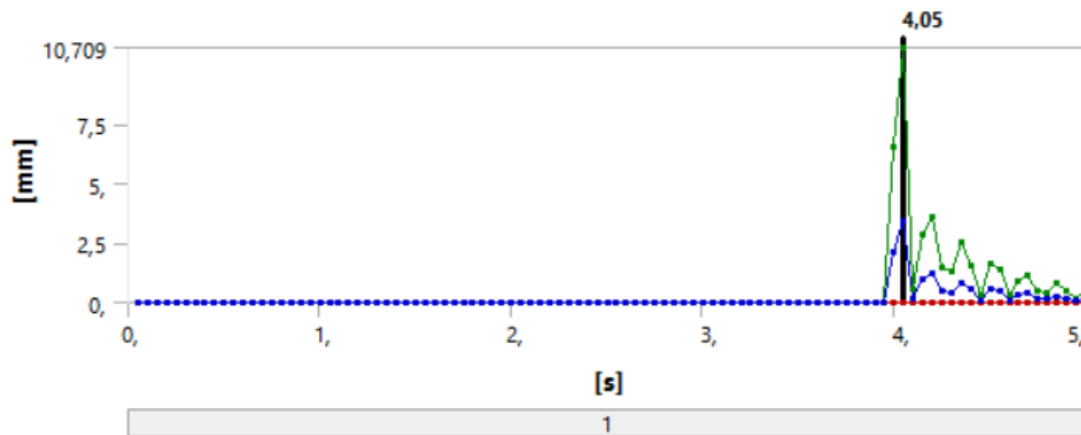
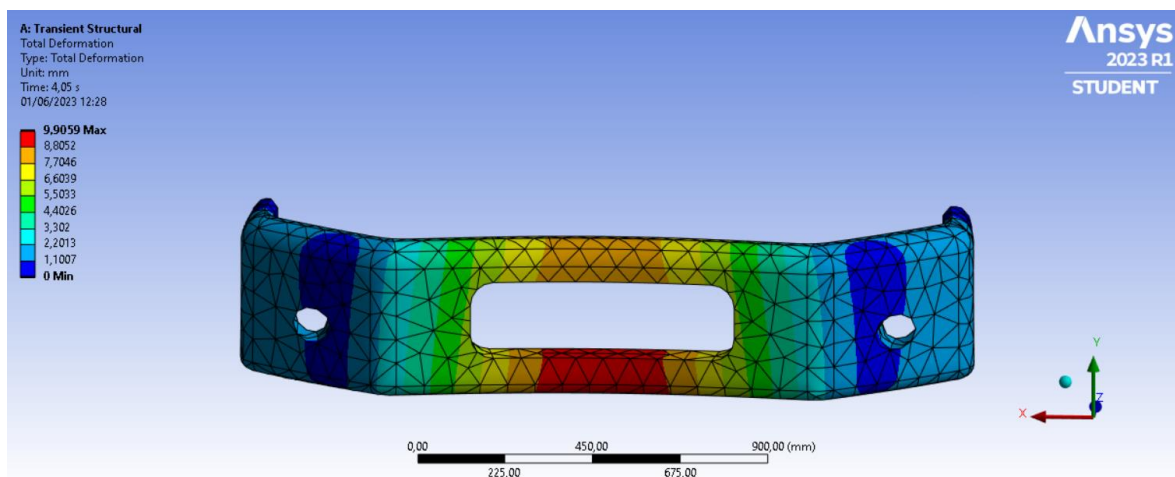


Ilustración 51: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 6 km/h

V inicial 5,5 km/h

$$F = 2,848 \cdot 15,303 = 43,58N$$



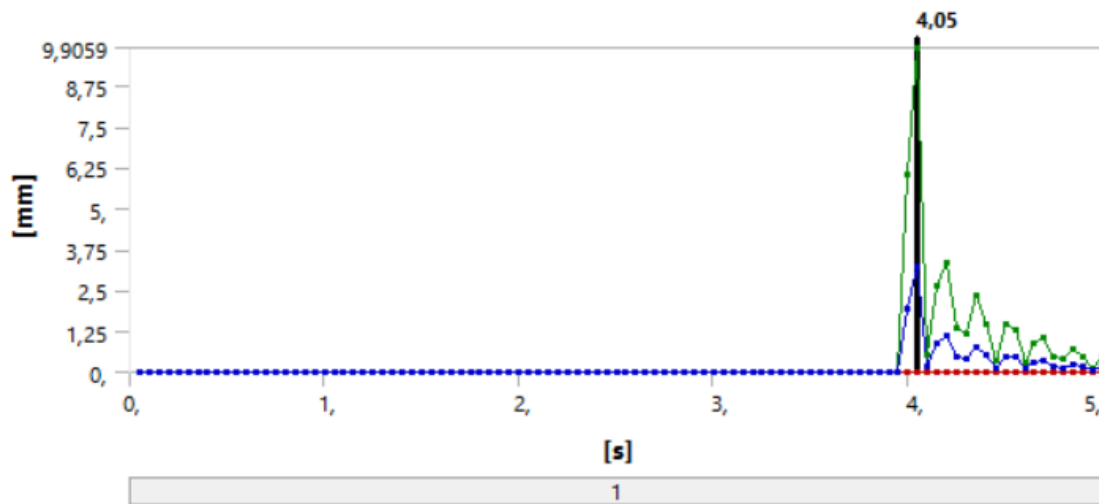
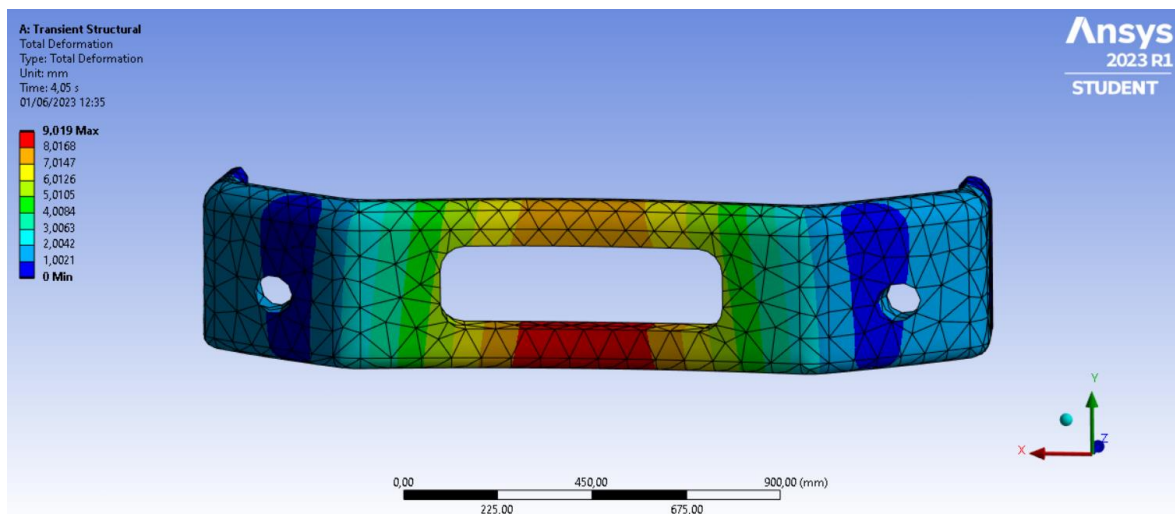


Ilustración 52: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 5,5 km/h

V inicial 5 km/h

$$F = 2,848 * 13,9851 = 39,82N$$



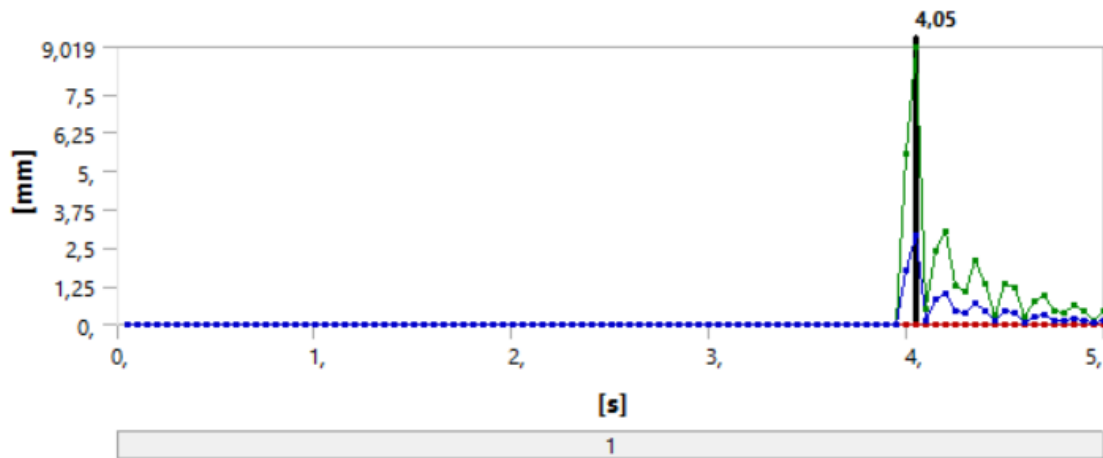


Ilustración 53: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 5 km/h

V inicial 4,5 km/h

$$F = 2,848 * 12,666 = 36,074N$$

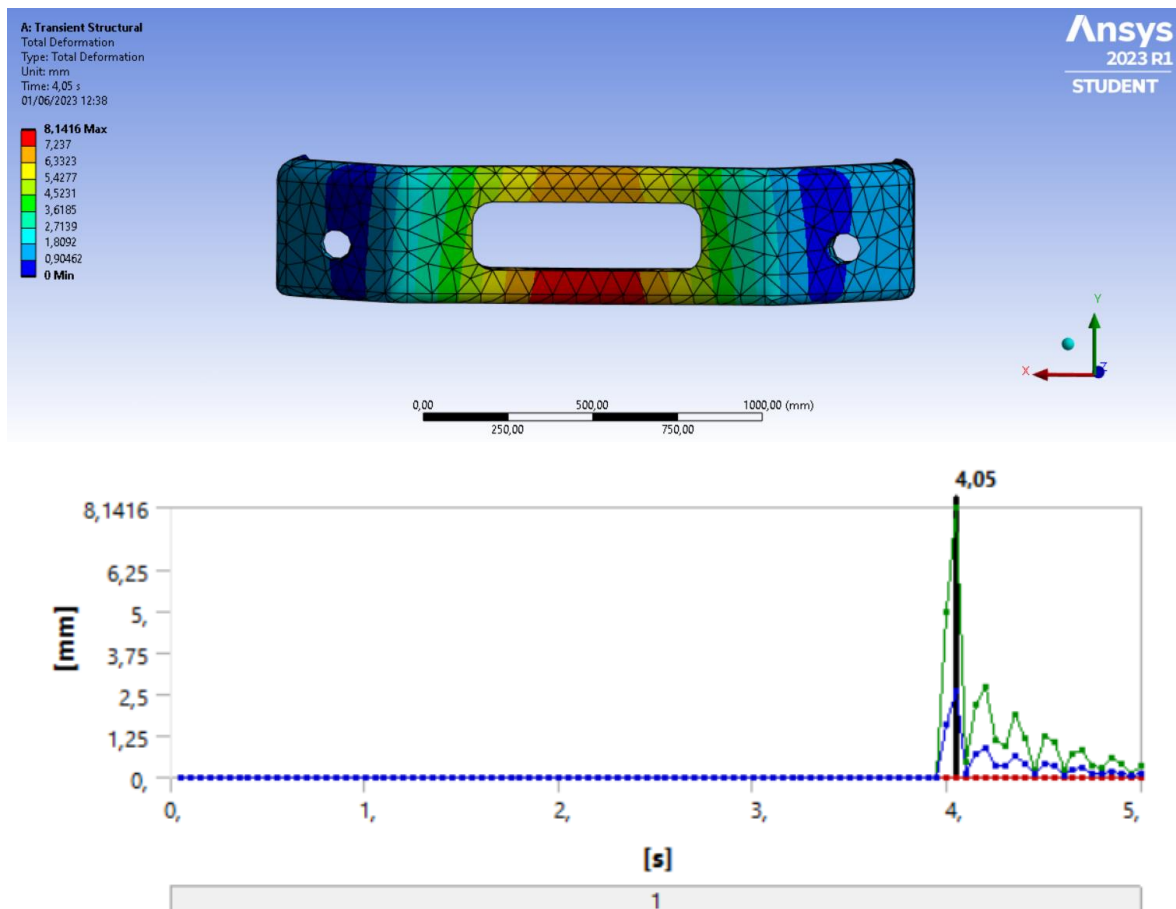


Ilustración 54: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 4,5 km/h

V inicial 4 km/h

$$F = 2,848 * 11,348 = 32,31N$$

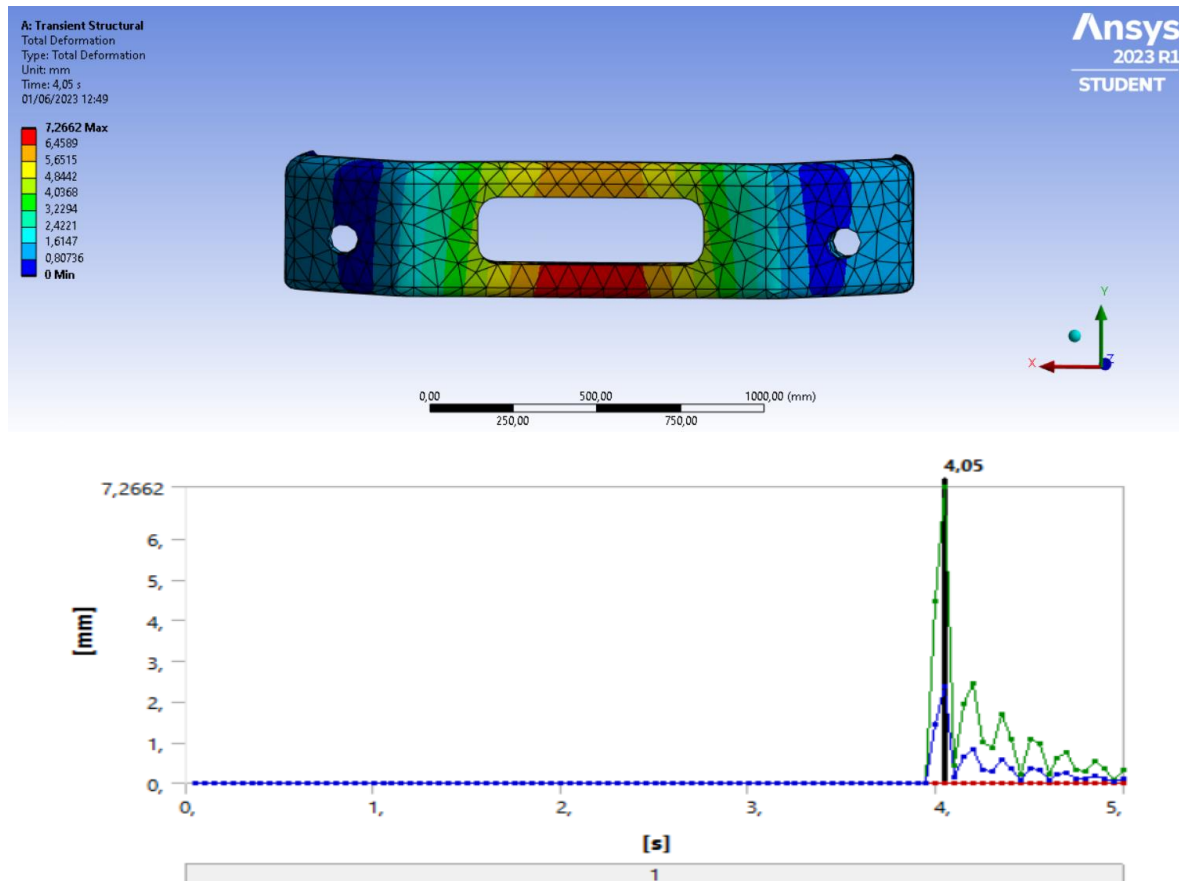


Ilustración 55: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 4 km/h

V inicial 3,5 km/h

$$F = 2,848 * 9,896 = 28,184 N$$

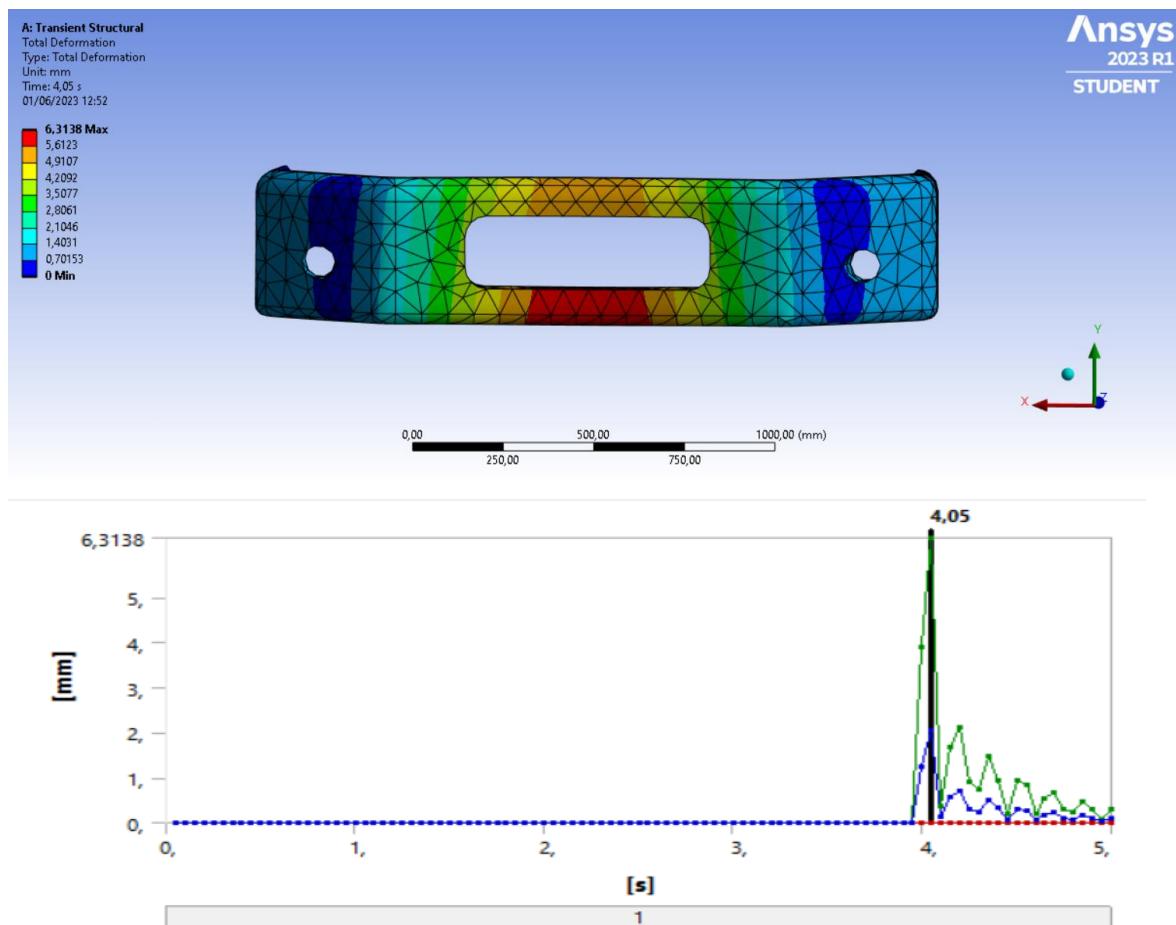
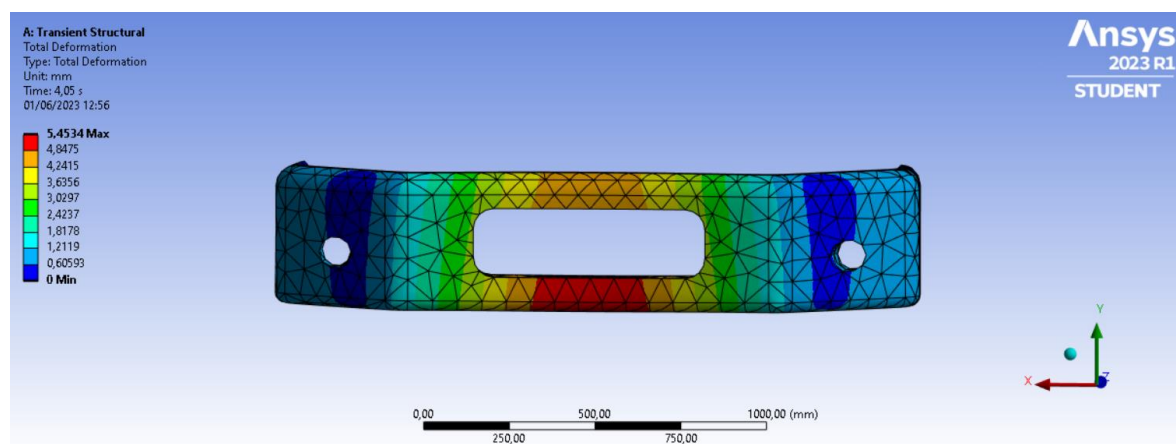


Ilustración 56: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 3,5 km/h

V inicial 3 km/h

$$F = 2,848 * 8,577 = 24,429N$$



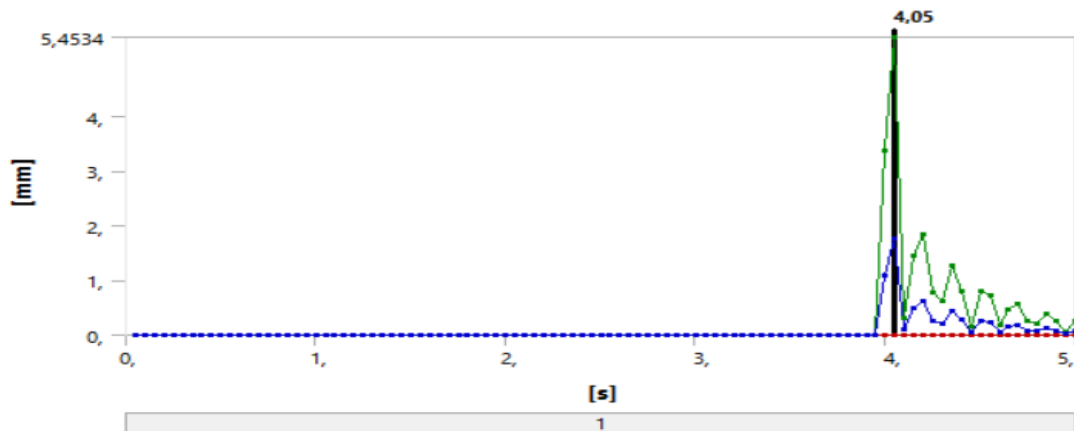


Ilustración 57: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 3 km/h

V inicial 2,5 km/h

$$F = 2,848 \cdot 7,25 = 20,674N$$

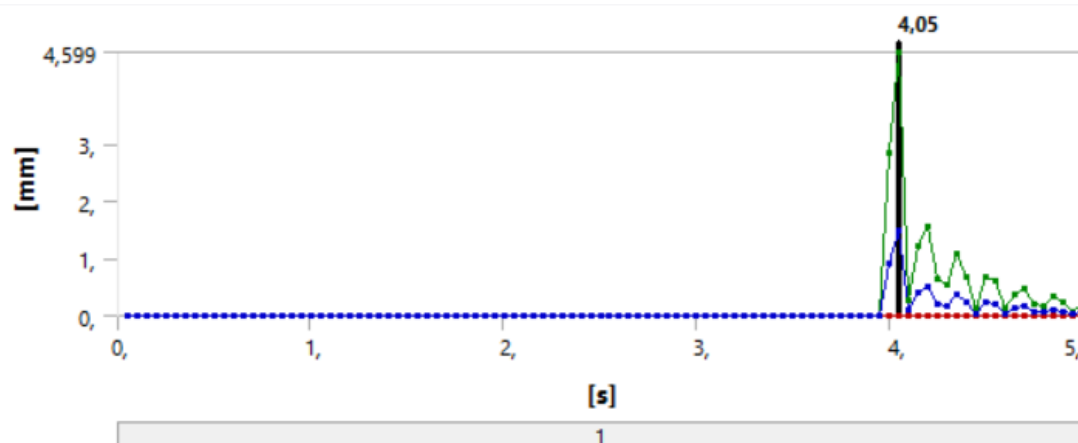
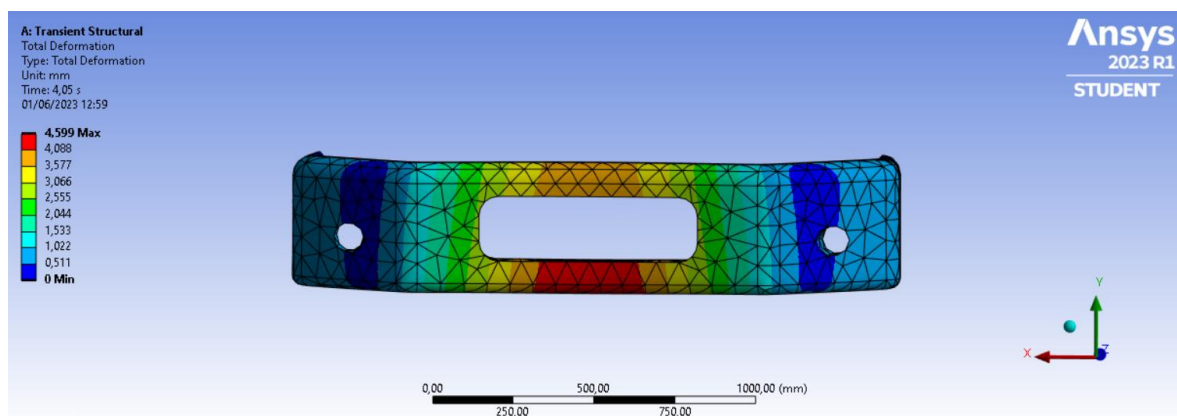


Ilustración 58: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 2,5 km/h

V inicial 2 km/h

$$F = 2,848 * 5,807 = 16,539N$$

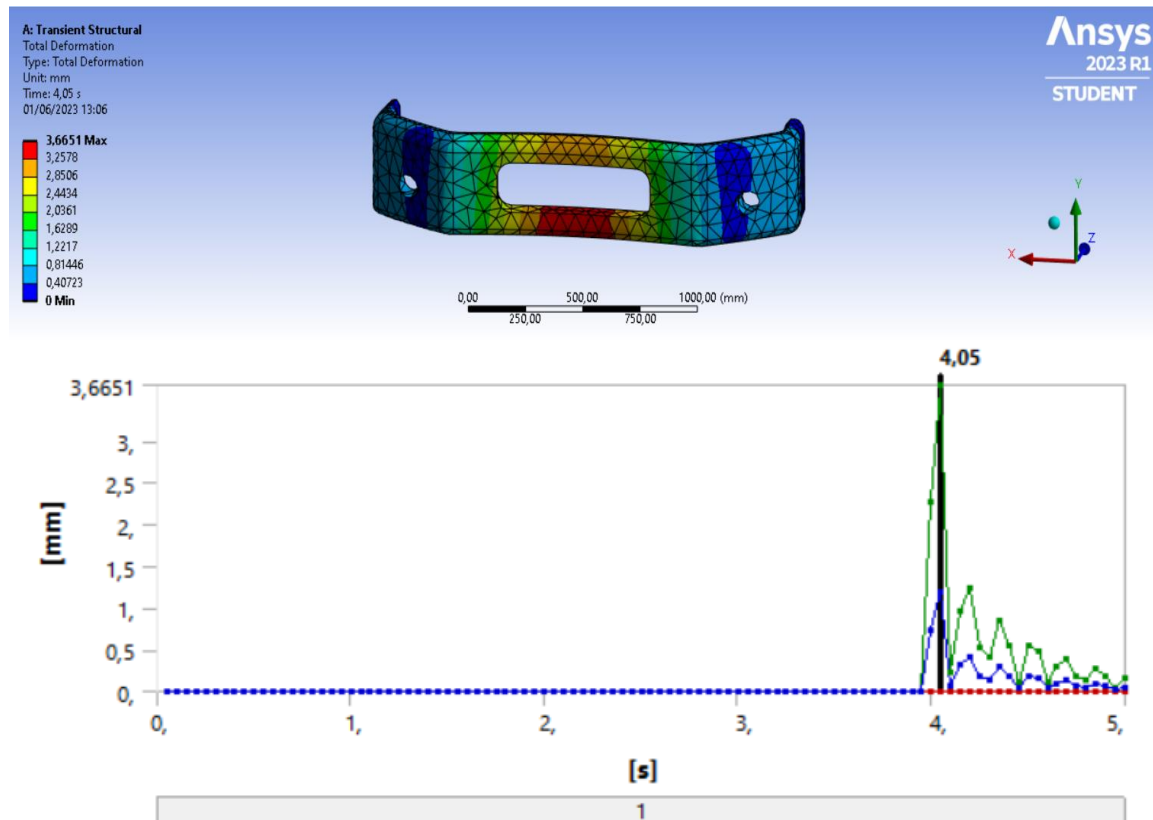


Ilustración 59: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,040 a 2 km/h

Hacemos una recogida de las deformaciones y podemos ver un incremento lineal de deformaciones, a cuanto más velocidad tiene el coche que impacta.

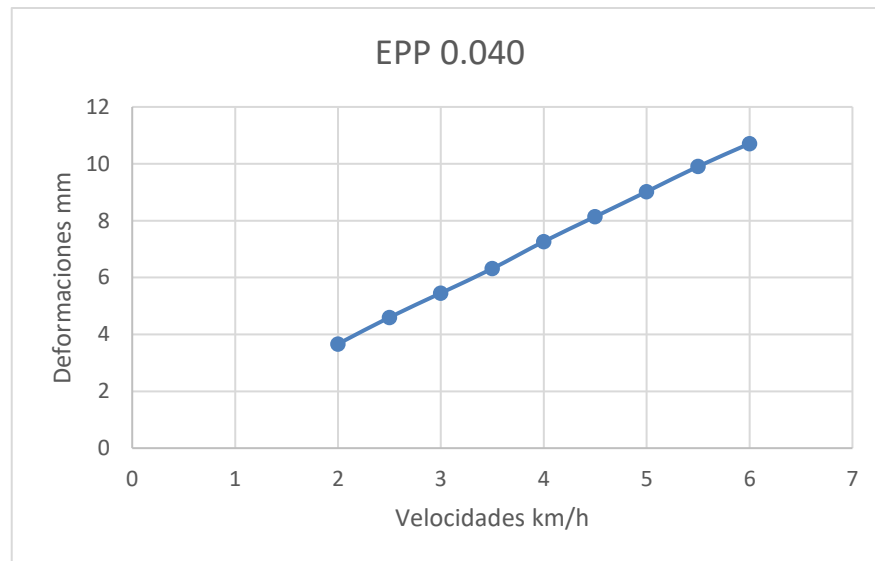
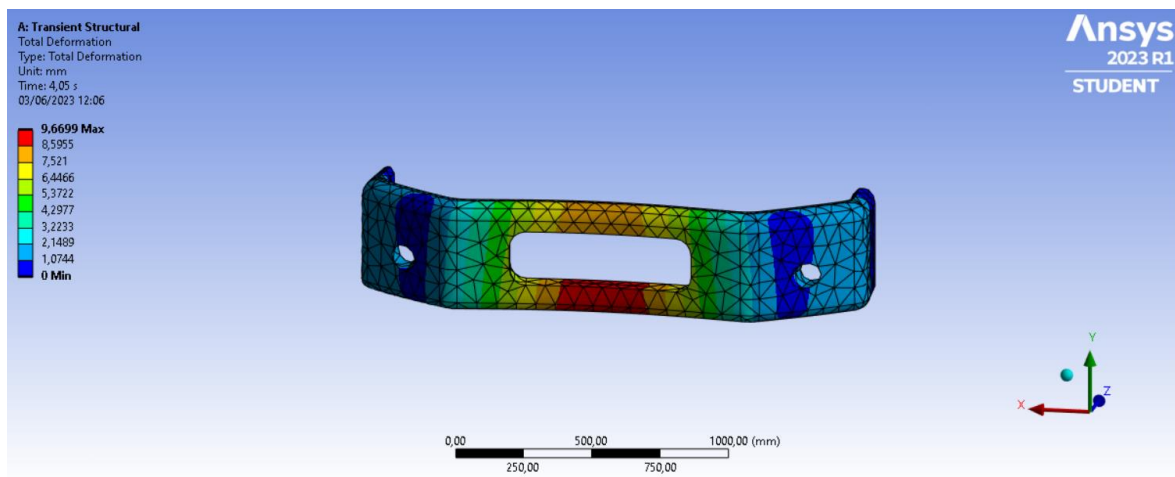


Ilustración 60: Gráfica Deformación-Velocidad del Coche que Impacta con un Material 0,040

