

ESTRUCTURA Y FORMATO DEL TRABAJO FIN DE GRADO

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

CURSO ACADÉMICO 2023-2024



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería mecánica y automoción.

TRABAJO FIN DE GRADO

**Jaula de protección para competición en categoría
rally.**

Alumno: Javier Porres Marín

Director: Carlos Jesús Vega Vera

JUNIO 2024

TÍTULO: Jaula de protección para competición en categoría rally

AUTOR: Javier Porres Marín

DIRECTOR DEL PROYECTO: Carlos Jesús Vega Vera

FECHA: 9 de JUNIO de 2024

RESUMEN

En este proyecto se estudiará un nuevo diseño para la protección de los ocupantes de un vehículo en caso de accidente. Dado que el estudio de accidentes en el uso cotidiano ya está muy avanzado, se ha decidido investigar la seguridad en una categoría de competición, específicamente en el Rally.

En esta categoría, los vehículos suelen sufrir accidentes a muy alta velocidad y pueden acabar en muy mal estado. Por ello, el objetivo de este proyecto es diseñar una jaula auxiliar de protección que garantice la seguridad de los ocupantes en el peor de los casos, ante una situación de impacto superior debido a la pérdida de control e impacto frontal.

El impacto superior se refiere a un golpe a muy alta velocidad contra un obstáculo por la parte superior del vehículo, es decir, el techo. Dicho impacto suele resultar en accidentes mortales o de alto riesgo debido a que la estructura del chasis no está diseñada para soportar tal condición.

El propósito de este proyecto es maximizar la seguridad de los ocupantes, tanto del piloto como del copiloto, durante la práctica de este deporte, garantizando su protección en situaciones extremas de impacto.

Palabras clave: Jaula antivuelco, exoesqueleto, estructural, deformación y elongación.

ABSTRACT

This project will study a new design for the protection of vehicle occupants in the event of an accident. Since the study of accidents in everyday use is already well advanced, it has been decided to investigate safety in a competition category, specifically in rallying.

In this category, vehicles are often involved in accidents at very high speeds and can end up in very bad condition. Therefore, the aim of this project is to design an auxiliary protection cage to ensure the safety of the occupants in the worst-case scenario of an upper impact situation due to loss of control and frontal impact.

Top impact refers to a very high-speed impact against an obstacle from the top of the vehicle, i.e. the roof. Such an impact often results in fatal or high-risk accidents because the chassis structure is not designed to withstand such a condition.

The purpose of this project is to maximise the safety of the occupants, both driver and co-driver, during the practice of this sport, guaranteeing their protection in extreme impact situations.

Key words: Roll cage, exoskeleton, structural, deformation and elongation.

Índice

RESUMEN	5
ABSTRACT	5
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO	9
Capítulo 2. Marco teórico	10
2.1 Historia	10
2.2 Complejidad estructural.....	11
2.3 Normativa.....	14
Capítulo 3. ESTRUCTURA DEL ESTUDIO	15
3.1 Cálculos	15
3.2 Simulación.....	17
3.2.1 Diseño original	19
3.2.2 Primer diseño Tubular.	22
3.2.3 Segundo diseño tubular.....	26
3.2.4 Tercer Diseño tubular.	30
3.2.5 Cuarto Diseño tubular.....	34
3.2.6 Quinto Diseño tubular 1 mm.	39
3.2.7 Sexto Diseño tubular.	45
3.2.8 Séptimo Diseño tubular.	48
3.2.9 Octavo Diseño tubular.	52
3.2.10 Noveno Diseño tubular.	56
3.2.11 Decimo diseño tubular.....	60
3.3 Evolución de las simulaciones.....	64
3.4 Coste económico.....	70

3.5	Análisis de Resultados.....	71
3.6	Planos	73
Capítulo 4.	CONCLUSIONES.	79
ANEXOS		81
PRESUPUESTO		94
BIBLIOGRAFÍA		95

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este apartado se plantea el problema que pretendemos solucionar con nuestro proyecto, formulando una pregunta motriz a la que el trabajo pretende dar respuesta. Aquí también se puede discutir el estado del arte o los antecedentes de dicho problema.

Este proyecto se ha llevado a cabo con el objetivo de encontrar una solución a los accidentes que en ocasiones resultan fatales para los pilotos en la categoría de competición conocida como Rally. Esta competición se basa en conducir a la mayor velocidad posible por caminos no asfaltados, tratando de reducir el tiempo de cada circuito en comparación con los rivales.

Para ganar en esta categoría, los pilotos conducen al límite de sus capacidades por caminos no asfaltados, los cuales a menudo presentan obstáculos que delimitan el ancho de la pista, como árboles o piedras. En ocasiones, la competición se realiza en caminos que atraviesan montañas, aumentando el riesgo debido a la posibilidad de caer al vacío.

En esta categoría, la velocidad es primordial, y los pilotos intentan usar el freno lo menos posible. A menudo toman la iniciativa de cortar curvas, reduciendo centímetros en la longitud del recorrido para ganar milésimas de segundo, lo cual es crítico para ganar. El problema surge cuando en estas situaciones algo falla, ya sea una medición incorrecta del piloto o un fallo mecánico, lo que genera una pérdida total de control del vehículo. Esta pérdida de control puede provocar que el vehículo pierda contacto con el suelo y choque por la parte superior contra un obstáculo. En muchas ocasiones, esta situación resulta fatal, ya que la parte superior del vehículo suele ser la más débil de toda la estructura.

Nuestro proyecto busca evitar estas situaciones mediante el diseño de una jaula auxiliar de protección que garantice la seguridad de los ocupantes del vehículo en el peor de los casos.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

En este proyecto se va a estudiar un sistema denominado jaula de protección para evitar que la situación mencionada en el apartado previo resulte en una catástrofe. Para ello, se idearán distintos modelos, los cuales serán estudiados y analizados para identificar los puntos fuertes de cada uno. De esta manera, se podrá perfeccionar la jaula hasta que se considere apta para enfrentar dichas situaciones.

Se estudiarán posibles soluciones con el objetivo de reducir la cantidad de accidentes mortales ante un golpe superior que pueden ocurrir en este deporte.

Capítulo 2. Marco teórico

A lo largo de este primer capítulo, vamos a redactar la historia de este deporte para obtener una noción básica de dónde y cómo comenzó todo. De esta manera, podremos comprender mejor cuál es el resultado que estamos buscando y la necesidad de realizar un buen trabajo con estos elementos, puesto que son los que garantizan la supervivencia del piloto en situaciones extremas.

2.1 Historia

Durante toda la historia de este deporte, que se regularizó en 1973, la seguridad ha sido uno de los elementos más controvertidos y en los que más se ha trabajado a medida que el tiempo avanzaba. Desde el comienzo, se descubrió que no era necesaria una potencia excesiva en los motores, en vista de que el aligeramiento extremo de los vehículos facilitaba la práctica de este deporte.

Esto se debe a los terrenos donde principalmente se realizan estas actividades, que suelen ser caminos no contruidos, meramente aplanados para evitar tener que esquivar agujeros. Estos terrenos, conocidos mayoritariamente como caminos de tierra, no tienen ningún tipo de protección y/o resguardo respecto al terreno circundante. En ocasiones, los caminos están delimitados por piedras de gran tamaño, árboles o deslizamientos de tierra.

En estos terrenos, la ligereza del vehículo es crucial. Un vehículo con un peso excesivo generará más tracción de la necesaria, lo que en ocasiones puede deformar el camino o hacer que el vehículo se quede atascado. Por ello, los pilotos optan por aligerar al extremo sus vehículos. Este proceso también conlleva una pérdida significativa en la integridad de la estructura del vehículo.

Al comienzo de esta categoría, esto no suponía un problema, ya que los motores disponibles eran básicos y no generaban la potencia y aceleración necesarias para convertir esto en un deporte oficial. Sin embargo, con el tiempo, los motores se han ido optimizando, aumentando su potencia mientras reducían su tamaño. Esto ha permitido que la categoría alcance velocidades muy altas en terrenos no preparados, incrementando así la peligrosidad del deporte. A medida que los accidentes aumentaban, muchos de ellos fatales, se puso más énfasis en la seguridad. Para ello,

se mejoraron los sistemas de frenos, suspensiones y tracción, lo que al principio supuso una mejora importante.

Aun así, con el tiempo, y a medida que los pilotos mejoraban sus capacidades, surgía nuevamente el problema de la seguridad. Los accidentes seguían ocurriendo, a menudo debido a fallos mecánicos o errores de cálculo, lo que resultaba en accidentes fatales. Dado que no era viable obligar a los pilotos a mantener el peso original con el que los vehículos eran fabricados y estudiados, nació el concepto de la jaula antivuelco.

Este elemento consiste en reforzar la estructura del vehículo de manera externa, aunque se monta en la parte interna del vehículo. La jaula antivuelco aumenta el peso del vehículo, pero gracias al estudio de estructuras, se ha ido optimizando. Esta situación es crucial en la competición de hoy en día, pues gracias a la capacidad de calcular las estructuras de forma precisa, se puede garantizar la seguridad del piloto sin comprometer sus opciones de competir al más alto nivel.

2.2 Complejidad estructural

Una vez explicado el origen de estos elementos, procederemos con la explicación detallada de lo que entendemos por una jaula antivuelco y su propósito.

La jaula antivuelco sigue el principio de un exoesqueleto, es decir, es una estructura capaz de replicar y reforzar la estructura principal de un vehículo para proporcionarle soporte adicional, especialmente en situaciones extremas. Esta estructura tiene que ser capaz de soportar grandes fuerzas en cuestión de segundos durante un accidente.

Para entender mejor el soporte que proporciona esta estructura, primero es necesario establecer las bases de la estructura de un vehículo. Esta se divide principalmente en dos partes: la inferior y la superior.

- **Parte inferior:** Aquí encontramos los largueros, que son tuberías de forma rectangular que actúan como vigas estructurales. Los largueros soportan y mantienen la forma del vehículo, además de sostener todos sus elementos.
- **Parte superior:** Esta parte está compuesta de chapas de metal o aleaciones donde se fijan todos los elementos del vehículo. Entre estos elementos se incluyen los brazos de suspensión, que mantienen las ruedas unidas al vehículo en todo momento. También en la parte superior encontramos la estructura exterior que da forma al vehículo, incluidos los pilares principales. Estos pilares funcionan de manera similar a la estructura de un

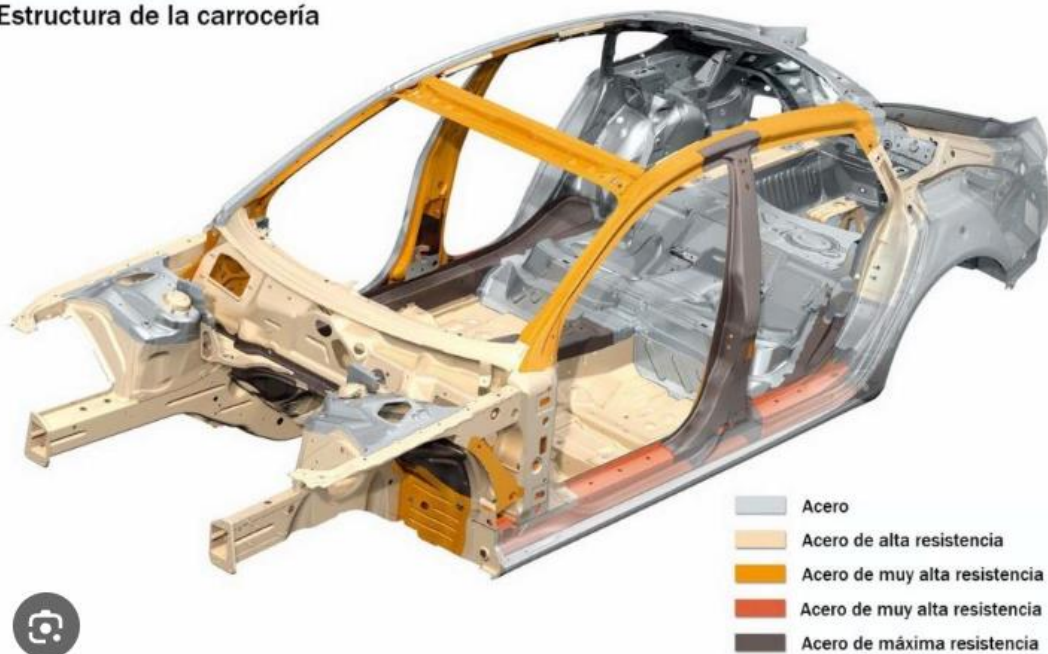
edificio, actuando como vigas que sostienen el techo del vehículo de manera rígida y protegen a los ocupantes.

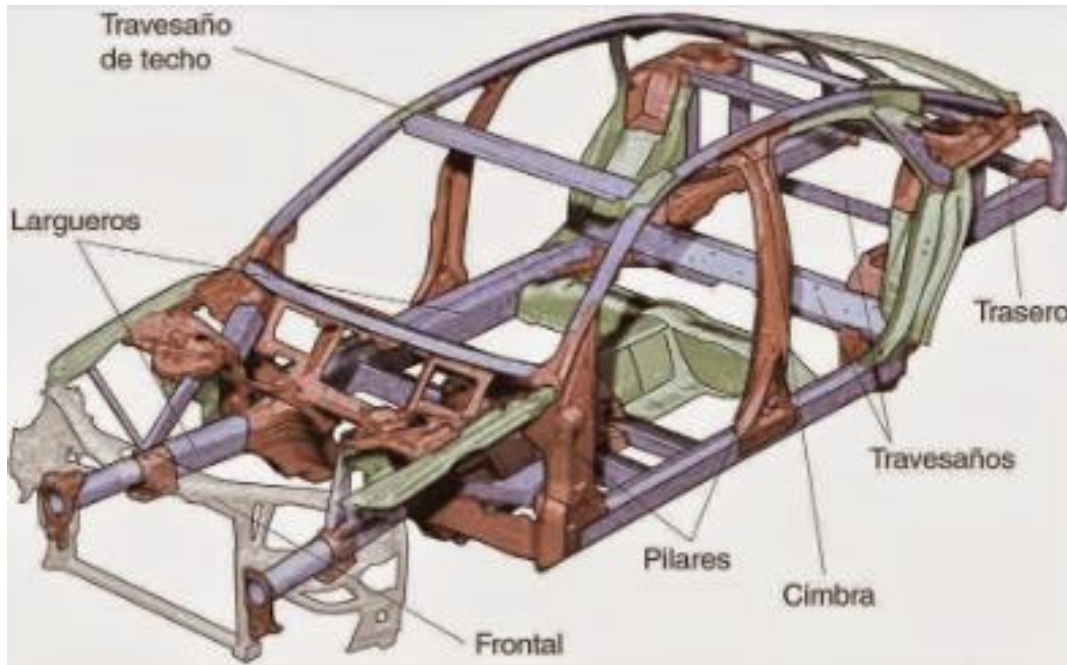
La jaula antivuelco se integra con estos componentes estructurales del vehículo, añadiendo un refuerzo crucial. Se ancla a los largueros y pilares, creando un "exoesqueleto" que proporciona una capa adicional de protección. Esta jaula está diseñada para mantener la integridad del habitáculo en caso de vuelco o colisión, asegurando que la estructura superior del vehículo no se deforme y ponga en riesgo la vida de los ocupantes.