5.6.1.4 Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,060

V inicial 6 km/h

$$F = 4,275 * 16,48 = 70,49N$$



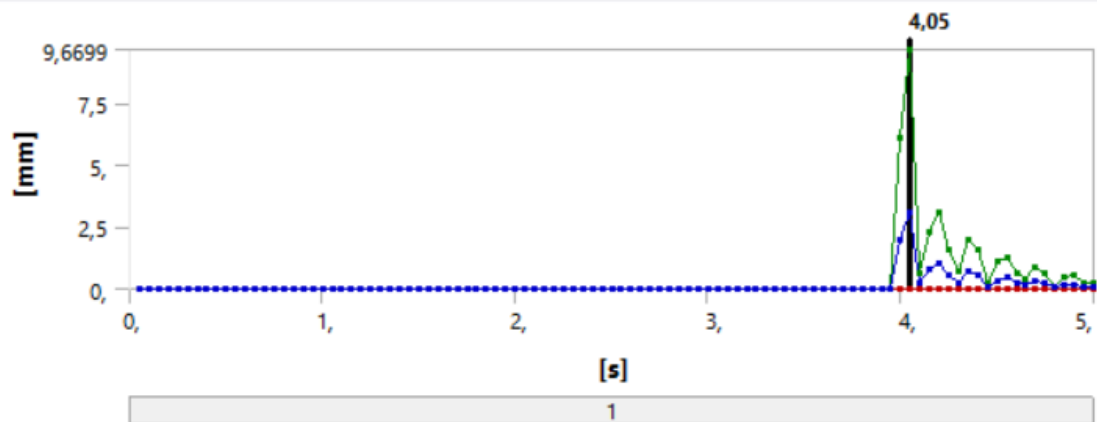


Ilustración 61: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 6 km/h

V inicial 5,5 km/h

$$F = 4,275 * 15,303 = 65,4233N$$

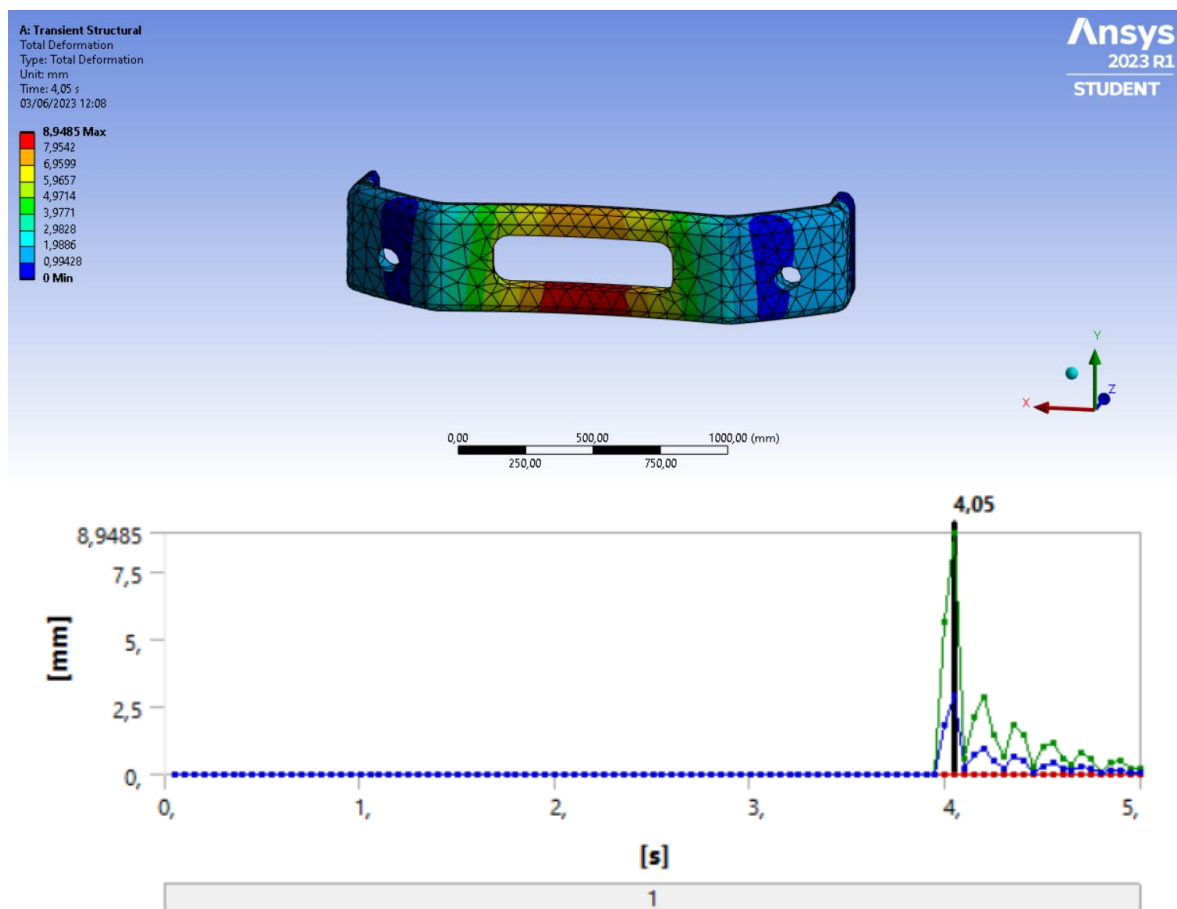


Ilustración 62: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 5,5 km/h

V inicial 5 km/h

$$F = 4,275 * 13,9851 = 59,786N$$

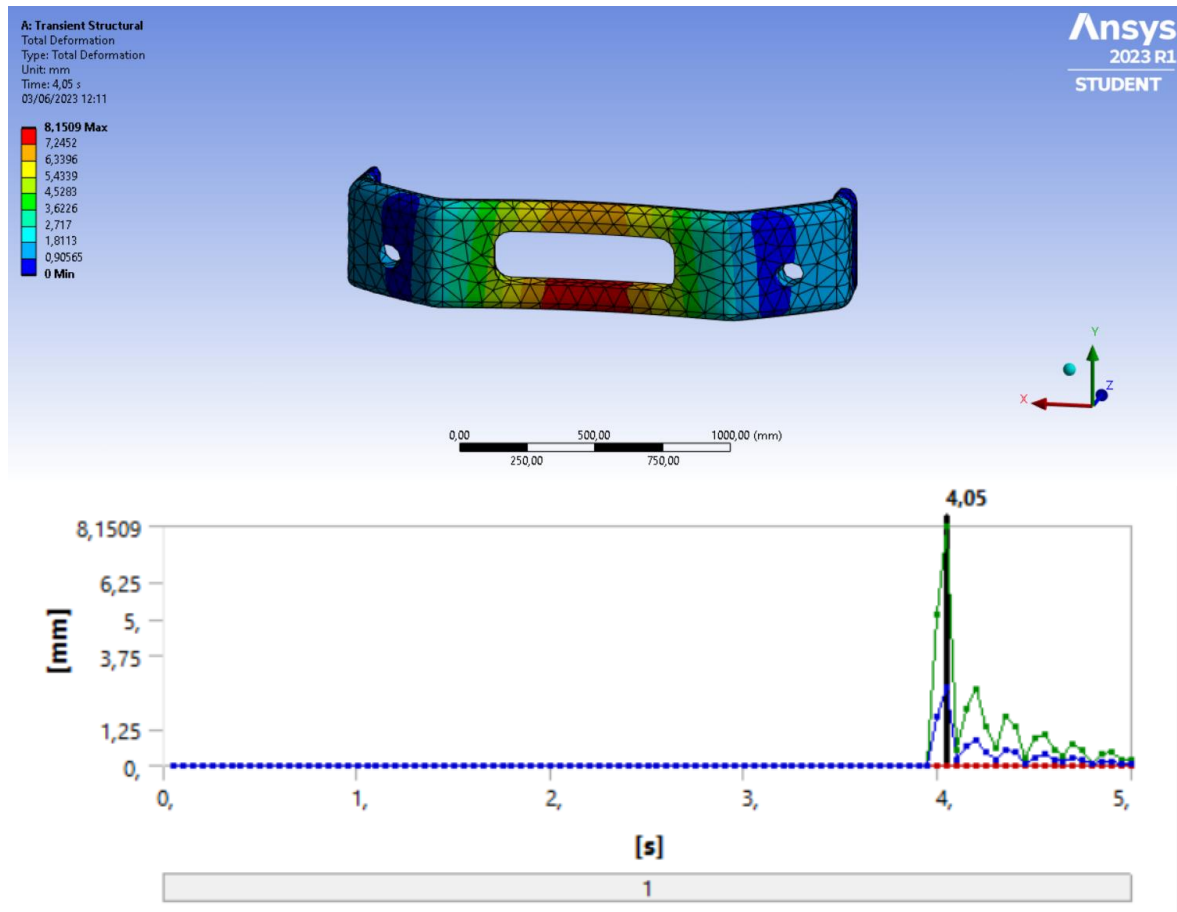


Ilustración 63: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 5 km/h

V inicial 4,5 km/h

$$F = 4,275 * 12,666 = 54,15N$$

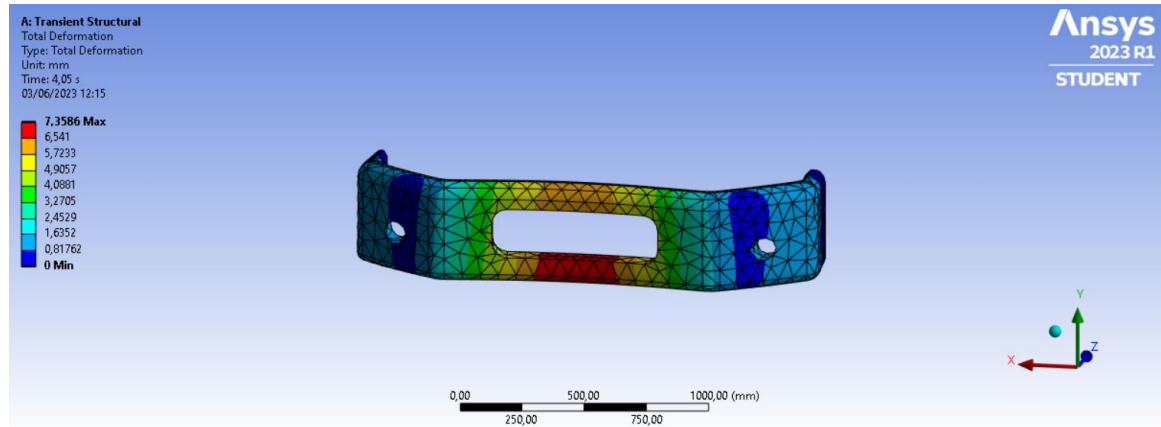


Ilustración 64: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 4,5 km/h

V inicial 4 km/h

$$F = 4,275 * 11,348 = 48,513N$$

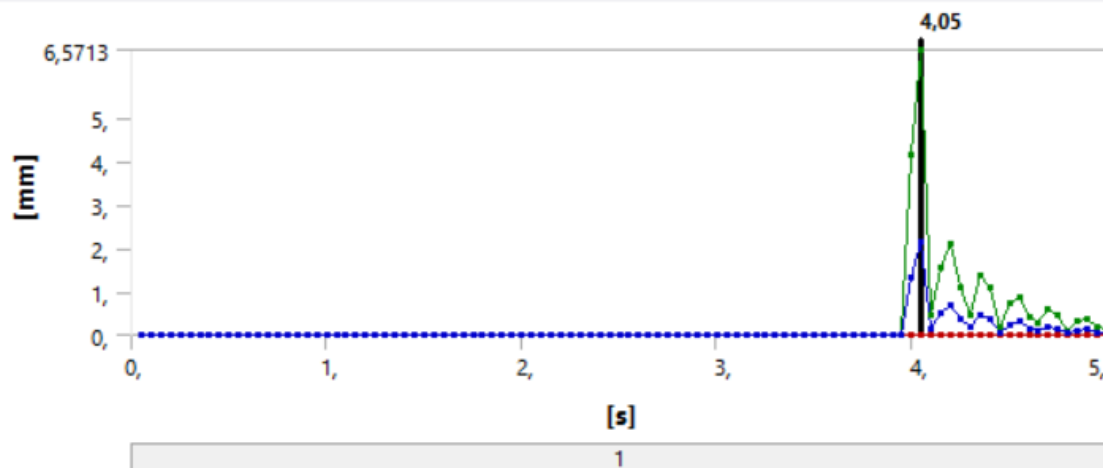
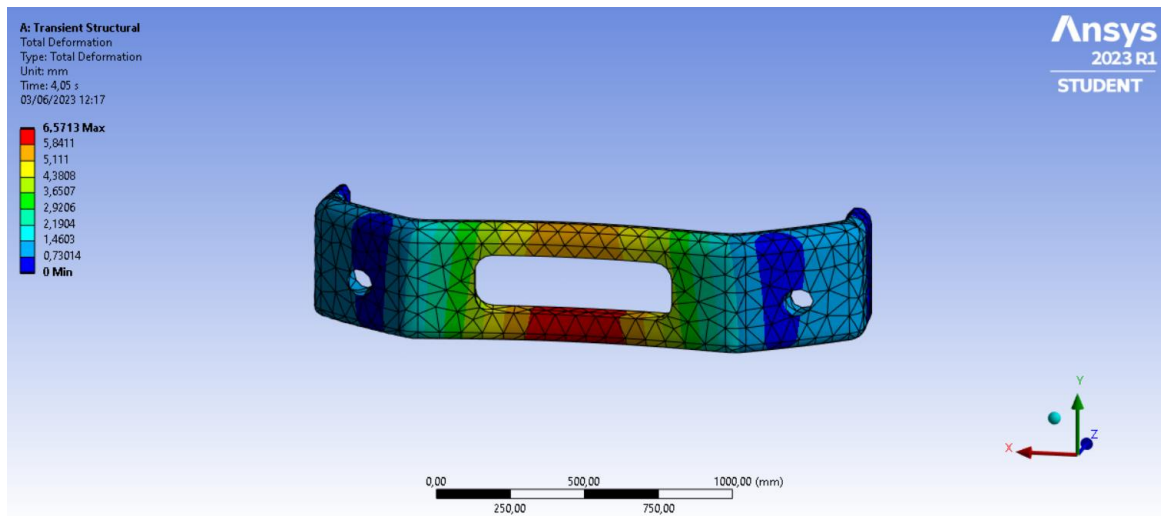


Ilustración 65: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 4 km/h

V inicial 3,5 km/h

$$F = 4,275 \cdot 9,896 = 42,306 \text{ N}$$

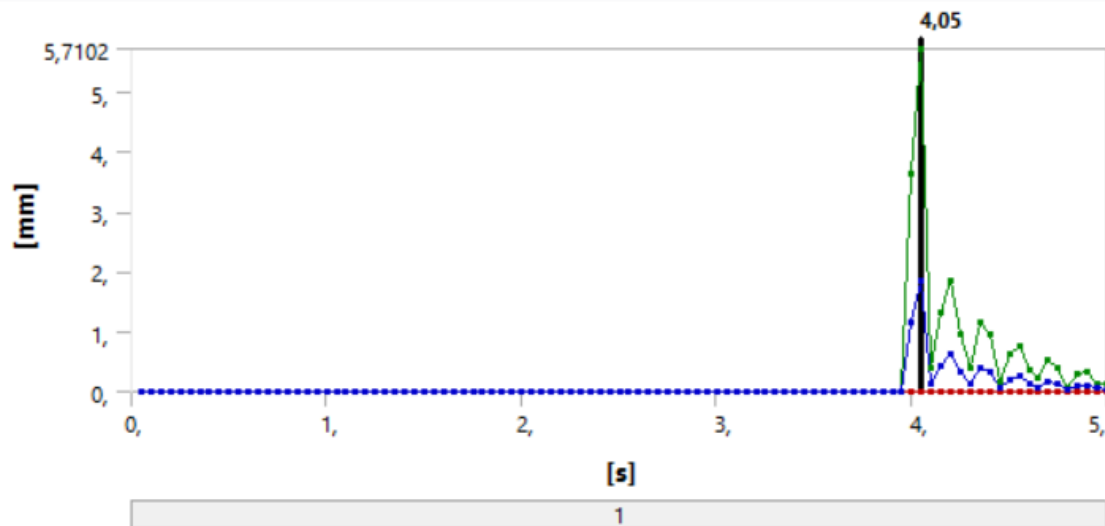
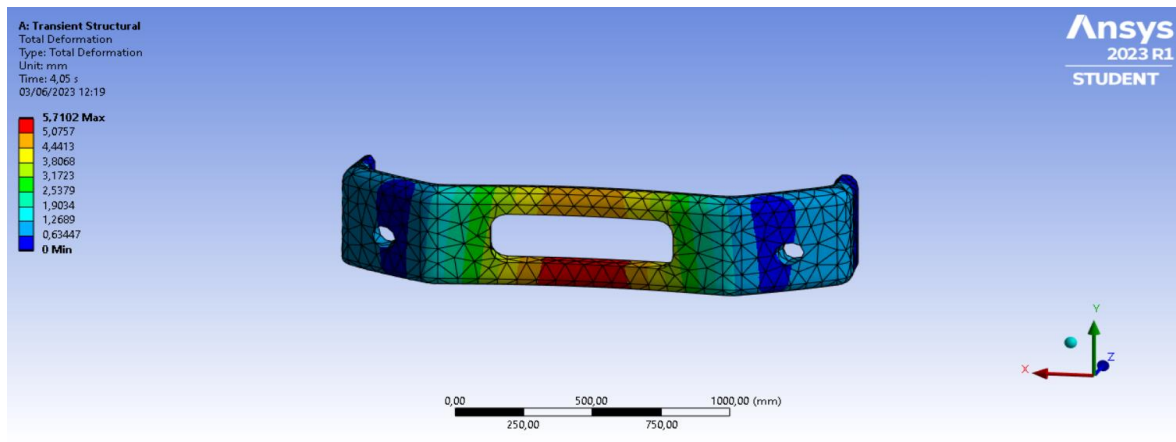
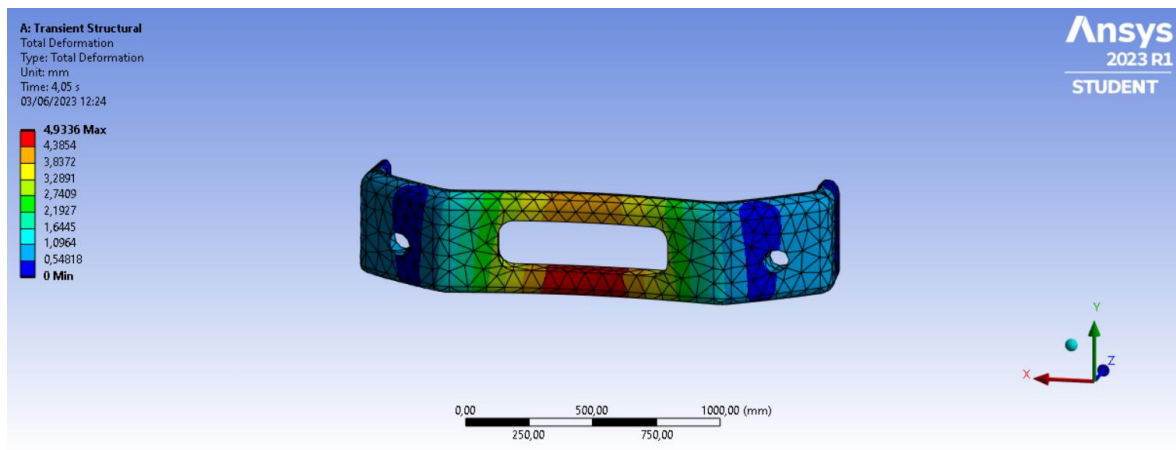


Ilustración 66: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 3,5 km/h

V inicial 3 km/h

$$F = 4,275 * 8,577 = 36,67N$$



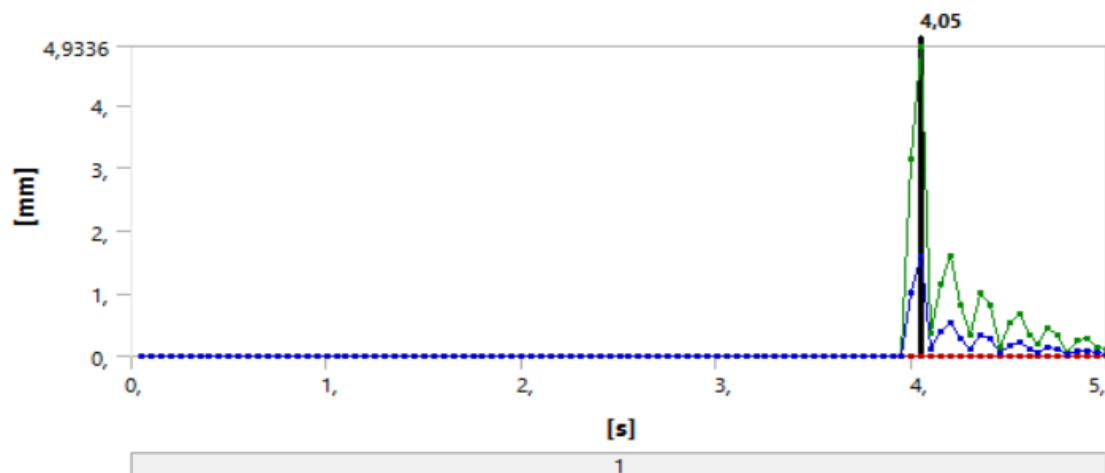


Ilustración 67: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 3 km/h

V inicial 2,5 km/h

$$F = 4,275 * 7,25 = 31,0333N$$

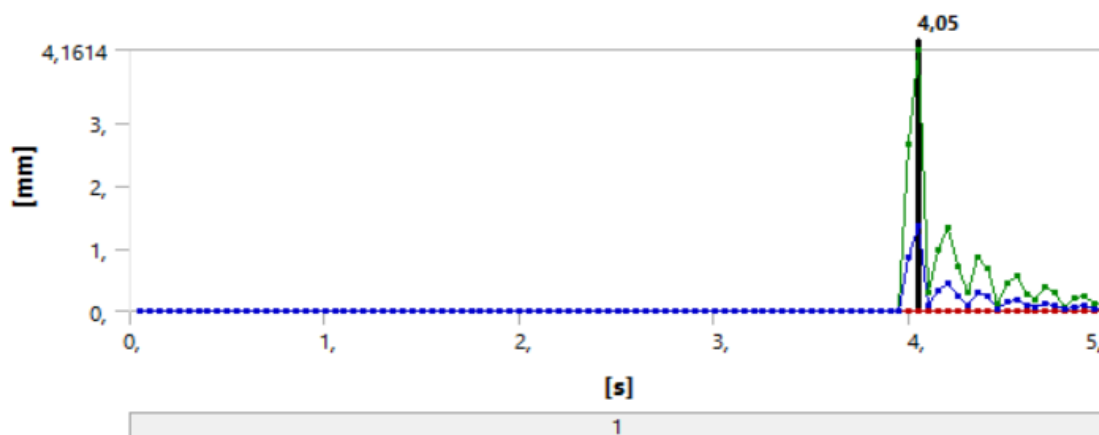
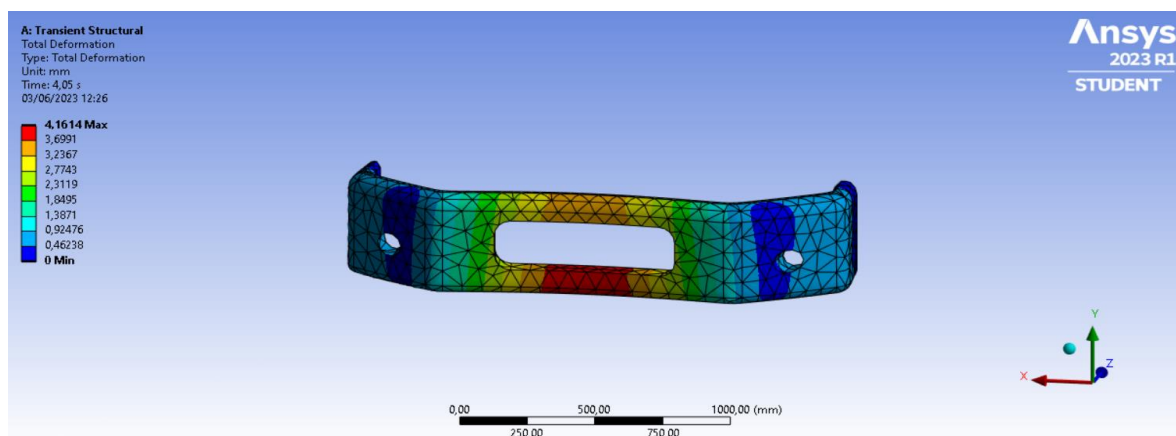


Ilustración 68: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 2,5 km/h

V inicial 2 km/h

$$F = 4,275 * 5,807 = 24,826N$$

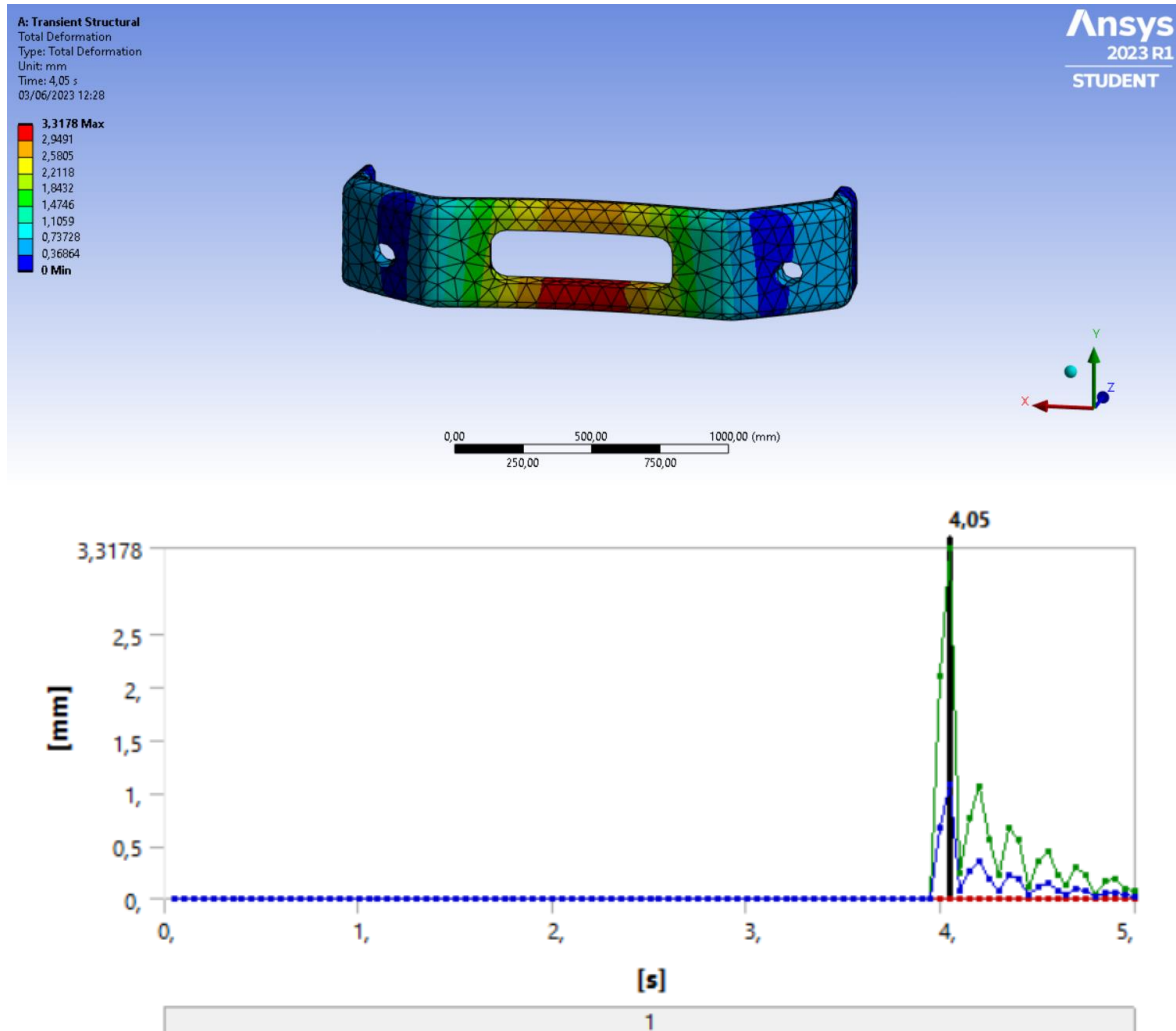


Ilustración 69: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material EPP 0,060 a 2 km/h

Hacemos una recogida de las deformaciones y podemos ver un incremento lineal de deformaciones, a cuanto más velocidad tiene el coche que impacta.

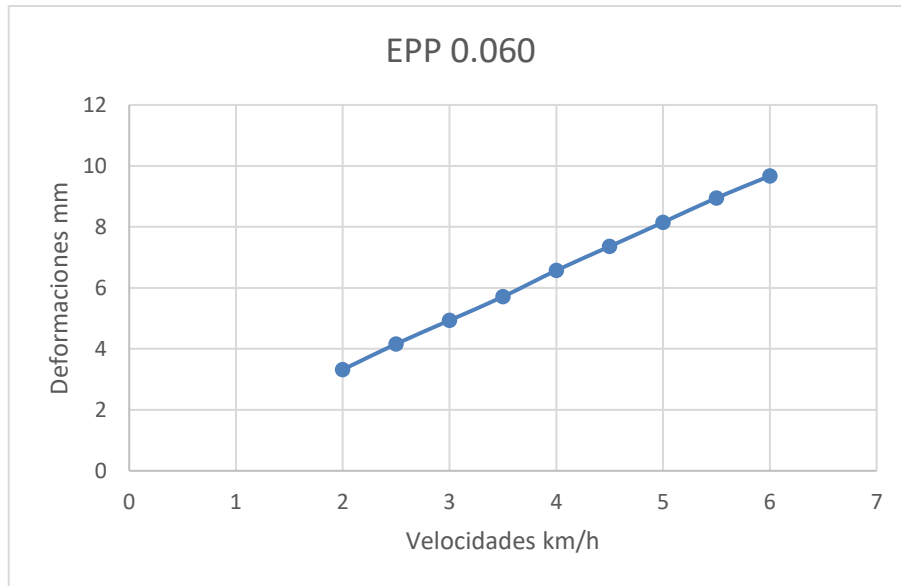


Ilustración 70: Gráfica Deformación-Velocidad del Coche que Impacta con un Material 0,060

Tras analizar el EPP, me gustaría analizar otros de los materiales que conforman los parachoques. Por tanto analizaré el material TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded). Este material debido al prototipo presenta una elevada masa haciendo que las fuerzas que aparezcan sean tan elevadas que favorecerán la aparición de roturas muy por debajo de 6 km/h. Por tanto, será necesario aplicar un factor de corrección. Buscando en Internet los pesos típicos de las carcasas de parachoques hemos encontrado una carcasa de poliuretano de peso 3,676kg[39]. Sabiendo que el peso del poliuretano en el dispositivo es de 74,85, se realizará la siguiente división y suponiendo que el comportamiento presentará una variación lineal.

$$\frac{74,85}{3,676} = 20,3723$$

Este factor de corrección se dividirá a las fuerzas que se obtengan en las sucesivas velocidades.

5.6.1.5 Elastómero Termoplástico Vulcanizado (TPV)

V inicial 6 km/h

$$F = 89,817 * 16,48 / 20,3723 = 72,6957N$$

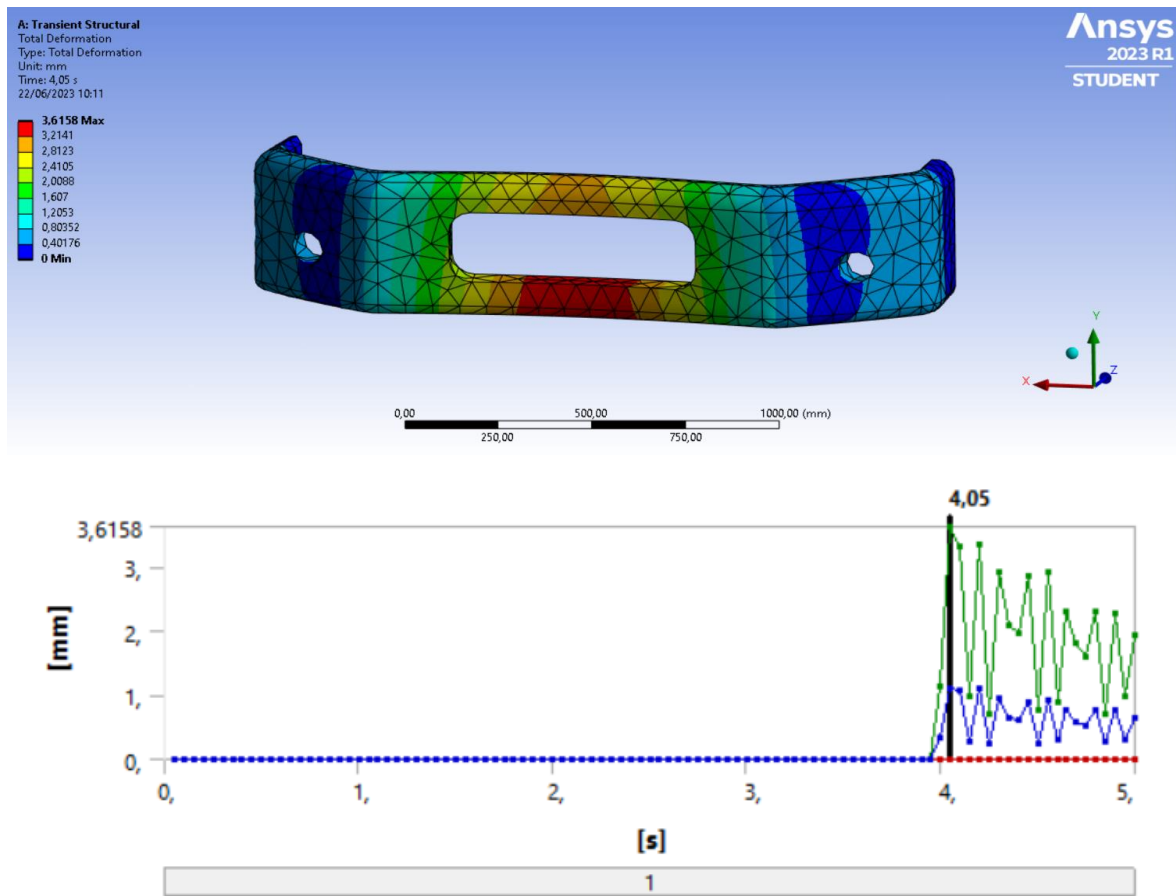
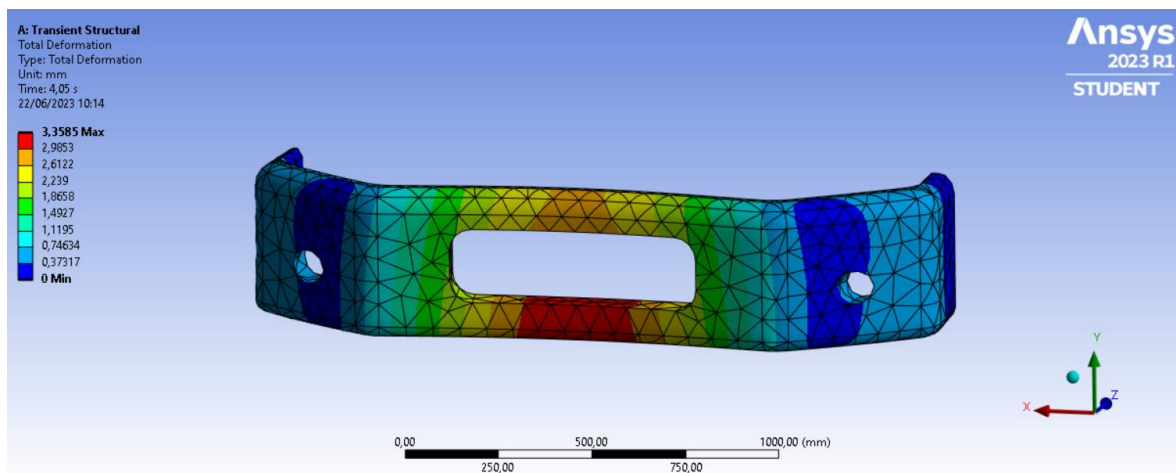


Ilustración 71: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 6 km/h

V inicial 5,5 km/h

$$F = 89,817 \cdot 15,303 / 20,3723 = 67,47N$$



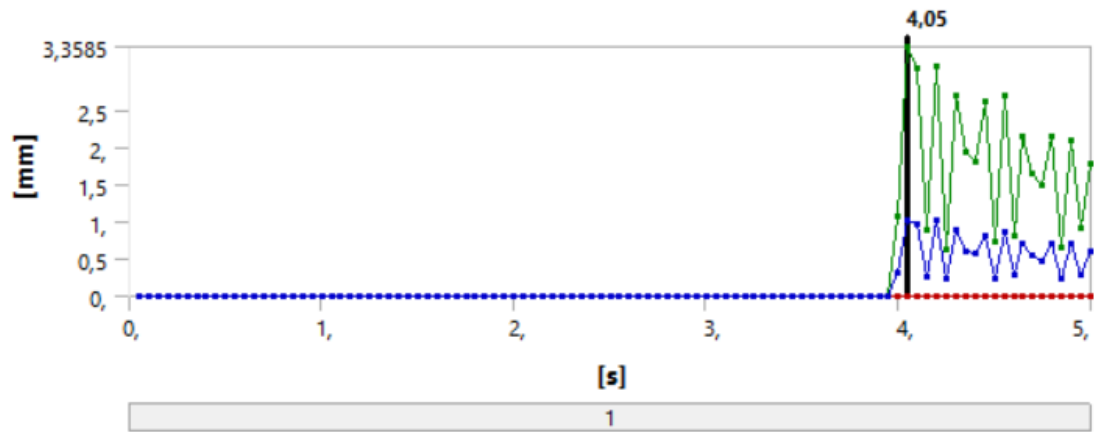


Ilustración 72: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 5,5 km/h

V inicial 5 km/h

$$F = 89,817 \cdot 13,985 / 20,3723 = 61,6575N$$

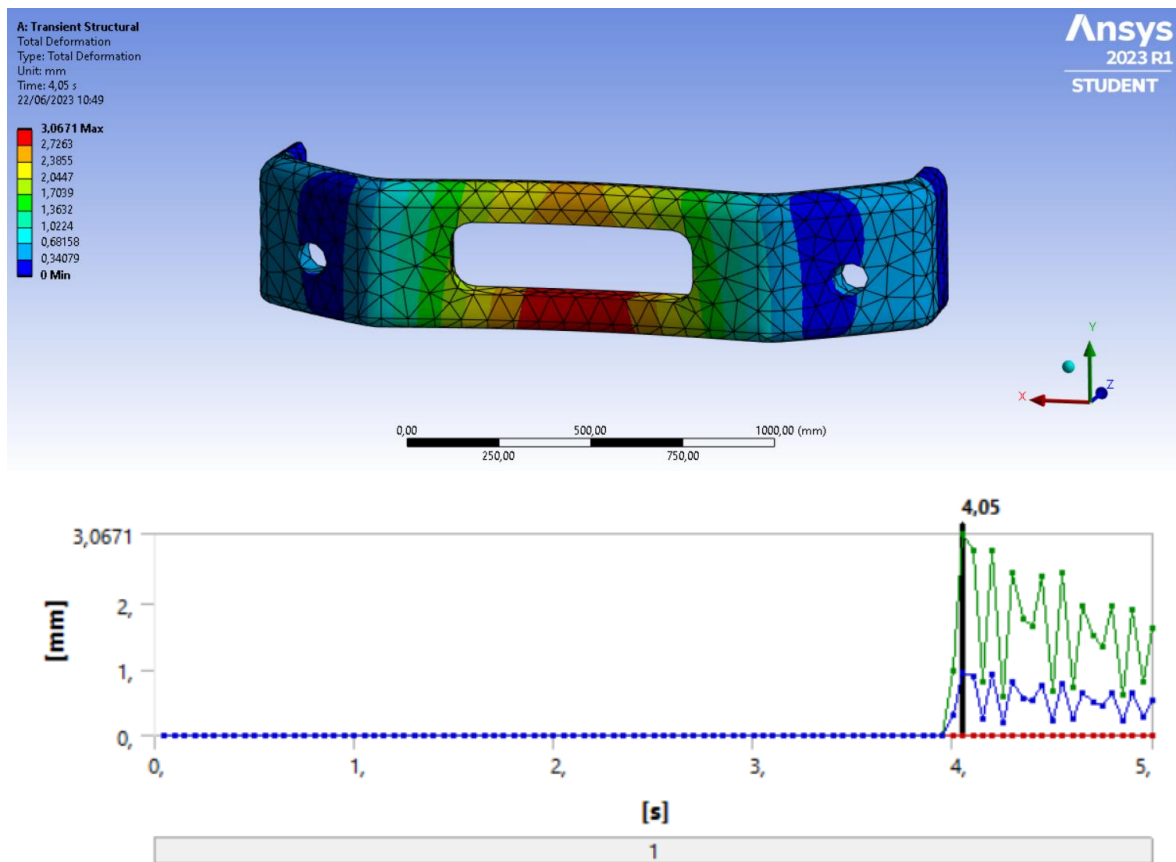


Ilustración 73: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 5 km/h

V inicial 4,5 km/h

$$F = 89,817 \cdot 12,6667 / 20,3723 = 55,8444\text{N}$$

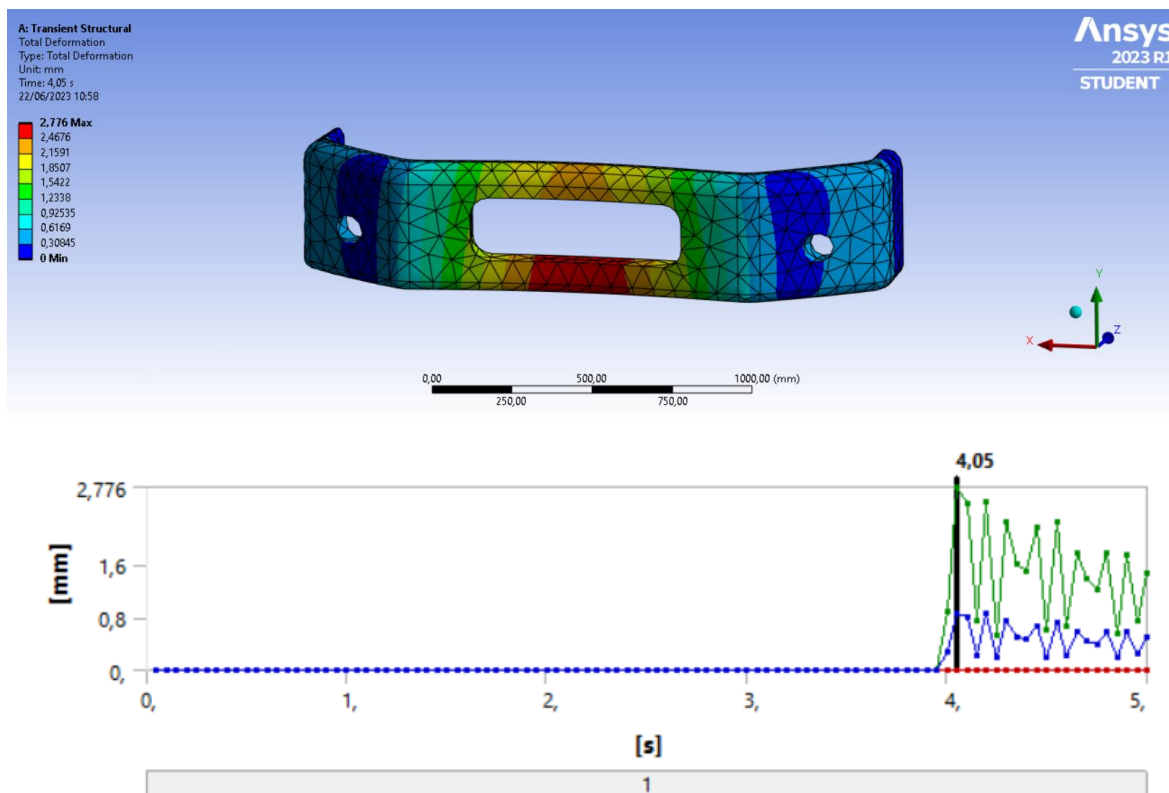
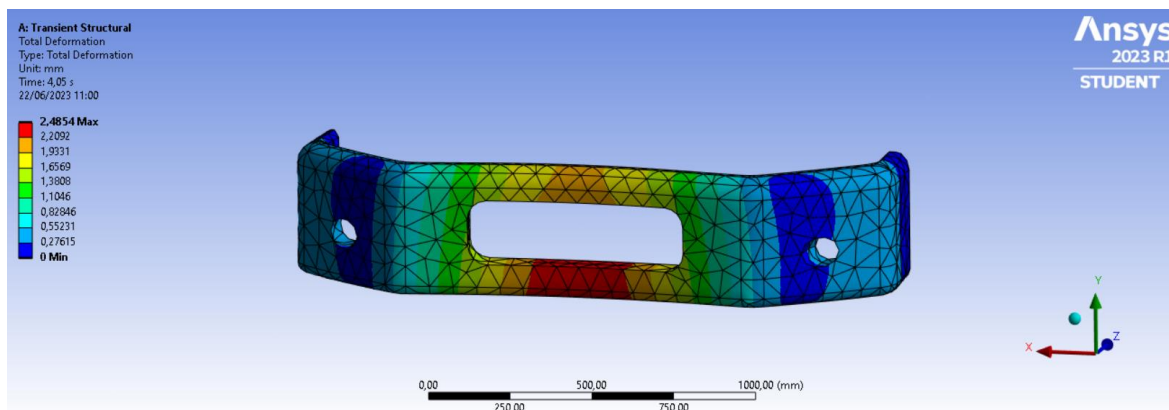