En resumen, la jaula antivuelco es una estructura esencial que refuerza la integridad del vehículo, garantizando la seguridad de los ocupantes al soportar fuerzas extremas durante accidentes.

Audi A5 Sportback

Estructura de la carrocería





Tal y como muestran las fotografías, esa es la estructura principal de la que se componen la mayoría de los vehículos que vemos en el día a día. La estructura está diseñada para proporcionar estabilidad y seguridad tanto en condiciones normales de operación como en situaciones de emergencia.



Cuando implementamos una jaula antivuelco, podemos observar que este elemento se ancla a los largueros y pilares del vehículo. De esta manera, se crea una estructura que se puede denominar exoesqueleto. Así, obtenemos una estructura diseñada específicamente para garantizar la seguridad de los pilotos mientras practican este deporte.

2.3 Normativa

Para poder determinar que dichos elementos son seguros, deben seguir un riguroso proceso de homologación, el cual establece tanto la forma como el proceso de construcción, según la normativa oficial recogida en el reglamento de la FIA. Más concretamente, este proceso se detalla en el Art. 253 del Anexo J de la Real Federación Española de Automovilismo, enfocándonos en este caso en la categoría conocida como CERT. Los detalles específicos se muestran en los anexos.

Capítulo 3. ESTRUCTURA DEL ESTUDIO

En este capítulo se va a detallar todo el proceso que se ha seguido, describiendo en la mayor medida posible la historia del proyecto. Como era de esperar, la simulación inicial no fue positiva y el diseño ha sido modificado en cada apartado. Esto ha sido posible gracias a la herramienta SolidWorks, con la cual se han podido analizar cada punto crítico y generar soluciones para cada problema.

También es importante mencionar que, gracias a los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas de la universidad, se ha podido iniciar las simulaciones con una base sólida. De esta manera, se ha optimizado mejor el tiempo disponible para la realización de este proyecto.

3.1 Cálculos

Los cálculos realizados para este proyecto fueron muy específicos, pues nos enfocamos en un escenario particular. Este escenario se basa en la pérdida de control del vehículo por parte del piloto mientras está tomando una curva. Esta pérdida de control resulta en que el vehículo salga volando e impacte contra un árbol. En el mejor de los casos, el impacto es frontal, pero en el peor de los casos, el vehículo impacta en la parte del techo, lo que podría provocar que el piloto se golpee la cabeza y resulte en un accidente fatal.





La velocidad que se ha estimado para el impacto es de 200 km/h.

Como se ha mencionado anteriormente, el árbol es un objeto muy resistente estructuralmente y es difícil de derribar. Por lo tanto, para este estudio, establecemos la distancia de frenado en 1 metro, con un tiempo de frenado de 0,1 segundos.

El vehículo seleccionado para este estudio es un BMW Serie 3, modelo e30 del año 1989.

Con dichos datos obtenemos los siguientes cálculos:

$$a = (Dv/Dt) = (Vf - Vi)/t$$

Donde la velocidad necesitamos tenerla en una unidad de medida de m/s en lugar de km/h, por lo que de 200km/h pasamos a 55,55 m/s.

$$a = (Dv/Dt) = (0 - 55.55 \text{ m/s}) / 0.1 \text{ s}$$

Obteniendo un valor de -555,55 m/s

Dicho valor se multiplica por el peso del vehículo lo que nos deja con:

$$F = m \cdot a$$

$$F = 1100 \text{ Kg} \cdot 555,55 \text{ m/s}$$

Donde la fuerza resultante es

$$F = 611.050$$

Esta fuerza es la que se va a aplicar en ambos estudios, frontal y superior.

También, dado que esta es una ocasión excepcional, hemos decidido aumentar el diámetro y no trabajar con el mínimo permitido. En este caso, estaremos utilizando un chasis tubular con un

diámetro mínimo de 60,00 mm. De esta manera, añadimos un coeficiente de seguridad de 1.33 sobre la medida mínima obligatoria.

Además, para tener múltiples opciones, hemos decidido trabajar con dos clases de materiales y distintos grosores, de manera que podamos obtener un espectro de conclusiones más amplio y valorar la mejor situación. El primero de estos materiales es el acero inoxidable recocido, el cual tiene las siguientes propiedades:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2.07e+11	N/m ²
Coeficiente de Poisson	0.27	N/D
Límite de tracción	685000000	N/m ²
Límite elástico	292000000	N/m ²
Módulo tangente		N/m ²
Coeficiente de expansión térmica	1.7e-05	/K
Densidad de masa	7859.9999	kg/m ³
Factor de endurecimiento	0.85	N/D

El segundo material siendo el Acero al carbono no aleado, el cual tiene las siguientes propiedades:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2.1e+11	N/m ²
Coeficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	7.9e+10	N/m ²
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción	399826000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	220594000	N/m ²
Coeficiente de expansión térmica	1.3e-05	/K
Conductividad térmica	43	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

3.2 Simulación

Comenzando con el apartado de simulaciones, vamos a examinar y evaluar el núcleo del proyecto. Analizaremos cada situación con el mayor detalle posible para comprender completamente la situación en la que nos encontramos. Presentaremos de manera paralela los mismos diseños con los distintos materiales para determinar el punto de inflexión donde un material se convierte en

superior al otro. Todos los diseños serán construidos de la misma forma, utilizando la soldadura estándar requerida según la normativa.

El procedimiento a seguir tiene una estructura sencilla, pues no se partirá de un modelo ya existente. Sin embargo, se han valorado distintos diseños para tener un punto de partida, aprovechando el conocimiento obtenido a lo largo de la carrera universitaria.

El diseño estructural comenzará aplicando una estructura en forma de exoesqueleto, siguiendo las líneas del chasis original. No obstante, el primer modelo contará con una estructura simple, lo que permitirá analizar y valorar los puntos críticos para resolverlos en el modelo posterior. Este procedimiento se repetirá tantas veces como sea necesario hasta encontrar un modelo de estructura que cumpla con los estándares establecidos por el diseñador.

Estos estándares incluyen una elongación no superior a 50 mm en el punto máximo y una tensión que no alcance el 60% de la deformación plástica del material. Este valor se representará en las gráficas generadas por el programa de simulación elegido.

El vehículo seleccionado es el siguiente: BMW Serie 3 modelo e30 del año 1989.

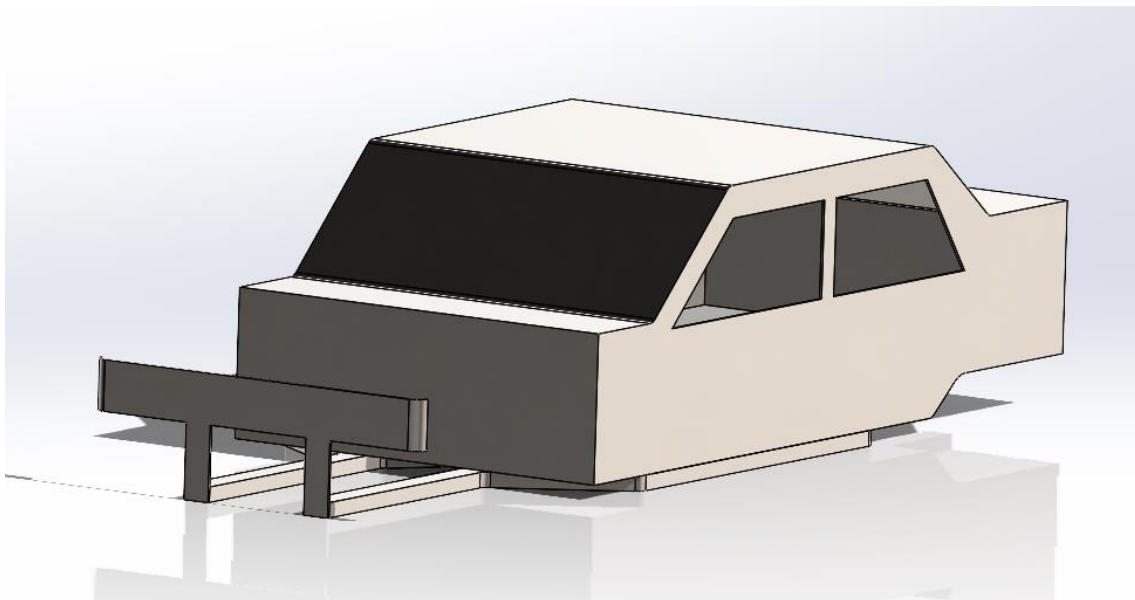


Siendo adaptado para la categoría rally en multiples ocasiones, siendo de la siguiente manera:

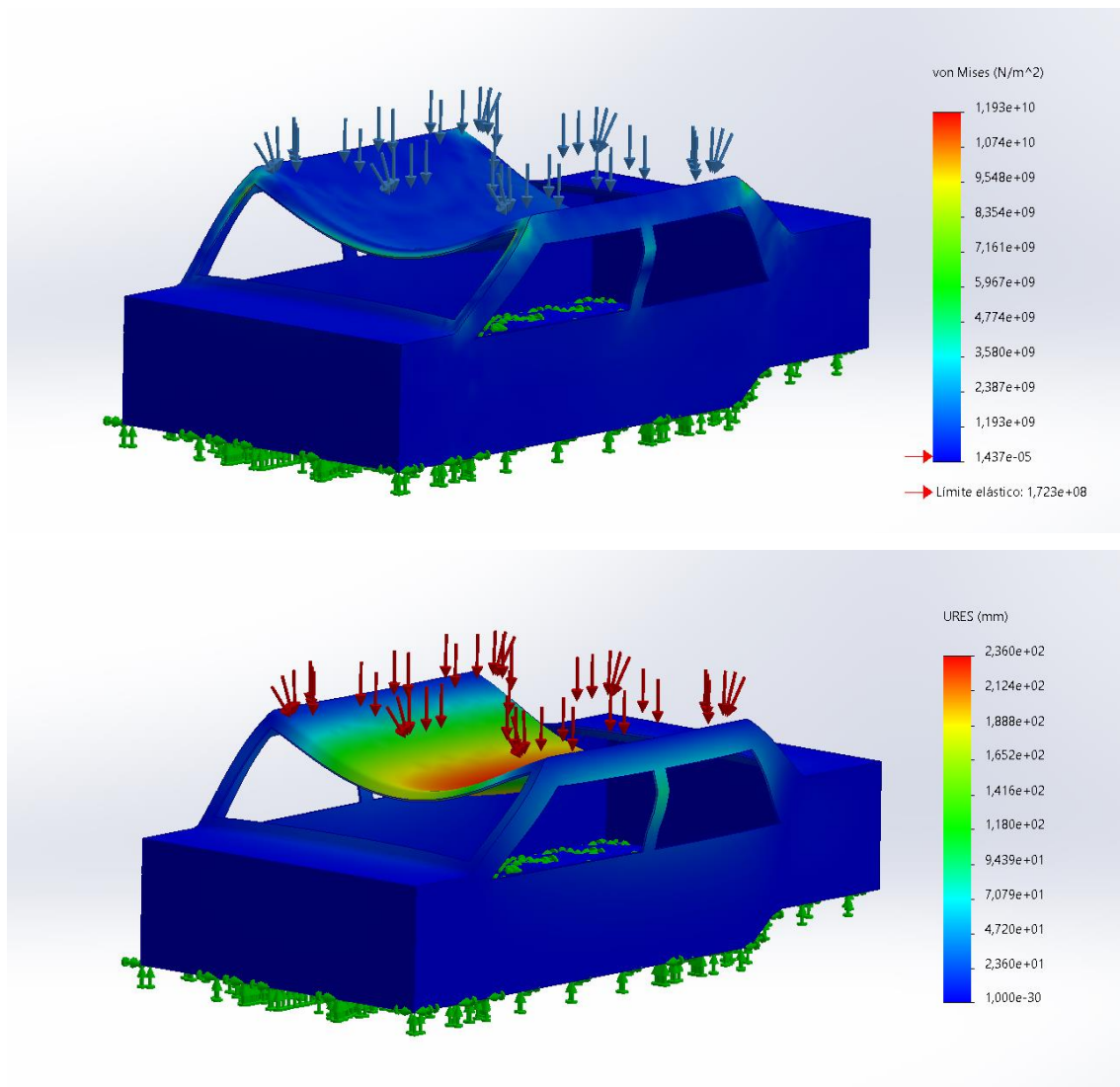


3.2.1 Diseño original

En base a las imágenes anteriores, hemos podido crear una representación en SolidWorks que se asemeja lo más posible al diseño original, siendo la estructura del chasis de la siguiente forma:



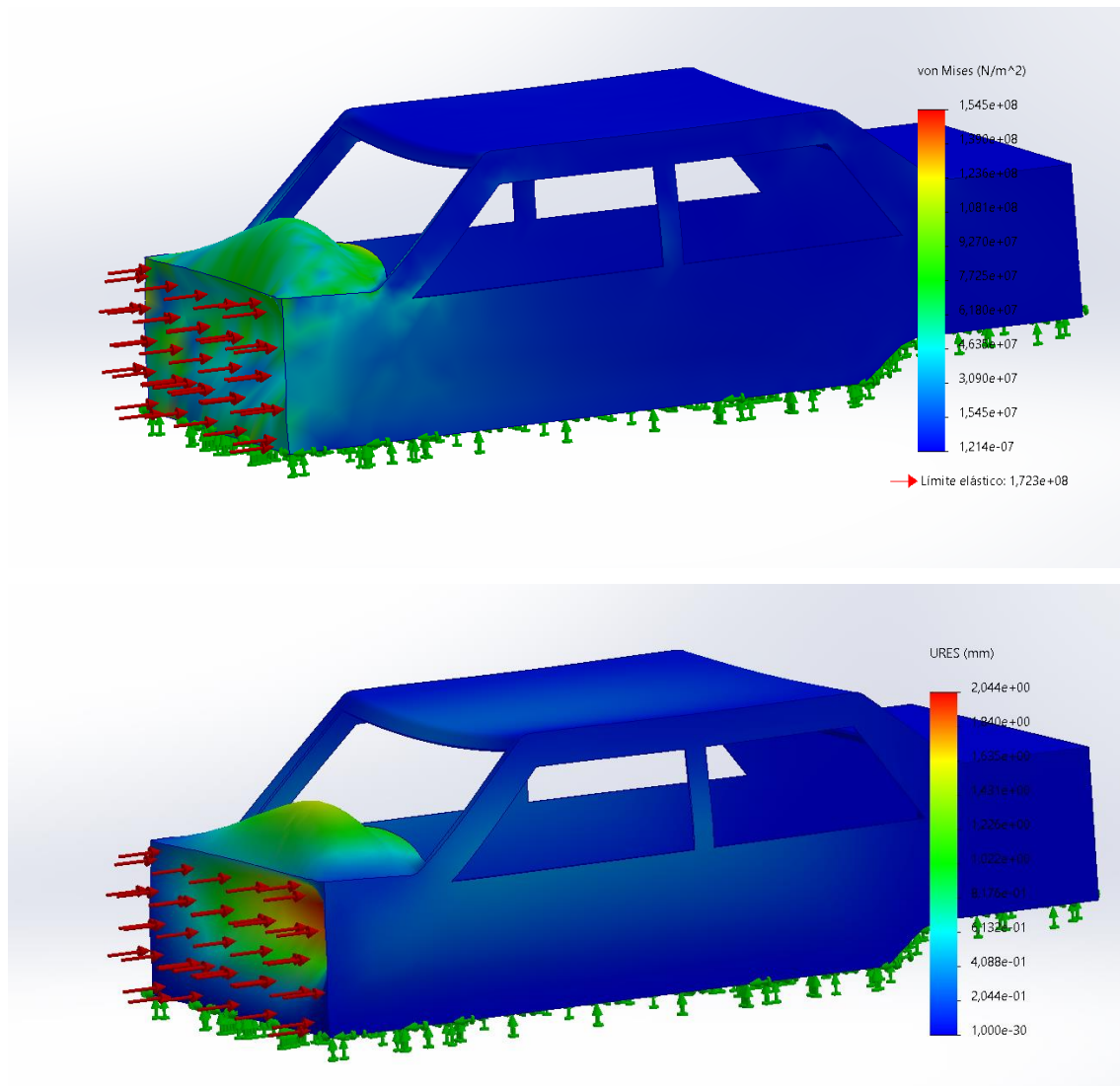
En esta primera simulación, no se ha tenido en cuenta el material que permite la homologación, puesto que, al tratarse del chasis exterior, este seguía otra homologación. Por ende, obtenemos el siguiente estudio:



Estas imágenes representan el impacto superior ya comentado previamente. En la primera imagen, podemos ver cómo los valores para la deformación de Von Mises están dentro del límite elástico. Sin embargo, aunque la simulación represente este dato, está incorrecto. Esto se debe a que el programa ha tenido que recalcular el modelo con desplazamientos pequeños, ya que no es capaz de procesar el cálculo una vez que el material se fractura. No obstante, nos ha permitido analizar el desplazamiento que dicho material está recibiendo.

También se puede apreciar en la imagen cómo los pilares están completamente deformados, asumiéndose una rotura completa de los mismos. Por lo tanto, la seguridad en este modelo se puede clasificar como escasa.

A continuación, pasamos al estudio de un golpe frontal en este modelo, obteniendo el siguiente análisis:



El modelo en este caso difiere del ensamblaje montado previamente, pues presenta problemas a la hora de realizar los cálculos. Las deformaciones, siendo bastante elevadas, junto con las soldaduras creadas, no soportan el modelo, ergo no permiten hacer un cálculo preciso.

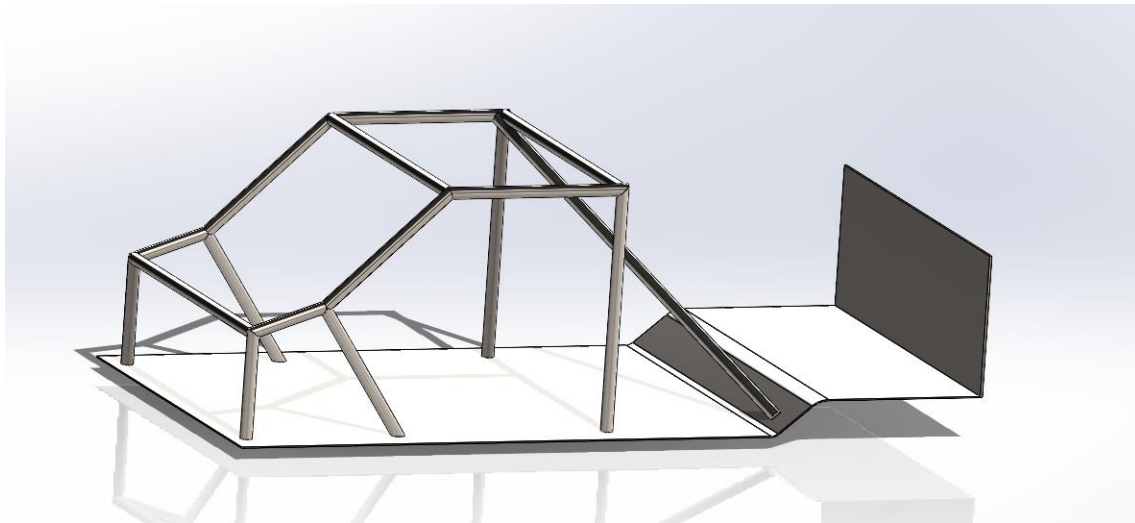
Debido a este problema, se realizarán todos los cálculos únicamente con el modelo del chasis y, más adelante, solo con el modelo de la jaula, sin tener en cuenta la estructura de largueros ni el motor que se encontraría en un modelo de impacto frontal. Para dicha situación, se añadirá un

coeficiente de seguridad al modelo frontal para poder obtener una estimación de las deformaciones en un golpe frontal.

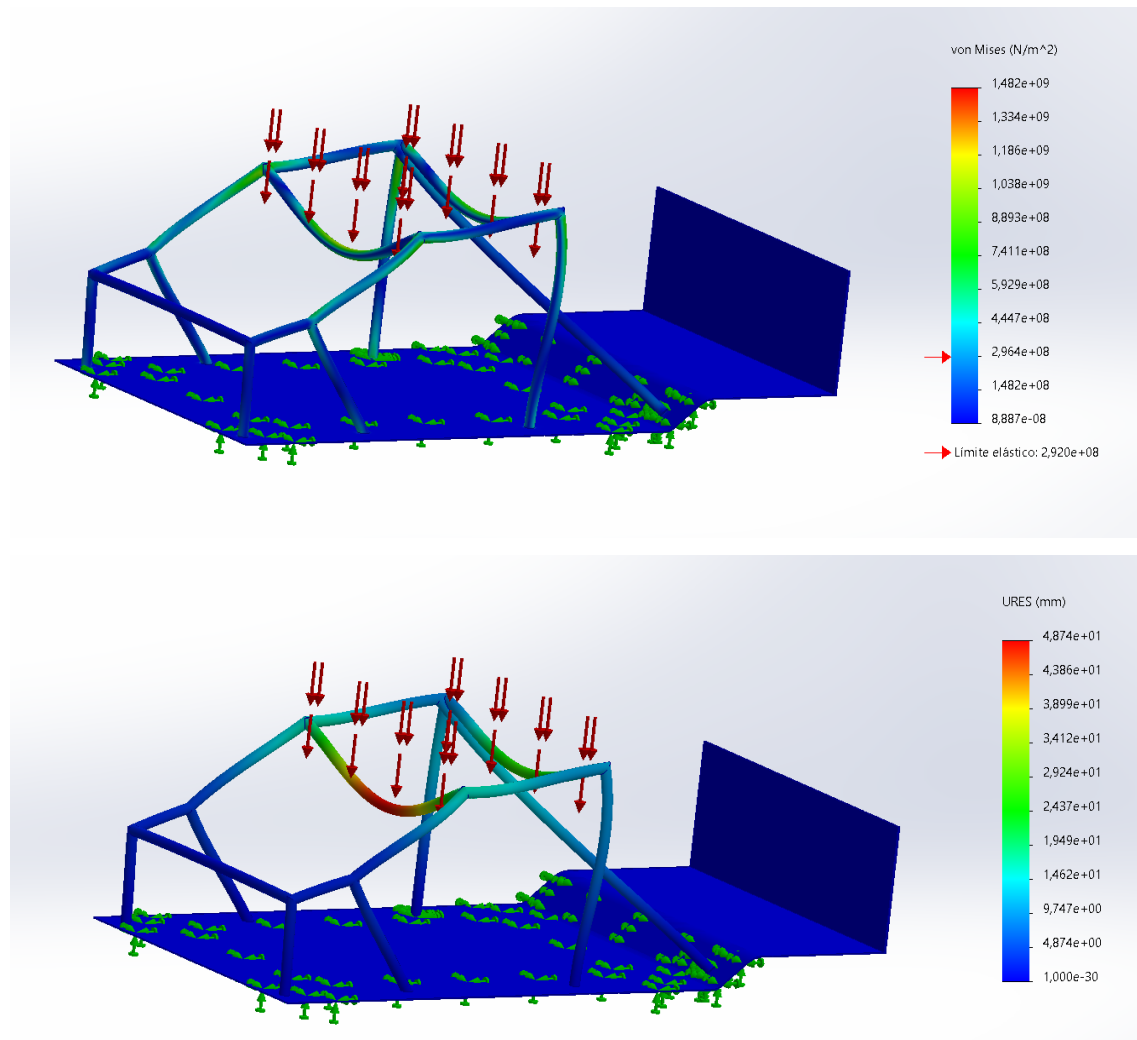
En el impacto superior, se mantiene igual.

3.2.2 Primer diseño Tubular

En este primer diseño del chasis tubular, hemos optado por un modelo sencillo, tratando de establecer una base inicial. En este modelo, partimos de una estructura tubular maciza.

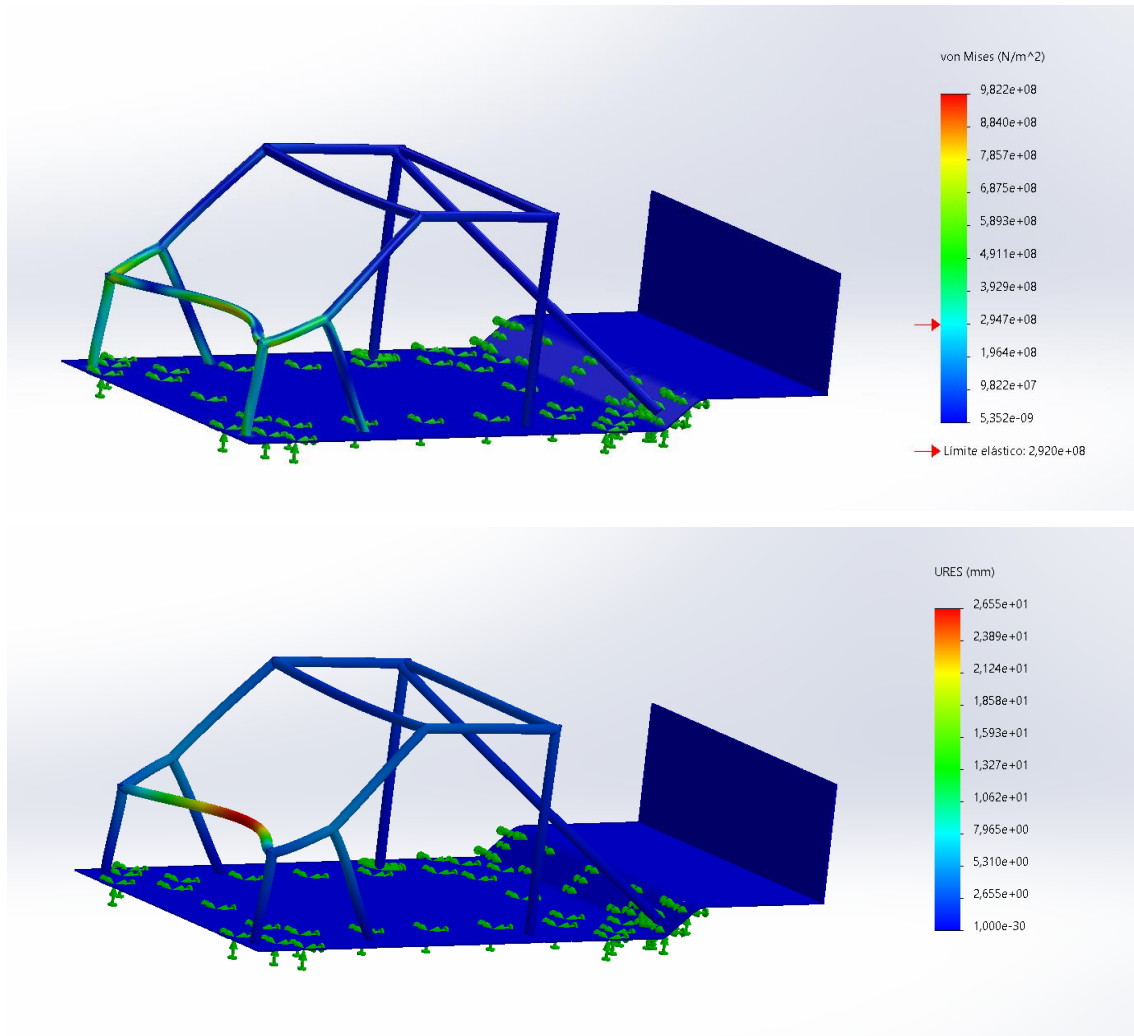


Obteniendo los siguientes resultados con el primer material, el Acero Inoxidable recocido:



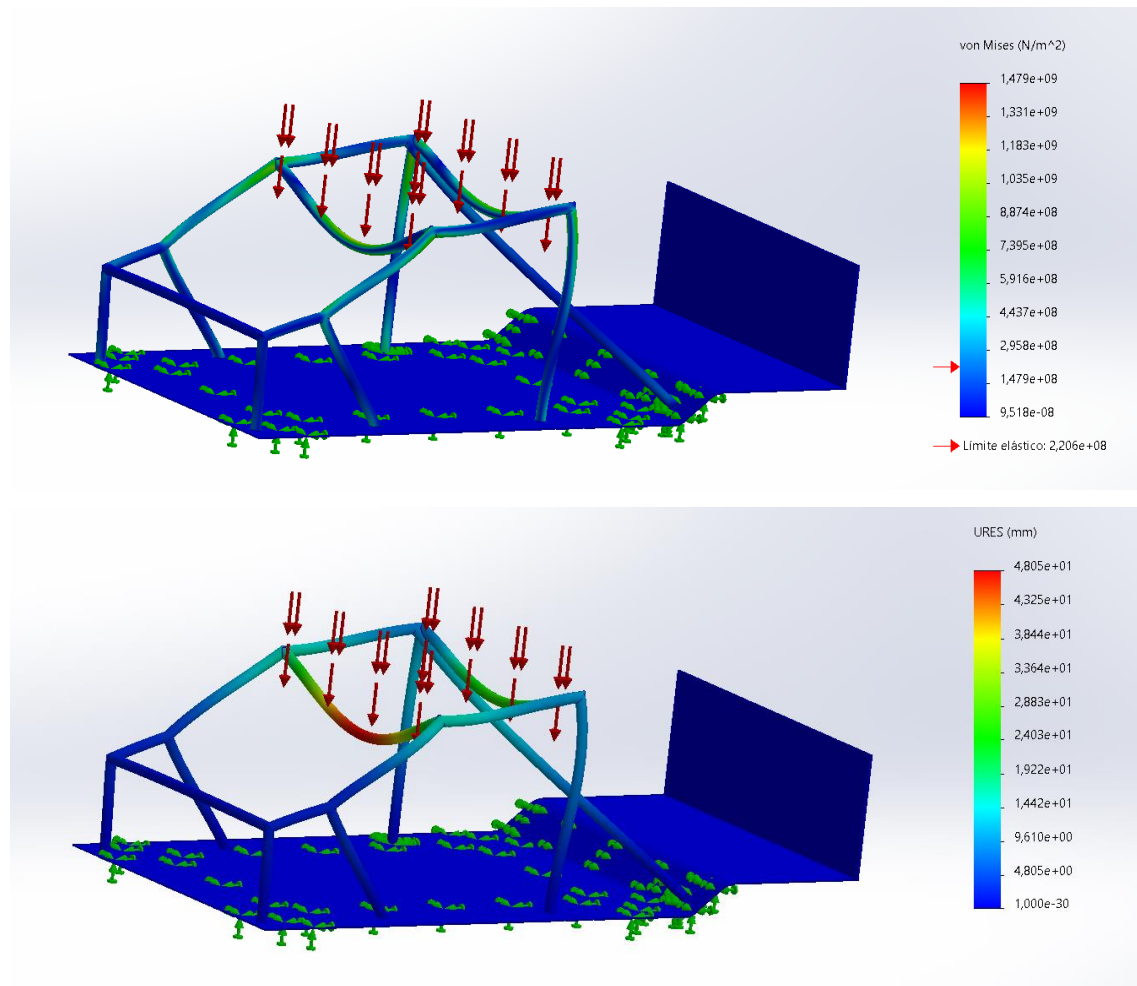
Como podemos apreciar en este primer modelo, no cumple con los requisitos solicitados, que es garantizar la seguridad del piloto. Esto se evidencia en la primera imagen, donde observamos que gran parte de la estructura sobrepasa el límite elástico, llegando a alcanzar el punto de rotura.