Ilustración 74: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 4,5 km/h

V inicial 4 km/h

$$F = 89,817 \cdot 11,3481 / 20,3723 = 50,0314\text{N}$$



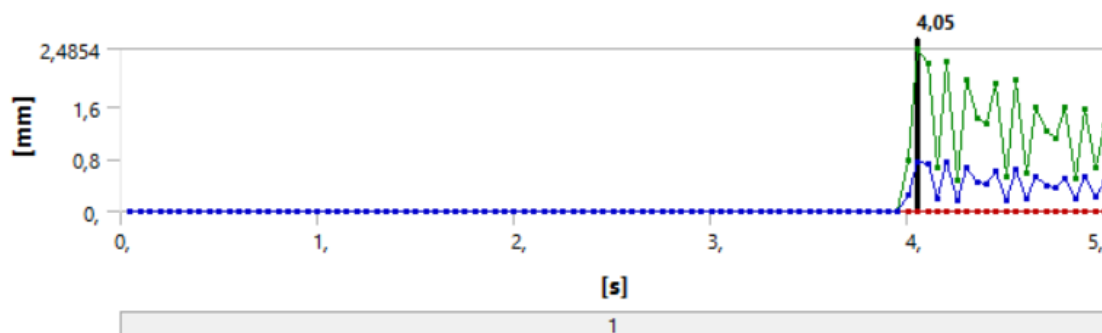


Ilustración 75: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 4 km/h

V inicial 3,5 km/h

$$F = 89,817 * 9,8962 / 20,3723 = 43,6305 \text{ N}$$

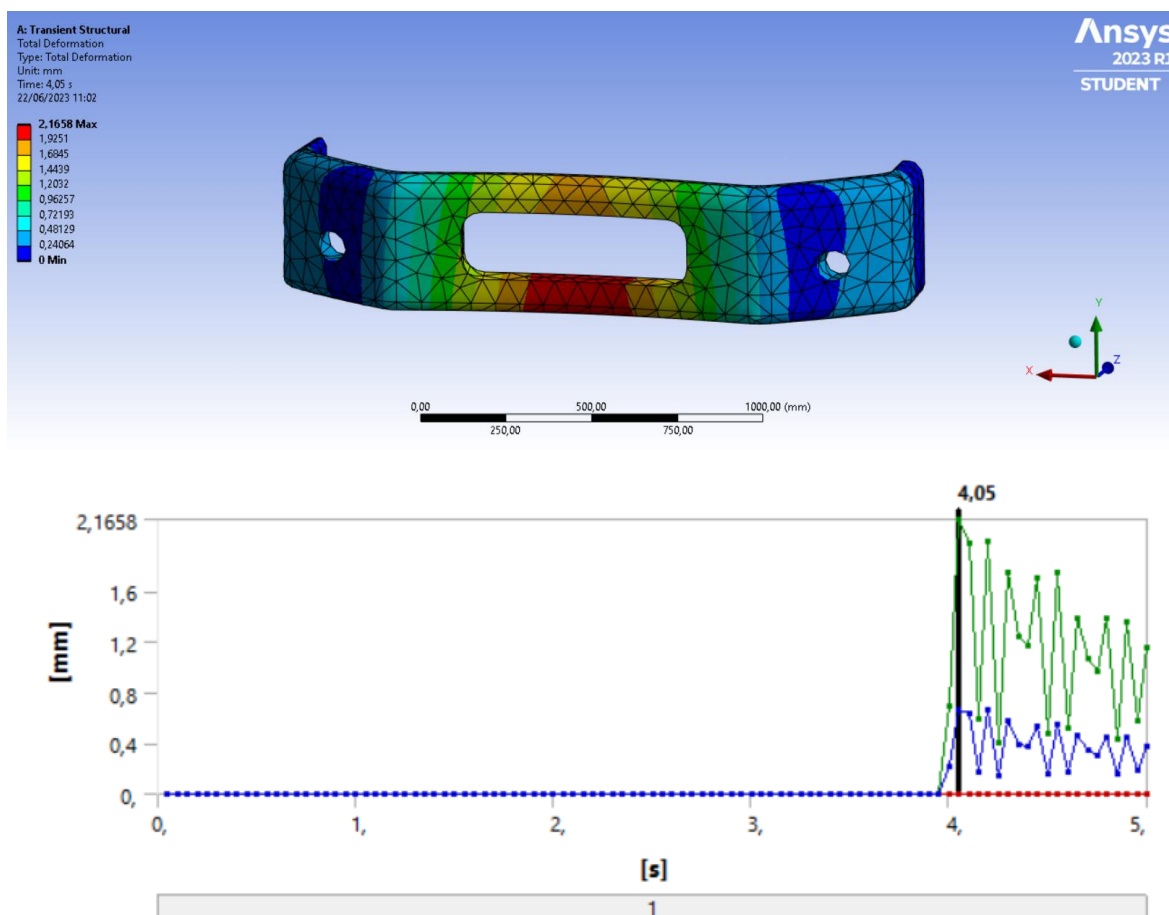


Ilustración 76: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 3,5 km/h

V inicial 3 km/h

$$F = 89,817 \cdot 8,577 / 20,3723 = 37,81743N$$

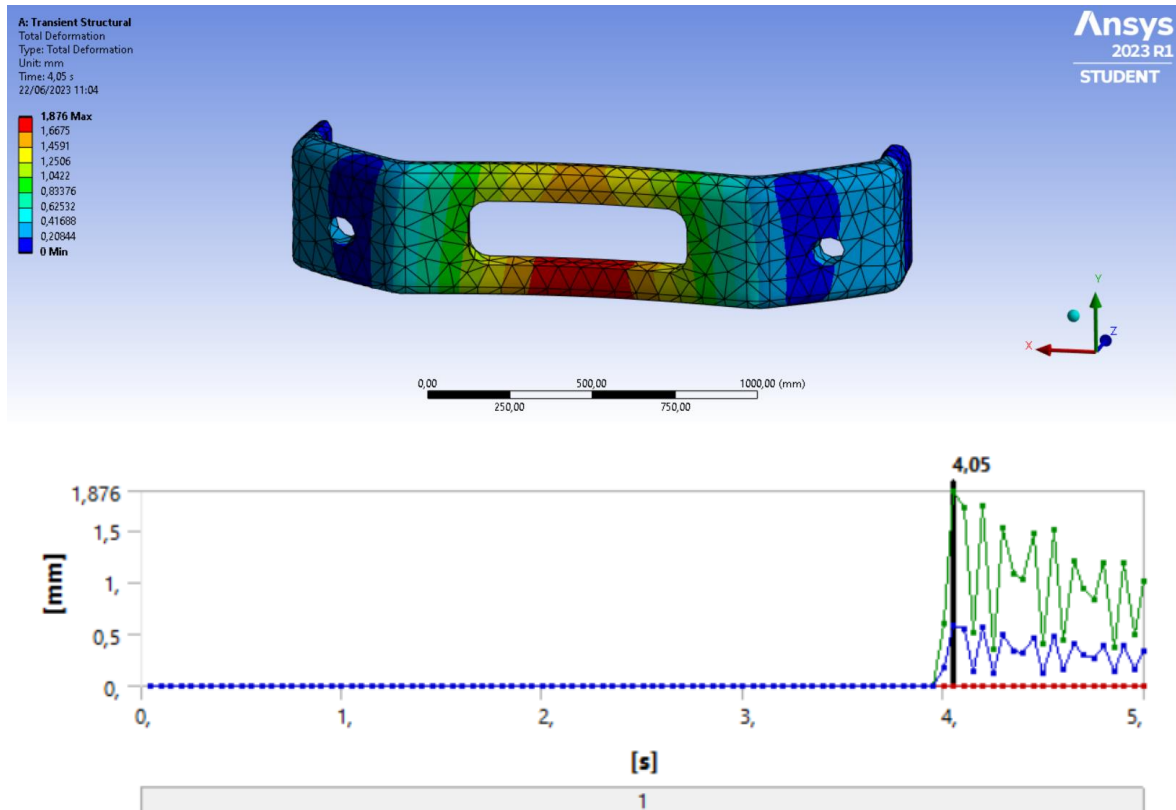
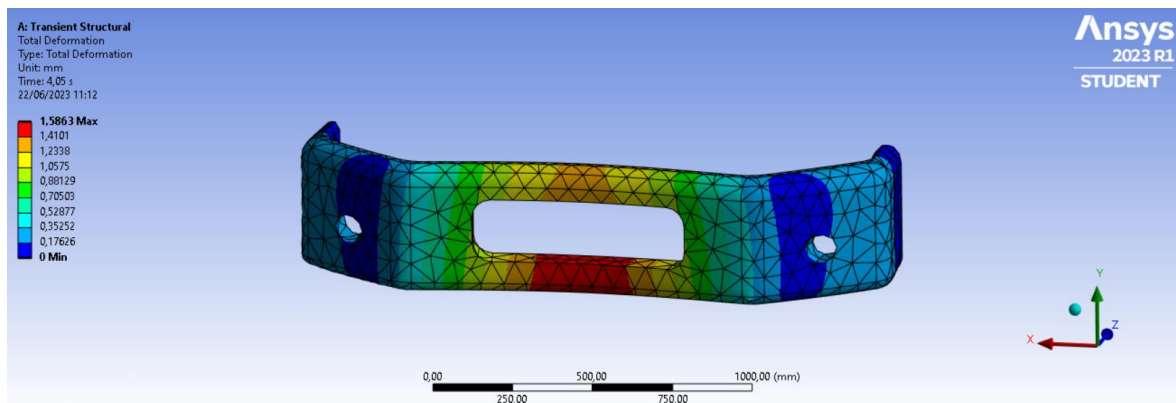


Ilustración 77: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 3 km/h

V inicial 2,5 km/h

$$F = 89,817 \cdot 7,2592 / 20,3723 = 32 N$$



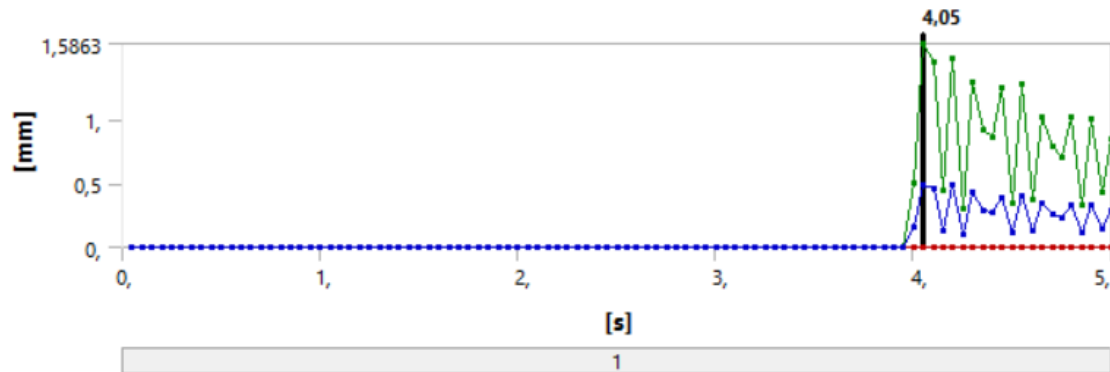


Ilustración 78: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 2,5 km/h

V inicial 2 km/h

$$F = 89,817 * 5,807 / 20,3723 = 25,60335N$$

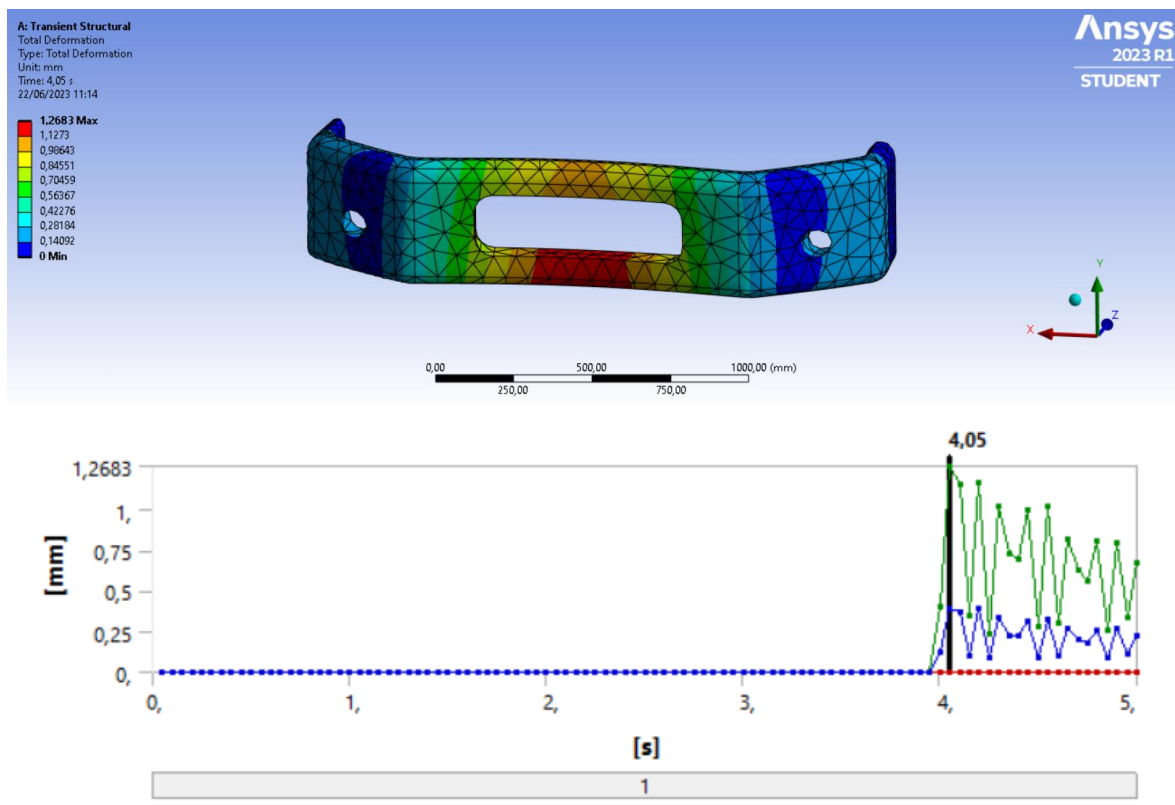


Ilustración 79: Deformaciones en un Coche que Impacta con Material TPV a 2 km/h

5.6.2 COCHE IMPACTADO. ESTUDIO DE LA ROTURA

Fuerza Máxima que soporta sin que aparezca rotura

Nos centramos en la zona del impacto, pero podemos apreciar que donde más tensión soporta es en los soportes fijos. Aplicaremos un coeficiente de seguridad $N=2$.

5.6.2.1 Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,020

Del programa CES Edupack sacamos los datos del polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,020. La tensión de rotura a cargas cortantes esta entre 0,0225-0,0275 MPa. Por tanto, realizo una media y aplico el factor de seguridad de 2. Dando como resultado 0,0125 MPa

En la zona de impacto buscaremos con que fuerzas se obtendrá una tensión de Von Mises superior a 0,0125 MPa. Realizamos la simulación y se puede comprobar que a partir de 26 N en los soportes fijos aparecen tensiones superiores a 0,0125 Mpa. En todo caso nos vamos a centrar en las tensiones que ocurren en las zonas de impacto, la cual sigue siendo inferior a 0,0125 Mpa.

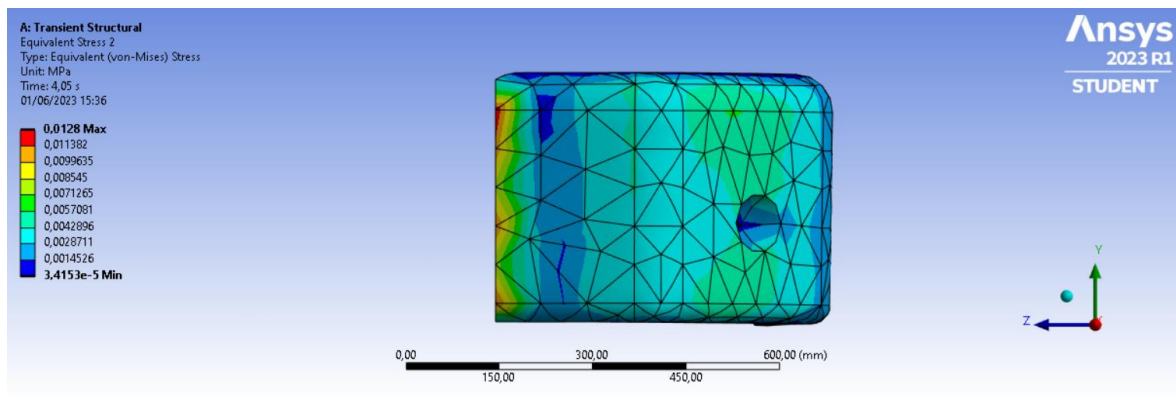


Ilustración 80: Aparición de Tensiones Superiores a la Resistencia a la Cizalladura en los Apoyos Fijos. Material EPP 0,020

A partir de 29 N ya se observa en la zona de impacto tensiones superiores a 0,0125 Mpa

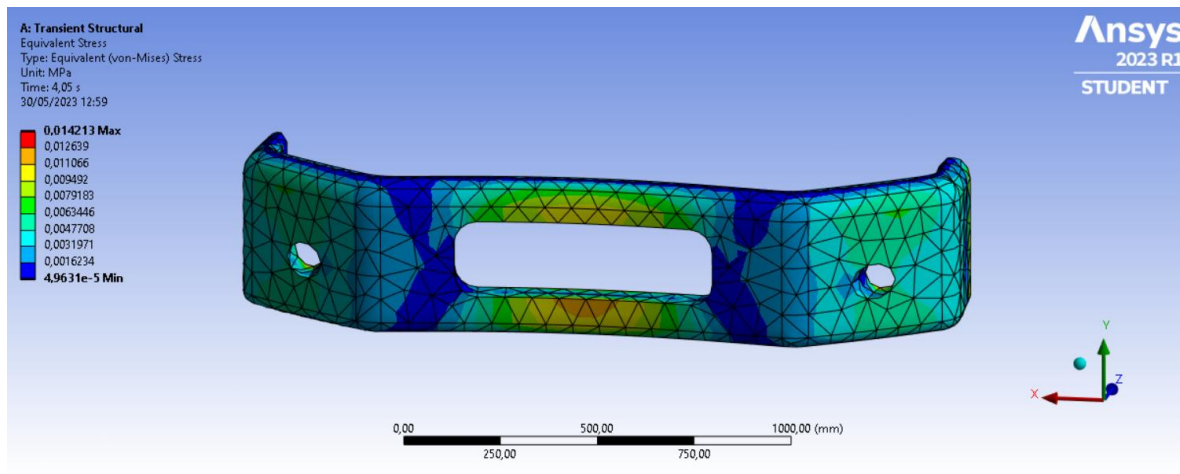


Ilustración 81: Tensiones en la Zona de Colisión. Material EPP 0,020

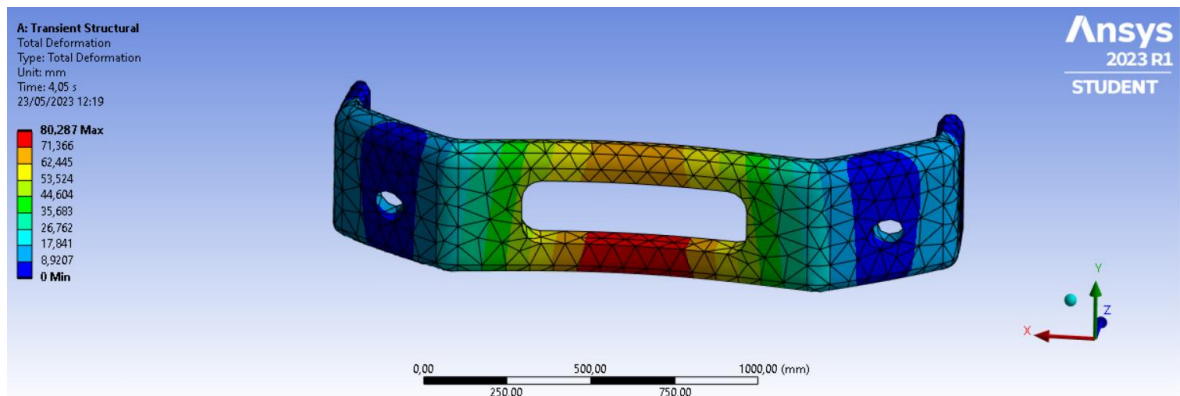


Ilustración 82: Deformaciones en el Parachoques del Coche Impactado. Material EPP 0,020

Averiguaré sobre que velocidades iba el coche que, en el momento del impacto, por ello calcularemos el decrecimiento de la velocidad.

Veremos a qué velocidad iba el coche que impacta, dicha velocidad dependerá del material que tiene el coche que impacta.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 29 = 1,4954 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = 1,4544 \frac{m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 7,1 km/h $\approx 1,97222m/s$ se obtiene:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-01419 \left(\frac{7,1}{3,6} \right)} = 0,43$$

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,43 * 1580}{1505 + 1580} 1,972222 = \frac{0,5278m}{s}$$

$$\Delta V = 0,5258 - 1,97222 = -1,444 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de 7,1 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 29 = 2,1339 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{1,0192m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 4,8 km/h $\approx 1,3333m/s$ se obtiene:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{7,1}{3,6}\right)} = 0,48 \\ v_{final} &= \frac{1505 - 0,48 * 1580}{1505 + 1580} 1,33333 = \frac{0,33333m}{s} \\ \Delta V &= 0,33333 - 1,33333 = -1 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de 4,8 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 29 = 2,848 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{0,7636m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 3,55 km/h $\approx 0,98611m/s$ se obtiene:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{3,55}{3,6}\right)} = 0,5 \\ v_{final} &= \frac{1505 - 0,5 * 1580}{1505 + 1580} 0,98611 = \frac{0,23m}{s} \\ \Delta V &= 0,23 - 0,98611 = -0,75611 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de 3,55 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 29 = 4,275 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = 0,508 \frac{m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 2,3 km/h $\approx 0,638888m/s$ se obtiene:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{2,3}{3,6}\right)} = 0,52 \\ v_{final} &= \frac{1505 - 0,52 * 1580}{1505 + 1580} = \frac{0,14m}{s} \\ \Delta V &= 0,14 - 0,6388888 = -0,49888 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de en torno 2,3 km/h.

5.6.2.2 Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,030

La tensión de rotura a esfuerzos cortantes es de 0,0475-0,0525 Mpa. Por tanto, realizo una media y aplico el factor de seguridad de 2. Dando como resultado 0,025 Mpa.

Realizando aproximaciones, se comprueba que a partir de 48,5 N ya empiezan a aparecer tensiones superiores a 0,025 Mpa en los soportes fijos.

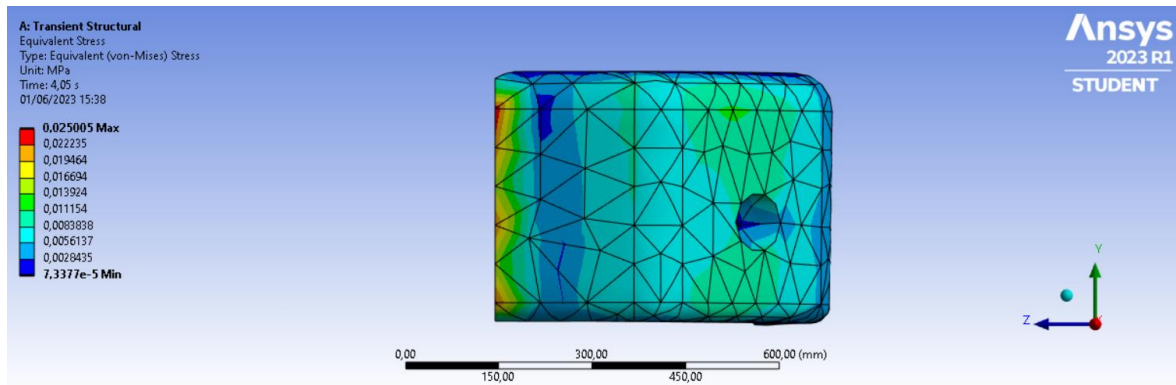


Ilustración 83: Aparición de Tensiones Superiores a la Resistencia a la Cizalladura en los Apoyos Fijos. Material EPP 0,030

A partir de 54,7 N ya se observa en la zona de impacto tensiones superiores a 0,025 Mpa

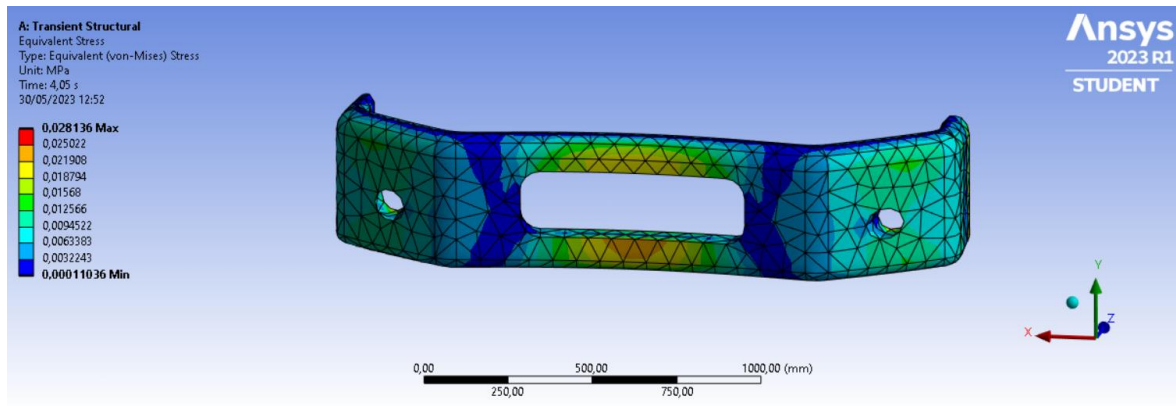


Ilustración 84: Tensiones en la Zona de Colisión. Material EPP 0,030

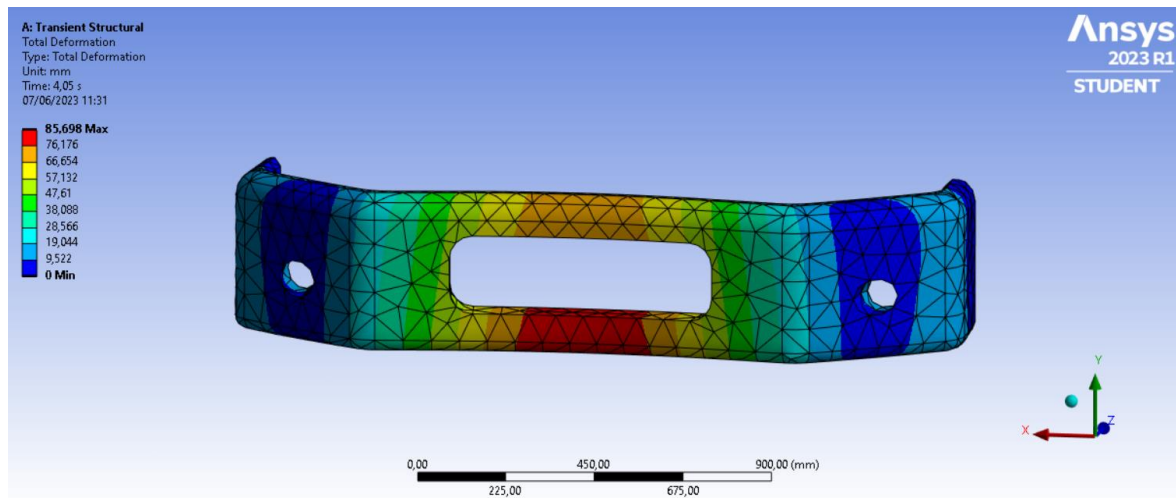


Ilustración 85: Deformaciones en el Parachoques del Coche Impactado. Material EPP 0,030

Averiguaré sobre que velocidades iba el coche que, en el momento del impacto, por ello calcularemos el decrecimiento de la velocidad.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 54,7 = 1,4954 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = 2,743413 \frac{m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 14,55 km/h $\approx 4,0416m/s$ se obtiene:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,574 * e^{-0,1419 \left(\frac{14,55}{3,6} \right)} = 0,32 \\ v_{final} &= \frac{1505 - 0,32 * 1580}{1505 + 1580} 4,0416 = \frac{1,3m}{s} \\ \Delta V &= 1,3 - 4,0416 = -2,7416 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de 14,55 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 54,7 = 2,1339 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = 1,9225 \frac{m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 9,2 km/h $\approx 2,5555m/s$ se obtiene:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,574 * e^{-0,1419 \left(\frac{7,1}{3,6} \right)} = 0,39 \\ v_{final} &= \frac{1505 - 0,39 * 1580}{1505 + 1580} 2,55552 = \frac{0,73626m}{s} \end{aligned}$$

$$\Delta V = 0,73626 - 2,55552 = -1,819 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de 9,2 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 54,7 = 2,848 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{1,4404m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 7,05 km/h $\approx 1,958333m/s$ se obtiene:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419 \left(\frac{7,1}{3,6} \right)} = 0,43$$

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,43 * 1580}{1505 + 1580} 1,958333 = \frac{0,52m}{s}$$

$$\Delta V = 0,52 - 1,958333 = -1,43833 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de 7,05 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 54,7 = 4,275 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{0,95964m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 4,5 km/h $\approx 1,25m/s$ se obtiene:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419 \left(\frac{7,1}{3,6} \right)} = 0,48$$

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,48 * 1580}{1505 + 1580} 1,25 = \frac{0,3m}{s}$$

$$\Delta V = 0,3 - 1,25 = -0,95 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de 4,5 km/h.

5.6.2.3 Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,040

La tensión de rotura a esfuerzos cortantes es de 0,095-0,105 Mpa. Por tanto, realizo una media y aplico el factor de seguridad de 2. Dando como resultado 0,05 Mpa.

Realizando aproximaciones, se comprueba que a partir de 105,75 N ya empiezan a aparecer tensiones superiores a 0,05 Mpa en los soportes fijos.

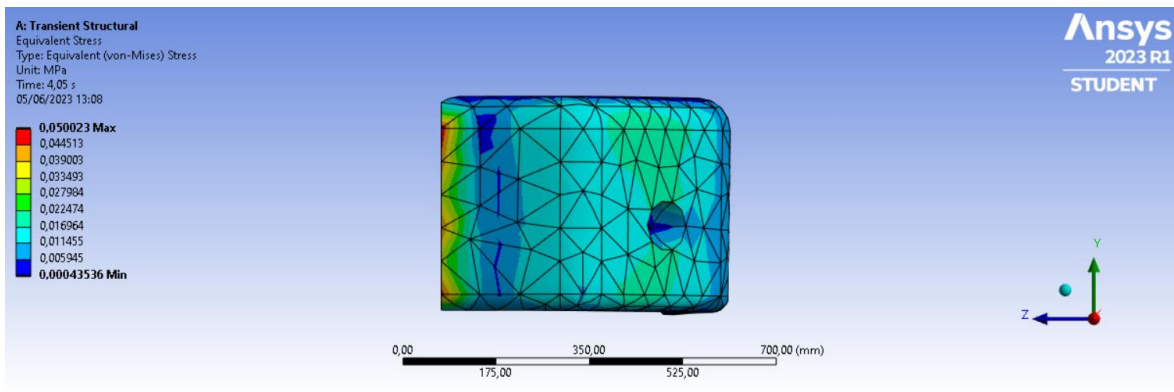


Ilustración 86: Aparición de Tensiones Superiores a la Resistencia a la Cizalladura en los Apoyos Fijos. Material EPP 0,040

A partir de 125 N ya se observa en la zona de impacto tensiones superiores a 0,05 Mpa

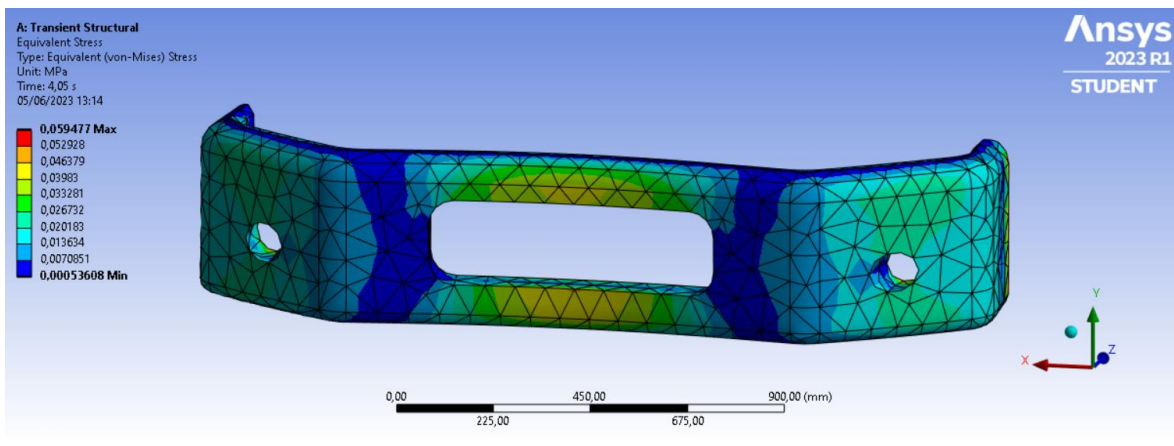


Ilustración 87: Tensiones en la Zona de Colisión. Material EPP 0,040

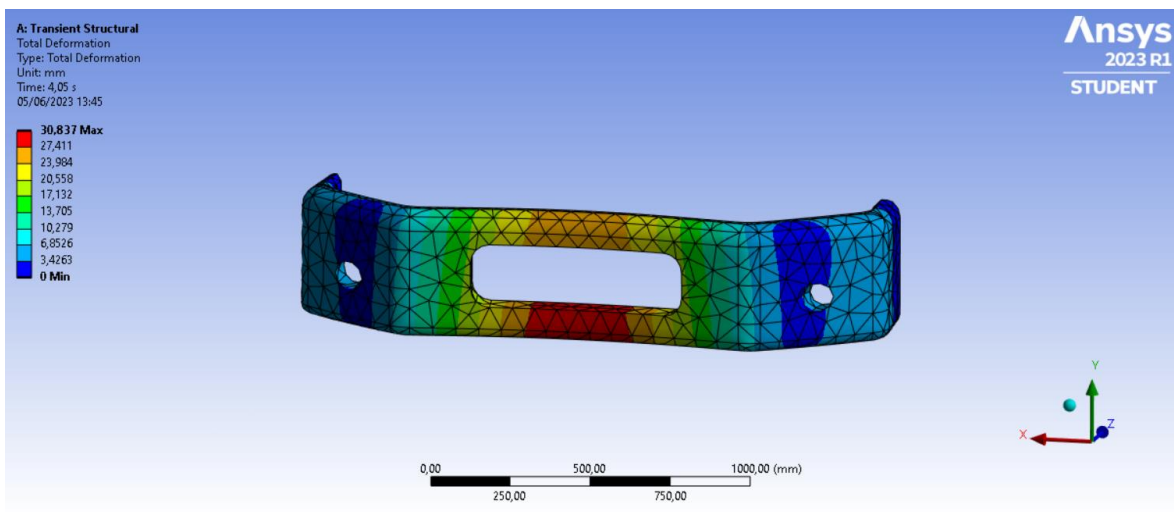


Ilustración 88: Deformaciones en el Parachoques del Coche Impactado. Material EPP 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 125 = 1,4954 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{6,2692m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 39,3 km/h $\approx 10,91$ m/s se obtiene:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{39,3}{3,6}\right)} = 0,12$$

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,12 * 1580}{1505 + 1580} 10,91 = \frac{4,64m}{s}$$

$$\Delta V = 4,64 - 10,91 = -6,27 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad cercana a 39,3 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 125 = 2,1339 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = 4,3933 \frac{m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 25,5 km/h $\approx 7,08$ m/s se obtiene:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{25,5}{3,6}\right)} = 0,21$$

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,21 * 1580}{1505 + 1580} 7,08 = \frac{2,69m}{s}$$

$$\Delta V = 2,69 - 7,08 = -4,39 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad cercana a 25,5 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 125 = 2,848 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{3,291m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 18 km/h ≈ 5 m/s se obtiene:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{18}{3,6}\right)} = 0,28$$

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,28 * 1580}{1505 + 1580} 5 = \frac{1,72m}{s}$$

$$\Delta V = 1,72 - 5 = -3,28 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de 18 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 125 = 4,275 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{2,1929m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 11,25 km/h $\approx 3,125m/s$ se obtiene:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-01419\left(\frac{11,25}{3,6}\right)} = 0,37$$

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,37 * 1580}{1505 + 1580} 3,125 = \frac{0,93m}{s}$$

$$\Delta V = 0,93 - 3,125 = -2,195 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad de 11,25 km/h.

5.6.2.4 Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,060

La tensión de rotura a esfuerzos cortantes es de 0,195-0,205 Mpa. Por tanto, realizo una media y aplico el factor de seguridad de 2. Dando como resultado 0,1 Mpa.

Realizando aproximaciones, se comprueba que a partir de 215 N ya empiezan a aparecer tensiones superiores a 0,1 Mpa en los soportes fijos.

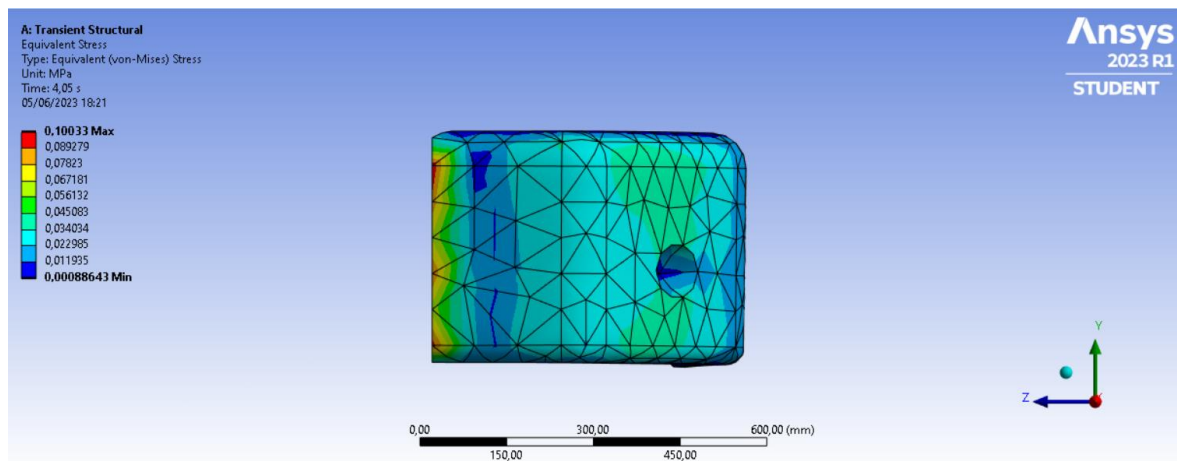


Ilustración 89: Aparición de Tensiones Superiores a la Resistencia a la Cizalladura en los Apoyos Fijos. Material EPP 0,060

A partir de 240 N ya se observa en la zona de impacto tensiones superiores a 0,1 Mpa

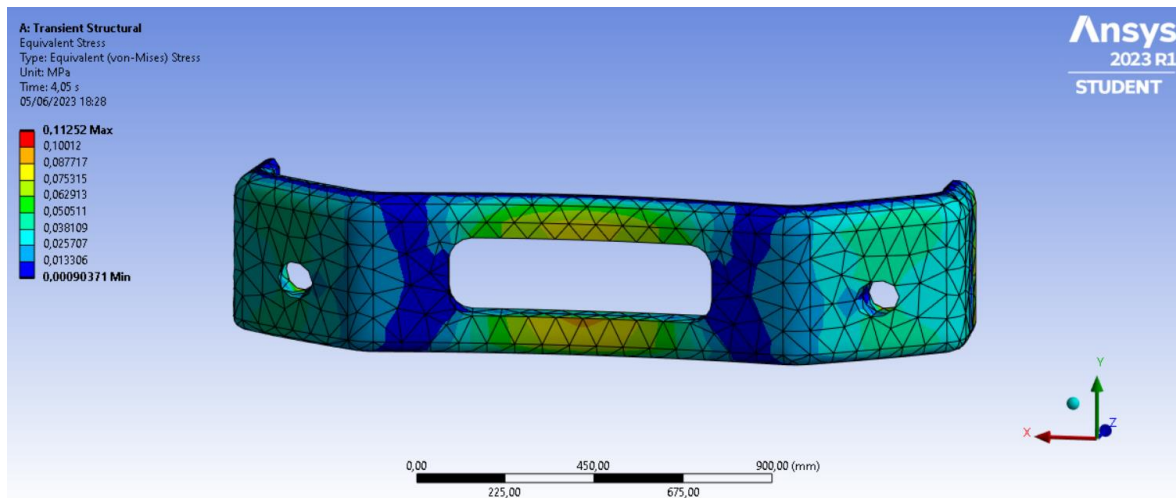


Ilustración 90: Tensiones en la Zona de Colisión. Material EPP 0,060

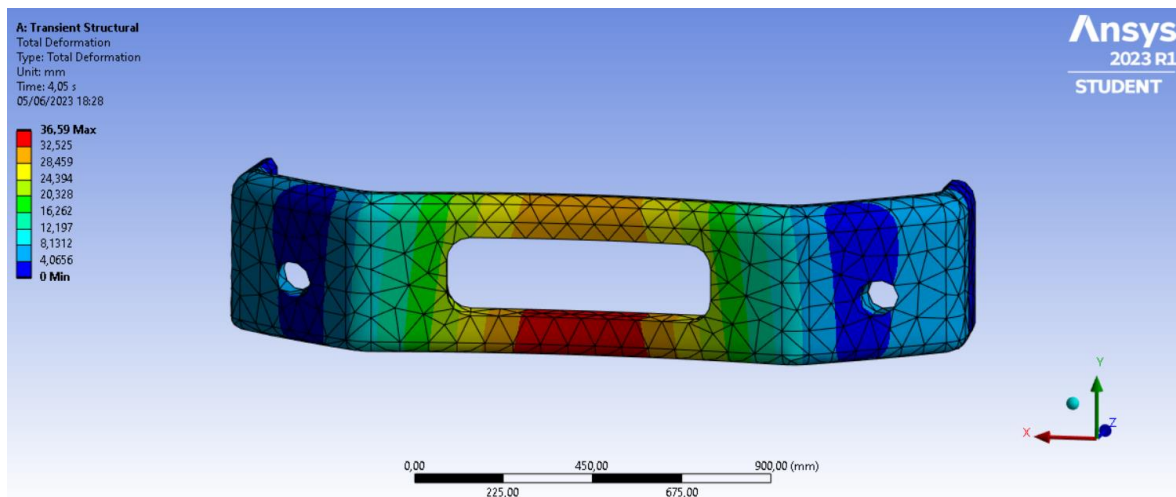


Ilustración 91: Deformaciones en el Parachoques del Coche Impactado. Material EPP 0,060

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 240 = 1,4954 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{12,0369m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 82,75 km/h $\approx 22,986$ m/s se obtiene:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{39,7}{3,6}\right)} = 0,02$$

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,02 * 1580}{1505 + 1580} 22,986 = \frac{10,95m}{s}$$

$$\Delta V = 10,95 - 22,986 = -12,036 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad cercana a 82,75 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 240 = 2,1339 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{8,435m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 55,75 km/h $\approx 15,486$ m/s se obtiene:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{39,7}{3,6}\right)} = 0,06 \\ v_{final} &= \frac{1505 - 0,06 * 1580}{1505 + 1580} 15,486 = \frac{7,05m}{s} \\ \Delta V &= 7,05 - 15,486 = -8,436 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad cercana a 55,75 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 240 = 2,848 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{6,32022m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 39,7 km/h $\approx 11,02$ m/s se obtiene:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{39,7}{3,6}\right)} = 0,12 \\ v_{final} &= \frac{1505 - 0,12 * 1580}{1505 + 1580} 11,02 = \frac{4,7m}{s} \\ \Delta V &= 4,7 - 11,02 = -4,178 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad cercana a 39,7 km/h.