Además, se observa un gran desplazamiento en este primer modelo, lo cual es inaceptable, ya que la estructura se deforma, impactando contra el piloto y pudiendo ocasionarle lesiones muy graves.



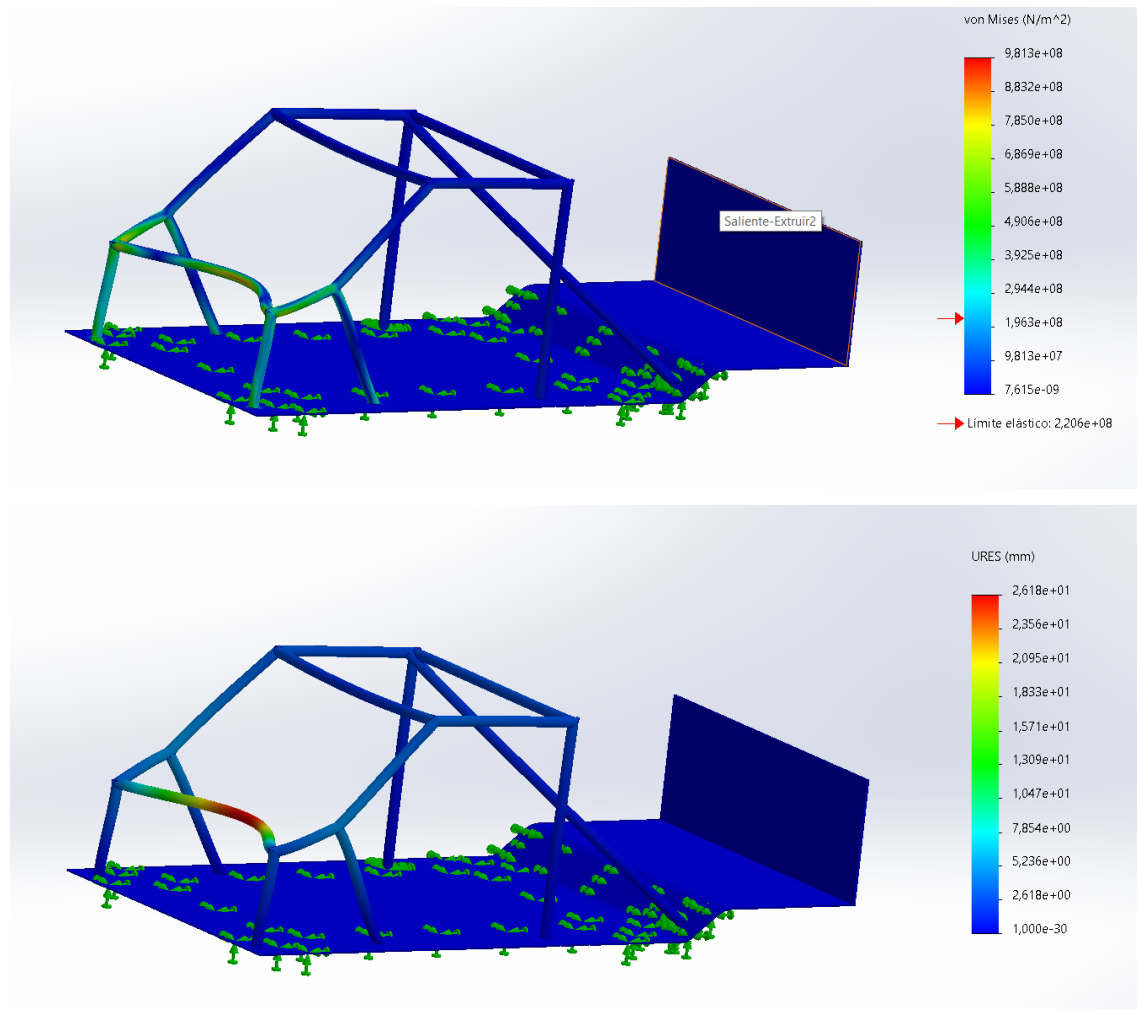
Seguidamente se ha procedido a analizar el modelo de impacto frontal. Si bien es cierto que esta parte también sufre mucho, no es tan relevante, dado que a este modelo de choque hay que añadirle un coeficiente de seguridad debido a los elementos que encontramos en el proceso. Así, esta estructura no recibirá el golpe de forma tan directa.

A continuación, procedemos a cambiar el material del mismo modelo y a estudiar la misma situación.



Como podemos apreciar, incluso cambiando el material por el permitido según la homologación e incluso optando por un material más duro, el modelo no logra soportar esta prueba. Por lo tanto, consideramos este modelo como fallido para un impacto superior.

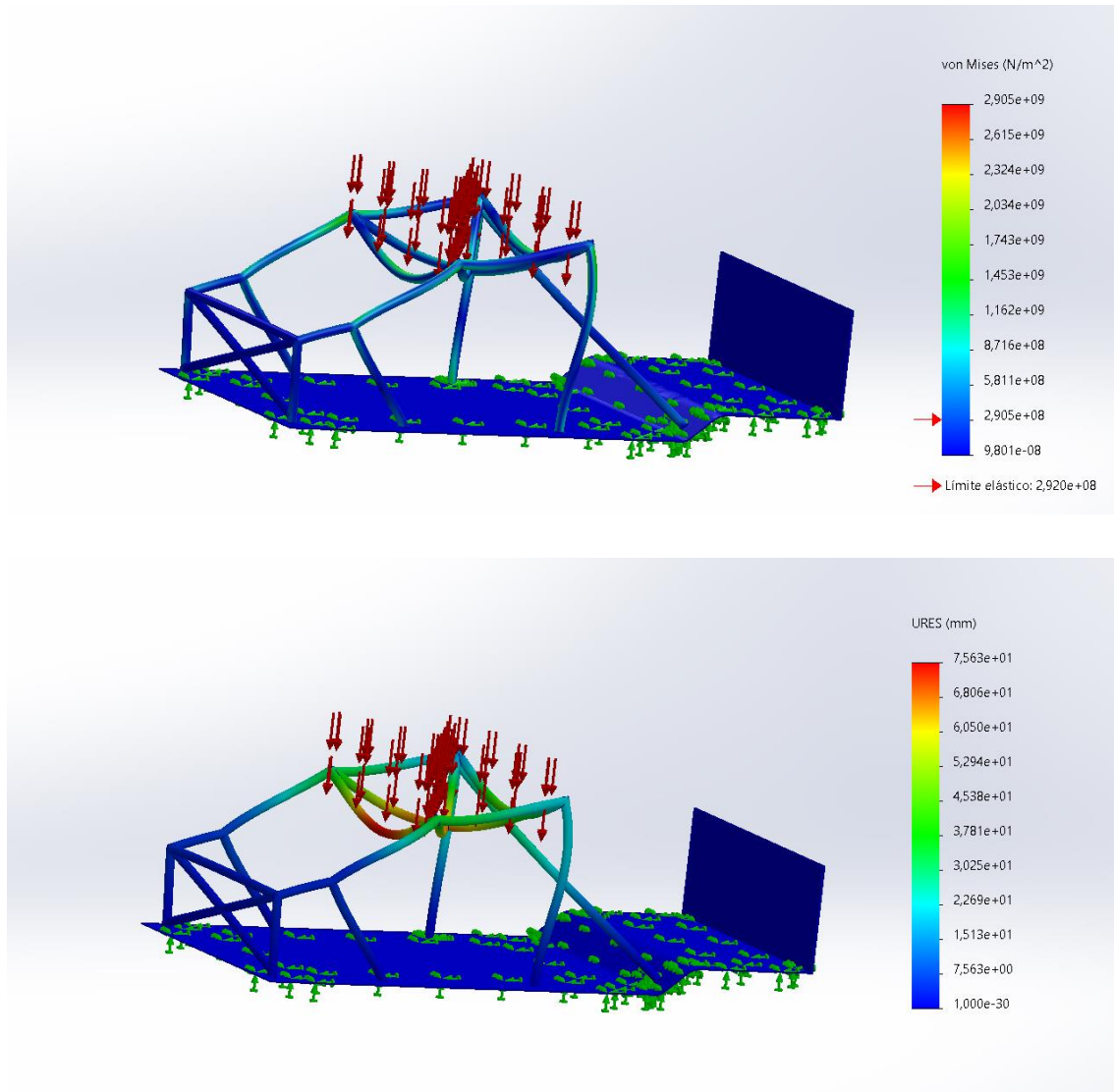
En el siguiente paso se analizará el golpe frontal con este material, donde obtenemos el siguiente modelo:



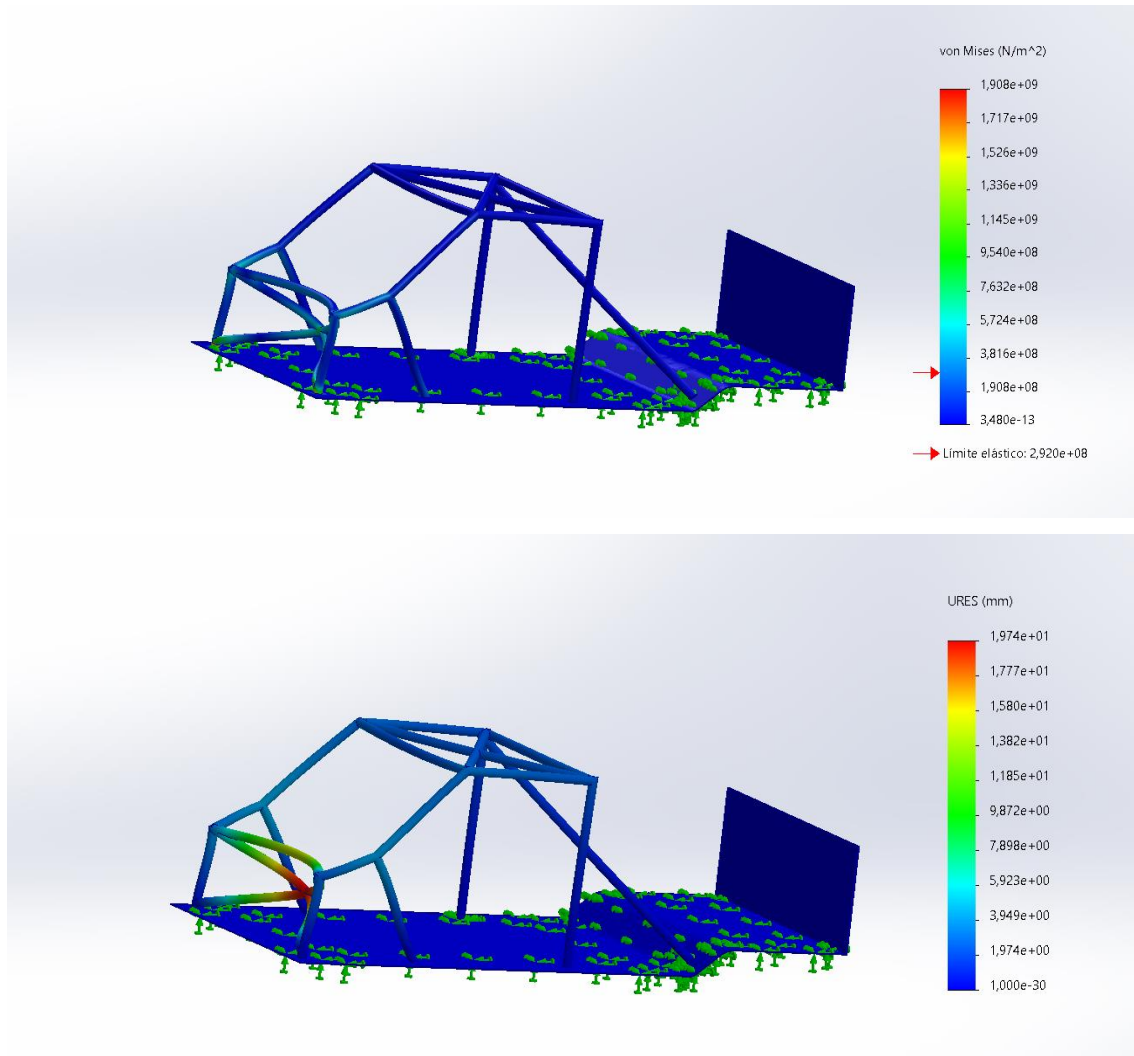
Al igual que en el modelo de choque superior, en este apreciamos un modelo de fallo muy similar al previo, concluyendo que el modelo falla independientemente del material aplicado.

3.2.3 Segundo diseño tubular

Puesto que el primer modelo ha fallado, se ha procedido a analizar los puntos más críticos. Debido a la imposibilidad de poner una estructura vertical para sujetar el pilar más afectado, debemos encontrar alguna alternativa a dicho problema, como un refuerzo en paralelo. Por consiguiente, hemos obtenido el siguiente modelo.

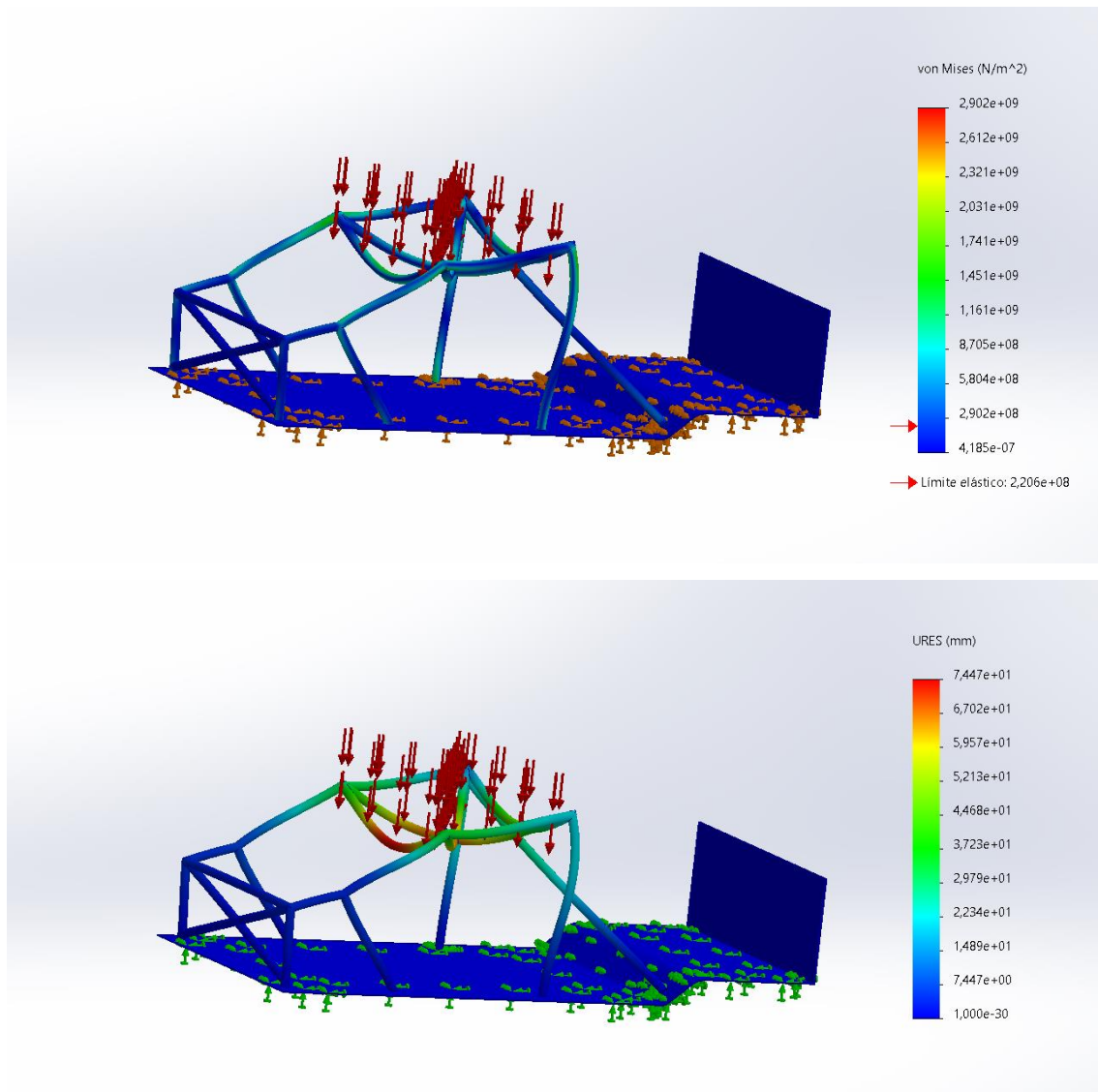


En este modelo, se aprecia que la distancia de deformación es mayor. Esto se debe a que en esta situación hemos añadido más área sobre la que impacta, lo que resulta en una deformación más homogénea. Sin embargo, aunque se ha solucionado ligeramente la situación con los pilares, la deformación que se aprecia en ellos ha disminuido considerablemente.

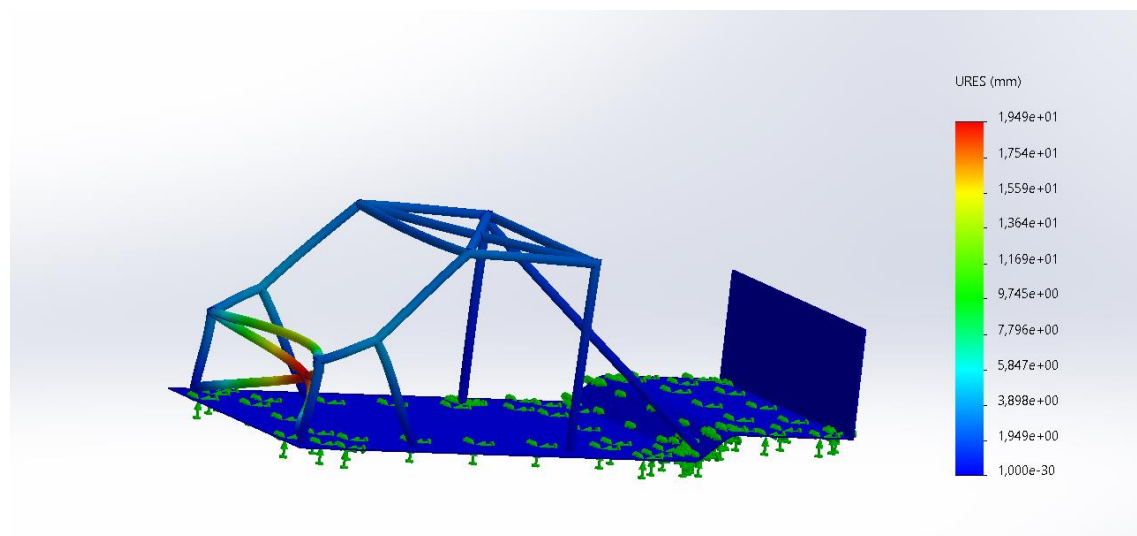
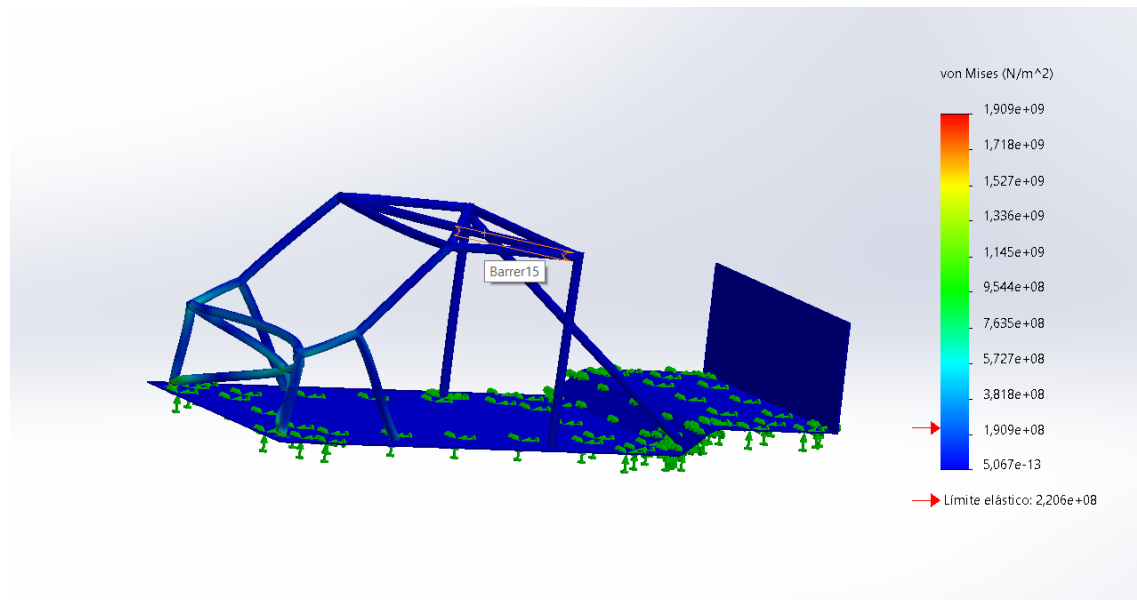


No obstante, al aplicar el mismo procedimiento al análisis de impacto frontal, podemos notar una considerable mejora en la deformación. En esta situación, aunque aún presenta un gran desplazamiento, la energía acumulada es considerablemente menor. Es importante mencionar que aún se debe tener en cuenta el factor de los elementos que amortiguarán el impacto antes de alcanzar la jaula.

Por lo tanto, procedemos a realizar el mismo proceso con el material de la normativa.



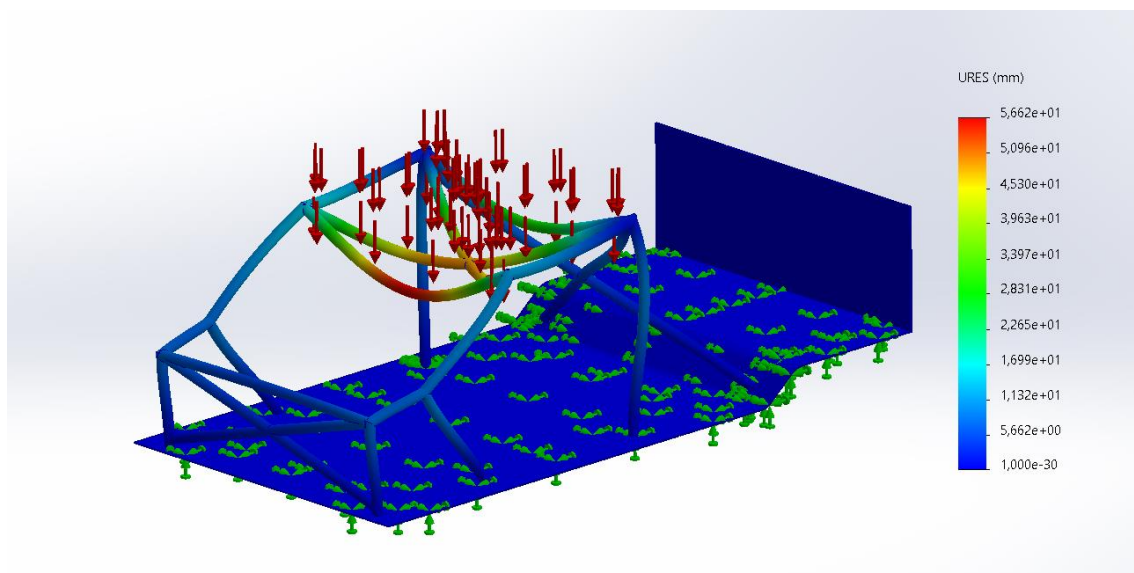
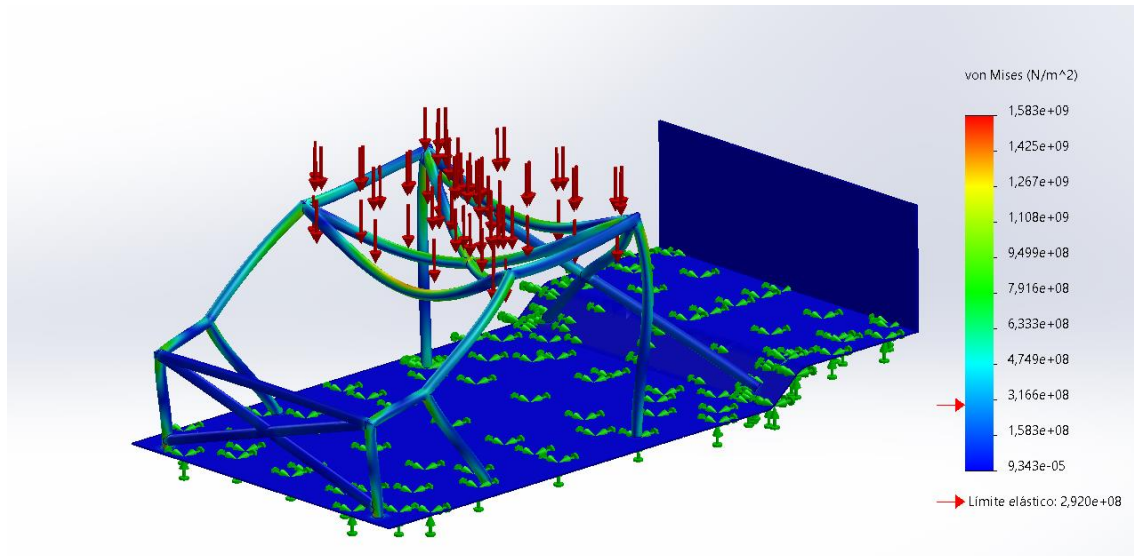
Ante este otro material, podemos apreciar cómo aumenta la seguridad del sistema. Aunque, en esta situación, sigue sin ser suficiente. Si bien es cierto que el modelo es algo más seguro, continúa fallando.



La misma situación se enfrenta en el impacto frontal, donde apreciamos un incremento en la seguridad estructural del sistema gracias a la dureza de este material en comparación con el primero evaluado. En cambio, seguimos presentando un modelo fallido. Continuamos hablando de nuestro mayor problema, que sigue siendo el impacto superior.

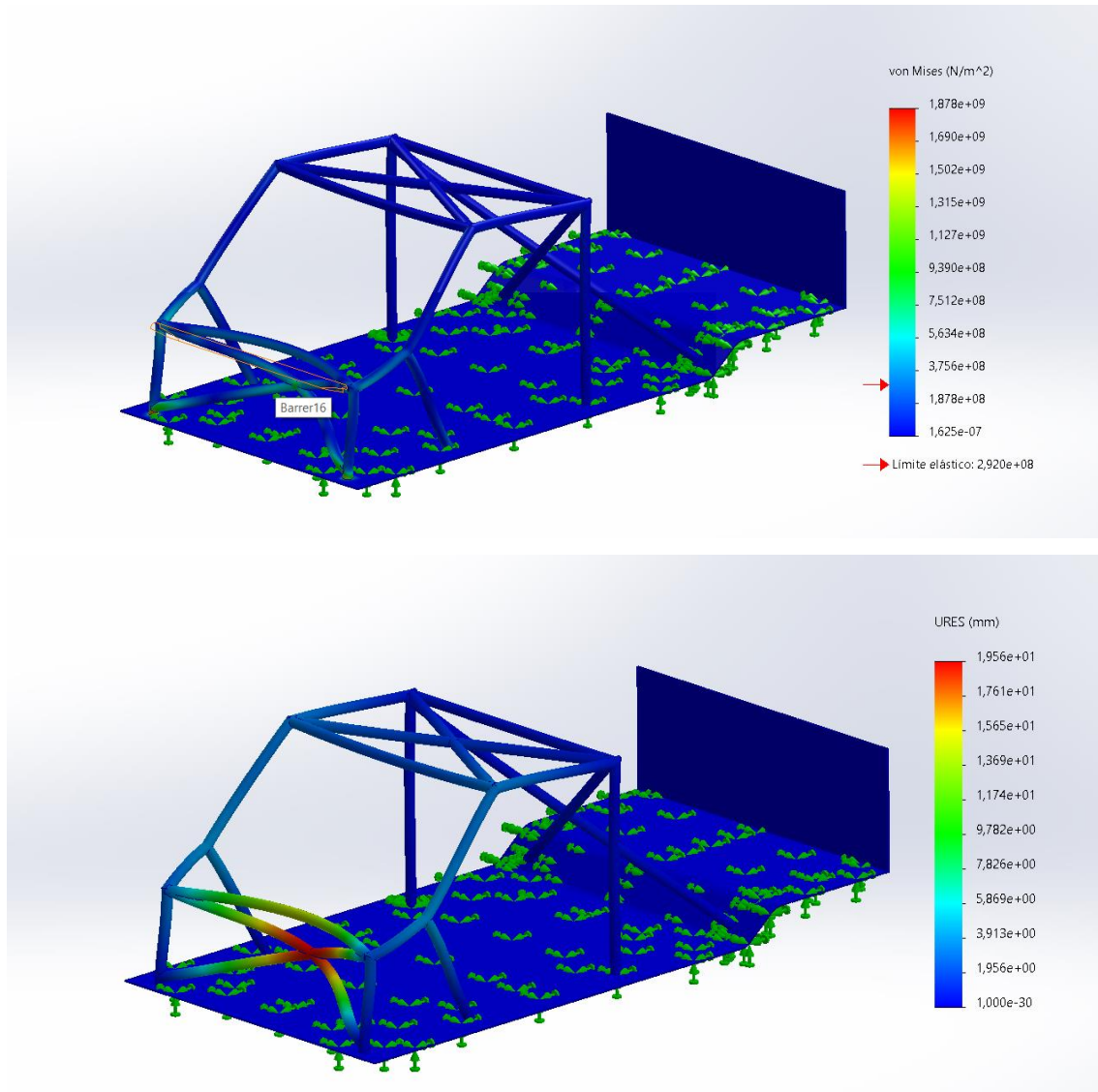
3.2.4 Tercer Diseño tubular

Viendo que el modelo previo continúa fallando, el proceso es volver a analizar los puntos críticos. Claramente, seguimos observando un fallo estructural en la parte superior. Por lo tanto, vamos a continuar reforzando dicha parte de la estructura. El siguiente modelo adopta la siguiente forma.