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 240 = 4,275 * \frac{\Delta V}{0,075} \rightarrow \Delta V = \frac{4,2105m}{s}$$

Podemos comprobar que con una velocidad de 24 km/h $\approx 6,666$ m/s se obtiene:

$$\varepsilon = 0,574 * e^{-0,1419\left(\frac{24}{3,6}\right)} = 0,22$$

$$v_{final} = \frac{1505 - 0,22 * 1580}{1505 + 1580} 6,6666 = \frac{2,49m}{s}$$

$$\Delta V = 2,49 - 6,666 = -4,178 \frac{m}{s}$$

Por tanto, podemos indicar que el vehículo que impacto iba a una velocidad cercana a 24 km/h.

5.6.3 COCHE IMPACTADO. ESTUDIO DE LAS DEFORMACIONES. CHOQUE LATERAL

Ahora en estos dos siguientes apartados, realizaré simulaciones al coche que es impactado, centrándome en los impactos laterales. Gracias a los análisis del apartado anterior para ver con que velocidades del coche se producía la rotura. En estos apartados no se analizará el material EPP 0,020 ya que no cumple el reglamento 42 de la homologación del parachoques. Puesto que no resiste impactos de menos de 4km/h.

El material EPP 0,060 tampoco será analizado puesto que el comportamiento que tiene dicho material, en cuanto a deformación, es parecido al material EPP 0,040. También un factor determinante para esta decisión es que teniendo el vehículo que es impactado el material 0.040, la velocidad del vehículo que impacta en el apartado de aparición de la rotura, supera con creces los 4km/h, estipulados por el Reglamento 42. Esto ocurre para cualquier material que tuviese el parachoques del vehículo que impacta.

Haciendo la suposición de que los materiales analizados cumplen con el Reglamento 42, por tanto, no deben presentar deformaciones por debajo de los 4 km/h, a velocidades inferiores a esta no se estudiarán las deformaciones.

Velocidad según estado del vehículo	
Tipo de daño	Velocidad de choque estimada
Sin daños o daños estéticos	< 4 km/h (no necesariamente)
Daños leves, pequeñas abolladuras	Entre 4 y 8 km/h
Daños de intensidad media, roturas	Entre 8 y 16 km/h
Daños graves, deformaciones estructurales	> 16 km/h

Tabla 4: Estimación de las velocidades según el daño del Vehículo[42]

5.6.3.1 Material Parachoques del coche impactado. Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,030

Vinicial= 6 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 16,48 = 24,65 N$$

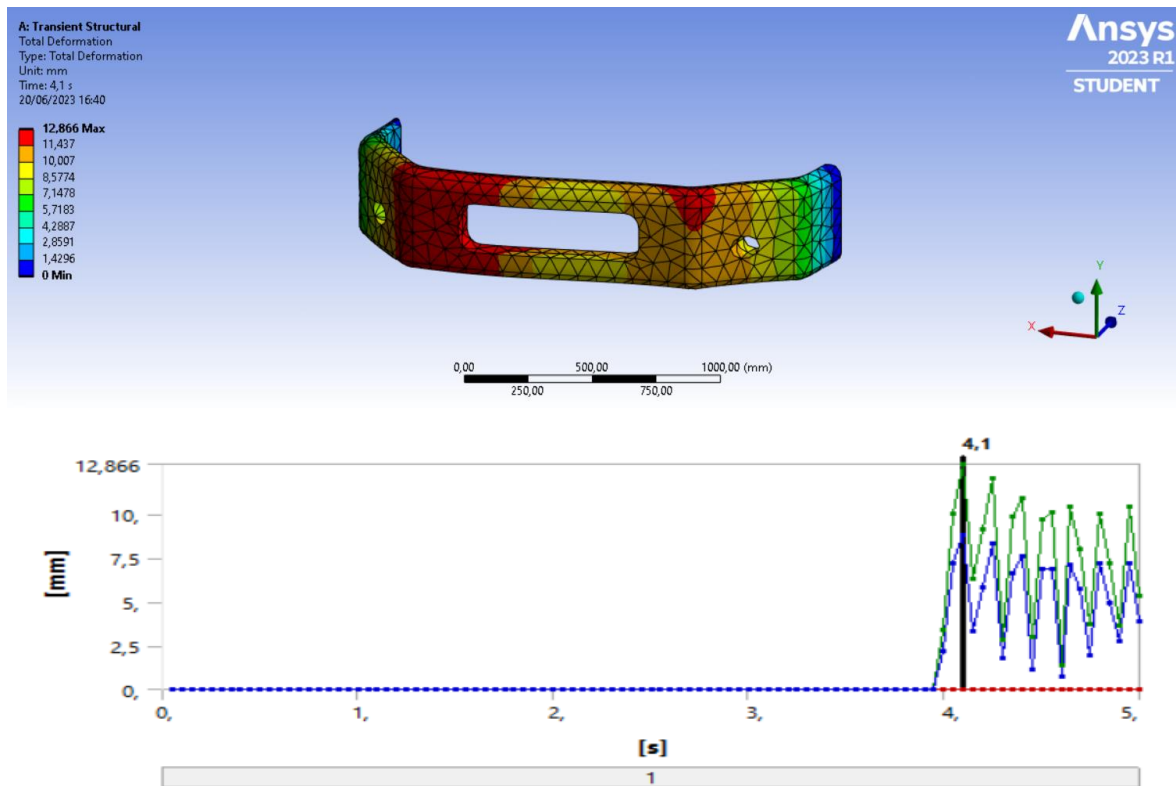
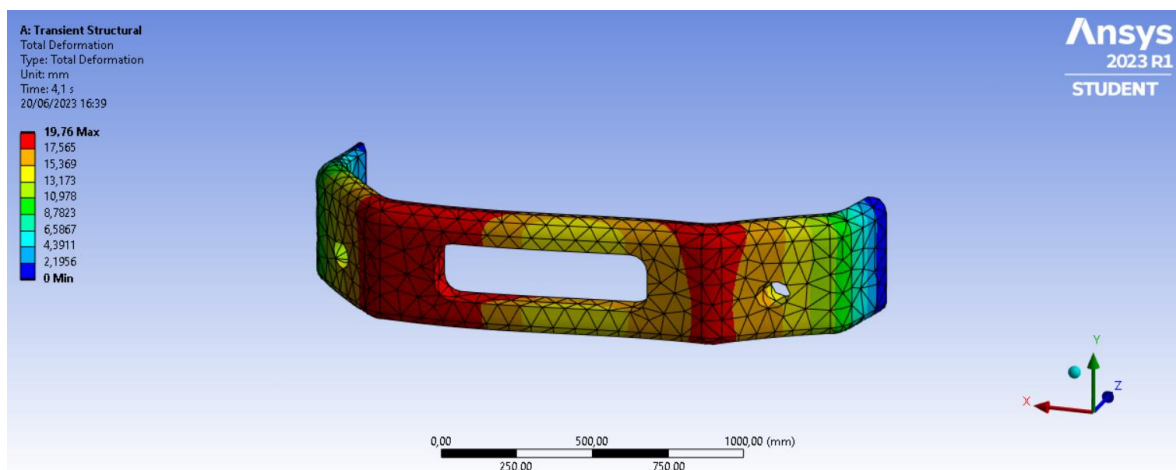


Ilustración 92: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0.020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 16,48889 = 35,18564N$$



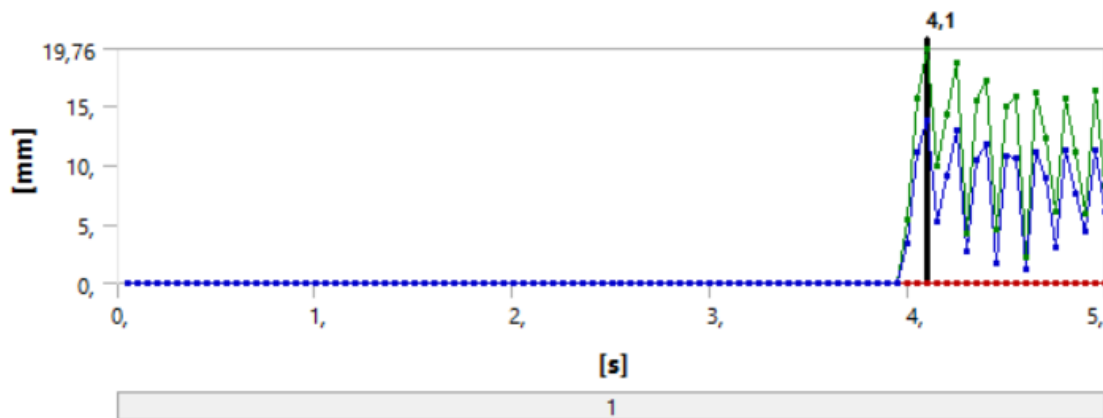


Ilustración 93: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 16,48 = 46,96N$$

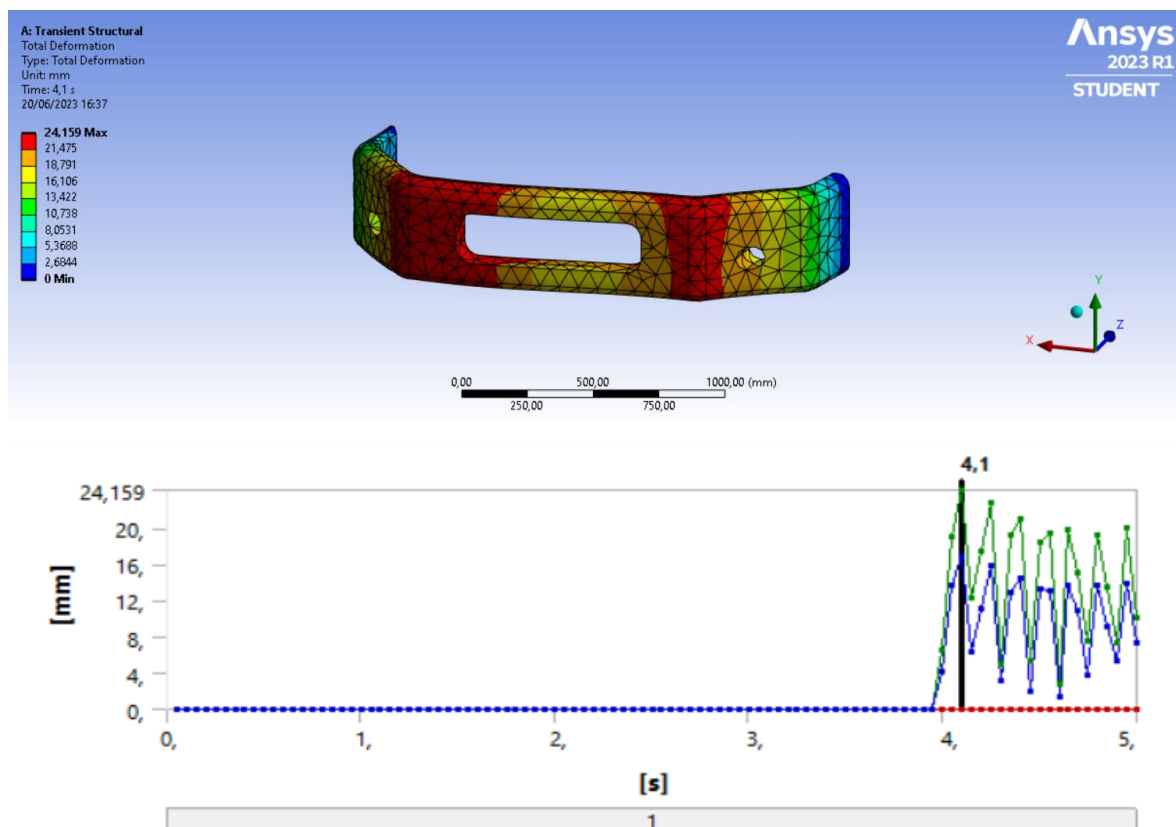


Ilustración 94: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 16,48 = 70,49N$$

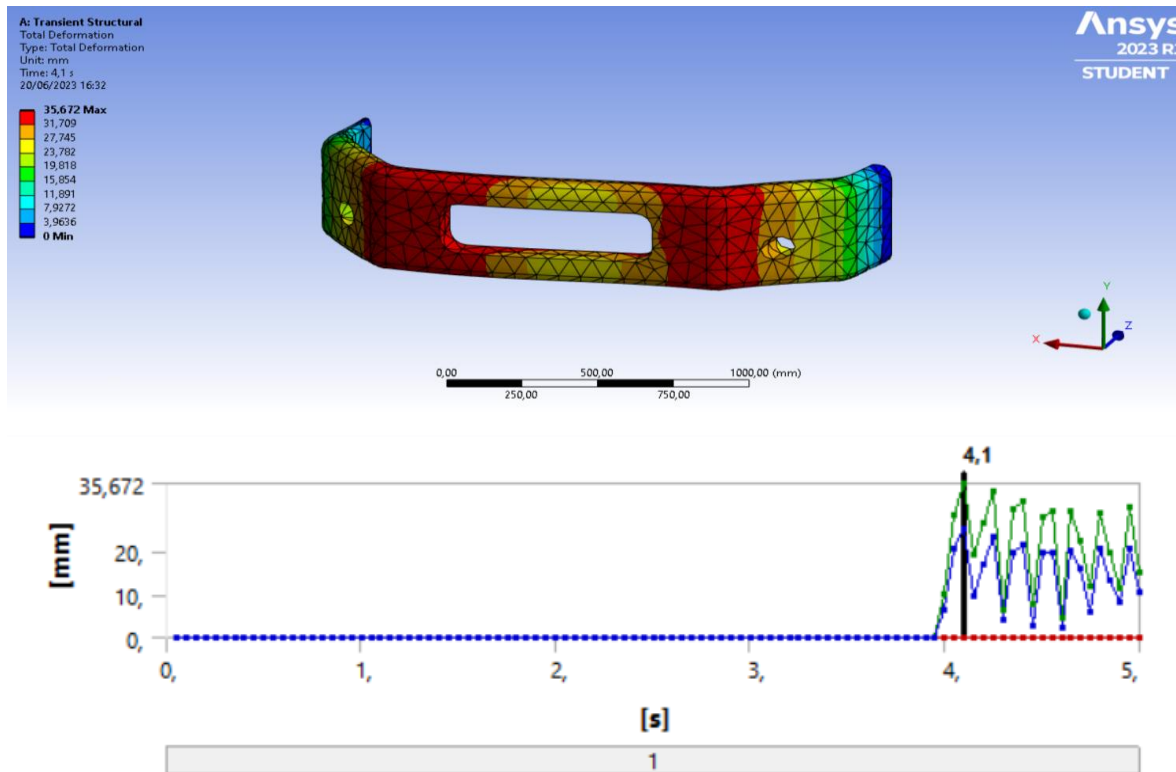
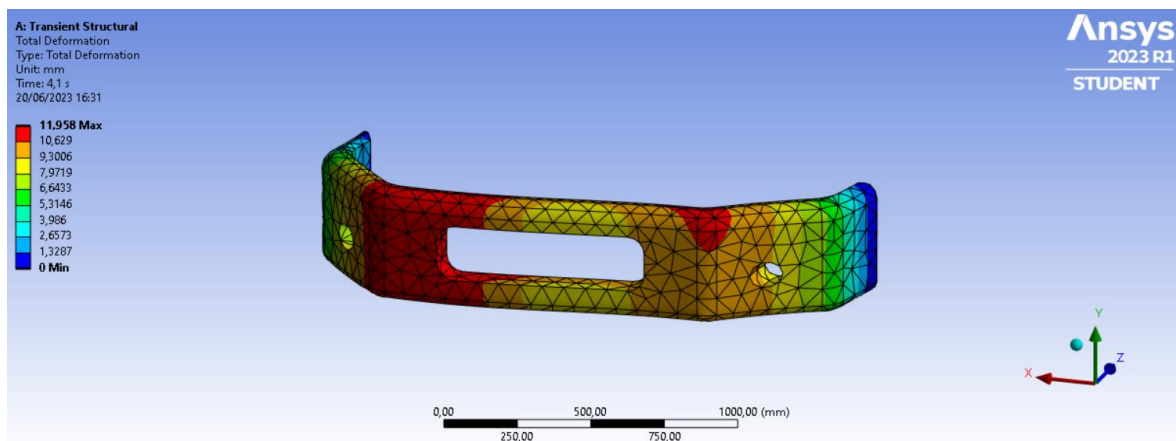


Ilustración 95: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Vinicial= 5,5 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 15,303 = 22,8851 N$$



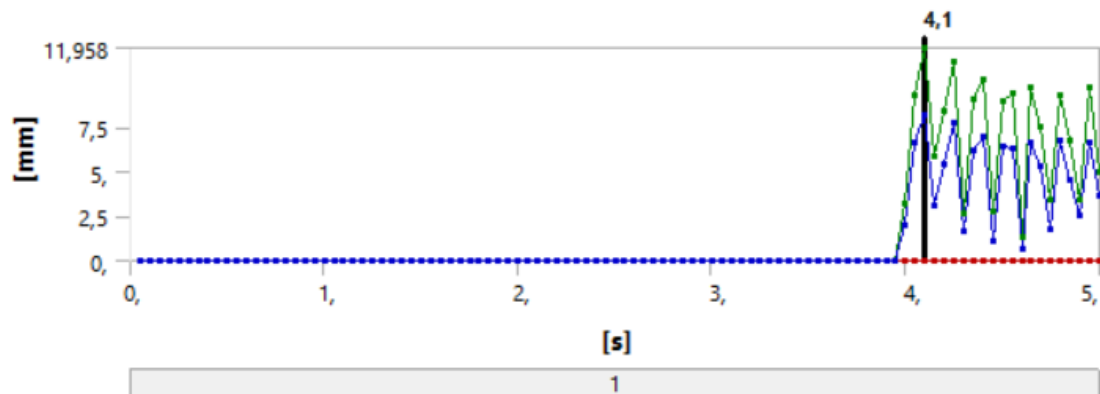


Ilustración 96: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 15,303 = 32,6565N$$

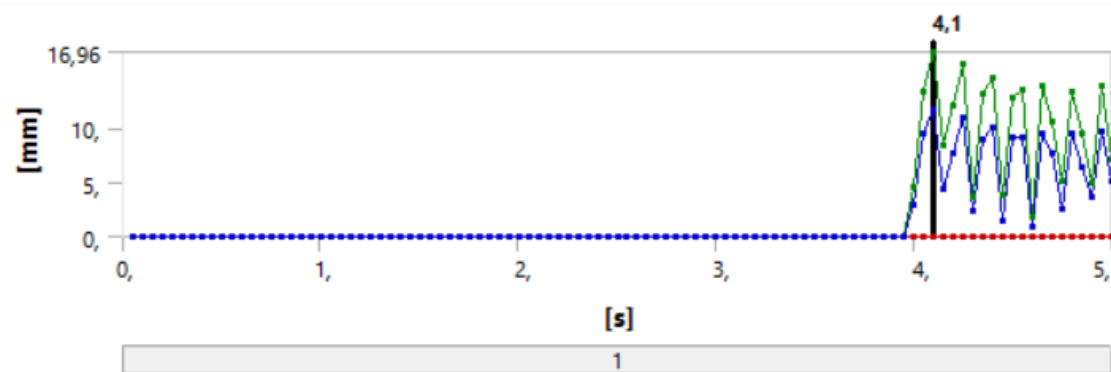
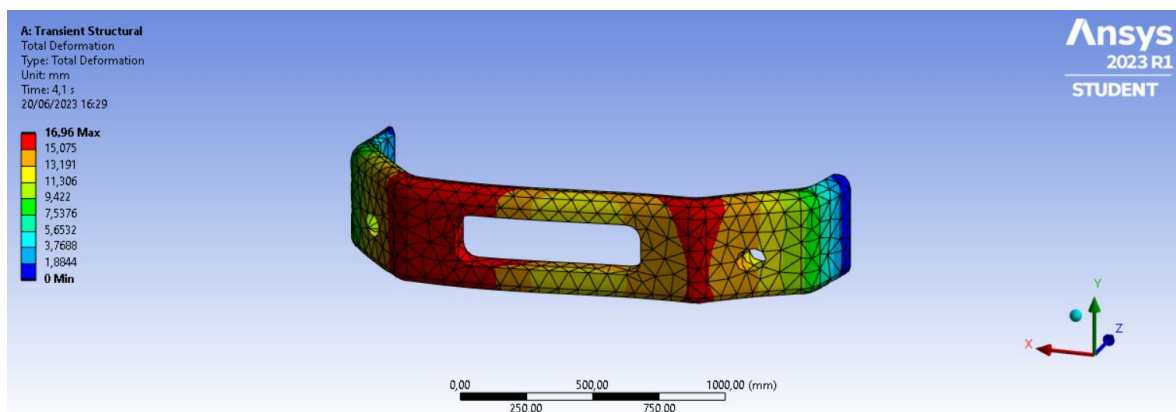


Ilustración 97: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 15,303 = 43,58N$$

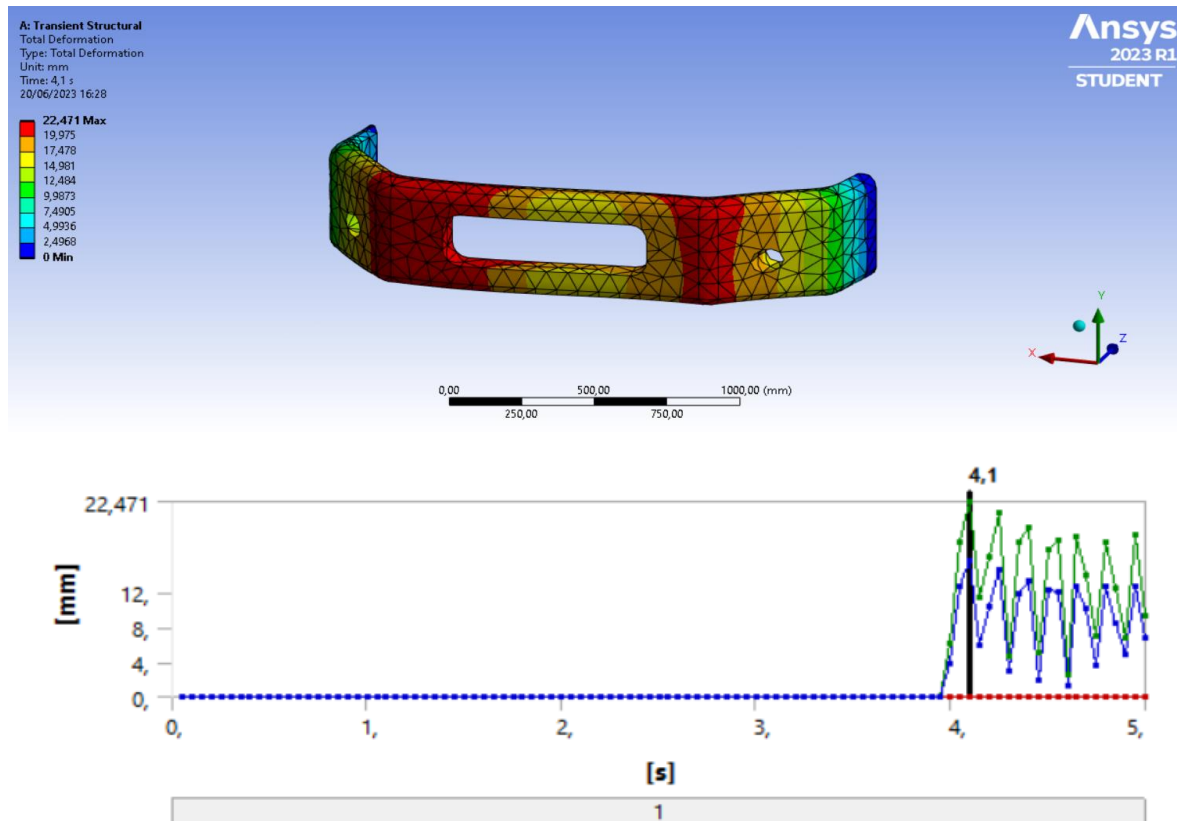
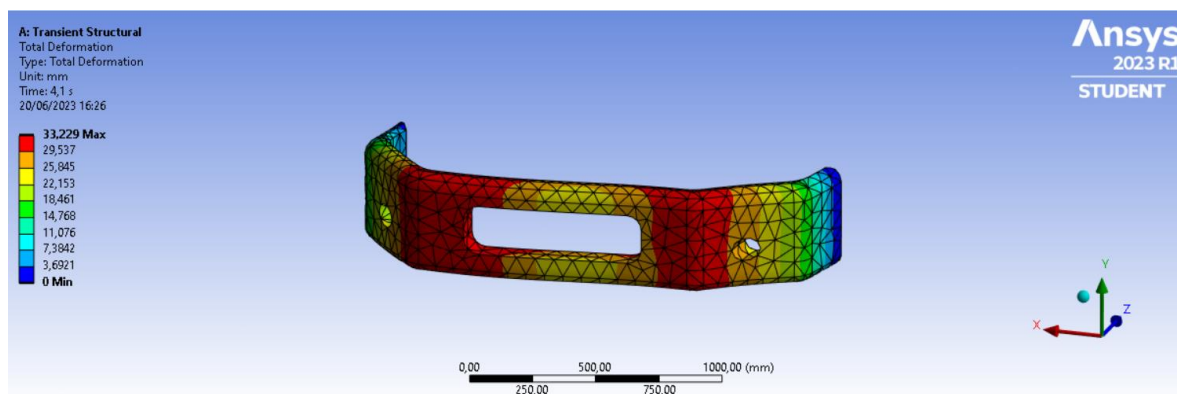


Ilustración 98: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 15,303 = 65,4233N$$



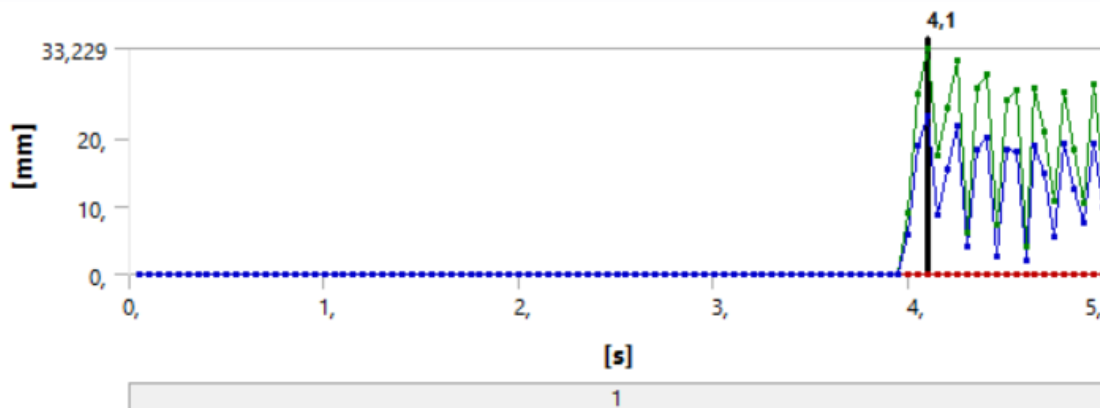
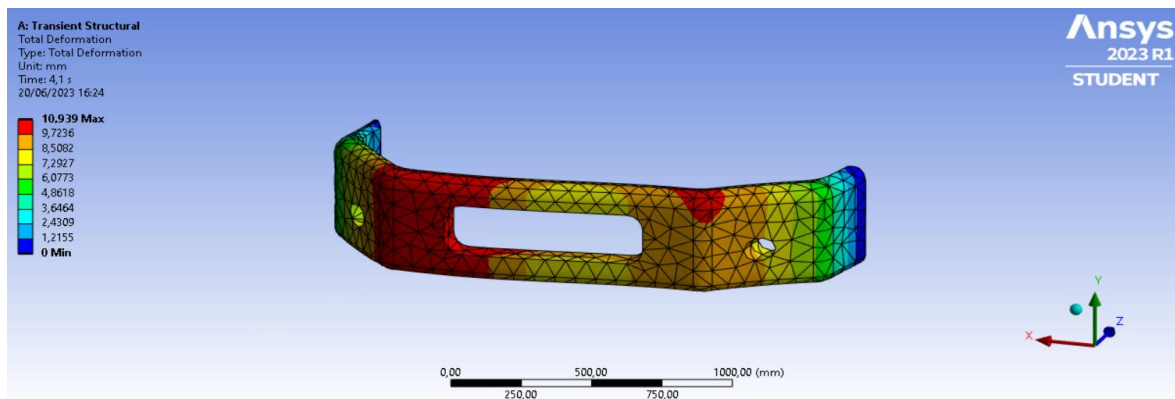


Ilustración 99: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Vinicial= 5 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 13,98 = 20,91 \text{ N}$$



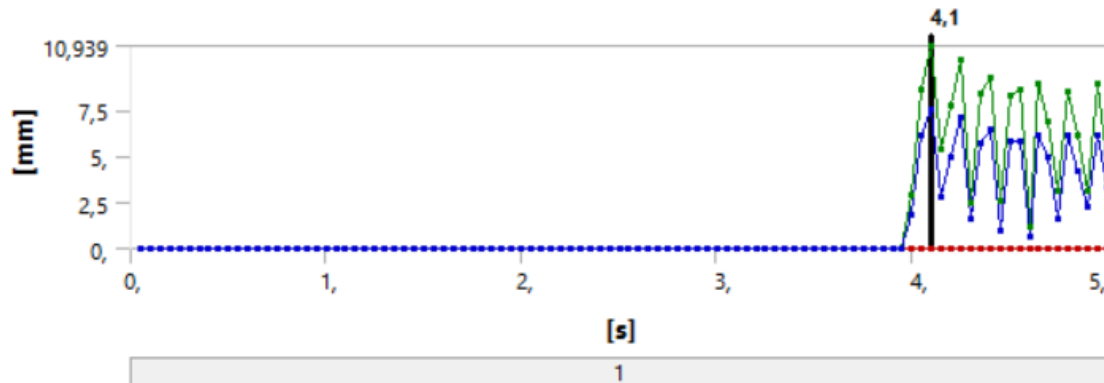


Ilustración 100: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 13,98 = 29,8429N$$

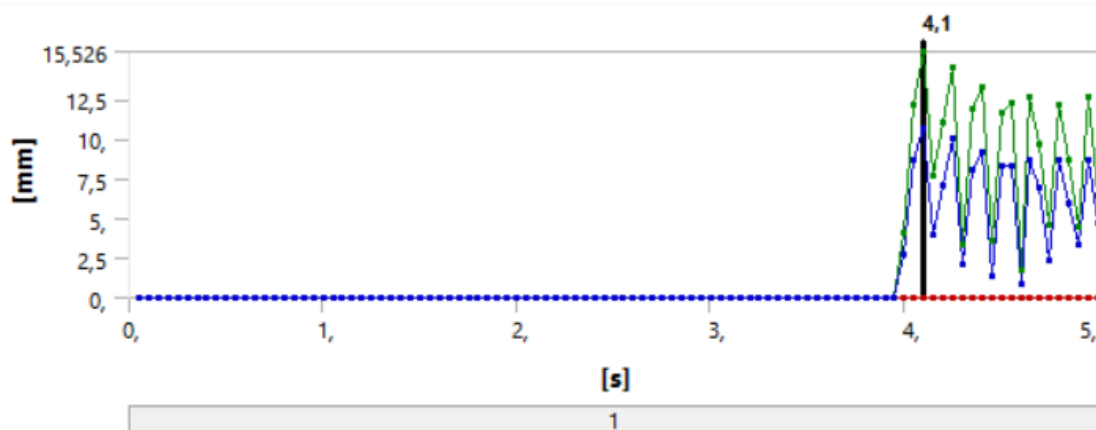
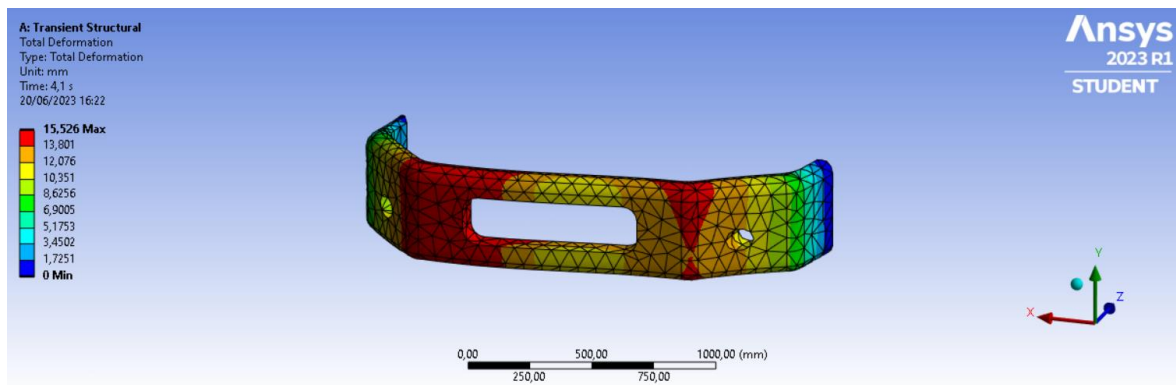


Ilustración 101: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 13,9851 = 39,82N$$

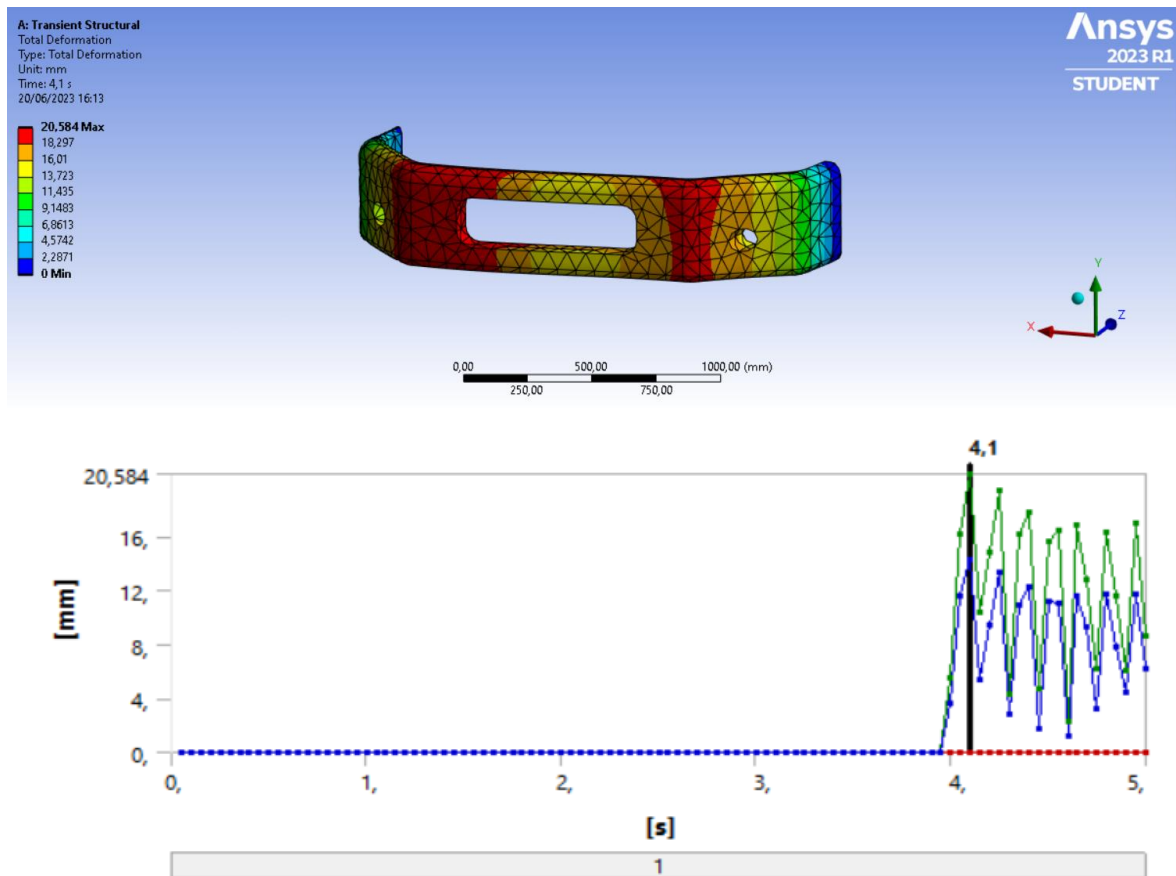
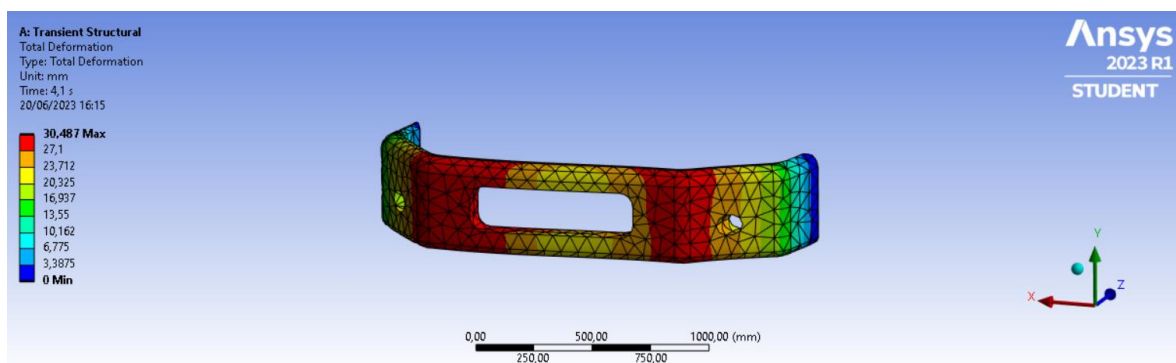


Ilustración 102: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 13,9851 = 59,786N$$