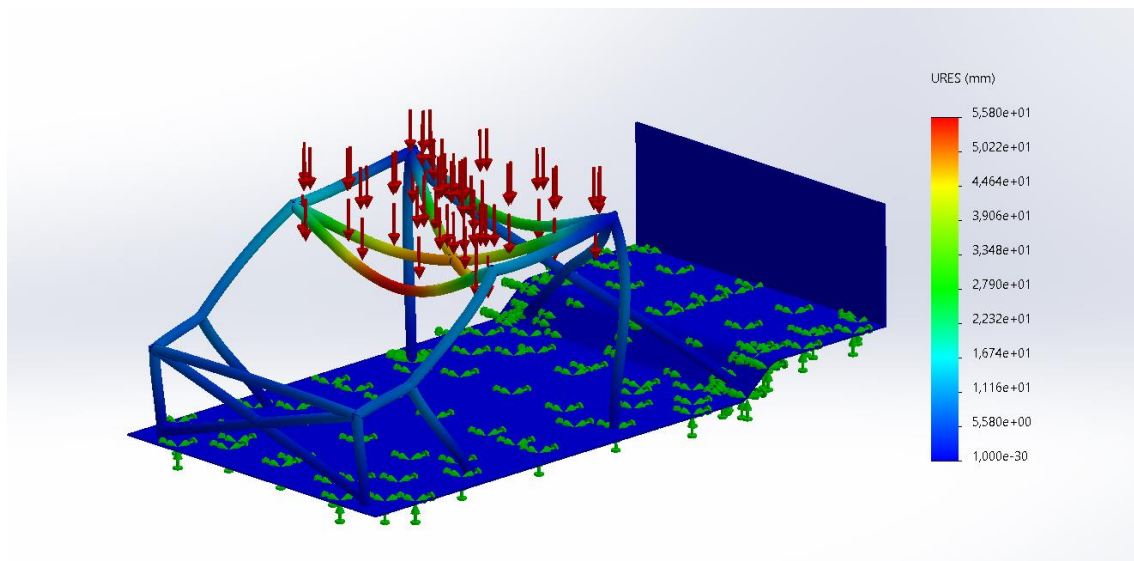
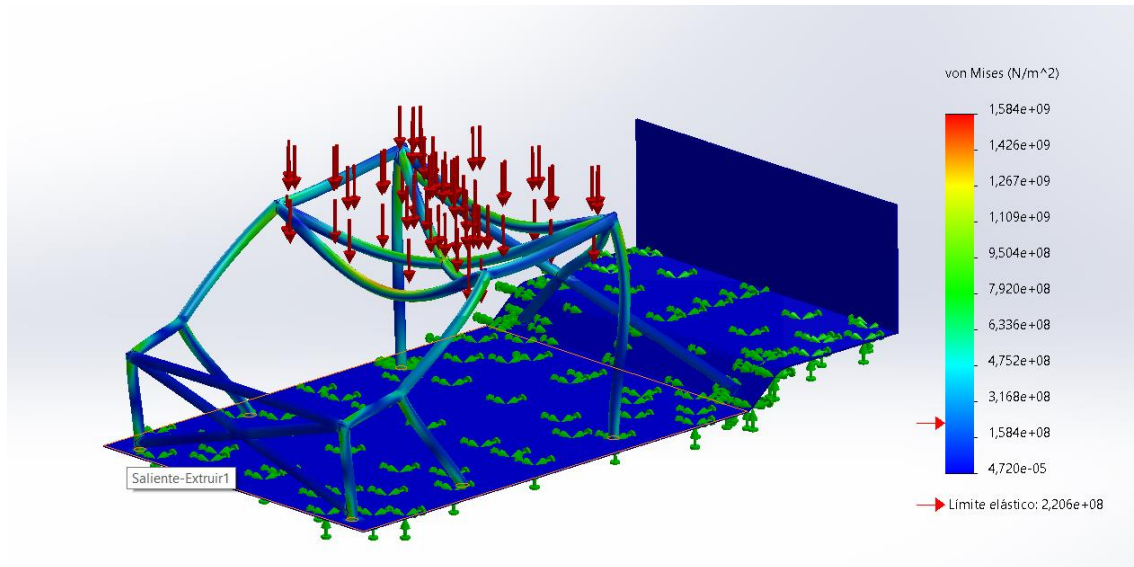
En este modelo, el cambio estructural ha sido menor; podemos apreciar un cambio bastante importante en los resultados, dado que esta vez la deformación afectada por el impacto superior se ha reducido considerablemente. A pesar de ello, sigue sin ser suficiente.

Por este motivo, llevaremos a cabo un análisis del impacto frontal. Si bien es cierto que el cambio no afecta directamente a la estructura frontal, es bueno considerar el impacto que recibe la estructura en su conjunto. Consiguientemente, obtenemos los siguientes resultados.

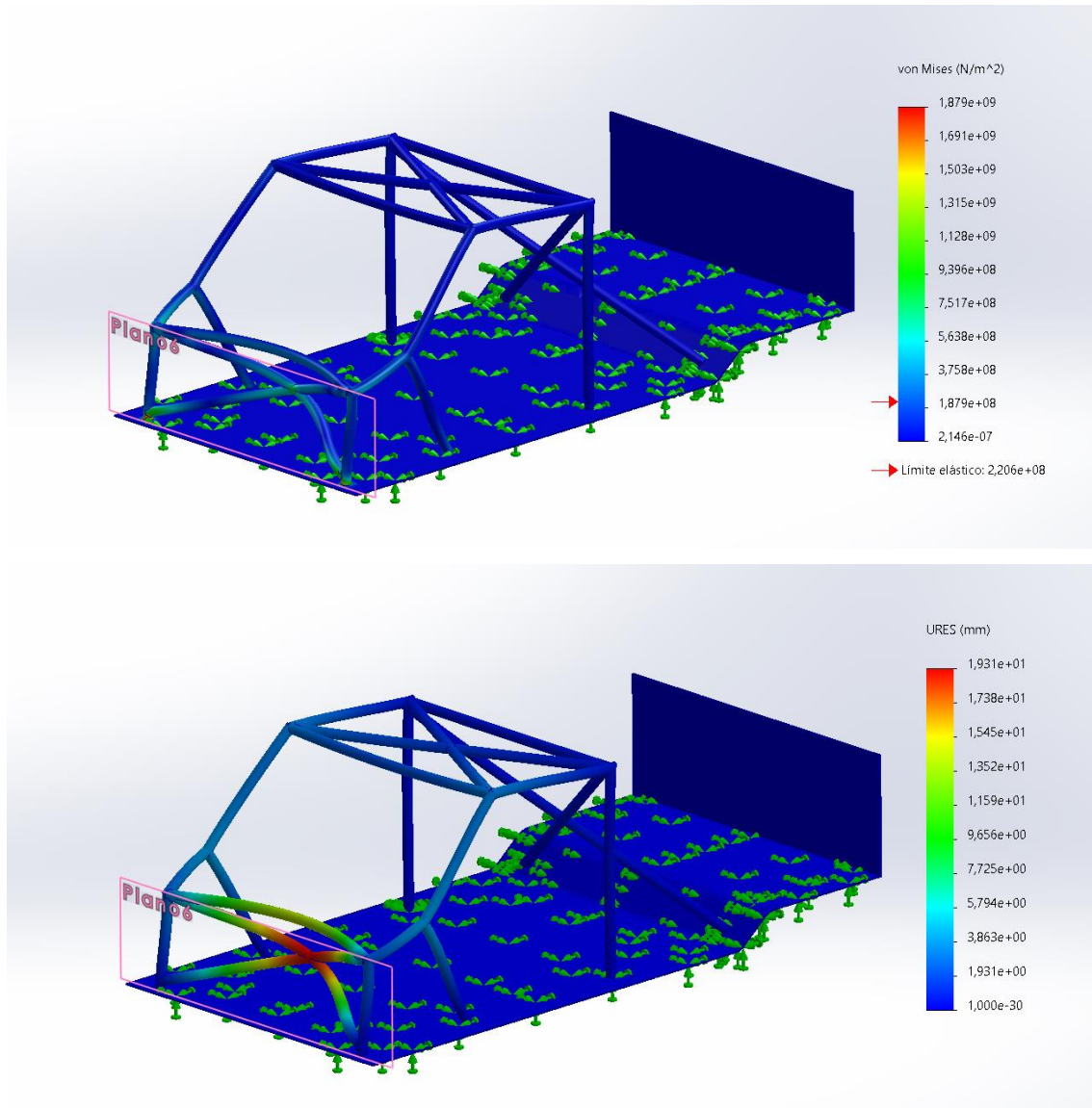


Como podemos apreciar, el cambio es ligero. Aun así, esto favorece la seguridad ante un impacto frontal. Sin embargo, este modelo sigue siendo inaceptable.

Por lo tanto, procedemos a analizar con el segundo material, el Acero al carbono no aleado, obteniendo los siguientes resultados.



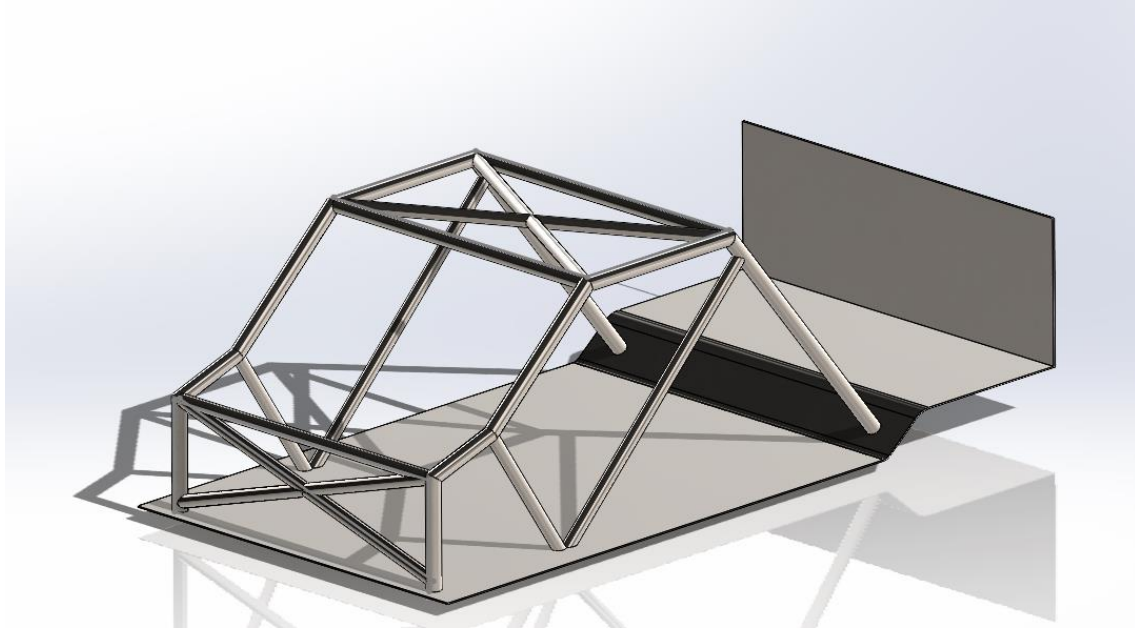
En esta situación, la diferencia de materiales es mínima, ya que la deformación se reduce en una cantidad casi imperceptible. Por tanto, procedemos a analizar el modelo con el impacto frontal.



De manera similar a lo observado anteriormente, el cambio de material no resulta suficiente para hacer que este modelo sea aceptable, especialmente debido a su fallo en el escenario de impacto superior. Es necesario seguir adaptando la estructura para fortalecer la parte superior.

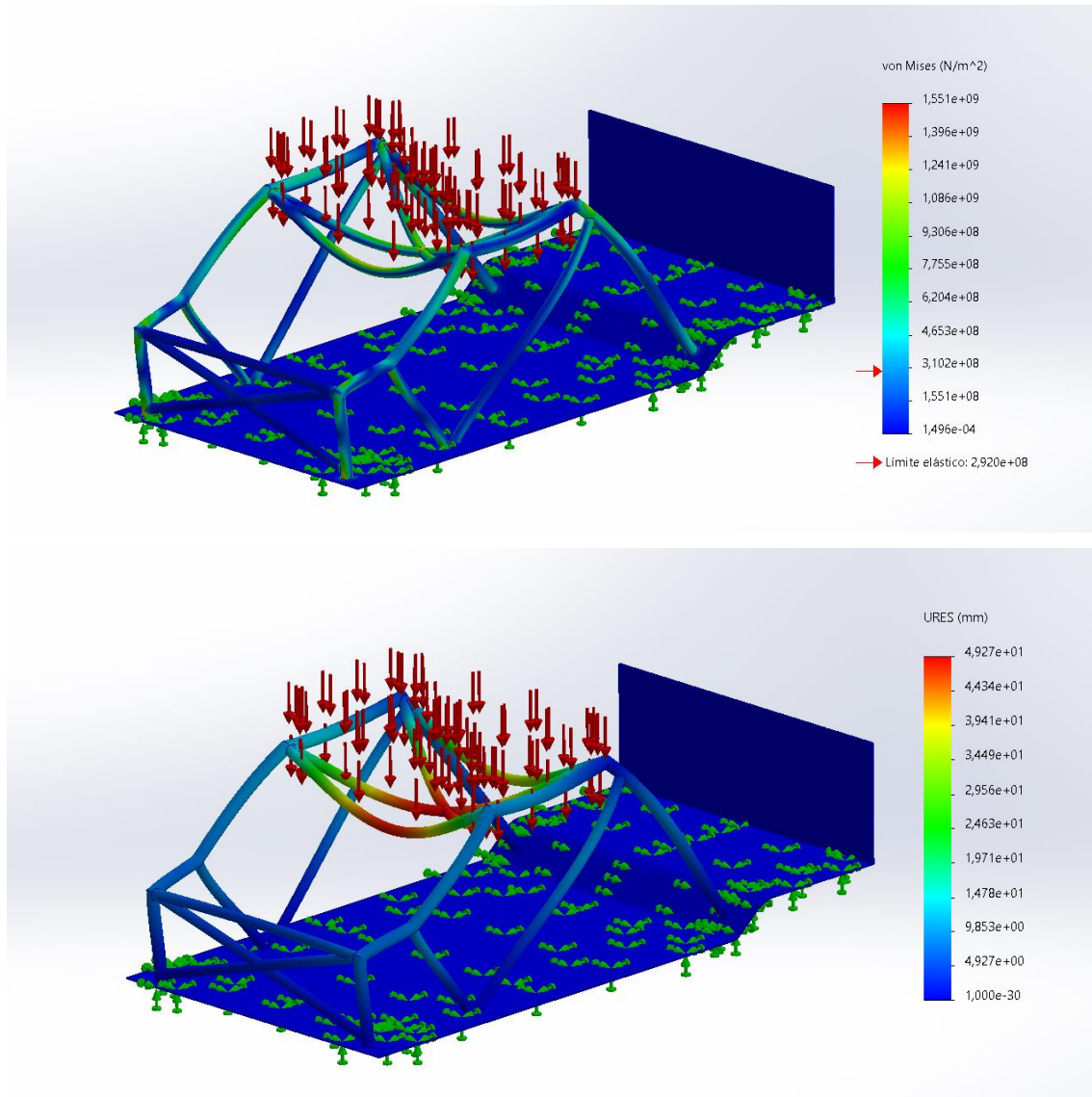
3.2.5 Cuarto Diseño tubular

Dado que los modelos anteriores han fallado a pesar de los intentos de reforzar la parte superior mediante modificaciones en la parte posterior, se ha decidido realizar una modificación radical en esa área y comenzar un nuevo diseño. En este caso, se seguirá un modelo más similar al chasis original del vehículo. Este nuevo diseño se presenta de la siguiente manera:



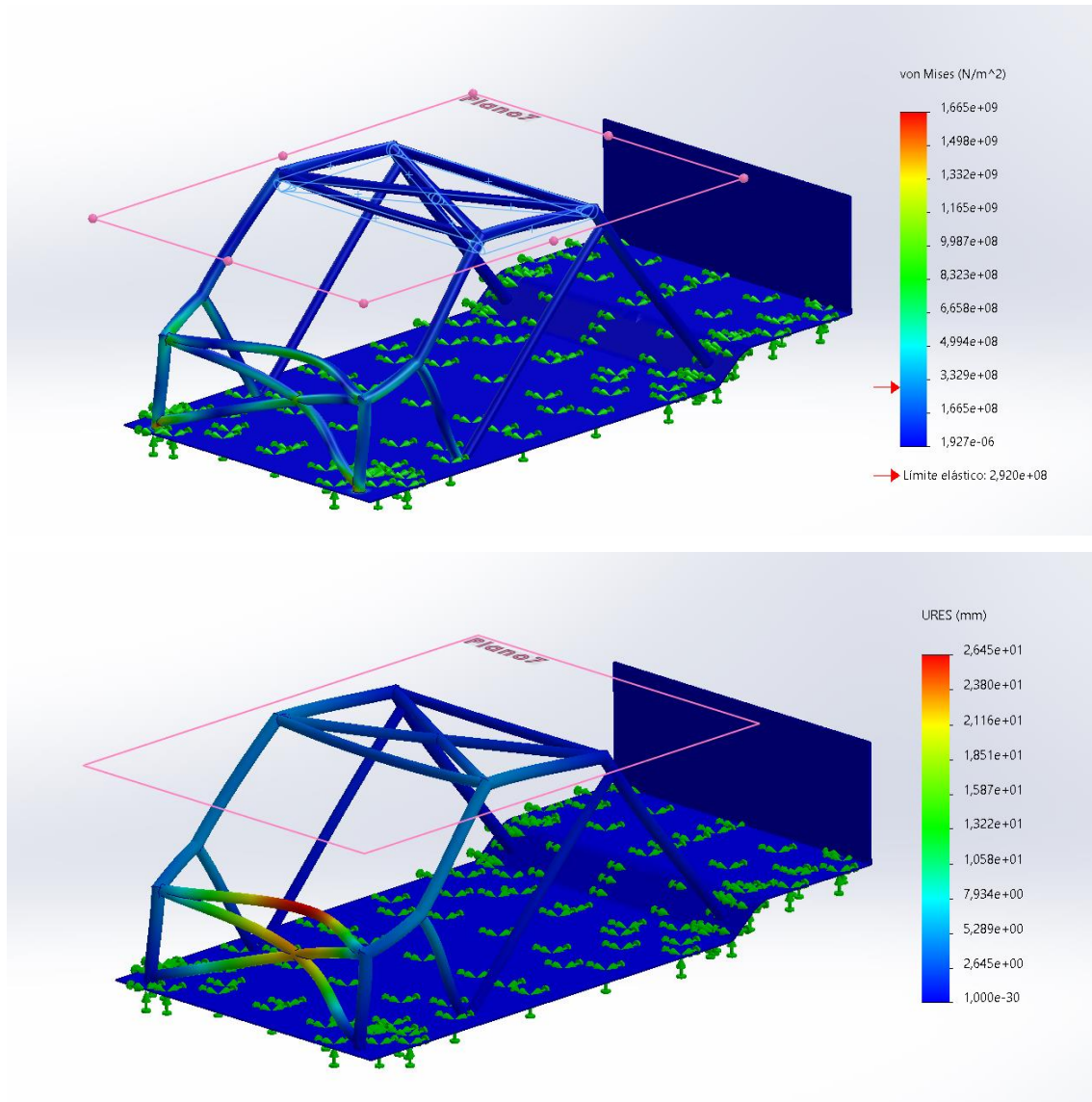
Como se puede apreciar, se ha sustituido la parte trasera cuadriculada por un sistema más diagonal, asemejando a una estructura triangular, la cual siempre se ha considerado más estable que la cuadrada en términos óptimos. Sin embargo, se consideró la oportunidad de valorar el modelo anterior.

Con este nuevo diseño, obtenemos los siguientes resultados. Primero, con el impacto superior y utilizando el material Acero inoxidable recocido.

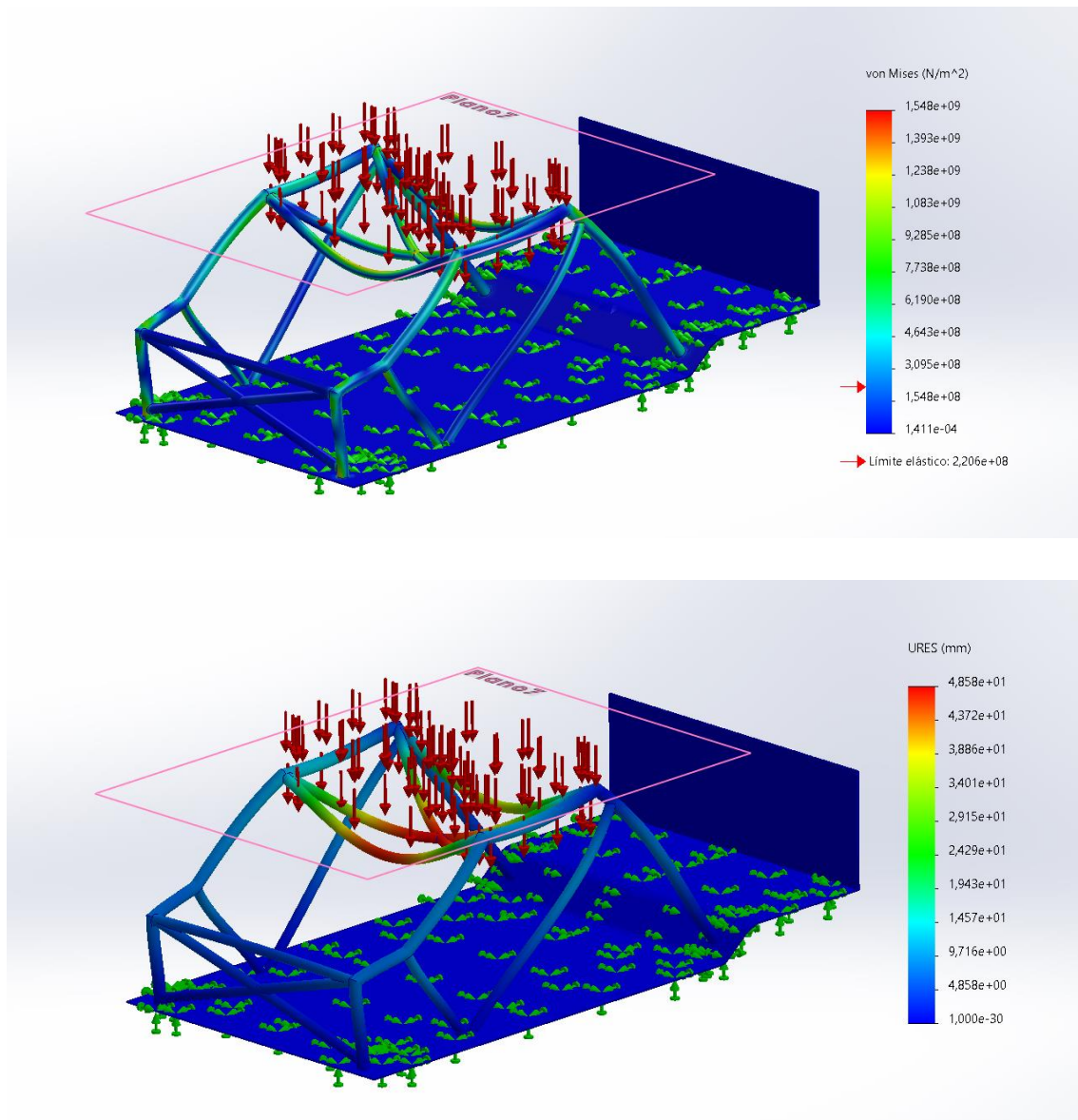


Aunque el modelo actual aún tiene sus fallos, hay una mejora perceptible en este nuevo diseño, especialmente en los pilares del chasis. En comparación con modelos anteriores, estos pilares muestran una menor deformación, lo cual es notable, considerando que en los diseños previos tenían una estructura más vertical. Sin embargo, el modelo todavía tiene defectos significativos.

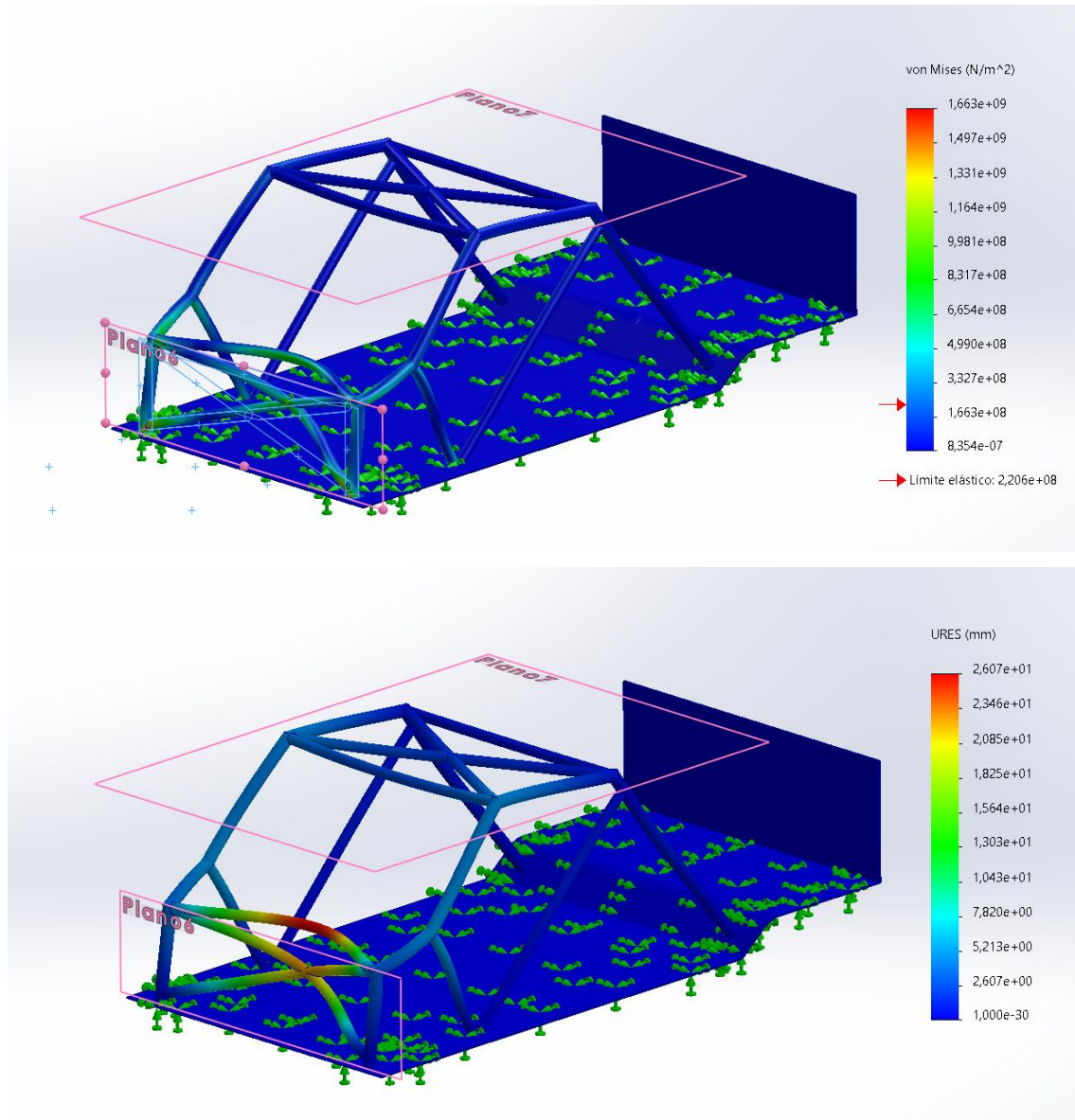
Por lo tanto, vamos a evaluar cómo se comporta el modelo ante un impacto frontal para determinar si el cambio en la parte trasera ha tenido algún efecto en este aspecto. Aquí están los resultados obtenidos.



En la continuación del análisis del modelo, podemos observar que ha sido afectado ligeramente. Sin embargo, este modelo sigue mostrando un crecimiento de mejora muy leve y lineal. No hemos logrado obtener grandes avances desde que se incluyó el sistema en X en el cuadro frontal. En consecuencia, procedemos a analizar la misma simulación con el segundo tipo de material que estamos utilizando.



Como podemos apreciar, cada vez nos acercamos más a nuestra meta. En este caso, hemos comprobado cómo seguimos reduciendo la deformación y la distancia de elongación que presenta el modelo frente al impacto. Sin embargo, esto sigue sin ser suficiente para nuestro objetivo. A estas alturas del estudio, se puede concluir que el modelo con el material Acero al carbono es más resistente y seguro que el otro material que hemos decidido estudiar, el Acero inoxidable recocido. Aun así, el estudio está lejos de terminar, por lo tanto, continuamos con el análisis del impacto frontal.