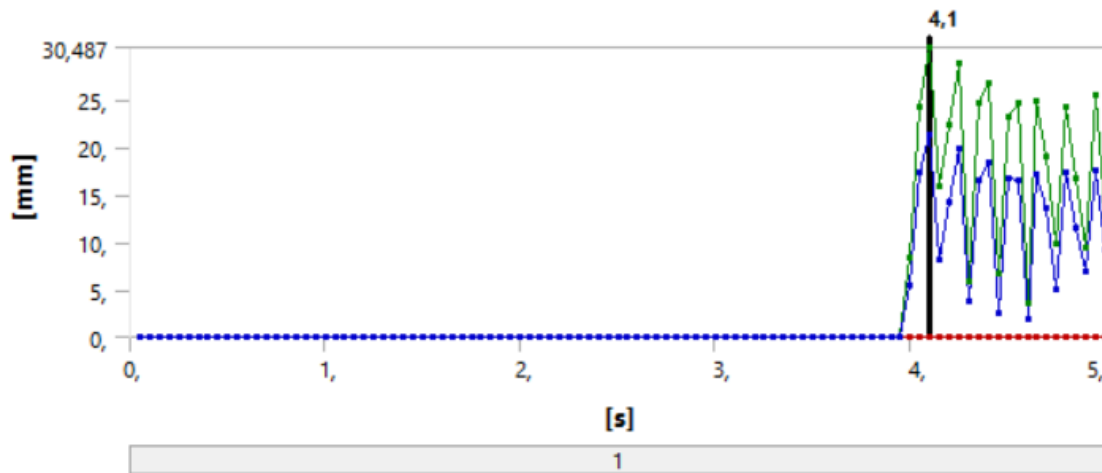
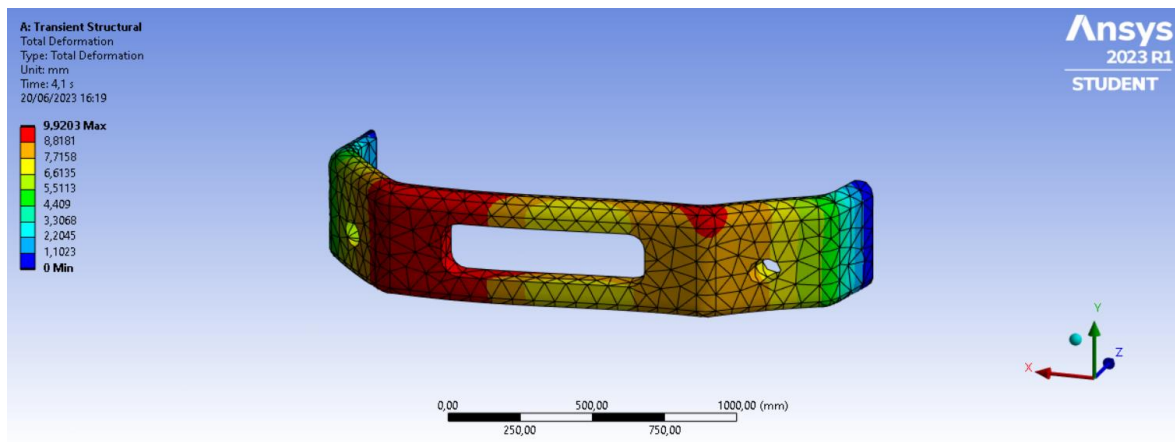


Ilustración 103: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Vinicial= 4,5 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 12,666 = 18,94 \text{ N}$$



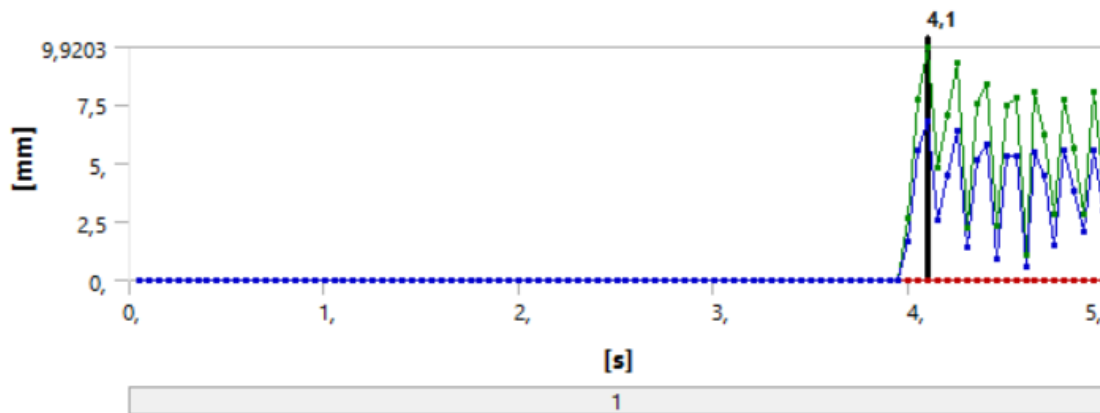


Ilustración 104: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 12,66666 = 27,02N$$

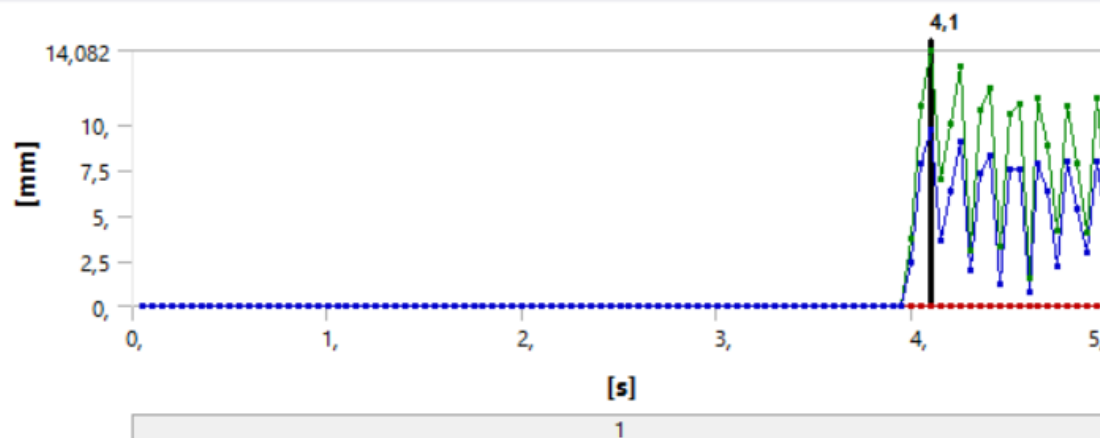
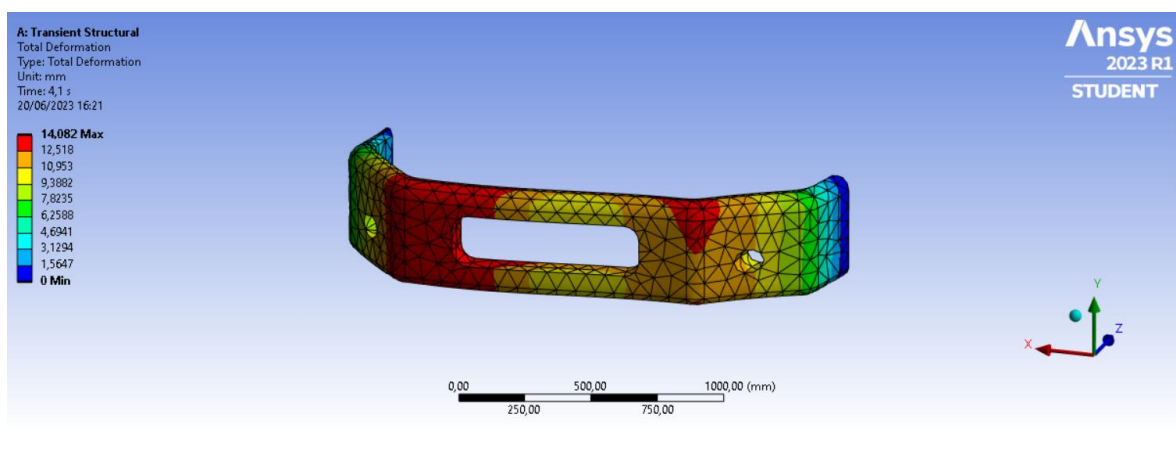


Ilustración 105: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 12,666 = 36,074N$$

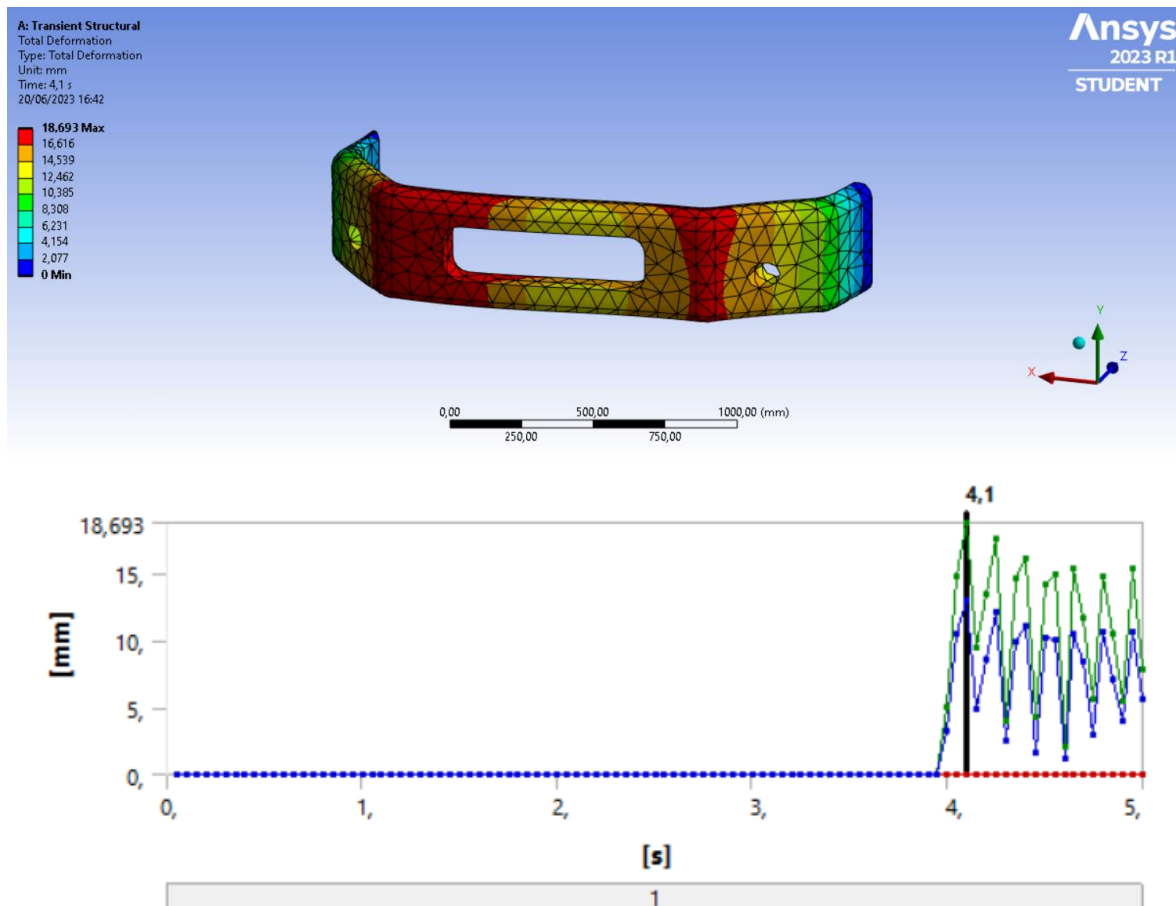


Ilustración 106: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 12,666 = 54,15N$$

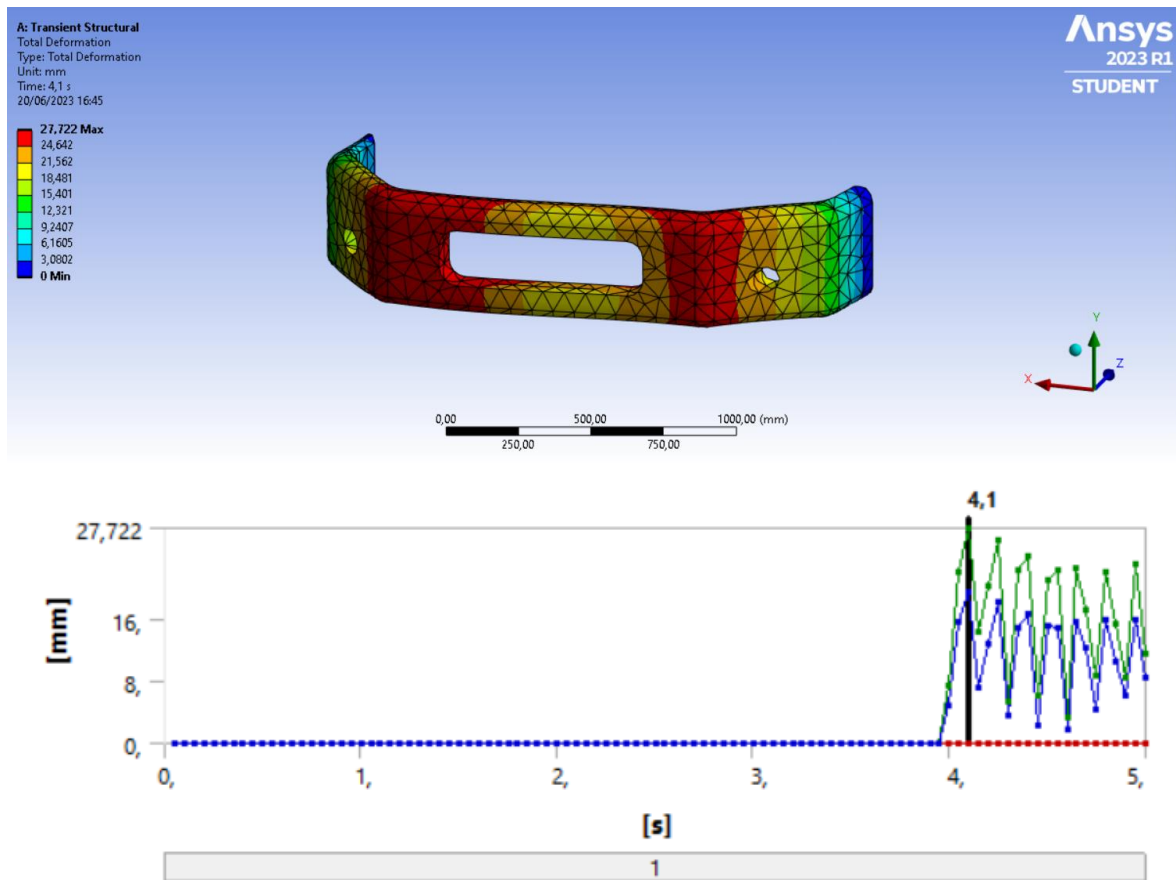
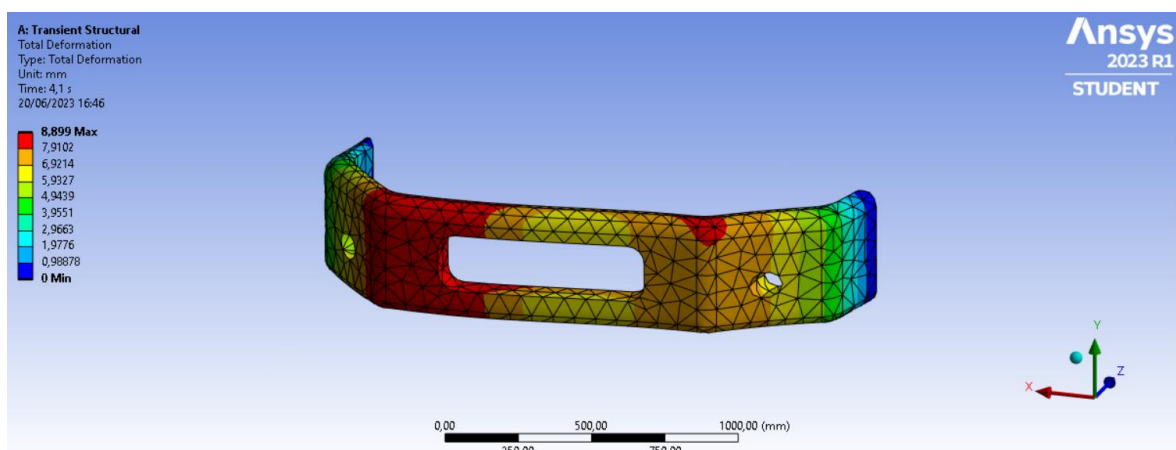


Ilustración 107: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Vinicial= 4 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 11,34 = 16,97N$$



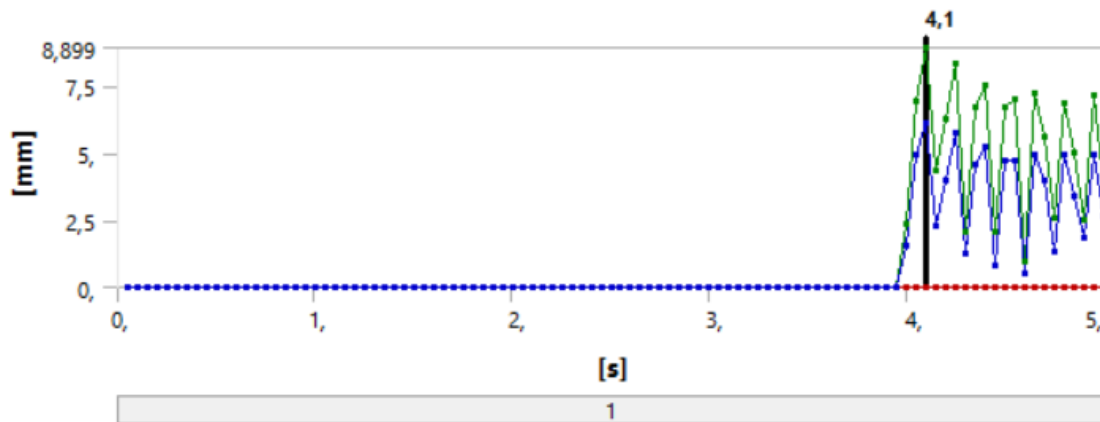


Ilustración 108: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 11,3481 = 24,2158N$$

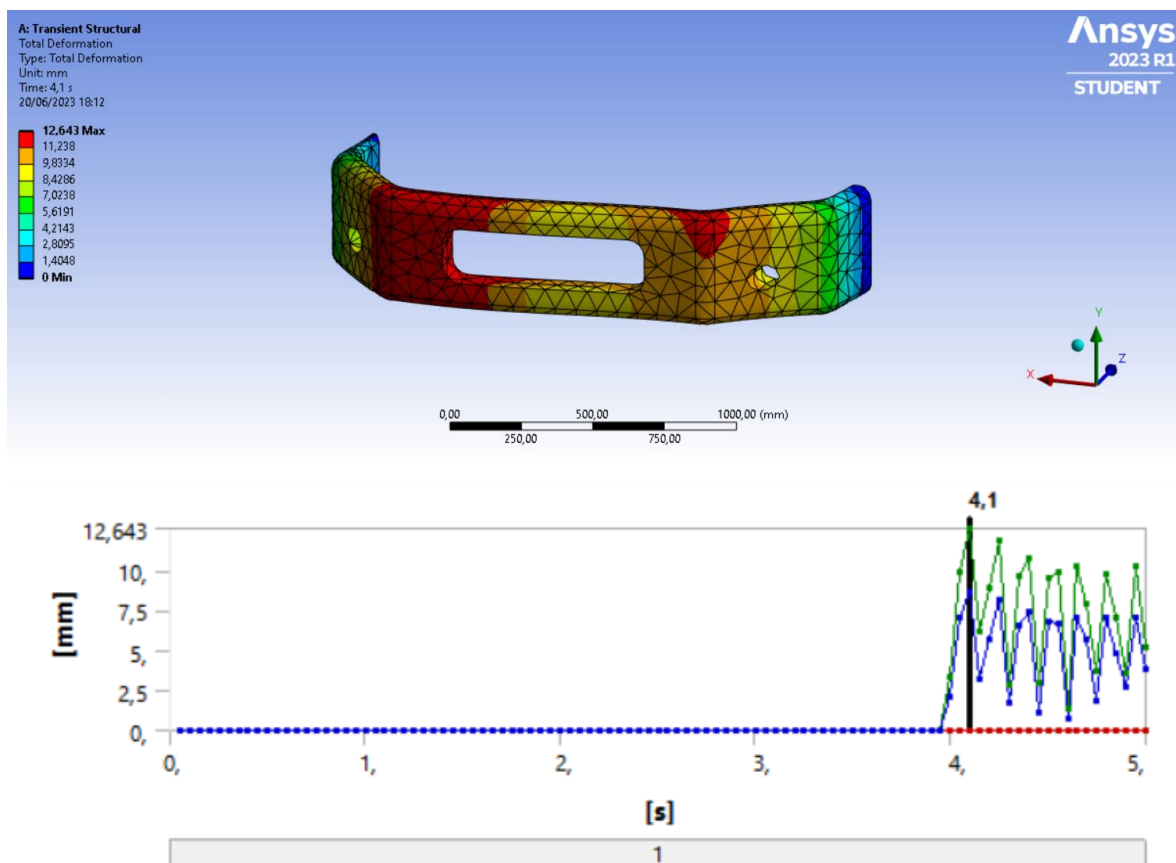


Ilustración 109: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 11,348 = 32,31N$$

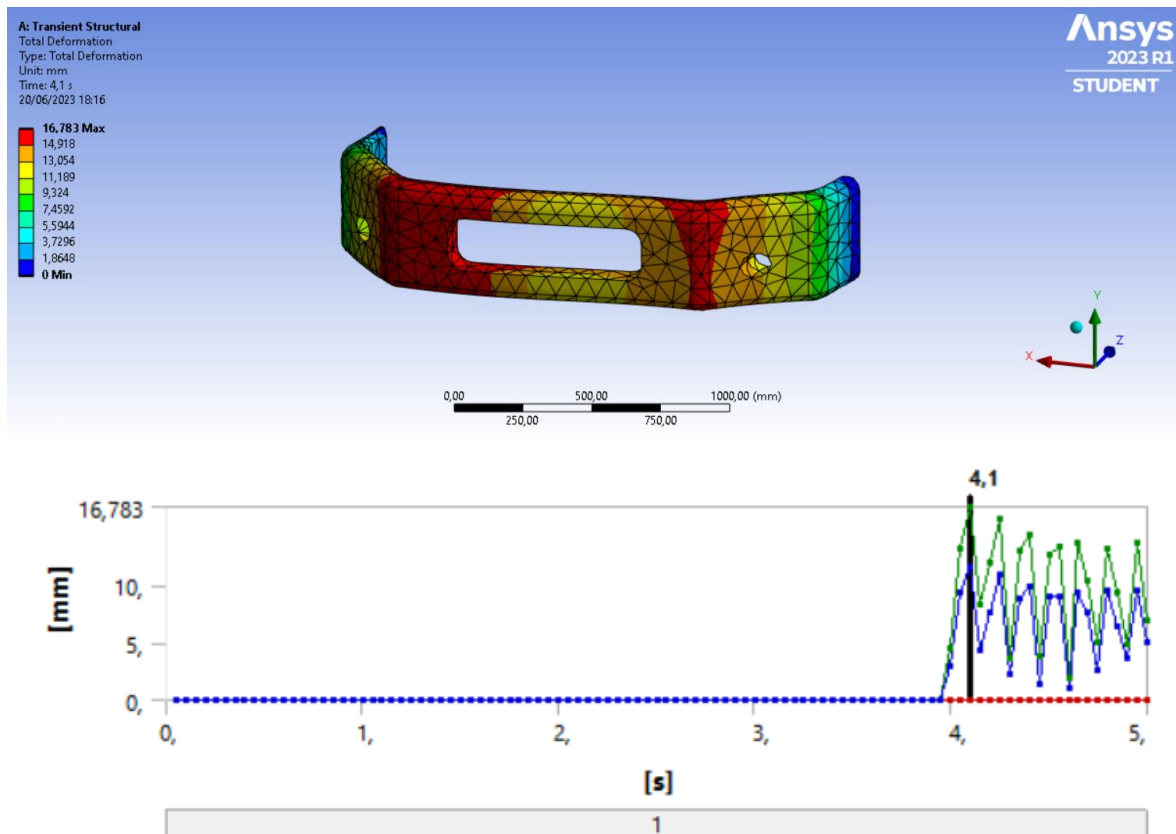
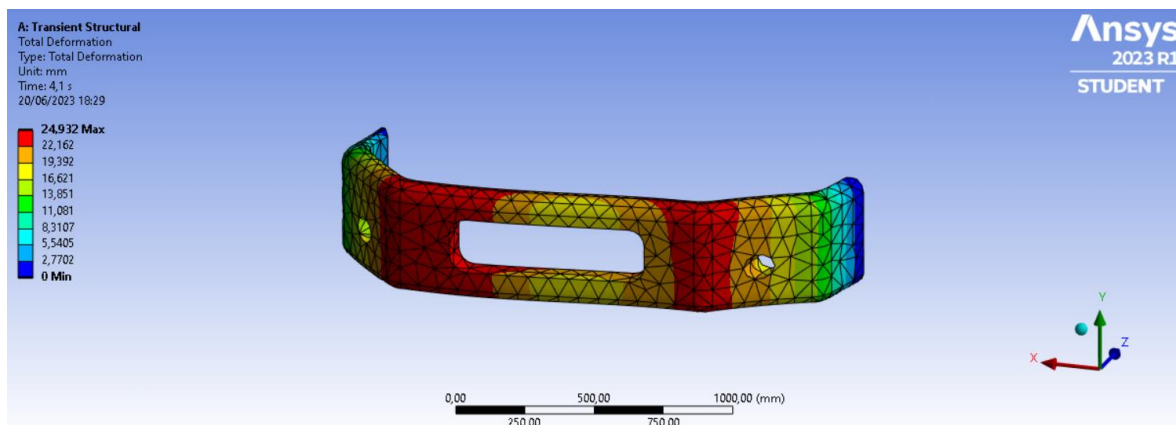


Ilustración 110: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 11,348 = 48,513N$$



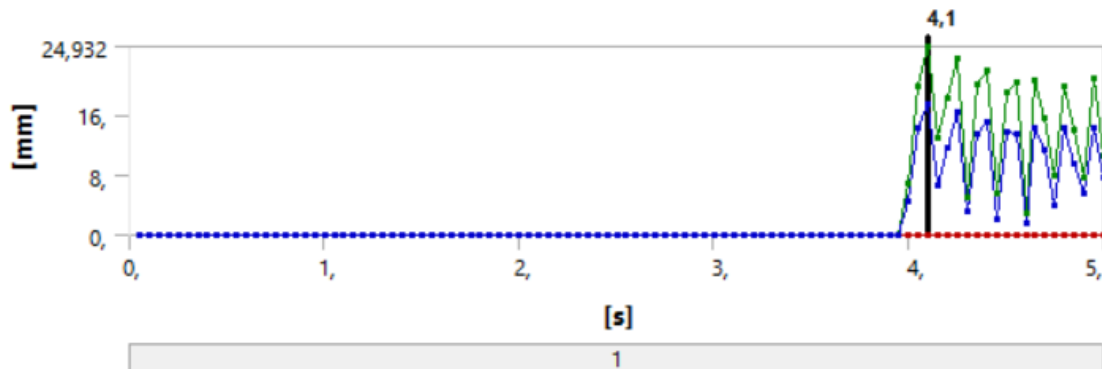


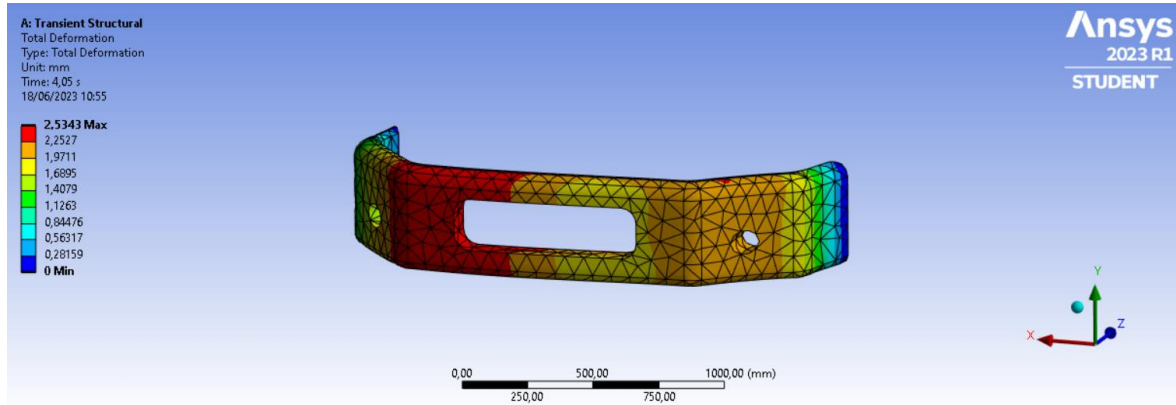
Ilustración 111: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

5.6.3.2 Material Parachoques del coche impactado. Polipropileno expandido con una gravedad específica de 0,040

Vinicial= 6 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 16,48 = 24,65 \text{ N}$$



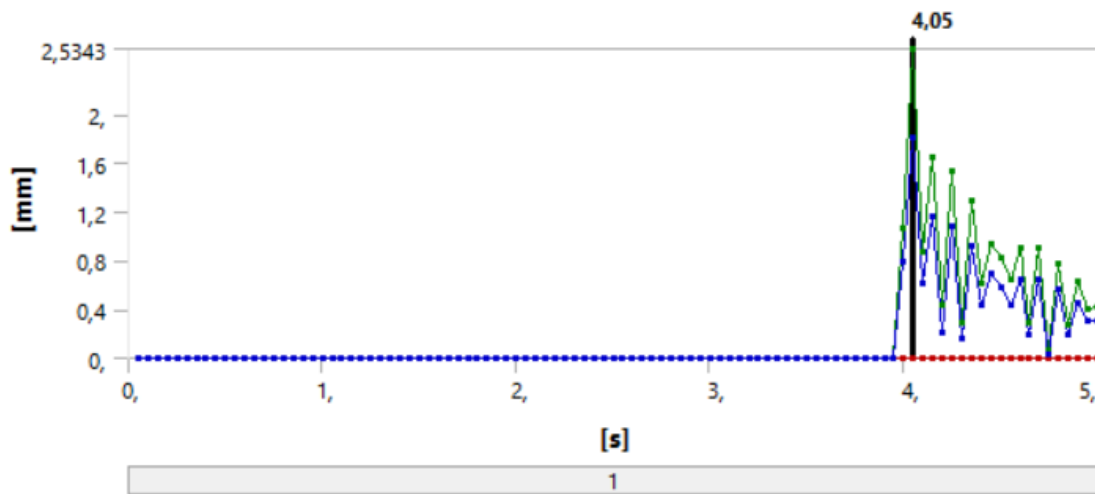
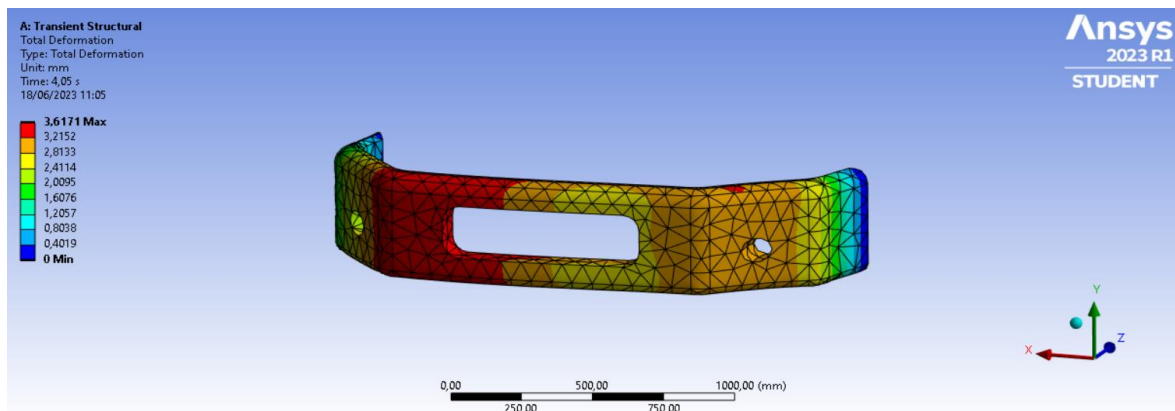


Ilustración 112: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 16,48889 = 35,18564N$$



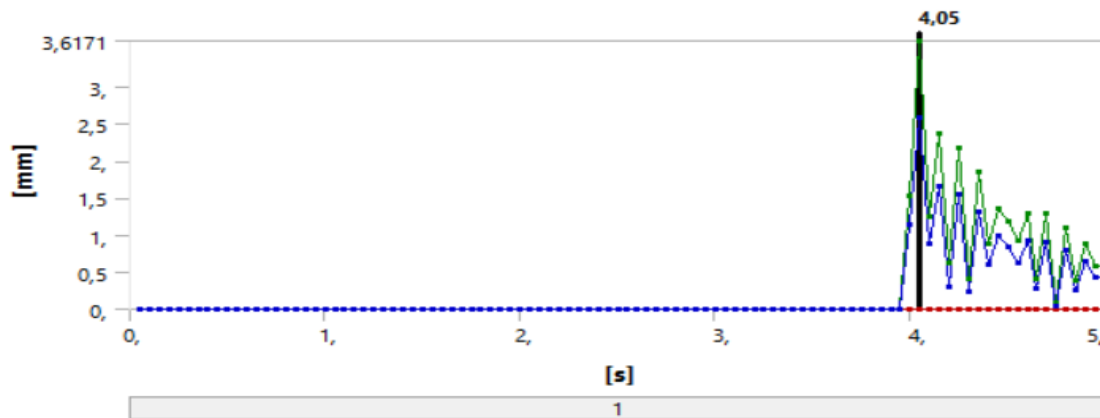


Ilustración 113: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 16,48 = 46,96N$$

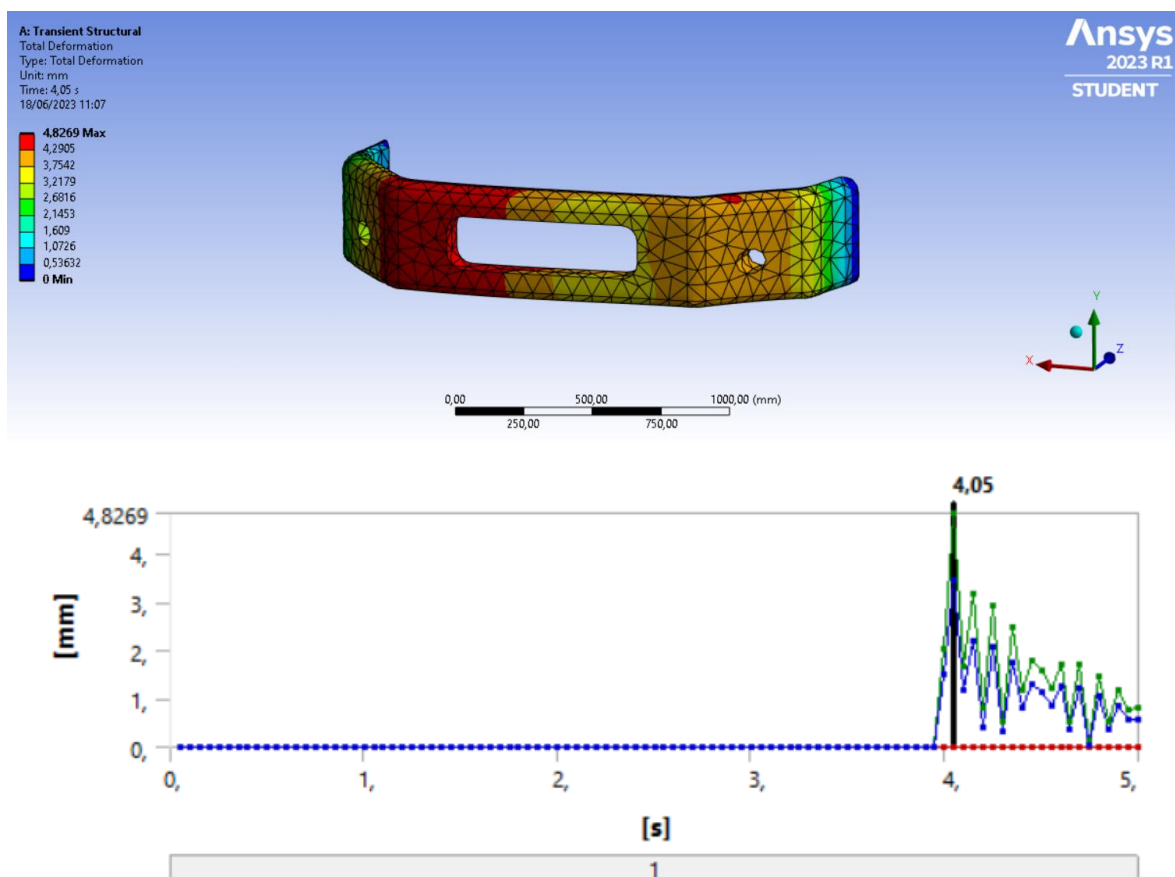


Ilustración 114: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 16,48 = 70,49N$$

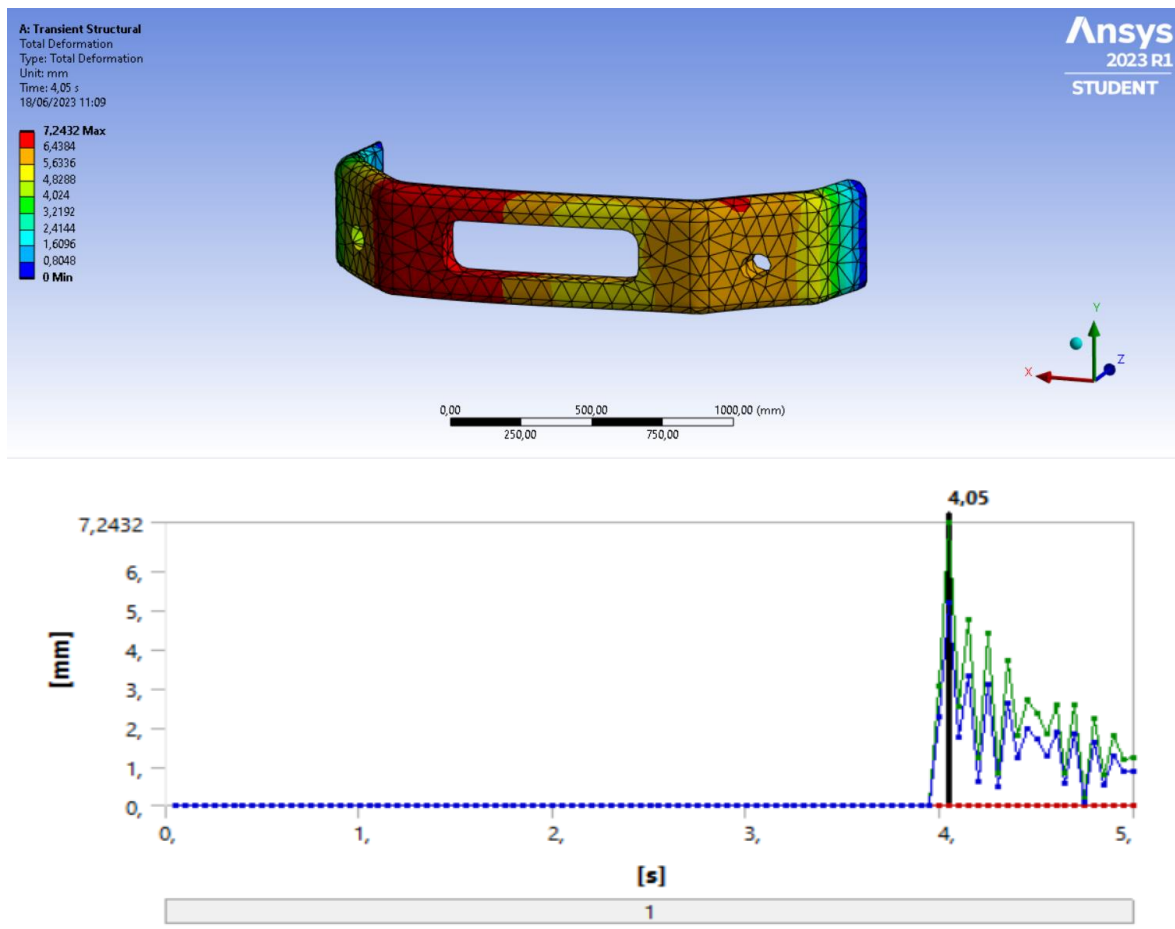


Ilustración 115: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Vinicial= 5,5 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 15,303 = 22,8851 N$$