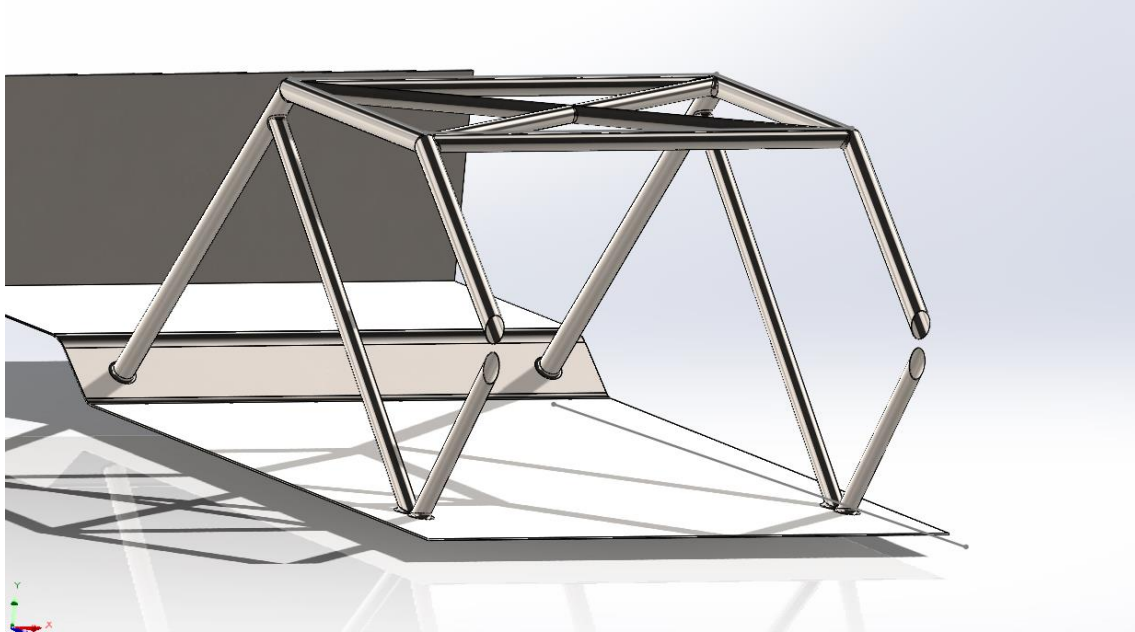
La misma metodología se aplica al impacto frontal, donde continuamente seguimos observando una mejora, aunque leve. Sin embargo, se procederá nuevamente a clasificar el modelo completo como fallido, pues sigue presentando valores de deformación y elongación inaceptables en el impacto superior si queremos garantizar la integridad del piloto en todo momento.

3.2.6 Quinto Diseño tubular 1 mm

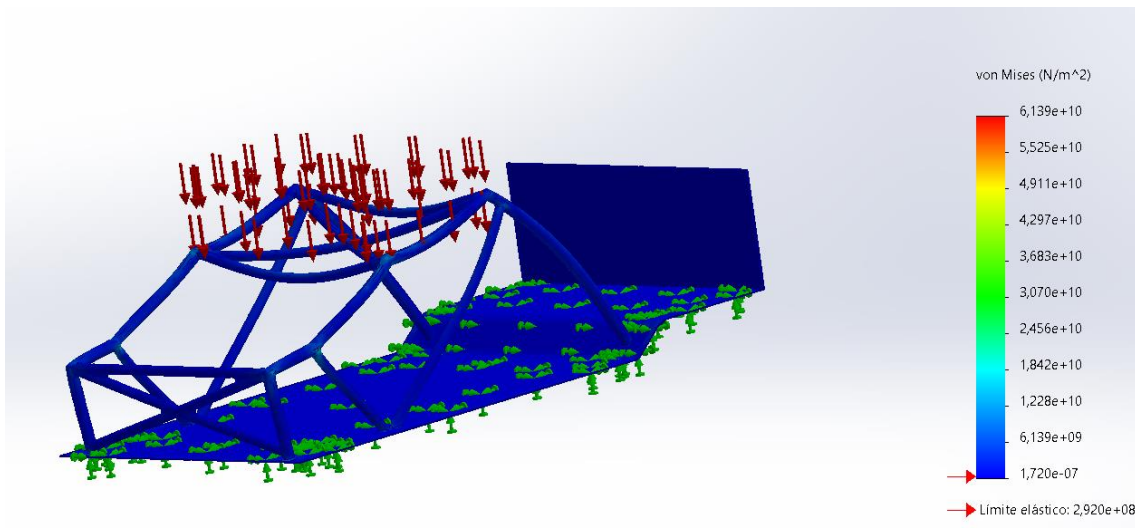
En este siguiente modelo, deseamos estudiar la diferencia entre una estructura maciza y una estructura hueca para poder comparar resultados. Esta comparación es importante ya que, cuando consideremos el aspecto económico, hay una gran disparidad entre estas dos clases de estructuras. La estructura maciza tiende a tener un precio más elevado debido a la cantidad de material que se utiliza, mientras que la estructura hueca, aunque el precio del material puede ser similar o incluso el mismo debido a su procedencia, requiere valorar el costo económico de la mecanización para

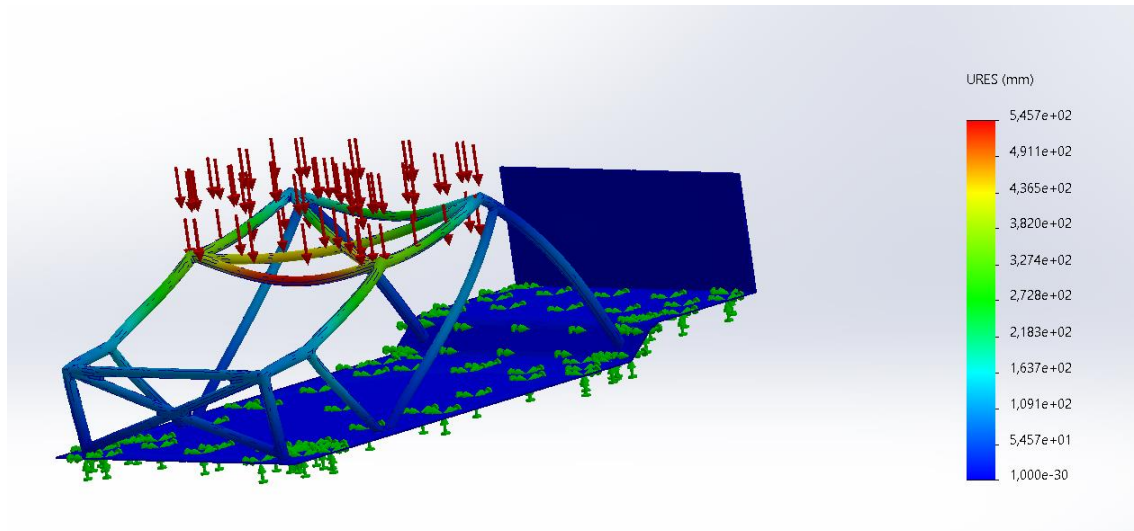
quitar el relleno, en caso de ser necesario. Si es factible, podríamos observar una reducción de costos mucho menor en un tipo de estructura en comparación con la otra.

Por ello, procedemos al estudio de la estructura hueca con el mismo diseño que en el apartado previo. También debemos tener en cuenta un grosor de 1 mm en este estudio.



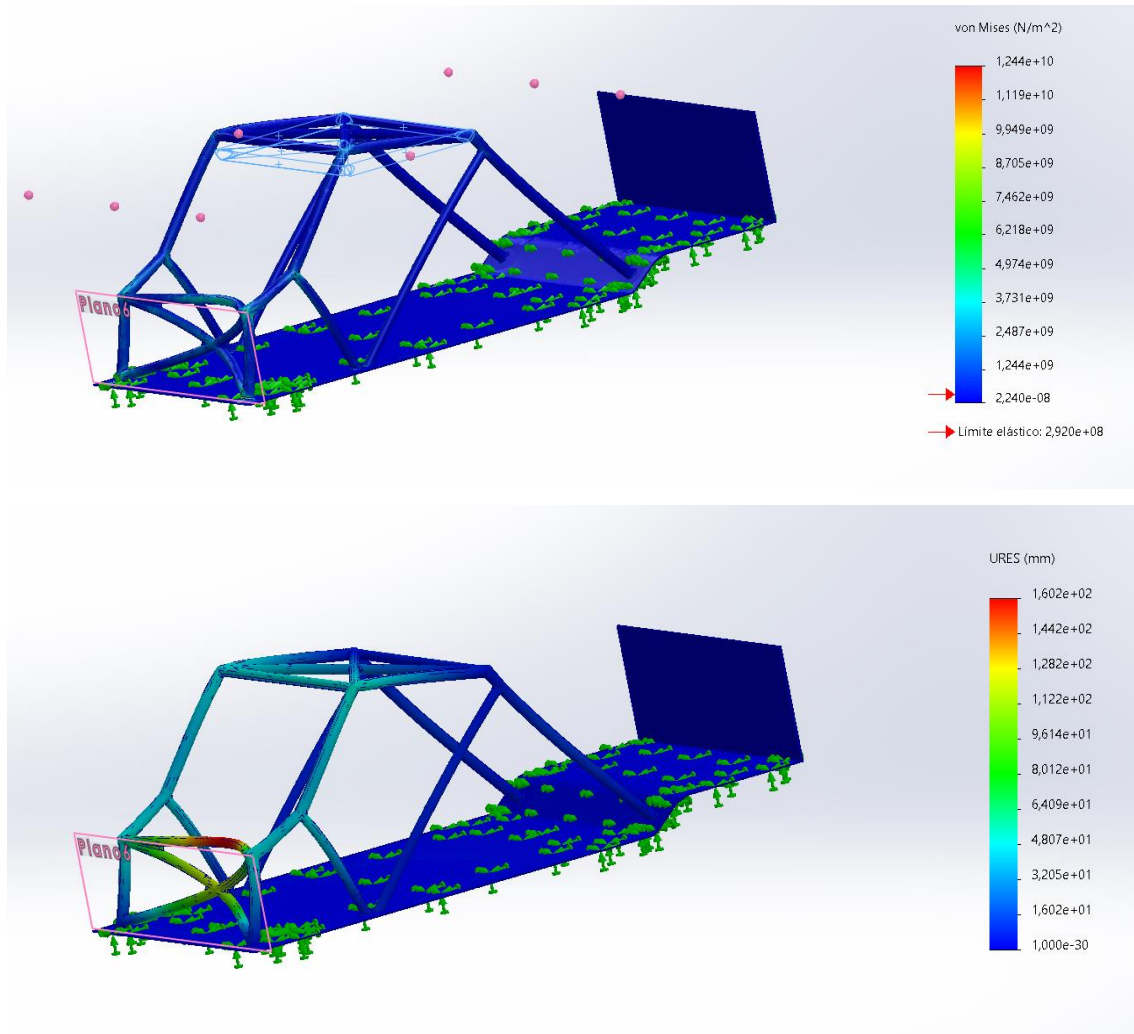
Así se puede apreciar en la fotografía mostrada a continuación:





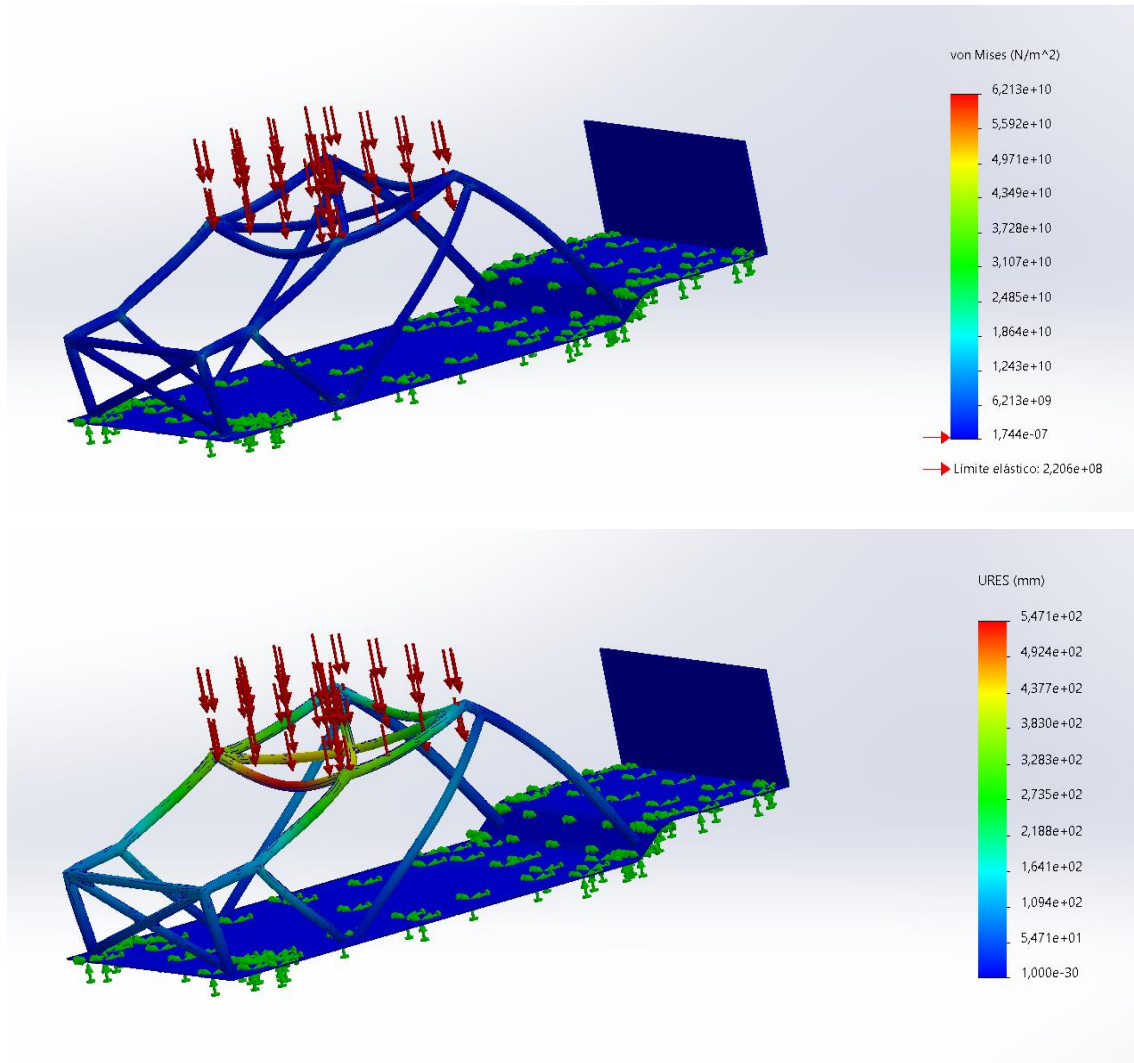
Como podemos apreciar en la primera imagen, el resultado es un fallo. Esto se debe a que la debilitación del material al remover todo el material interno fragiliza la propia estructura. Debido a esta situación, el programa no puede identificar los puntos críticos de deformación. No obstante, sí puede mostrarme una estimación de la elongación del sistema. Como podemos observar en comparación con el modelo previo, este sistema muestra cualidades inferiores, dado que la elongación ha aumentado, lo que indica que este modelo continúa fallando.

Procedemos a analizar el impacto frontal para esta situación, puesto que en los últimos apartados hemos estado observando cómo el modelo se mantenía estable con un aumento leve en cada diseño de la propia seguridad.