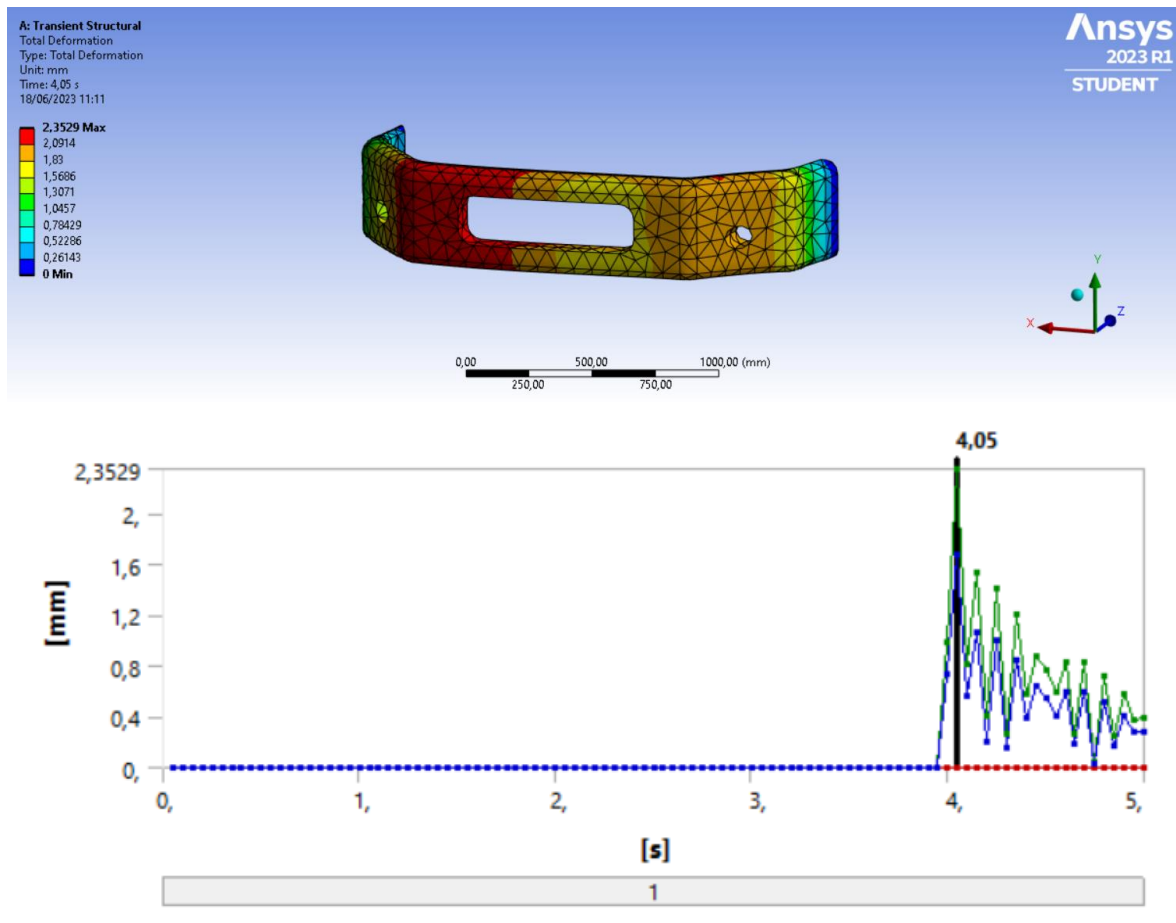
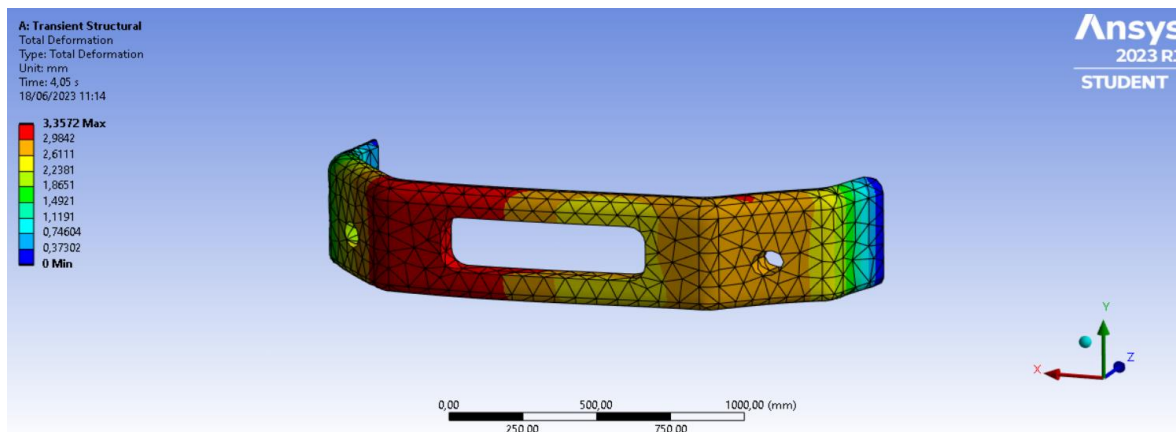


Ilustración 116: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 15,303 = 32,6565N$$



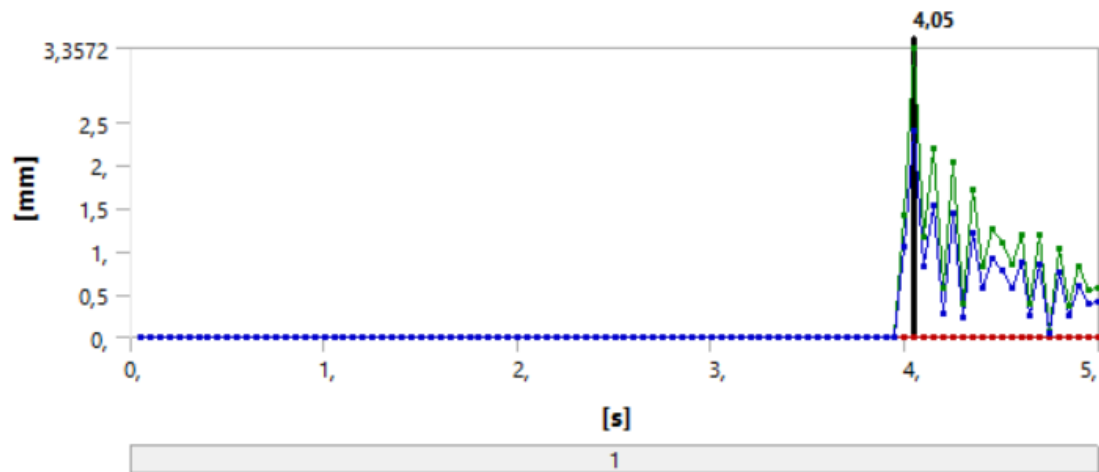
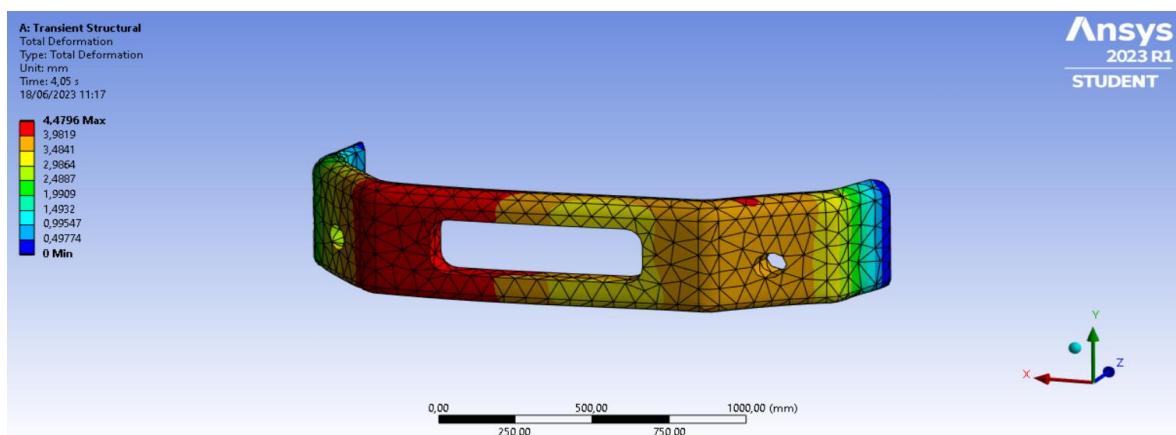


Ilustración 117: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 15,303 = 43,58N$$



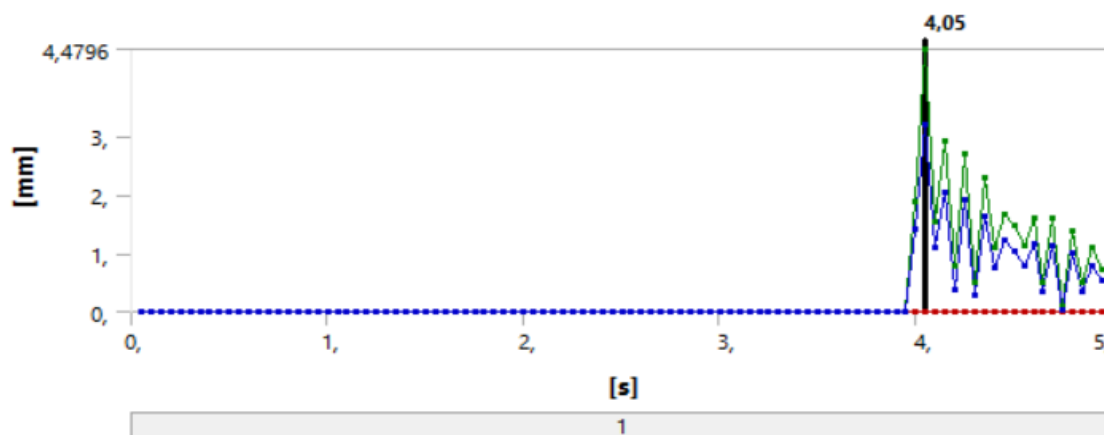


Ilustración 118: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 15,303 = 65,4233N$$

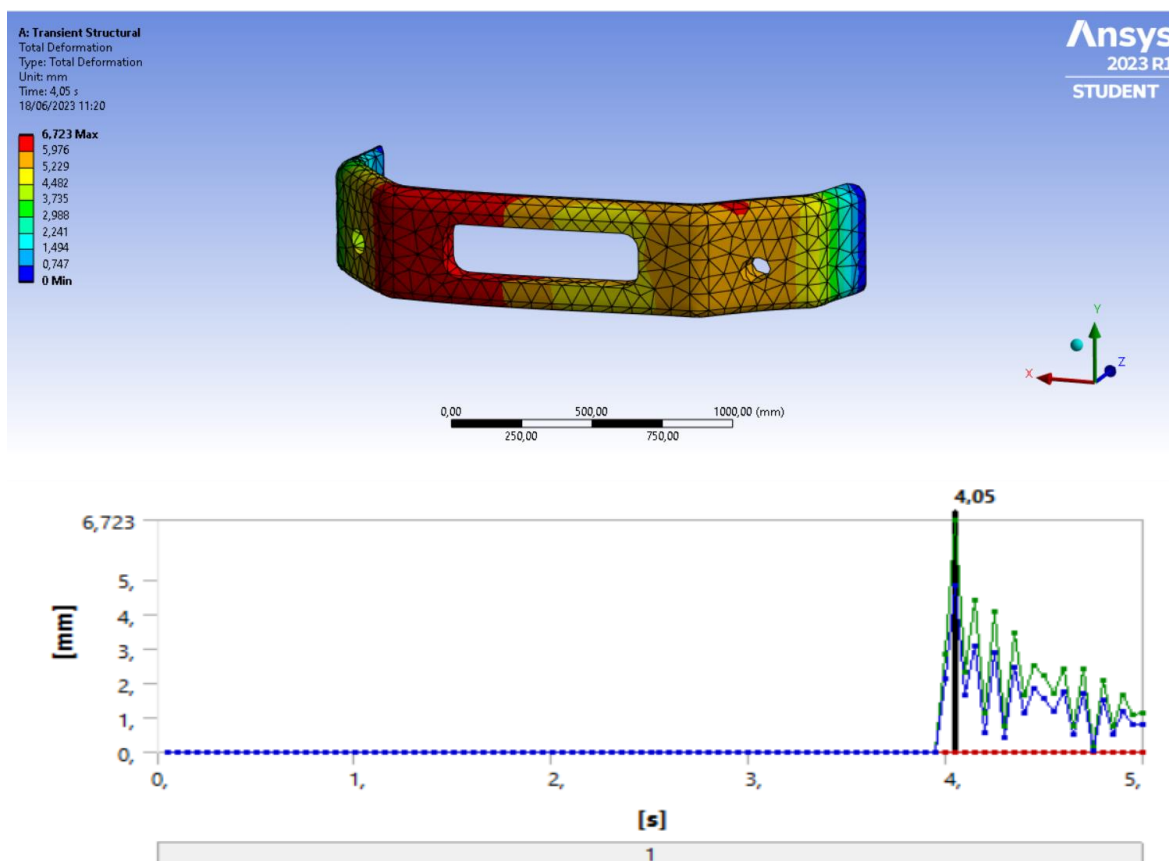


Ilustración 119: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5,5 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Vinicial= 5 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 13,98 = 20,91 \text{ N}$$

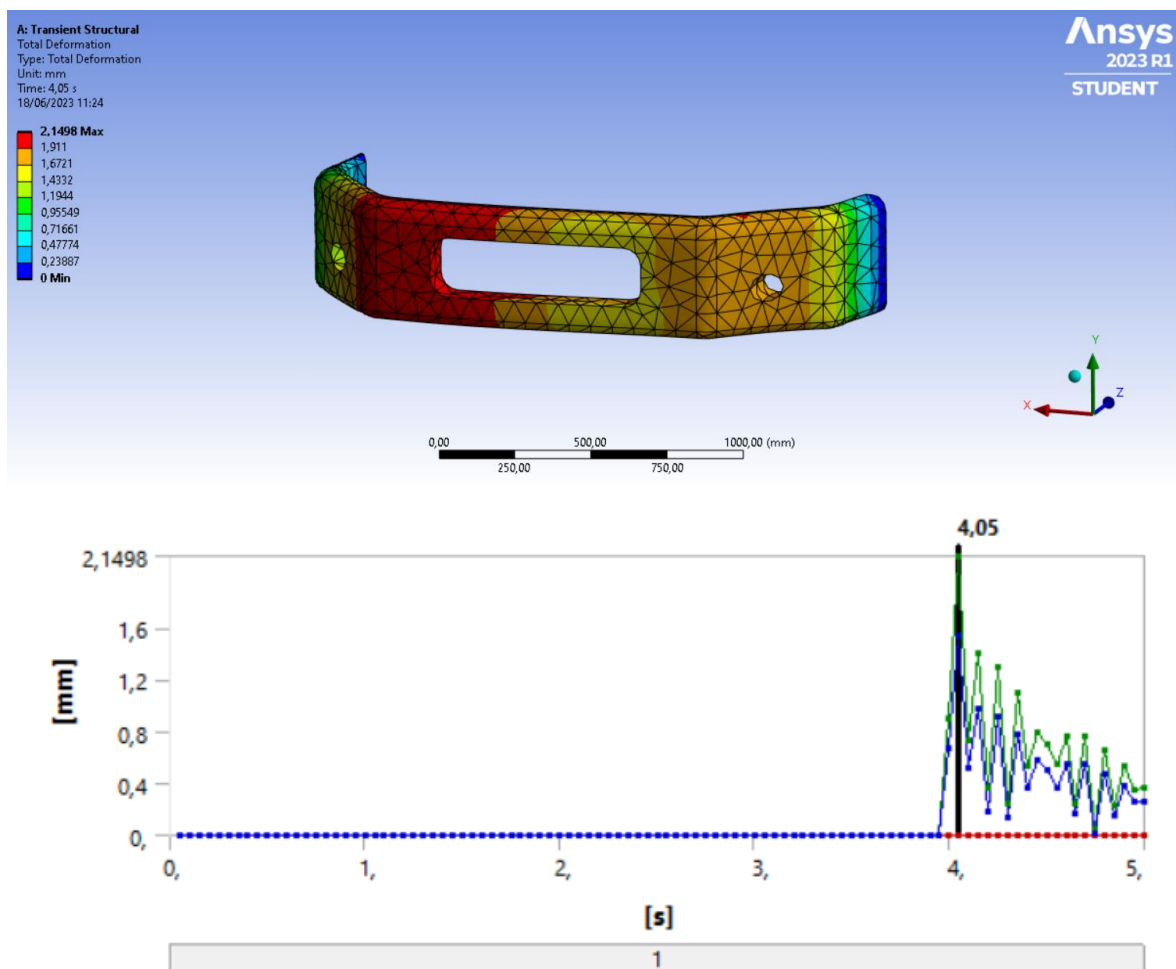


Ilustración 120: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5km/h por Coche que Impacta con Material 0,020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 13,98 = 29,8429 \text{ N}$$

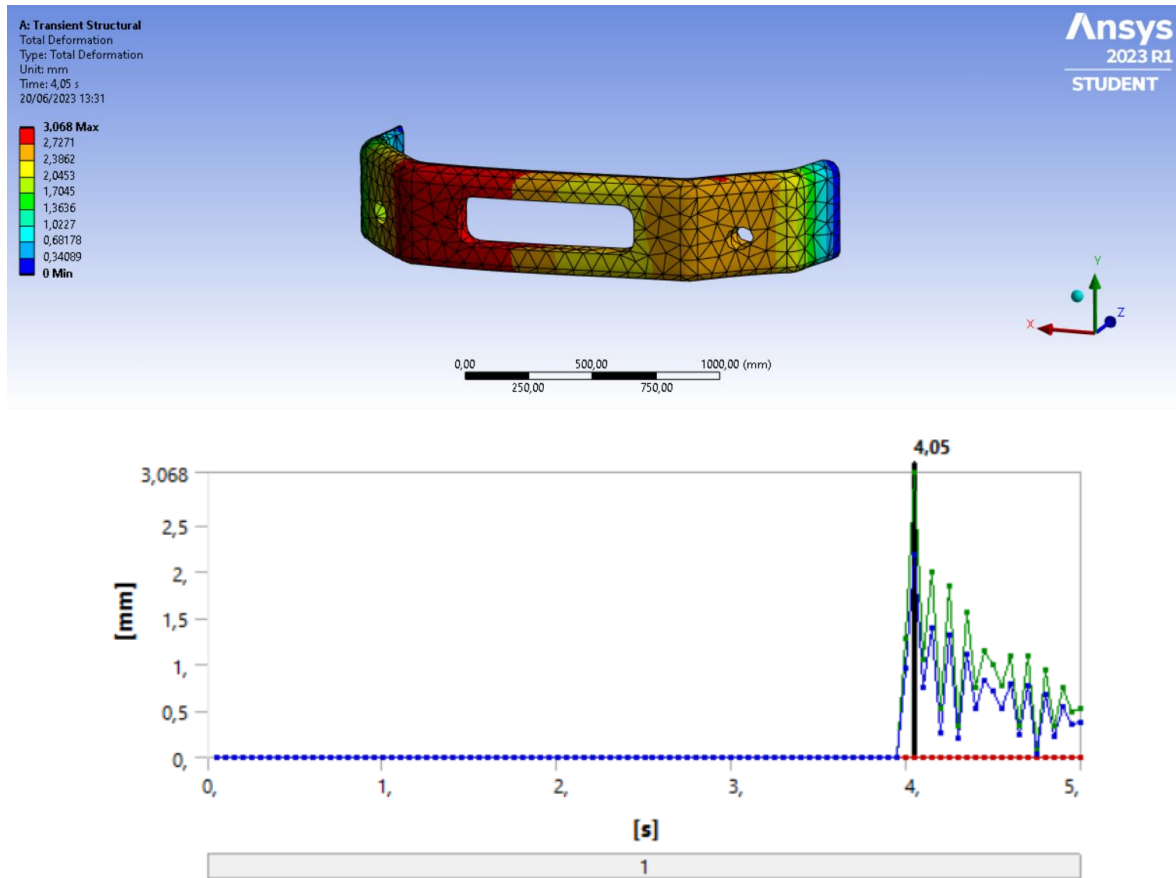
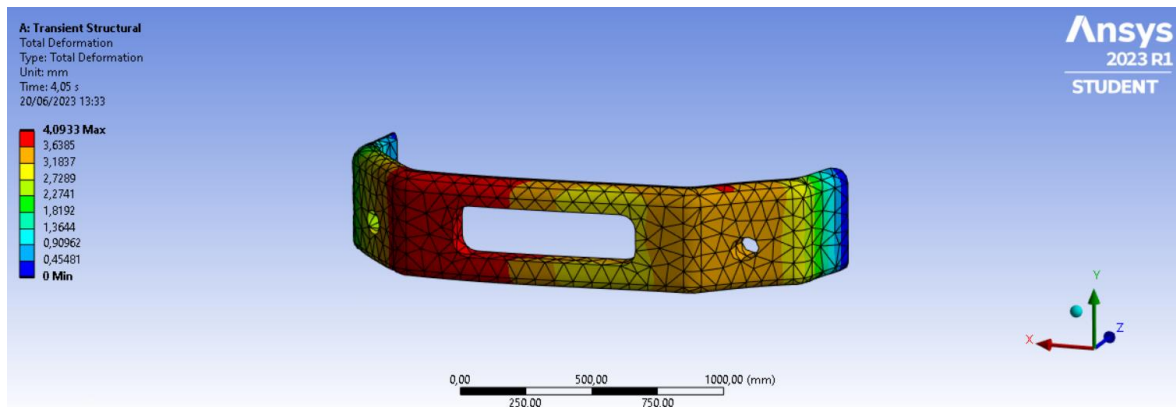


Ilustración 121: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 13,9851 = 39,82N$$



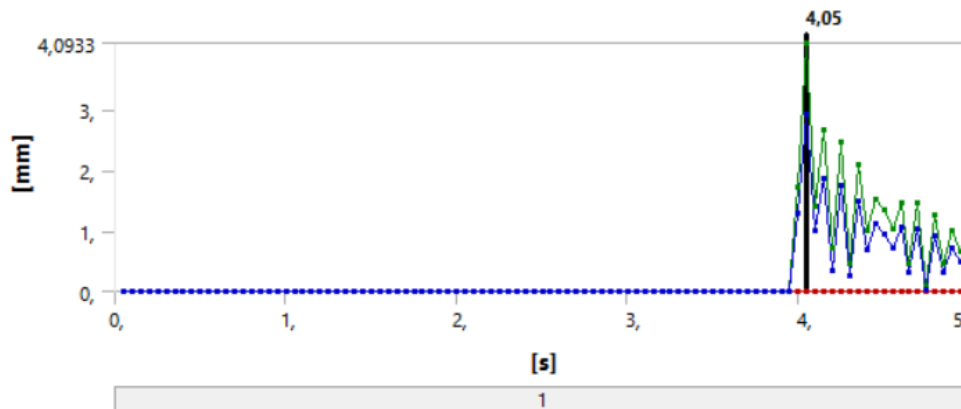


Ilustración 122: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 13,9851 = 59,786N$$

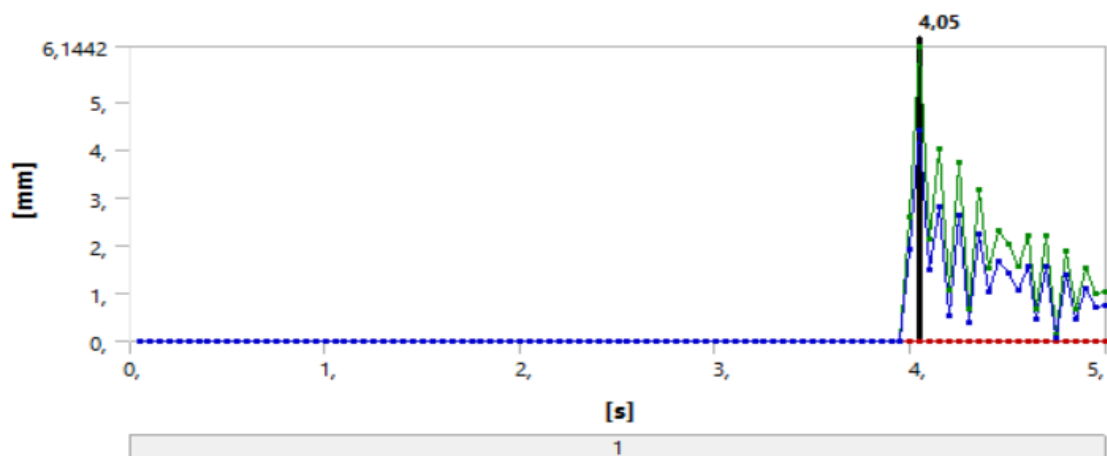
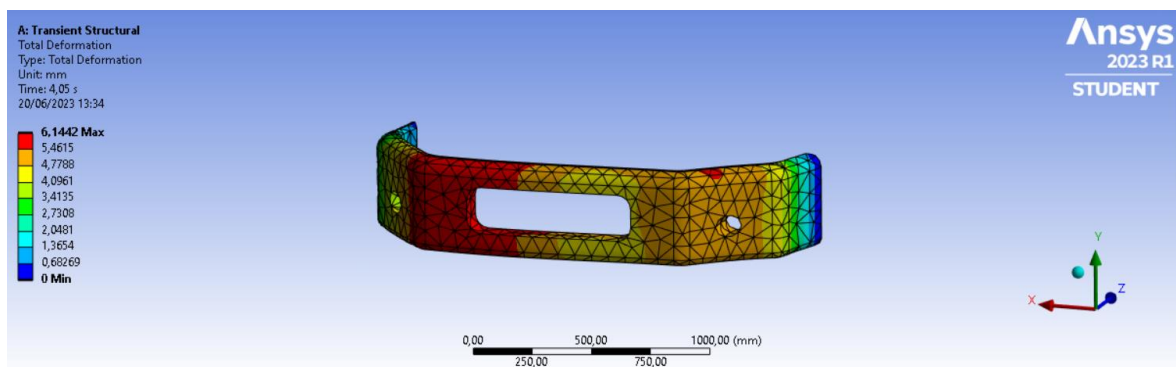


Ilustración 123: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 5km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Vinicial= 4,5 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 12,666 = 18,94 \text{ N}$$

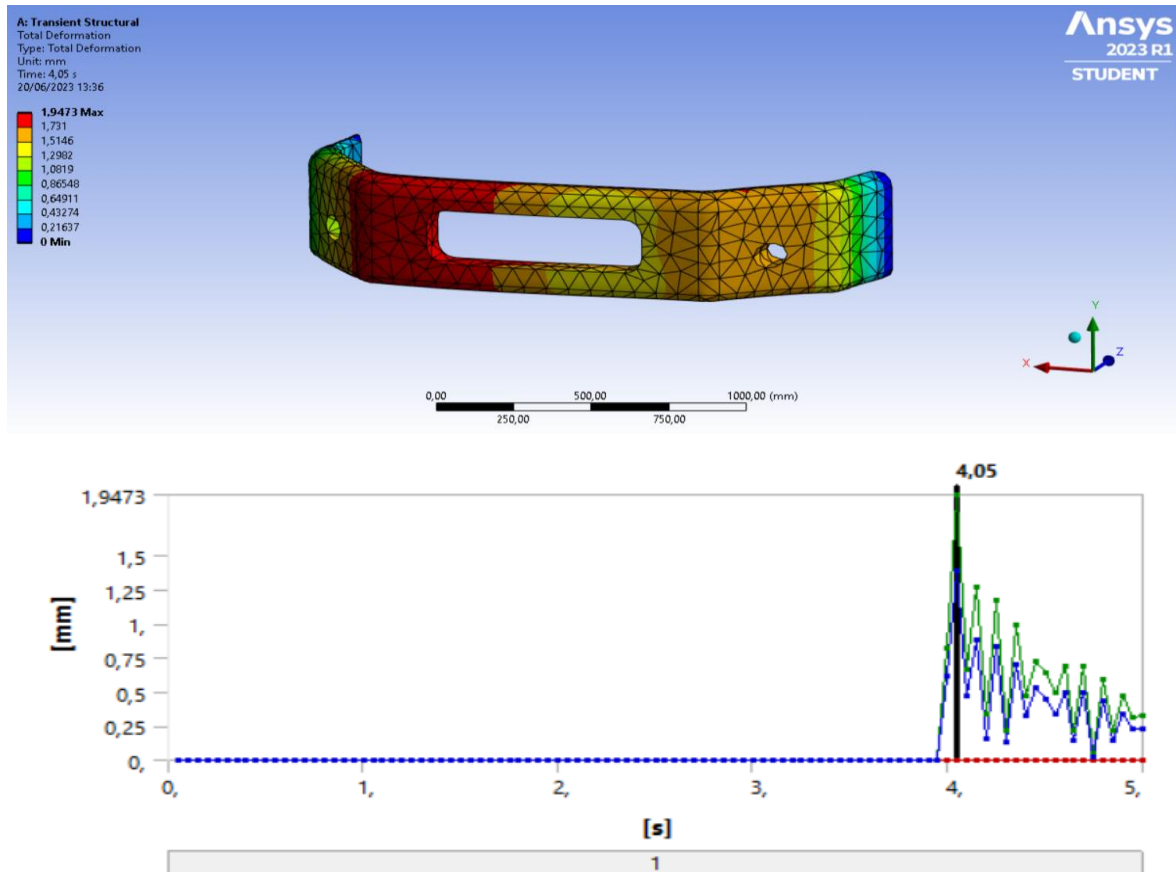
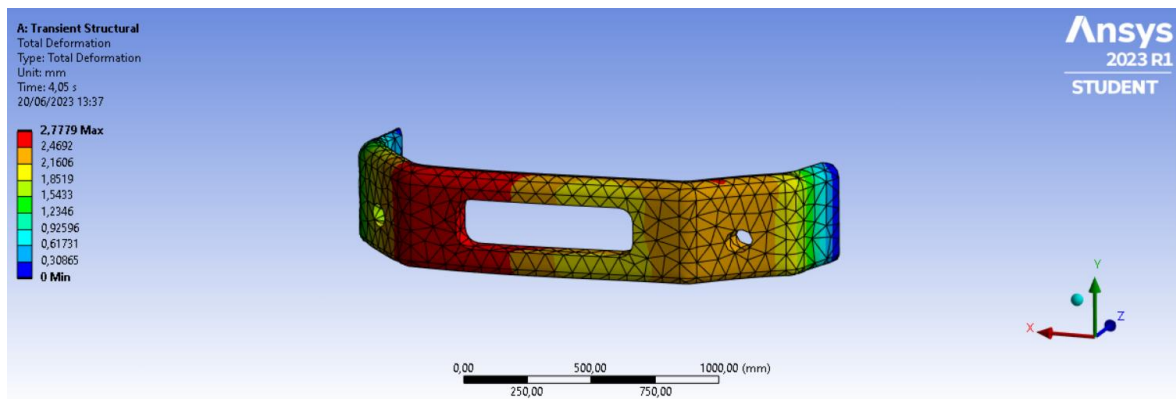


Ilustración 124: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4,5km/h por Coche que Impacta con Material 0,020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 12,66666 = 27,02 \text{ N}$$



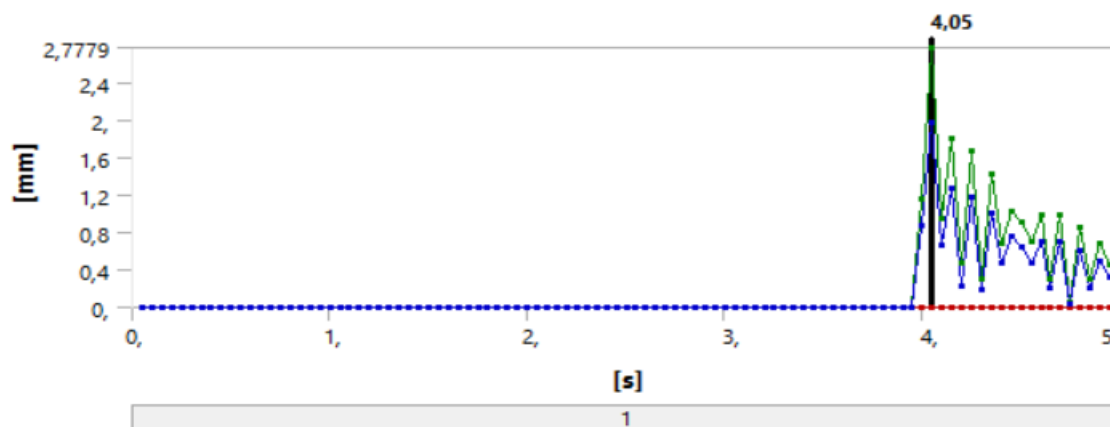


Ilustración 125: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4,5km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 12,666 = 36,074N$$

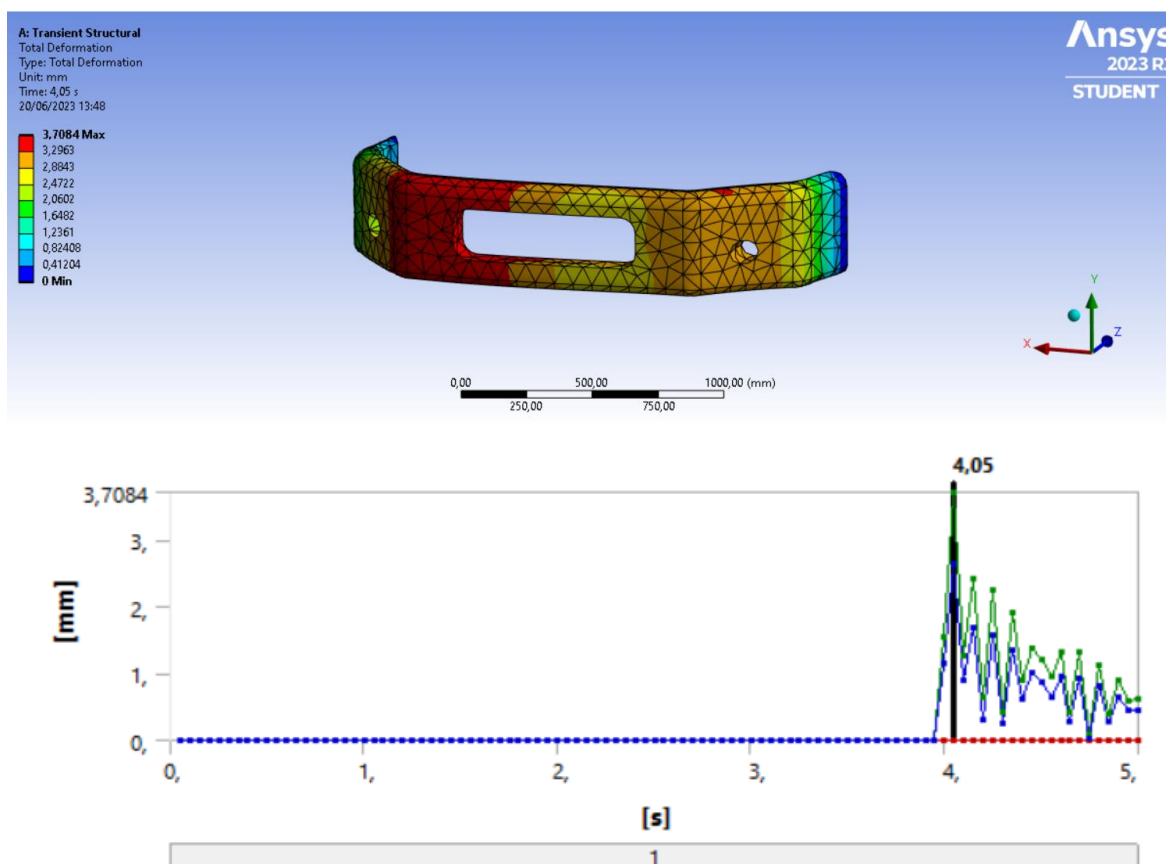


Ilustración 126: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4,5km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 12,666 = 54,15N$$

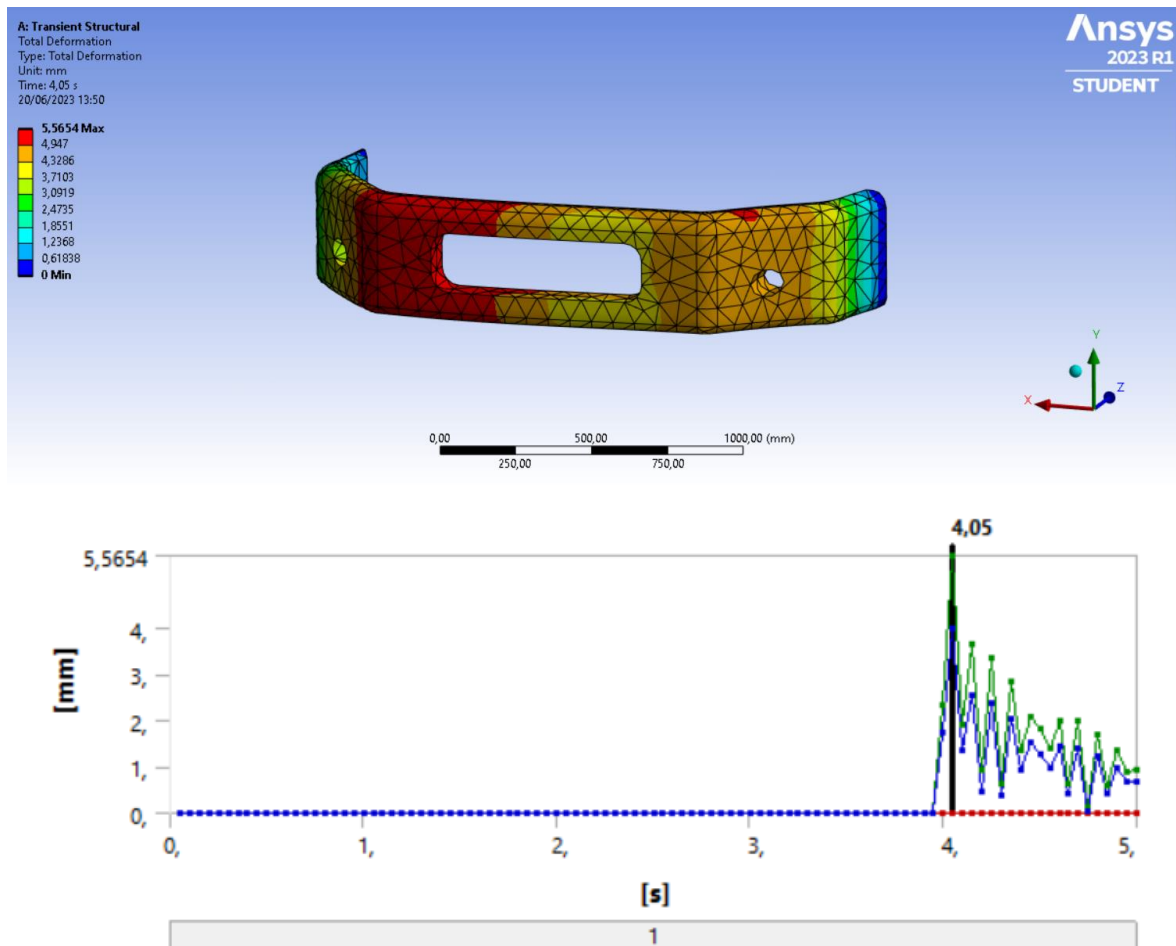


Ilustración 127: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4,5km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Vinicial= 4 km/h

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.020.

$$F = 1,4954 * 11,34 = 16,97N$$

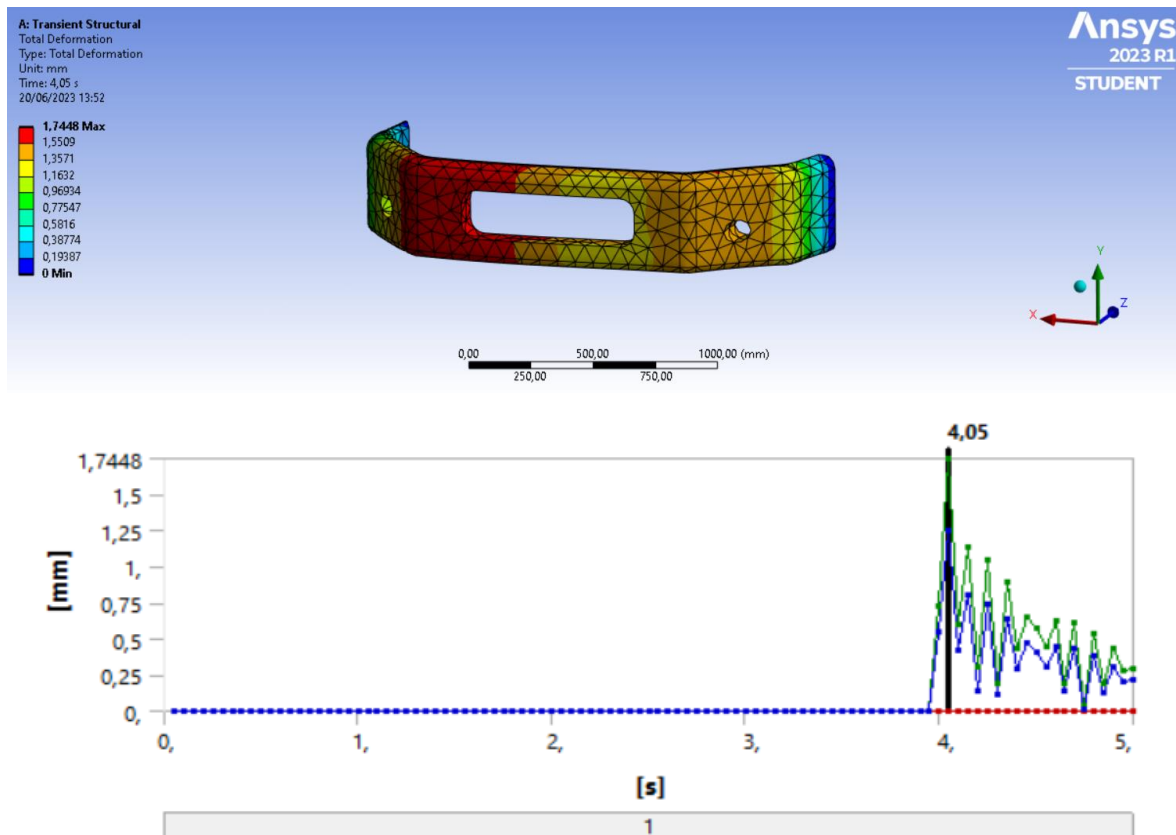
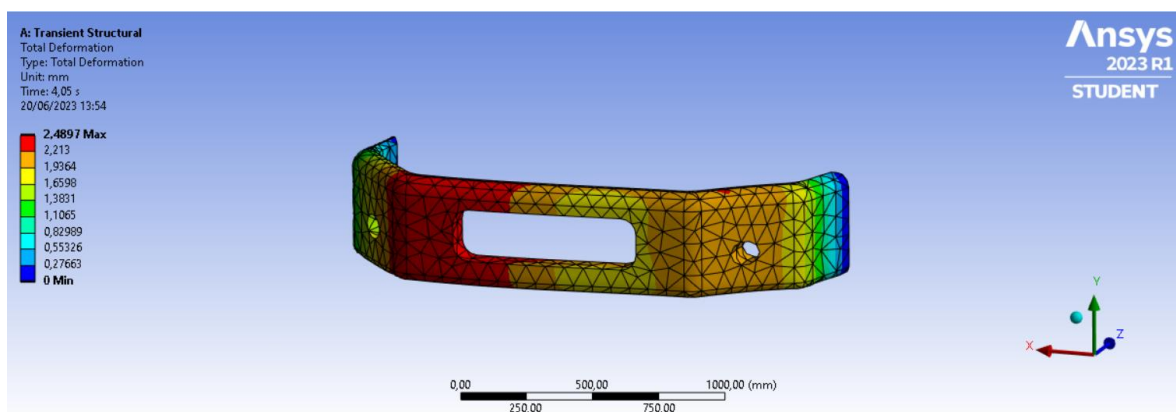


Ilustración 128: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,020

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.030.

$$F = 2,1339 * 11,3481 = 24,2158N$$



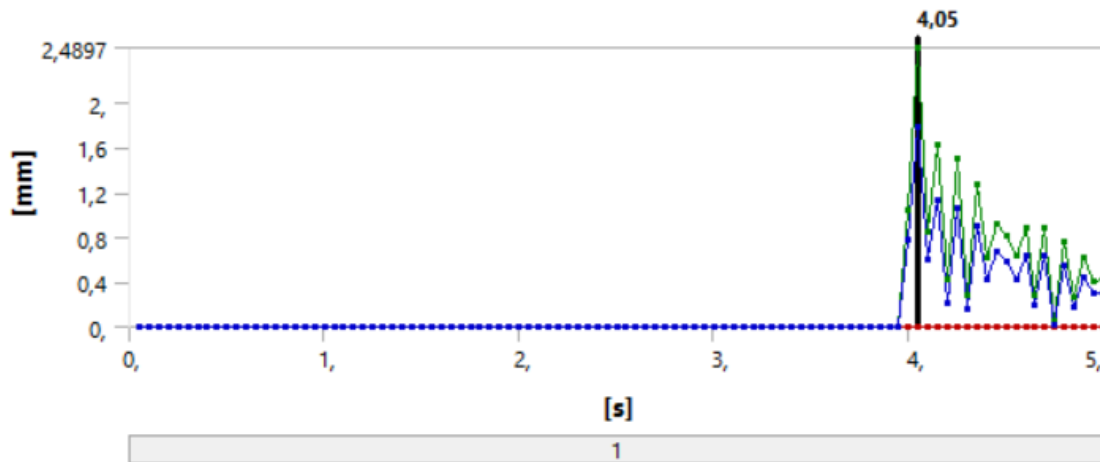
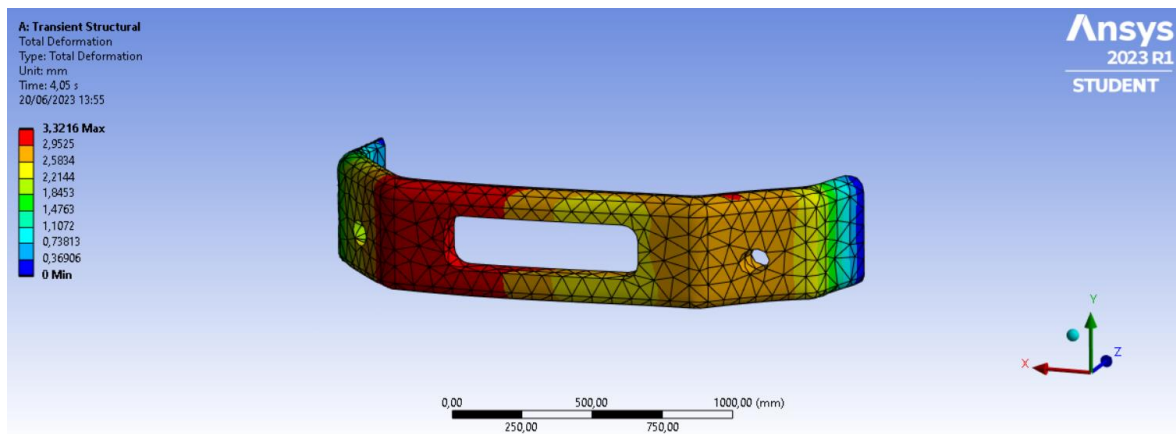


Ilustración 129: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,030

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.040.

$$F = 2,848 * 11,348 = 32,31N$$



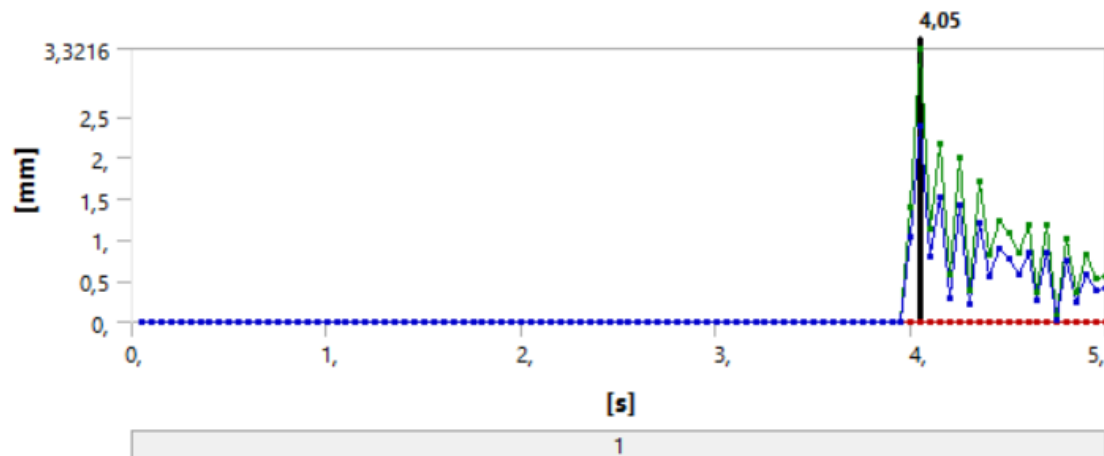
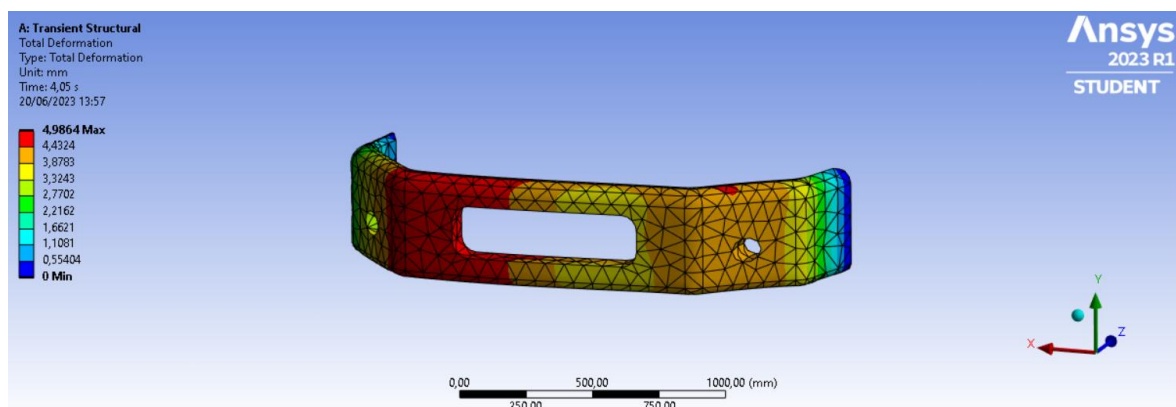


Ilustración 130: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,040

-Coche que impacta con un parachoques de EPP 0.060.

$$F = 4,275 * 11,348 = 48,513N$$



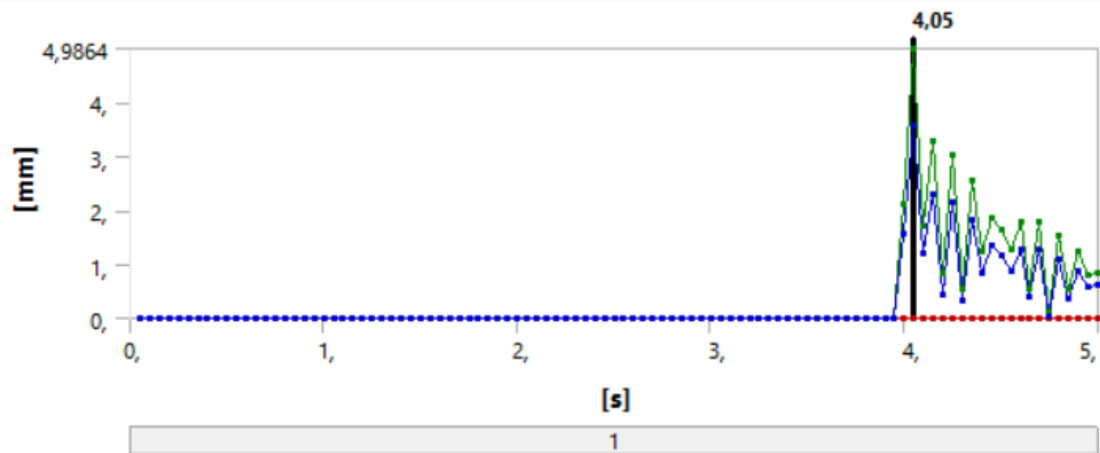


Ilustración 131: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 4 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado, analizaré los resultados obtenidos centrándome en cada material por separado. Primero hablaré sobre las características propias de los materiales y después comentaré los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas.

6.1 ANÁLISIS DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN EL PARACHOQUES

Los materiales habituales de los parachoques son EPP, TPO, PUR y TPF. Expondré los análisis en epígrafes separados incluyendo todas las tablas con los parámetros de los materiales que se analizan, primero aparecerá la tabla relacionada con el precio/Kg y cuánto valdría el material con el volumen del prototipo de parachoques y segundo presentaré el comportamiento ante el fuego de dicho material, así como su comportamiento en la naturaleza.

6.1.1 MATERIALES EPP

Los materiales EPP

Material	Masa del parachoques en Kg	Precio/Kg	Media (Precio/Kg)	Precio Total \$
EPP 0.020	1,4954	1,64-1,8	1,72	2,572088
EPP 0.030	2,1339	1,64-1,8	1,72	3,670308
EPP 0.040	2,848	1,64-1,8	1,72	4,89856
EPP 0.060	4,275	1,64-1,8	1,72	7,353

Tabla 5. Masa y Precio de los Materiales EPP

Material	Comportamiento ante el fuego
EPP 0.020	Highly Flammable
EPP 0.030	Highly Flammable
EPP 0.040	Highly Flammable
EPP 0.060	Highly Flammable

Tabla 6. Comportamiento Ante el Fuego por los Materiales EPP

Material	Comportamiento en el medioambiente
EPP 0.020	Downcycle
EPP 0.030	Downcycle
EPP 0.040	Downcycle
EPP 0.060	Downcycle

Tabla 7: Comportamiento en el Medio Ambiente por los Materiales EPP

6.1.2 MATERIAL PUR

Material	Masa del parachoques en Kg	Precio/Kg	Media (Precio/Kg)	Precio Total \$
PUR®(casting resign, unsaturated)	74,85	1,09-1,37	1,23	92,0655

Tabla 8: Masa y Precio del Material Poliuretano

Material	Comportamiento ante el fuego
PUR®(casting resign, unsaturated)	Slow-Burning

Tabla 9: Comportamiento Ante el Fuego por el Material Poliuretano

Material	Comportamiento en el medio ambiente
PUR®(casting resign, unsaturated)	Downcycle

Tabla 10: Comportamiento en el Medio Ambiente por el Poliuretano

6.1.3 MATERIALES TPO

Material	Masa del parachoques en Kg	Precio/Kg	Media (Precio/Kg)	Precio Total \$
TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)	62,65	1,87-2,42	1,72	107,758
TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)	64,547	1,87-2,42	1,72	111,02084
TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)	64,471	1,87-2,42	1,72	110,89012
TPO (PP+EP(D)M,30-32% barium sulfate)	85,807	1,9-2,4	1,72	147,58804
TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)	70,576	2,39-2,91	2,65	187,0264
TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)	64,009	1,87-2,42	2,145	137,299305

Tabla 11: Masa y Precio de los Materiales TPO

Material	Comportamiento ante el fuego
TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M,30-32% barium sulfate)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)	Highly Flammable
TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)	Highly Flammable

Tabla 12: Comportamiento Ante el Fuego por los Materiales TPO

Material	Comportamiento en el medio ambiente
TPO (PP+EP(D)M, Shore A75)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, Shore D60)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, Shore D50)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M,30-32% barium sulfate)	Recycle y Downcycle
TPO (PP+EP(D)M, 10-15% glass fiber)	Downcycle

TPO (PP+EP(D)M, Shore A90/D40)	Recycle y Downcycle
--------------------------------	---------------------

Tabla 13: Comportamiento en el Medio Ambiente por los Materiales TPO

6.1.4 MATERIAL TPV

Material	Masa del parachoques en Kg	Precio/Kg	Media (Precio/Kg)	Precio Total \$
TPV(PP+EP(D)M, Shore A70,flame retarded)	89,817	4,02-4,26	4,14	371,84238

Tabla 14: Masa y Precio de los Materiales TPV

Material	Comportamiento ante el fuego
TPV(PP+EP(D)M, Shore A70,flame retarded)	Self-extinguishing

Tabla 15: Comportamiento Ante el Fuego por el Material TPV

Material	Comportamiento ante el medio ambiente
TPV(PP+EP(D)M, Shore A70,flame retarded)	Recycle y Downcycle

Tabla 16: Comportamiento en el Medio Ambiente por el Material TPV

6.1.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LOS MATERIALES EXPUESTOS PREVIAMENTE

Con el material EPP podemos comprobar que, de todos los materiales analizados y simulados, este tipo de material es el más ligero. También se comprueba que cuanto más rígido es el material, más pesará, lo que conllevará a que sea más caro, aparte de ser más resistente tal y como se verá en los resultados de las simulaciones. Knauf Industries hace hincapié en la reciclabilidad del EPP indicando su sostenibilidad[41], pero tal como hemos podido apreciar, aunque este material se pueda reciclar no será de igual calidad que antes. También hay que indicar que todas las versiones tienen un mal comportamiento respecto al fuego, haciendo que este se pueda propagar rápidamente si hiciera aparición en un accidente de tráfico. Por último, quiero recalcar que, de todos los materiales analizados, los materiales EPP son los que tienen un peso más cercano a la realidad, esto se debe a que saqué las dimensiones del labio inferior de un parachoques, el cual tiene un espesor elevado, parecido a la del núcleo del parachoques.

El material poliuretano es uno de los materiales que tiene buen comportamiento ante el fuego y tiene buen precio, por ese motivo y a pesar de que solo puede ser infrarreciclado, es el material más usado para hacer las carcasas de los parachoques. Esto lo podemos ver en las distintas páginas web de compra de elementos de automóviles.

Los materiales TPO presentan buenas características en cuanto a la reciclabilidad y el precio no es tan elevado comparado con el Poliuretano, el cual es ampliamente usado en el

sector. Pero debido a que no presenta buenas características ante el fuego y a que no es más barato que el poliuretano no tiene un amplio uso. Esto se puede confirmar en las páginas de compras de materiales de parachoques donde no he encontrado carcasas fabricadas de estos materiales TPO.

El TPV es comparado con los demás materiales analizados el que presenta el mejor comportamiento ante el fuego y además puede ser reciclado. Por desgracia por culpa de su precio elevado dicho producto no interesa a los fabricantes, haciendo que materiales menos caros sean ampliamente utilizados pese a no tener unas características tan buenas como el TPV.

Con los materiales PUR, TPO y TPV, teniendo en cuenta que son principalmente utilizados en la cubierta del parachoques, cuyo espesor es menor que los 10 cm del prototipo (en algunos trabajos, hacen suposiciones de 3mm de espesor[7]) la masa que presentan es excesiva. Esto supondrá que las fuerzas asociadas al impacto, por la 2ª Ley de Newton, sean demasiado elevadas. De esta forma se tendrá que aplicar, tal y como se ha indicado durante la parte de resolución de la simulación, un coeficiente de reducción para obtener fuerzas más acordes a la realidad.

Tengo que hacer una última precisión respecto al precio. El parámetro precio/kg se refiere al material en bruto, por tanto, el precio del material no cuenta con los diversos procesos de mecanizado requeridos para obtener parachoques, así que el precio final podría ser más caro de lo que aparece en las tablas.

6.2 ANÁLISIS DE LAS SIMULACIONES

Analizaré en esta parte los distintos elementos que he usado en las simulaciones del parachoques, incluyendo una comparativa de los resultados obtenidos en cada una de las partes de los análisis.

6.2.1 RESULTADOS COCHE QUE IMPACTA. CHOQUE FRONTAL

Para los resultados del Coche Impactado la simulación nos muestra un comportamiento bastante aceptable de los materiales, donde se comprueba que cuanto más velocidad tiene el vehículo que impacta, más fuerza hay en el impacto lo que conllevará más deformación. También podemos comprobar que los materiales más rígidos presentan un comportamiento parecido entre ellos, aunque el material EPP 0,060 proporciona y recibe más fuerza de impacto que el material EPP 0,040. Esta última observación fue determinante para la elección que realicé de los materiales a analizar en la parte del coche impactado.

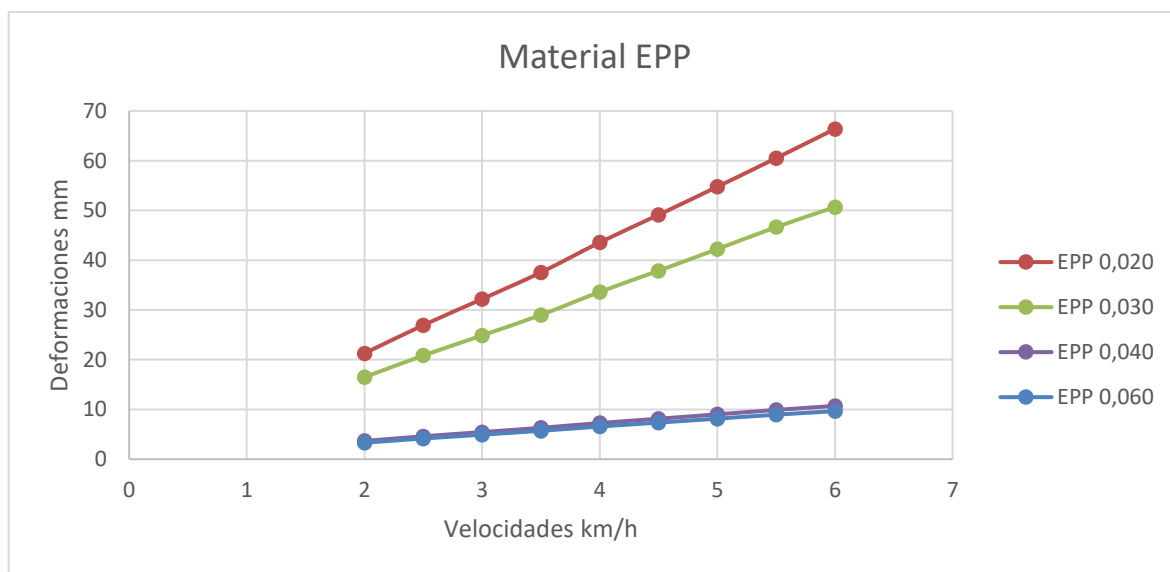


Ilustración 132: Comparativa de las Deformaciones-Velocidades Entre los Distintos Materiales EPP

En todos los choques realizados en este apartado podemos observar una cierta tendencia de los materiales a volver a su posición inicial, tras el choque. Esto nos demuestra la elasticidad de dichos materiales, los cuales ante las fuerzas que se generan a dichas velocidades, no sufren deformaciones plásticas, facilitando así que tras un accidente de tráfico a bajas velocidades no sea necesario realizar modificaciones ni reparaciones en el taller.

En todo caso podemos apreciar que, en los materiales más rígidos, la estabilidad de las deformaciones se alcanza más rápido que en los materiales más flexibles. Esto tiene sentido puesto que al ser más flexibles más se deformará y vibrará, haciendo que se tarde más tiempo en volver a la posición de equilibrio. También, cuanto más rígido es un material, más fuerza es necesaria para obtener deformaciones perceptibles.

En las siguientes gráficas se observan las deformaciones que sufre el coche que impacta a la máxima velocidad de impacto que se ha estudiado en el proyecto.

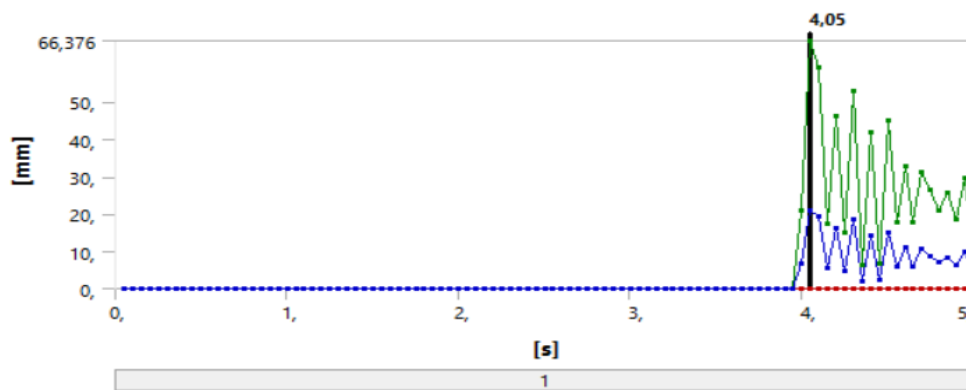


Ilustración 133: Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material 0,020

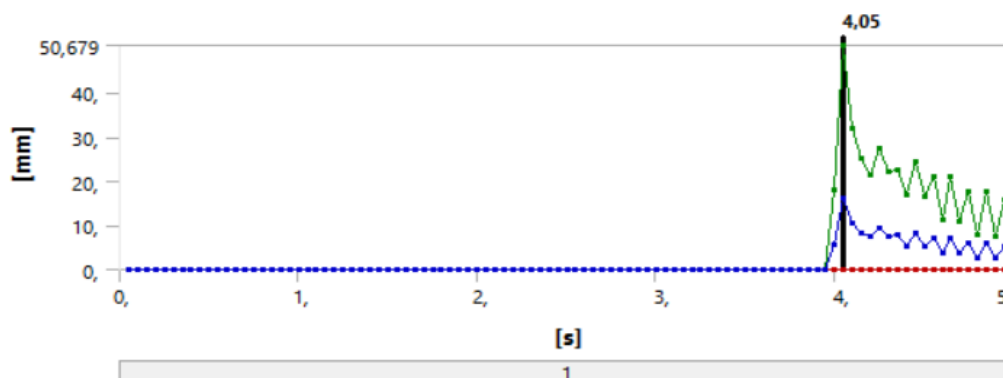


Ilustración 134: Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material 0,030

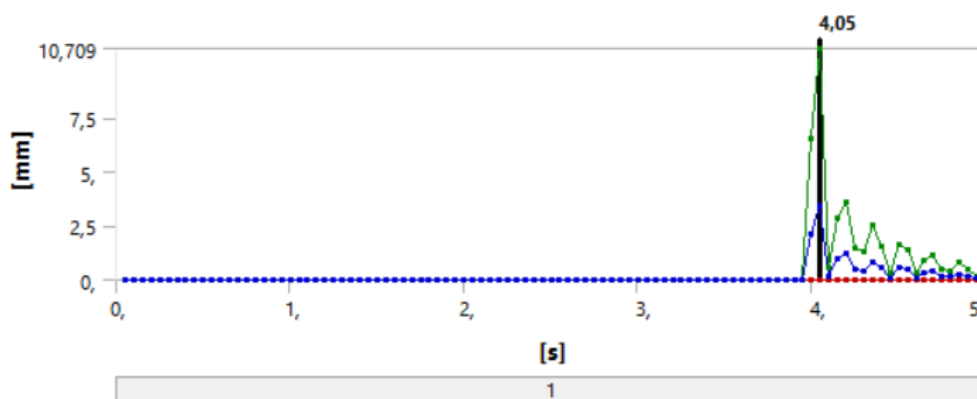


Ilustración 135: Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material 0,040

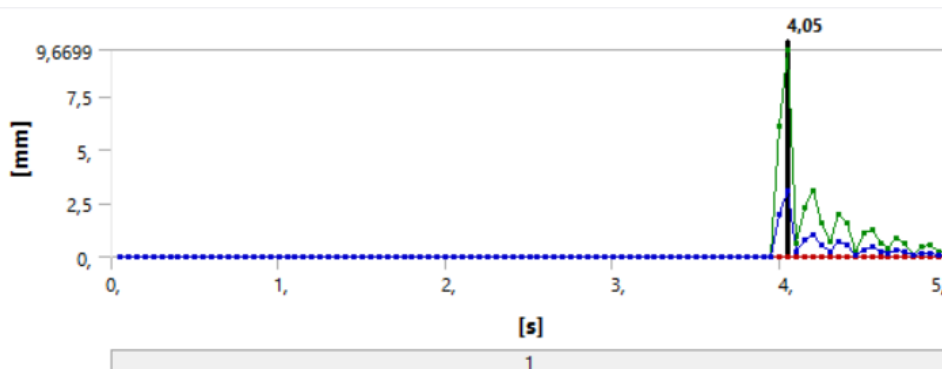


Ilustración 136: Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material 0,060

Recopilando los resultados del material TPV(PP+EP(D)M, Shore A70, flame retarded) las fuerzas obtenidas inicialmente, presentaban unas deformaciones tan elevadas que aparecía la rotura en el material cuando la velocidad era apenas 6km/h. Gracias a la reducción que se aplicó, se han conseguido unas fuerzas y deformaciones más cercanas a la realidad, mostrando al igual que el material EPP, un comportamiento lineal entre Deformación-Velocidad de impacto.

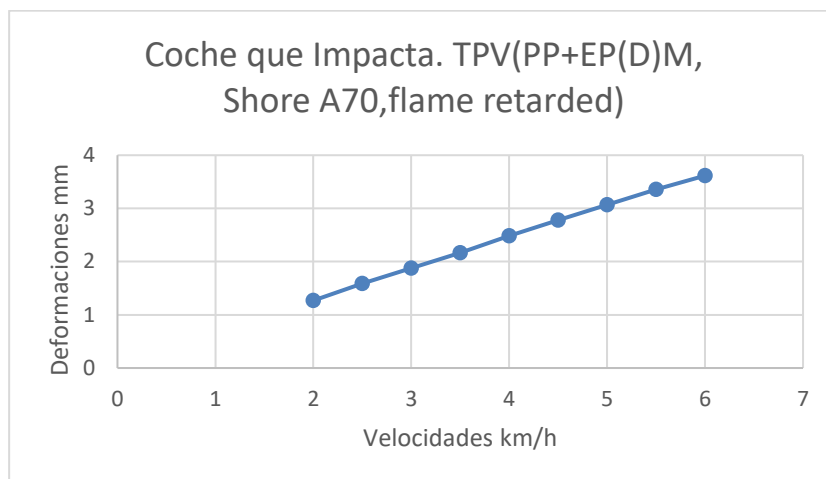


Ilustración 137: Deformaciones-Velocidades en el Material TPV

Como podemos comprobar, el material se comporta de manera igual a la que hacen los materiales del núcleo, a mayor velocidad de impacto presentará mayor deformación máxima, habiendo entre todos los puntos de simulación una relación lineal. Al igual que el material EPP, su comportamiento elástico hace que vuelva a su posición inicial tras el impacto. Aunque se puede comprobar que, a diferencia de los materiales del núcleo, no volverá tan rápidamente a su posición inicial. Se tendría que ampliar el tiempo de estudio, para poder verificar si no quedan deformaciones plásticas de 1 mm de profundidad.

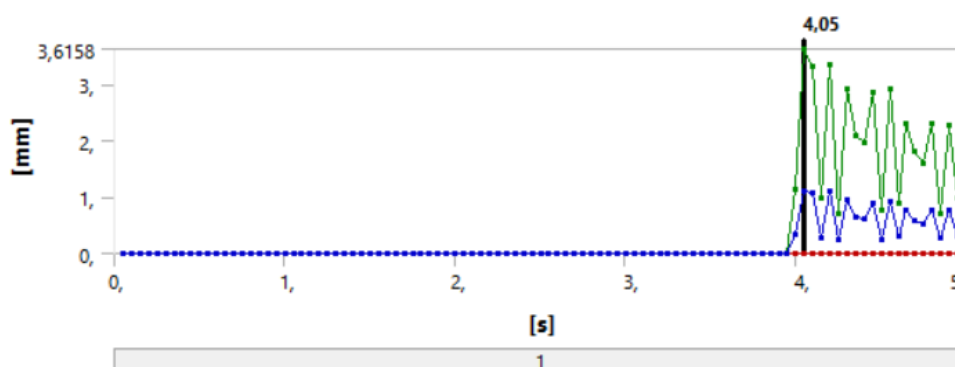


Ilustración 138 Deformaciones del Coche que Impacta a 6 km/h. Material TPV

En los cinco materiales que hemos analizado en el coche que impacta, podemos ver una cierta tendencia a que haya una concentración de deformaciones en la parte inferior de la cara de colisión. Esto se debe a que en la zona inferior hay menos espesor debido a los

achaflanados que he realizado en esa parte, tal y como podemos ver en la vista izquierda del plano del prototipo. El espesor que resistirá la fuerza será mucho menor que la parte superior del parachoques.

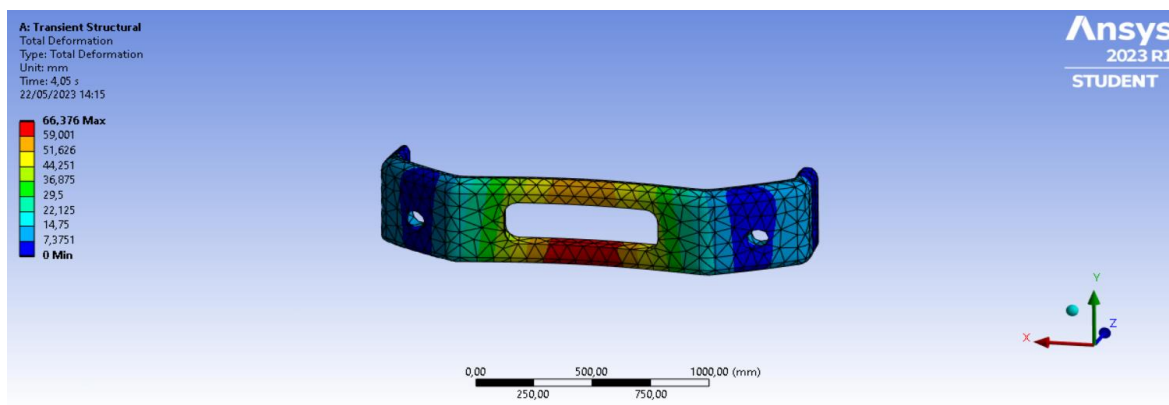


Ilustración 139: Deformaciones que Presenta el Material 0,020

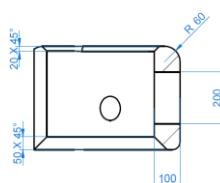


Ilustración 140: Vista Izquierda Plano del Prototipo.

6.2.2 RESULTADOS APARICIÓN DE LA ROTURA. CHOQUE FRONTAL.

En este epígrafe se presentan los datos obtenidos en la parte del ensayo de observación del punto de rotura del parachoques. En la siguiente tabla se muestra a partir de que velocidad de impacto aparece la rotura, la cual dependerá del material del coche que impacta como del que es impactado. Se recogen las velocidades iniciales de los vehículos que impactan, así como las deformaciones y fuerzas que sufre el parachoques del vehículo impactado.

Velocidad inicial del vehículo que impacta km/h		COCHE QUE IMPACTA			
COCHE IMPACTADO	Materiales Parachoques	EPP 0,020	EPP 0,030	EPP 0,040	EPP 0,060
	EPP 0,020	7,1	4,8	3,55	2,3
	EPP 0,030	14,55	9,2	7,05	4,5
	EPP 0,040	39,3	25,5	18	11,25

	EPP 0,060	82,75	55,75	39,7	24

Tabla 17: Velocidades Iniciales del Coche que Impacta en Función de los Materiales del Parachoques

	Materiales Parachoques	Deformaciones(mm)	Fuerzas Newton (N)
COCHE IMPACTADO	EPP 0,020	80,287	29
	EPP 0,030	85,698	54,7
	EPP 0,040	30,837	125
	EPP 0,060	36,59	240

Tabla 18: Deformaciones y Fuerzas que Aparecen Cuando Ocurre la Rotura en el Coche Impactado

Como podemos observar los materiales más flexibles presentan una mayor deformación, pero no soportan el impacto de fuerzas elevadas. Esto propiciará que automóviles con materiales más rígidos no necesiten tener una velocidad muy elevada para realizar una rotura a los coches que tengan materiales más flexibles.

En todos los materiales que se han analizado, las simulaciones han permitido demostrar que las tensiones van a alcanzar el máximo de rotura en los puntos de apoyo antes que en la cara en la que se produce la colisión, por lo que interesa observar primero cómo se encuentran los apoyos fijos.

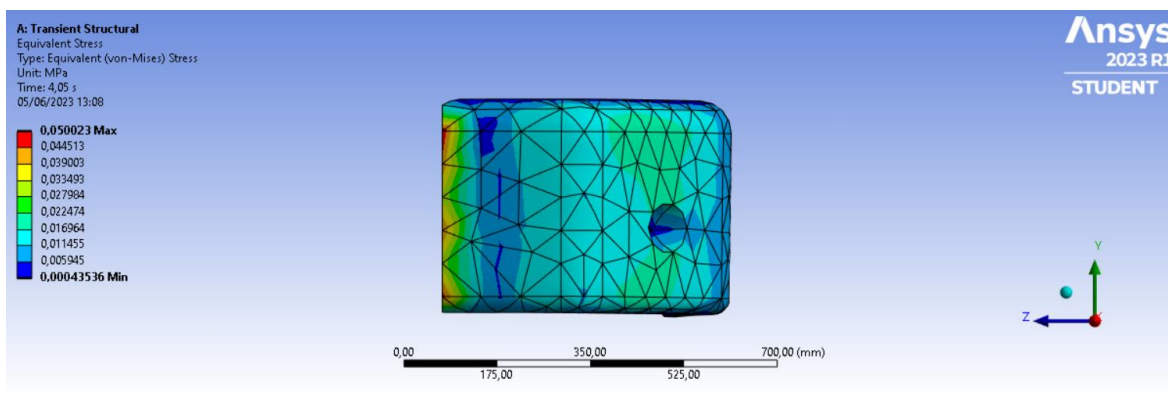


Ilustración 141: Tensiones que Superan el Máximo en el Punto de Apoyo. Material 0,040

Aparte de los puntos de apoyo, en los cuatro tipos de materiales analizados se presenta una concentración de tensiones en la zona del centro de la cara de colisión. Esto al igual que pasa en las deformaciones es debido a la geometría del prototipo, puesto que en la zona del centro hay una falta de material de los espesores, acrecentada por el agujero que representa la zona del radiador del coche.

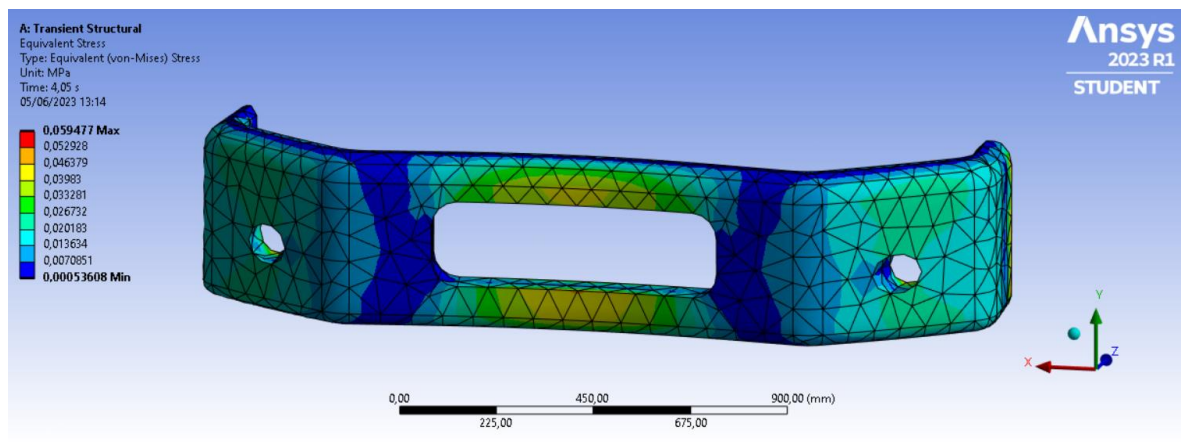


Ilustración 142: Tensiones en la Cara de Contacto. Material 0,040

6.2.3 RESULTADOS COCHE IMPACTADO. CHOQUE LATERAL.

Finalmente, en esta parte se exponen los resultados que se obtienen de las simulaciones del coche impactado.

Al igual que pasaba en los choques frontales, en los choques laterales los materiales se suelen comportar de forma lineal en el gráfico Deformación-Velocidad. Si observamos la ilustración 143 del coche impactado con material EPP 0,030, se aprecia que cuando la velocidad pasa a 6 km/h hay una discrepancia en la linealidad de la gráfica. Sería necesario analizar más puntos de velocidad por encima de 6 km/h siendo 0,030 el material del coche que impacta, para comprobar si las deformaciones giran respecto a una recta en común o si al contrario, hay un comportamiento errático.

Con el material EPP 0,040 no se ha encontrado ninguna discrepancia, puesto que dicho material presenta el mismo comportamiento lineal independientemente del material del coche que impacta.

En ambos materiales se puede comprobar que si el coche que impacta tiene un material más rígido, causará más deformación al vehículo impactado. Esto supondrá que materiales más rígidos ante los impactos, presenten menos deformaciones que los materiales más flexibles. Respecto a las deformaciones obtenidas en un choque lateral, estas serán mucho menores que las que se producen en un choque frontal.

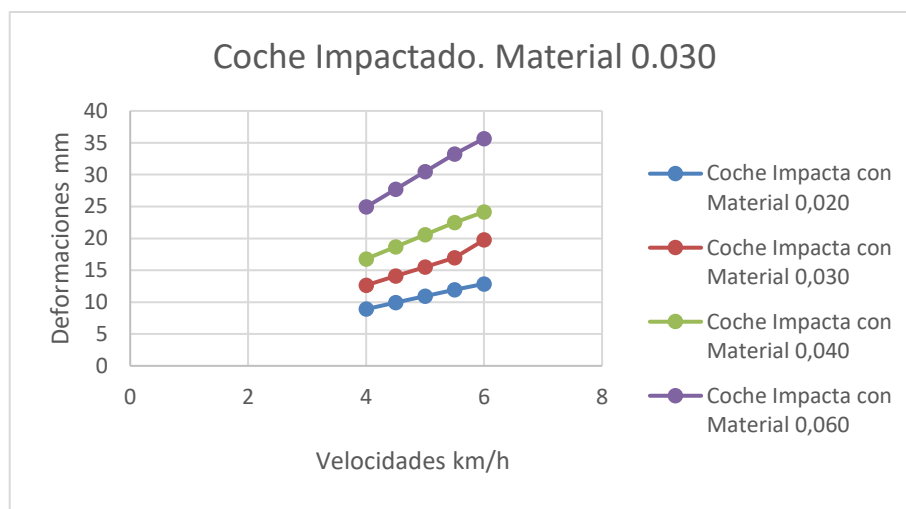


Ilustración 143: Gráfico Deformaciones-Velocidad del Coche Impactado de Material 0,030.

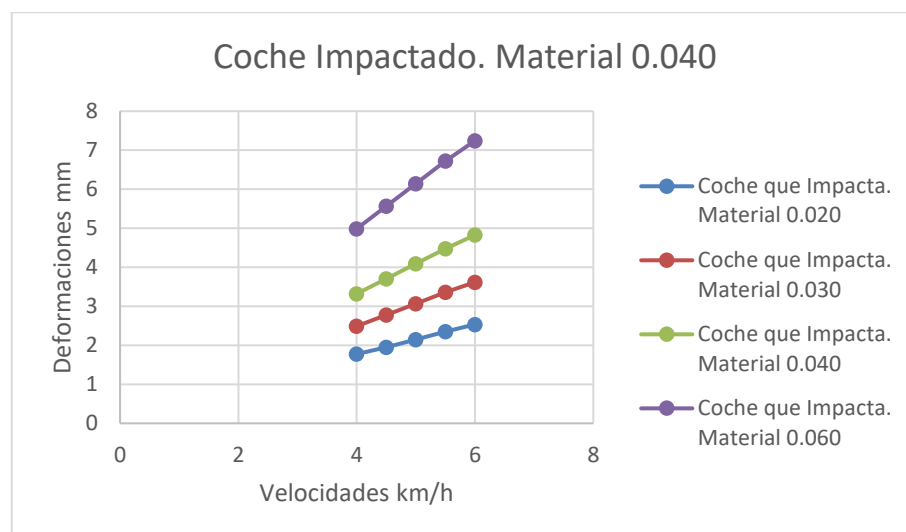


Ilustración 144: Gráfico Deformaciones-Velocidad del Coche Impactado de Material 0,040.

Por el comportamiento que presenta el material EPP 0,030 después del impacto, vemos que el máximo de deformaciones ocurrirá justo cuando termina la aplicación de la fuerza y que luego las deformaciones no vuelven a sus posiciones iniciales, sino que presenta deformación plástica. Esto es debido a la flexibilidad del material, que ocasiona una amplia deformación en el momento del impacto. Al igual que en los ensayos del coche que impacta, es necesario una ampliación del tiempo de estudio para comprobar si dicho comportamiento de deformación plástica se sigue manteniendo, pero *a priori*, debemos suponer que se mantendrá igual.

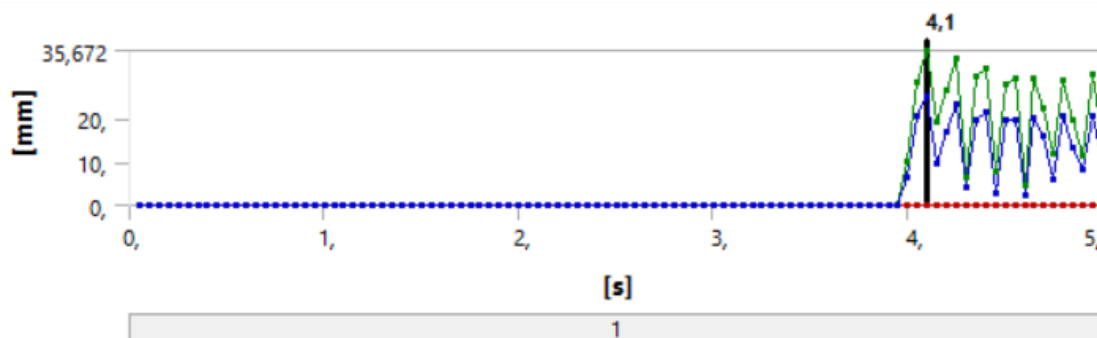


Ilustración 145: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Por el comportamiento que presenta el material EPP 0,040 después del impacto, vemos que el máximo de deformaciones ocurrirá justo durante el impacto y después del choque se puede apreciar una vuelta a las posiciones iniciales. En vista de que la duración de la simulación es corta, supondré que se comporta elásticamente el material. El comportamiento de las deformaciones es debido a la rigidez del material el cual no muestra mucha flexibilidad.

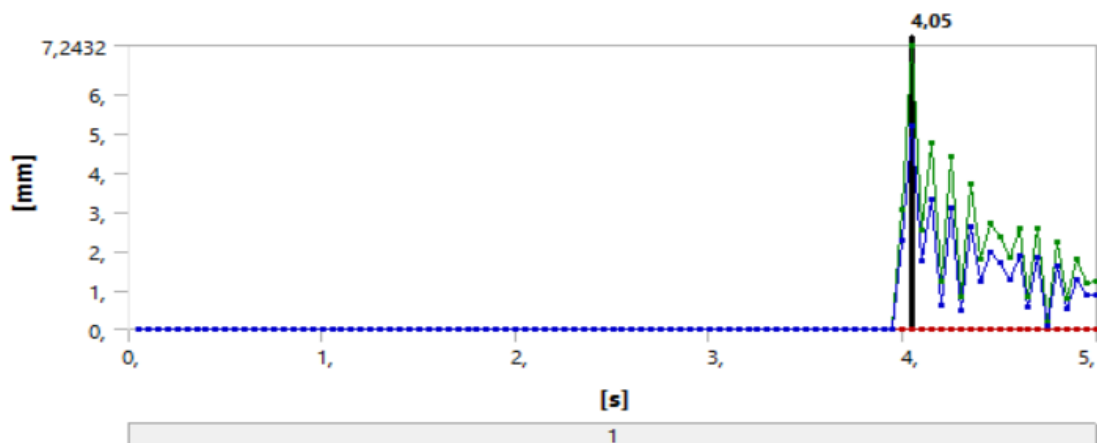


Ilustración 146: Deformaciones del Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Las deformaciones en los choques laterales serán menores que las que aparecían en los choques frontales, esto se debe a que se aplica una fuerza en la zona que consta de un punto de apoyo (inamovible), haciendo que esa parte no se pueda deformar, pero esto dará lugar a que la energía se distribuya por toda la estructura quedando afectada. A diferencia de las deformaciones obtenidas en el choque frontal, en las del choque lateral no presentan deformaciones en la zona donde sufre la colisión.

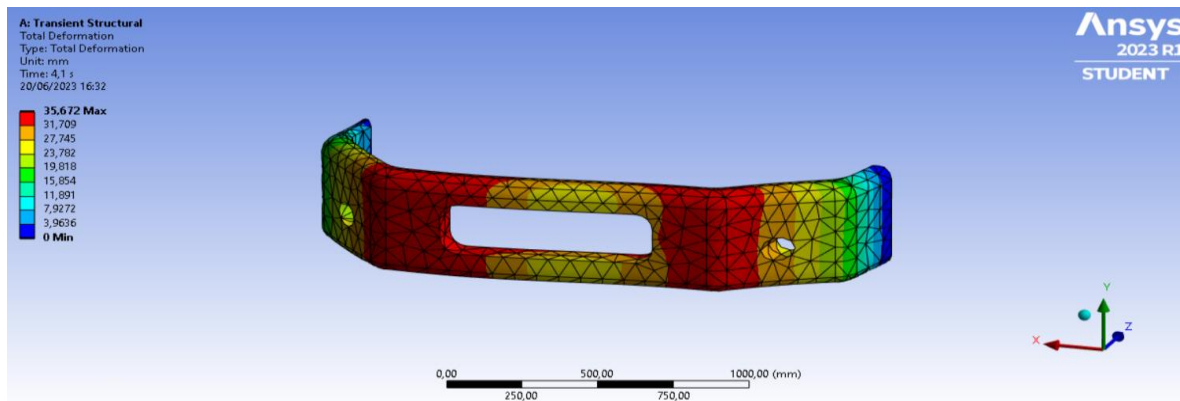


Ilustración 147: Deformaciones del Prototipo simulando un Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.030 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

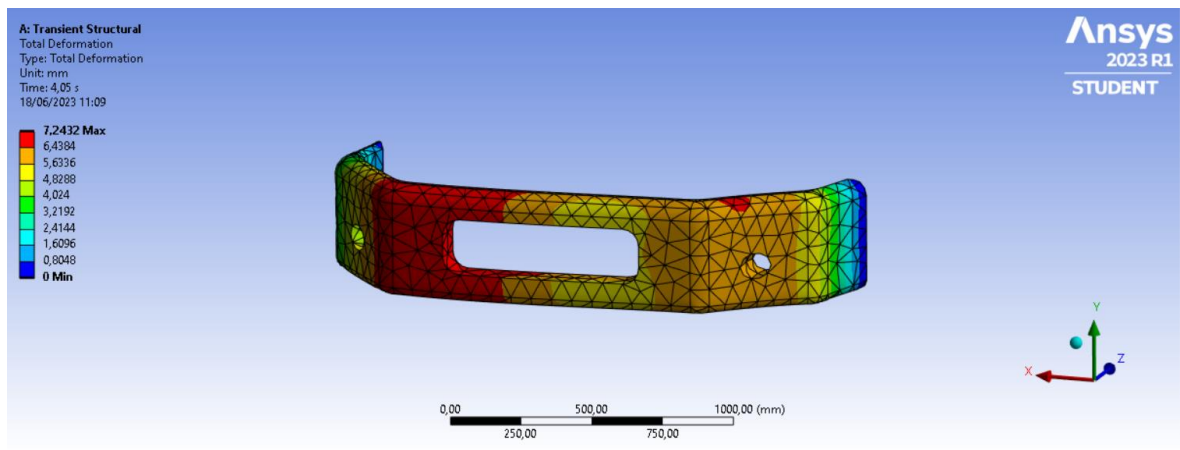


Ilustración 148: Deformaciones del Prototipo simulando un Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

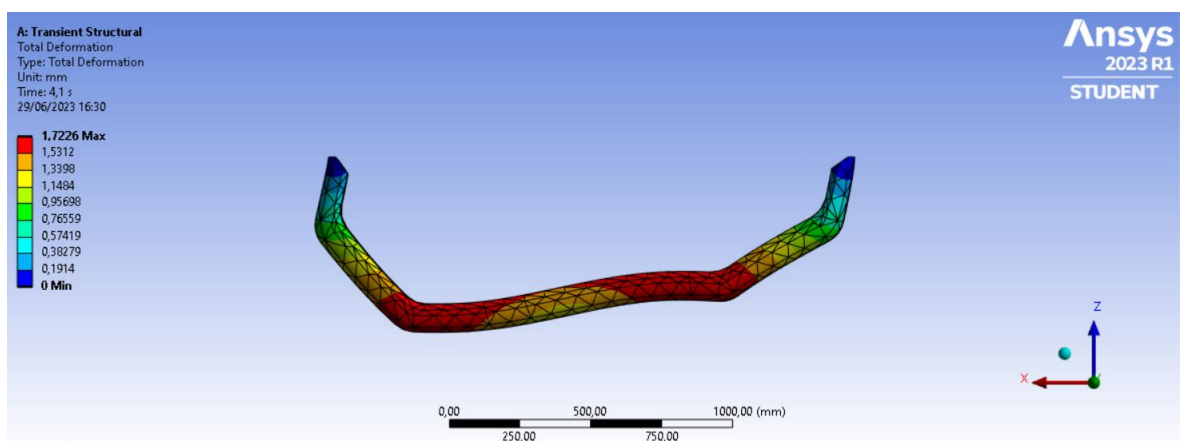


Ilustración 149: Deformaciones del Prototipo simulando un Coche Impactado Lateralmente de Material EPP 0.040 a 6 km/h por Coche que Impacta con Material 0,060

Como se puede apreciar, las máximas deformaciones ocurrirán en la zona delantera del parachoques, esto es debido a la falta de presencias de puntos de apoyo en la zona, ocasionando que el material se deforme al no haber restricciones.

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1 CONCLUSIONES

En vista de los resultados que se han obtenido presento algunos comentarios. El modelo usado para los análisis, tal y como indique en las hipótesis, es una pieza que representa el conjunto de la “carcasa del parachoques + núcleo del parachoques”. Usando las dimensiones de largo y ancho de un labio de parachoques encontrado en internet y realizando la hipótesis de “carcasa + núcleo de parachoques”, obtenemos un prototipo con un espesor demasiado elevado (10 cm). Este espesor es demasiado grande para una simple cubierta de parachoques, por tanto, los materiales que se utilicen únicamente en la carcasa del parachoques y debido a la fórmula de la densidad, presentarán una masa excesivamente alta.

Con una masa elevada y debido a la segunda ley de Newton, las fuerzas serán grandes, haciendo que elementos que se usan en carcasas, como el poliuretano, los cuales, en las carcasas de parachoques sacadas de internet, no pesan más de 8,1 libras [39], hace que en los análisis de este trabajo se llegue a alcanzar una masa de 74,85 Kg. Esto deriva en unas fuerzas excesivas para el prototipo, obteniéndose datos muy imprecisos.

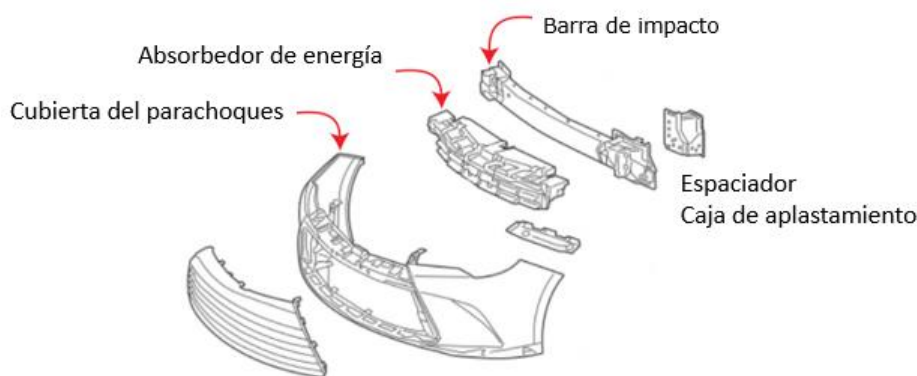


Ilustración 150: Partes de un Parachoques[38]

Una vez hecha esta observación inicial pasamos a las conclusiones:

- Se puede apreciar que existe una alta cantidad de materiales que presentan características idóneas para ser utilizados como parachoques. Respecto al precio mostrado, los materiales usados solo en la carcasa (TPV, TPO, PUR) tienen una masa más elevada que los materiales que se usan solo en el núcleo (EPP). De todos ellos el material TPV es el más caro debido a su resistencia al fuego, haciendo que por el precio no sea tan atractivo para los fabricantes.

- Los materiales EPP se están utilizando actualmente por la empresa Knauf Industries tanto para recubrimientos de los parachoques, como para el núcleo de estos. De esta manera, y teniendo en cuenta que las dimensiones del prototipo usado son parecidas en cuanto a espesor a las dimensiones de un núcleo de parachoques, podemos indicar de todos los materiales que se han analizado en el proyecto, los resultados exactos de fuerzas y deformaciones son los más cercanos a la realidad.
- Respecto a los materiales TPO, tienen unos precios más elevados que el Poliuretano, pero no son excesivamente altos y tienen la ventaja de la reciclabilidad. Sería interesante que se hicieran más estudios al respecto para poder mejorar su comportamiento ante el fuego y explotar sus posibilidades.
- En cuanto a la carcasa, de todos los materiales analizados, el poliuretano es el mejor, puesto que es barato, presenta un comportamiento aceptable ante el fuego y se puede infrarreciclar, esto le ha permitido ser un material plástico ampliamente utilizado en el sector del automóvil.
- Vistos los resultados obtenidos con el EPP en los ensayos del coche que impacta, el comportamiento de dicho material puede facilitar los estudios que se realicen en el futuro, puesto que, gracias a la deformación lineal que presenta, cuando se hagan simulaciones y usando una simple relación directa, se podrá estudiar las deformaciones que sufre el material en cualquier punto de velocidad. También podemos comprobar que los materiales más rígidos son mejores en la fabricación de parachoques, puesto que presentan menos deformación y además pueden llegar a soportar fuerzas más elevadas que los materiales flexibles.
- En cuanto al comportamiento de las deformaciones a lo largo de la simulación del parachoques EPP, se puede apreciar que los materiales más rígidos tenderán a volver rápidamente a su posición mientras que los más flexibles tardarán más tiempo hasta volver a valores iniciales.
- El material TPV ha mostrado en las simulaciones de choques frontales al igual que los materiales del núcleo, un comportamiento lineal de Deformación-Velocidad. También el haber aplicado el factor de corrección del peso durante las simulaciones de este material nos ha permitido obtener deformaciones “realistas” a esas velocidades.
- Los materiales más rígidos del núcleo presentan un tiempo de vuelta a la posición inicial más corto que los materiales más flexibles del núcleo y el material de la carcasa. Esto es debido a que los materiales EPPP 0,040 y EPP 0,060 son más rígidos que el resto de los materiales analizados.

- Tanto los materiales del núcleo como de la carcasa presentan un aumento de deformaciones en la mitad inferior de la cara de colisión. Esto es debido a una falta de material del prototipo en esa zona de impacto.
- En el choque frontal, debido a como se ha comportado el parachoques en todos los materiales analizados, se puede aproximar a un modelo básico de prontuario de una Viga con 2 apoyos fijos. Dicho modelo podrá ser utilizado en los casos en los que no sea posible hacer uso de software más complejos.

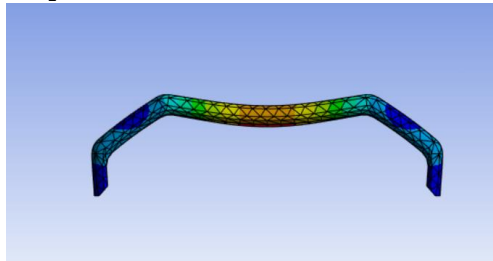


Ilustración 151: Vista Superior de las Deformaciones del Prototipo.

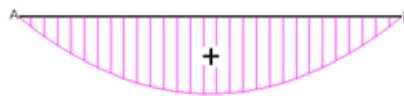


Ilustración 152: Deformaciones Viga Biapoyada con Carga Distribuida[48].

- En los resultados de la aparición de la rotura en el coche impactado se puede comprobar que cuanto más flexible es el material, más deformación soportará antes de que haga aparición la rotura, pero también menos fuerza será necesaria para obtener esas deformaciones. Eso hará que vehículos con materiales más rígidos no necesiten velocidades tan elevadas para originar esas fuerzas.
- Es necesario reforzar las zonas del parachoques donde están los apoyos fijos pues serán las primeras zonas donde se presente una tensión de Von Mises superior a la máxima del material con el parámetro de seguridad 2.
- En los choques frontales del coche impactado, la concentración de deformaciones será parecida a la del coche que impacta, esto hará que se puedan realizar los análisis con mucha más rapidez alegando un comportamiento igual cuando sucedan los choques frontales.
- En cuanto a las tensiones, aparte de concentrarse en el apoyo fijo, también se concentrarán en el centro de la cara de la colisión. Esto es debido a la geometría del parachoques, pues en la cara de colisión hay zonas donde falta material y

estas serán zonas más débiles y donde se producirá una concentración de tensiones.

- En los ensayos del coche impactado, podemos comprobar que la gráfica Deformación-Velocidad crece linealmente al igual que ocurría en los ensayos de choques frontales.
- Las deformaciones que el parachoques sufre en las colisiones laterales serán menores que las que sufría cuando era un choque frontal. Pero a pesar de ser menores, el material EPP 0,030 presenta un comportamiento de deformación plástica, a diferencia del material EPP 0,040 el cual al ser más rígido y elástico tenderá a volver a su posición inicial.
- El máximo de deformaciones en los choques laterales no ocurre en la cara de la colisión, como sucede en los choques frontales, esto es debido al apoyo fijo que hay en los extremos, esto supondrá que la energía atravesará todo el prototipo, deformando las zonas que no cuenten con un punto de apoyo.
- Para la propuesta de mejora de los informes periciales, es necesario dejar indicados los planteamientos, hipótesis y los desarrollos que se han realizado a lo largo de la investigación del accidente que evalúan, puesto que la falta de estos elementos podría impedir una comprensión del porqué se obtienen esas conclusiones.
- Si el accidente de tráfico se realizó a bajas velocidades, es muy difícil comprobar que los daños que presentan los ocupantes del vehículo se deban a dicho accidente, puesto que tanto las pruebas visuales, así como las simulaciones realizadas, no podrían demostrar exactamente cuál fue la velocidad de impacto del vehículo.

7.2 FUTUROS TRABAJOS

Para el futuro, sería interesante aplicar estas mismas simulaciones a prototipos más complejos usando estructuras que tengan separadas la carcasa del núcleo. Así, al realizar las simulaciones de ANSYS, se usarían los materiales típicos de la carcasa y el núcleo en sus respectivas partes. Cuando se apliquen las fuerzas de impacto a dicho prototipo obtendremos una información sobre las deformaciones más acordes a la vida real. También sería interesante aplicar más puntos de apoyo al prototipo, pues en la vida real hay varios elementos internos que hacen contacto con el parachoques, los cuales afectarán al daño que reciba el parachoques tal y como se vio en los ensayos frontales RCAR.

Los materiales que se han analizado en este proyecto podrán usarse en futuros trabajos, ya que presentan buenas características para ser usados como parachoques. Se espera que, al volver a realizarse las simulaciones con cualquier nuevo prototipo de parachoques, las deformaciones obtenidas sigan teniendo una relación lineal con la velocidad de impacto. Aparte, se podría estudiar el tiempo total que le llevará a los materiales volver a sus posiciones iniciales. Esto podría ser interesante para tener otro punto más de comparativa respecto a las diferencias entre un material más flexible y un material más rígido, además de comprobar que verdaderamente el parachoques no sufre deformación plástica.

Para futuros trabajos se podría ampliar el proyecto realizado, analizando las velocidades inferiores a 2 km/h, aplicando el modelo de choque elástico. Pese a que a tan bajas velocidades las deformaciones plásticas deberían tender a un valor nulo, se podría analizar cómo se comporta el material en profundidad de deformación y tiempo en segundos hasta que vuelve a su posición inicial.

En los ensayos se podría añadir la hipótesis de los ocupantes del vehículo, puesto que en este proyecto se han usado las masas de los vehículos sin ningún ocupante en su interior. La masa de una persona en los ensayos se suele indicar en torno a 75 kg. Para futuros trabajos, se podrían realizar ensayos teniendo en cuenta desde solo la presencia del conductor, hasta la presencia de todos los ocupantes del vehículo. Esta hipótesis, hará que las velocidades finales del vehículo cambien tanto para el coche que impacta, como para el impactado.

También sería interesante usar los otros métodos de obtención del coeficiente de restitución que se han visto durante el proyecto, para poder hacer una comparativa sobre los distintos valores de velocidades finales del coche que impacta que se pueden obtener.

Finalmente, se podría completar este trabajo indicando la Energía de Deformación que se obtendrá en cada impacto. La obtención de dicha energía se conseguiría con el método de McHenry visto previamente en el Estado del Arte. Las deformaciones se podrían obtener directamente de las simulaciones utilizadas, sin tener que recurrir a ensayos costosos de recreación de accidentes.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA Y OTROS RECURSOS

- [1] INE. “Encuesta de Hogares y Medio Ambiente “. Boletín Informativo del Instituto Nacional de Estadística, 6/2009. <https://www.ine.es/revistas/cifraine/0609.pdf>.
- [2] EpData. “Accidentes de tráfico, en datos y estadísticas”, La actualidad informativa de datos estadísticos de Europa Press, Junio 2023.
<https://www.epdata.es/datos/accidentes-traffic-datos-estadisticas/65/espana/106>
- [3] Rezwow,K.”Historia del parachoques”. Knauf Industries Automotive. Enero 2020.
<https://knaufautomotive.com/es/del-parachoques-metalico-al-de-plastico-en-busca-del-equilibrio-entre-la-estetica-y-la-seguridad/>
- [4] ANSYS. ”Ansys”. 2023.
<https://www.nysplm.com/ansys/#:~:text=Ansys%20es%20el%20Software%20%C3%ADder,una%20%C3%BAnica%20plataforma%20de%20trabajo.>
- [5] MPcontrol. “Cámaras Climáticas de Ensayo Visitables, Modulares, Walk in o Drive In”. Noviembre 2021 <https://www.mpcontrol.es/equipos/camaras-climaticas-walk-in-visitables-modulares-transitables-drive-in-vehiculo-completo-ensayo-testing/>
- [6] Las referencias correspondientes a los textos comunitarios indicados son: 1) Directiva 2003/102/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de noviembre de 2003, relativa a la protección de los peatones y otros usuarios vulnerables de la vía pública antes y en colisión de un vehículo de motor y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE del Consejo.; 2) Reglamento (CE) nº 78/2009 de 14 de enero, relativo a la homologación de vehículos en lo que se refiere a la protección de peatones y otros usuarios vulnerables de la vía pública (DOUE de 4 de febrero de 2009) y 3) Reglamento 2019/2144, de 27 de noviembre (DOUE 2019/81951)
- [7] Aguilera Viladomiu, Edgar. “Diseño de un refuerzo para el parachoques delantero de un vehículo de un turismo”. Universitat Politècnica de Catalunya. Septiembre 2006. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2997/54860-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [8] Fleetmanagementweekly.com.”A Safety Feature By Any Other Name Can Really Be Confusing”. <https://www.fleetmanagementweekly.com/a-safety-feature-by-any-other-name-can-really-be-confusing/>
- [9] IIHS. “Low-Speed Crash Test Protocol (Version V)”. May 2022. https://www.iihs.org/media/97eb5f7e-f18a-41ad-905c-baa930e8933c/8AZ1VA/Ratings/Protocols/archive/test_protocol_bumper_vV_0502.pdf
- [10] Research Council for Automobile Repairs. ”RCAR Low-Speed structural crush test protocol”. Issue2.3. Octubre 2017. https://rcar.org/Papers/Procedures/RCAR%20Structure%20Test%20procedure%20Version%202_3.pdf
- [11] Wikipedia. “Nesselsdorfer Wagenbau Fabriks Gesellschaft”. Marzo 2023. https://de.wikipedia.org/wiki/Nesselsdorfer_Wagenbau-Fabriks-Gesellschaft
- [12] Jimenez Martín, David. “Paragolpes: una pieza en evolución”. Fundación Mapfre. 2009. <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/en/media/group/1059219.do>
- [13] L., Marta. “Paragolpes: qué es y qué función tiene” Motor.es, Febrero 2023. <https://www.motor.es/que-es/parachoques>
- [14] ” Reglamento Número 42, anejo al Acuerdo de Ginebra de 20 de marzo de 1958, sobre prescripciones uniformes relativas a la homologación de vehículos automóviles en lo que concierne a sus dispositivos de protección, delanteros y traseros (parachoques,etc...)”. Boletín Oficial del Estado núm. 29. 8/1981. [https://www.boe.es/eli/es/ai/1980/12/10/\(1\)/dof/spa/pdf](https://www.boe.es/eli/es/ai/1980/12/10/(1)/dof/spa/pdf)
- [15] Km77. “BMW 320d Touring (2005-2007). Precio y ficha técnica”. Abril 2007. <https://www.km77.com/coches/bmw/serie-3/2006/touring/estandar/320d-touring/datos>
- [16] Km77. “Škoda Octavia 2.0 TDI 170 CV RS (2006-2008). Precio y ficha técnica”. Agosto2007. <https://www.km77.com/coches/skoda/octavia/2004/estandar/rs/octavia-20-tdi-170-cv-rs/datos>

- [17] Ebay.com.” For Mitsubishi Lancer 2008-2017 Front Splitter Bumper Lip Chin Spoiler Body Kit”. 2023. <https://www.ebay.com/itm/313910172171>
- [18] Knauf Industries. “¿De qué material debería estar fabricado un parachoques seguro?”. Agosto 2021. <https://knaufautomotive.com/es/de-que-material-deberia-estar-fabricado-un-parachoques-seguro/>
- [19] Alibaba.com . “Núcleo de parachoques de espuma EPP para coche”. 2023. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Car-EPP-foam-bumper-core-60626918896.html>
- [20] Edward. “What is the Downcycling Process of Plastic?”. O.Berk. Mayo 2018. <https://www.oberk.com/packaging-crash-course/downcycling-temp>
- [21] Haldin, Tod. “Biodegradable, ¿Qué significa eso?”. Enero 2020. <https://plasticoceans.org/biodegradable-que-significa-eso/>
- [22] Schinazi, Gustavo & Price, Erik & A. Schiraldi, David. “Fire Testing Methods of bio based flame retardant polymeric materials”. 2022. [https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/limiting-oxygen-index#:~:text=The%20limiting%20oxygen%20index%20\(LOI,of%20the%20ease%20of%20extinguishment&https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323907712000092](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/limiting-oxygen-index#:~:text=The%20limiting%20oxygen%20index%20(LOI,of%20the%20ease%20of%20extinguishment&https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323907712000092)
- [23] Engineering Tool Box. “Density vs specific weight and specific gravity”. Engineeringtoolbox.com. https://www.engineeringtoolbox.com/density-specific-weight-gravity-d_290.html
- [24] IPUR. “El poliuretano en nuestra vida: automoción”. Asociación de la Industria del poliuretano rígido. Mayo 2018. <https://aislaconpoliuretano.com/el-poliuretano-en-nuestra-vida-automocion-2/>
- [25] Mexpolimeros.com .”Poliolefina termoplástica TPO”. Mirado en 2023 <https://www.mexpolimeros.com/tpo.html>
- [26] Rodríguez Andrés, Francisco Javier .”TPV: nueva generación de polímeros termoplásticos”. Interempresas.net. Septiembre2004.

- <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/9277-TPV-nueva-generacion-de-polimeros-termoplasticos.html>
- [27] Mexpolimeros.com. “TPV: Termoplástico Vulcanizado ”. Mirado en 2023. <https://www.mexpolimeros.com/tpv.html>
- [28] Cid, M. “Glosario términos: Vulcanización” Renting Finders. Diciembre 2020. <https://rentingfinders.com/glosario/vulcanizacion/>
- [29] Veloso, Cristian. “CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO”.electrotools.com. Noviembre 2016. <https://www.electrotools.com/Home/WP/choque-elastico-e-inelastico/>
- [30] M. Muguruza, Ainhoa. “Colisiones Frontales”. Ipsum. Mayo 2020. <https://reconstruccionaccidentestrafico.com/colisiones-frontales/>
- [31] Perez, K. “Colisiones Frontales: ¿los choques más peligrosos?”Kenny Perez Law. Septiembre 2019. <https://kennyperezlaw.com/es/head-on-car-collisions/>
- [32] Reconstrucción Accidentes Trafico. ”Píldoras de reconstrucción de accidentes de tráfico IV. Tipos de Colisión entre vehículos de accidentes de tráfico”.Diciembre 2019. <https://reconstruccionaccidentestrafico.com/tipos-de-colision-entre-vehiculos-en-accidentes-trafico/>
- [33] Hueso Gonzalez,F. “Comprobación de las Leyes de Conservación de la Energía y la Cantidad de Movimiento en Choques Elásticos y Inelásticos”,2º Física-UVEG,2008. http://mural.uv.es/ferhue/2o/Choques_FHG.pdf
- [34] O. Garcia, Anibal. “Acerca del Coeficiente de Restitución”, La Revista N°7,12/2003. <https://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/modelos-fisicos-matematicos/Coeficiente-de-Restitucion.pdf>
- [35] Caiceo Cera, Pedro Antonio. ”Informe Pericial. Verificar si existe una correspondencia entre los daños de los vehículos implicados. Verificar si existe una relación causal entre la energía desarrollada en la colisión, las aceleraciones soportadas por los ocupantes del vehículo, la velocidad de impacto, con las lesiones reclamadas”. Pág 42. octubre 2020. <http://optimaxindustriales.es/reconstruccion-trafico1.pdf>

- [36] Concepto Jurídicos. “Informe Pericial: qué es y cómo se elabora”. Febrero 2022. <https://www.conceptosjuridicos.com/informe-pericial/>
- [37] Neopren Caucho. “Poliuretano: Propiedades y Aplicaciones”. Mayo 2021. <https://neoprencaucho.es/poliuretano-propiedades-aplicaciones/>
- [38] Mexpolimeros. “Parachoques, polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos”. 2023. <https://www.mexpolimeros.com/app/parachoques.html>
- [39] Global Sources. “Cubierta parachoques delantero:865112T500”.2023. <https://spanish.globalsources.com/Equipo-del/PIEZAS-AUTOMATICAS-1178306722p.htm>
- [40] Aliexpress. “Parachoques delantero para BMW E36 AC Tipo II, parachoques delantero de Poliuretano, estilo Global, para 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998”. 2023 <https://es.aliexpress.com/item/32612125207.html>
- [41] Amor, C. “El poliestireno expandido, un plástico 100% reciclable que no tiene sustituto”. Knauf Industries. Marzo 2019. <https://knauf-industries.es/el-poliestireno-expandido-un-plastico-100-reciclable-que-no-tiene-sustituto/>
- [42] García Amoros, Oscar. “Herramienta de Estudio Biomecánico Accidentes Baja Velocidad”. Universidad Pontificia Comillas. Junio 2017. <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/26079/1/TFM000858.pdf>.
Algunas de las imágenes tomadas de este documento proceden a su vez de otra fuente, que hemos referenciado en el número 44, por este motivo utilizamos una doble numeración, 42, 44 al citar estas imágenes.
- [43] V.,T. “Poliiolefinas Termoplásticas (TPO)”. Blogspot.com. Mayo 2013. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/05/tpo.html>
- [44] Cevismap. “Manual de reconstrucción de accidentes de tráfico”. MAPFRE. Edición de 2015. Pag 263-269
- [45] Cevismap. “Manual de reconstrucción de accidentes de tráfico”. MAPFRE. Edición de 2015. Pag 275-307

- [46] IPSUM reconstrucción accidentes de tráfico. “Análisis de las deformaciones de los vehículos implicados en un accidente de tráfico”. 24 de diciembre 2020.
<https://reconstruccionaccidentestrafico.com/analisis-de-las-deformaciones-de-los-vehiculos-implicados-en-un-accidente-de-trafico/>

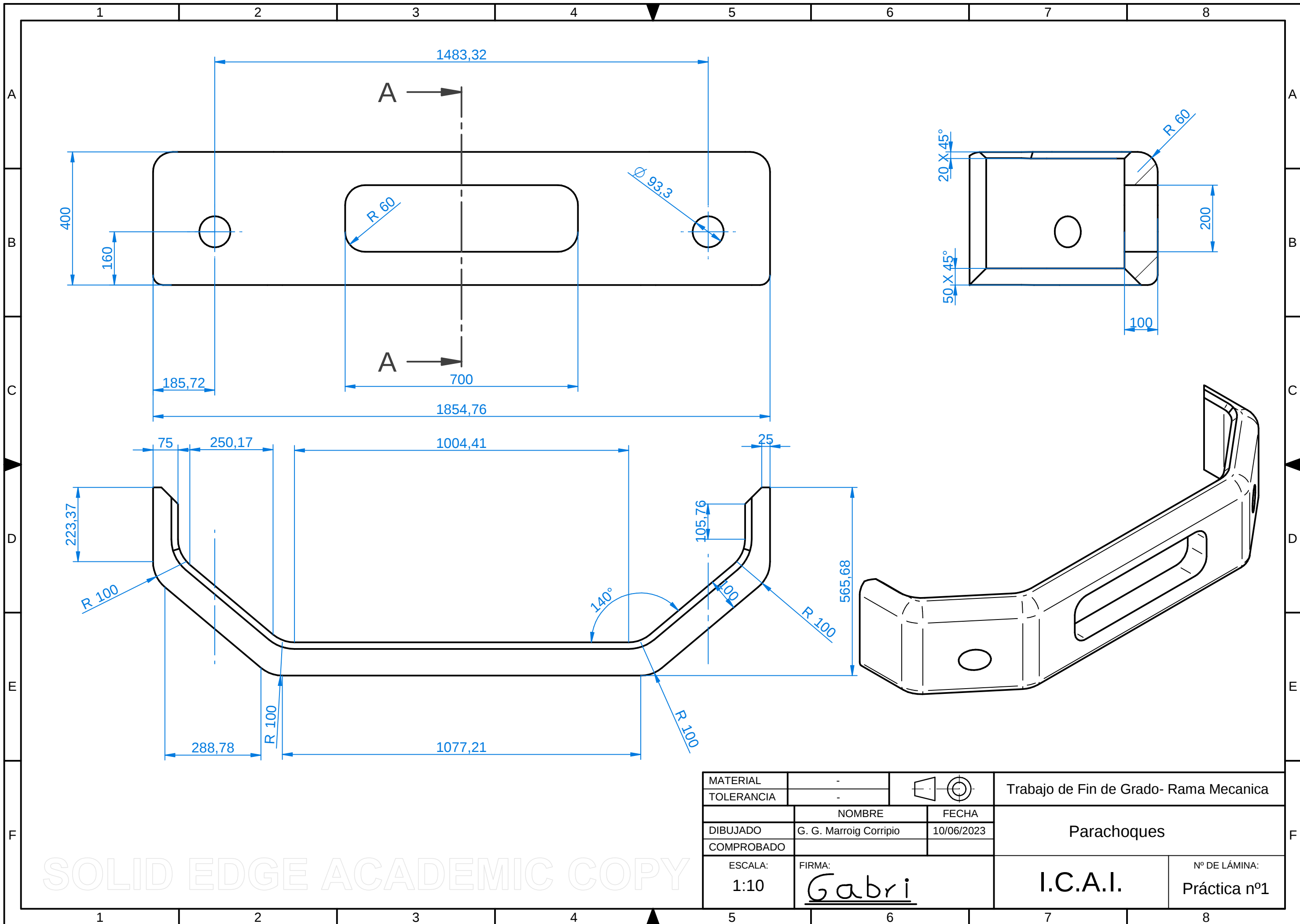
- [47] Polímeros T.E. .”Polipropileno Expandido”. 26 de marzo 2018.
<https://todoenpolimeros.com/2018/03/26/polipropileno-expandido/>

- [48] Tejerizo Fernández, Maribel. “Elaboración de fórmulas analíticas y tablas de cálculo para las estructuras metálicas de acero según la normativa de EuroCódigo 3”.Escuela Técnica superior de Ingeniería Barcelona. Abril 2015.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78018/PFC%20Anexo%201.pdf>

- [49] De Norverto Moriñigo, Juan. “Estudio de intensidad producida en el accidente de colisión entre los vehículos: Seat Cordoba (Parte Delantera) y un Volkswagen Polo (Parte Trasera)”. Mayo 2021,

ANEXO I. PLANOS DEL PROYECTO

- Plano del Parachoques utilizado en el proyecto.



MATERIAL	-		Trabajo de Fin de Grado- Rama Mecanica	
TOLERANCIA	-			
	NOMBRE	FECHA	Parachoques	
DIBUJADO	G. G. Marroig Corripio	10/06/2023		
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA:			Nº DE LÁMINA:
1:10	<u>Gabri</u>			Práctica nº1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY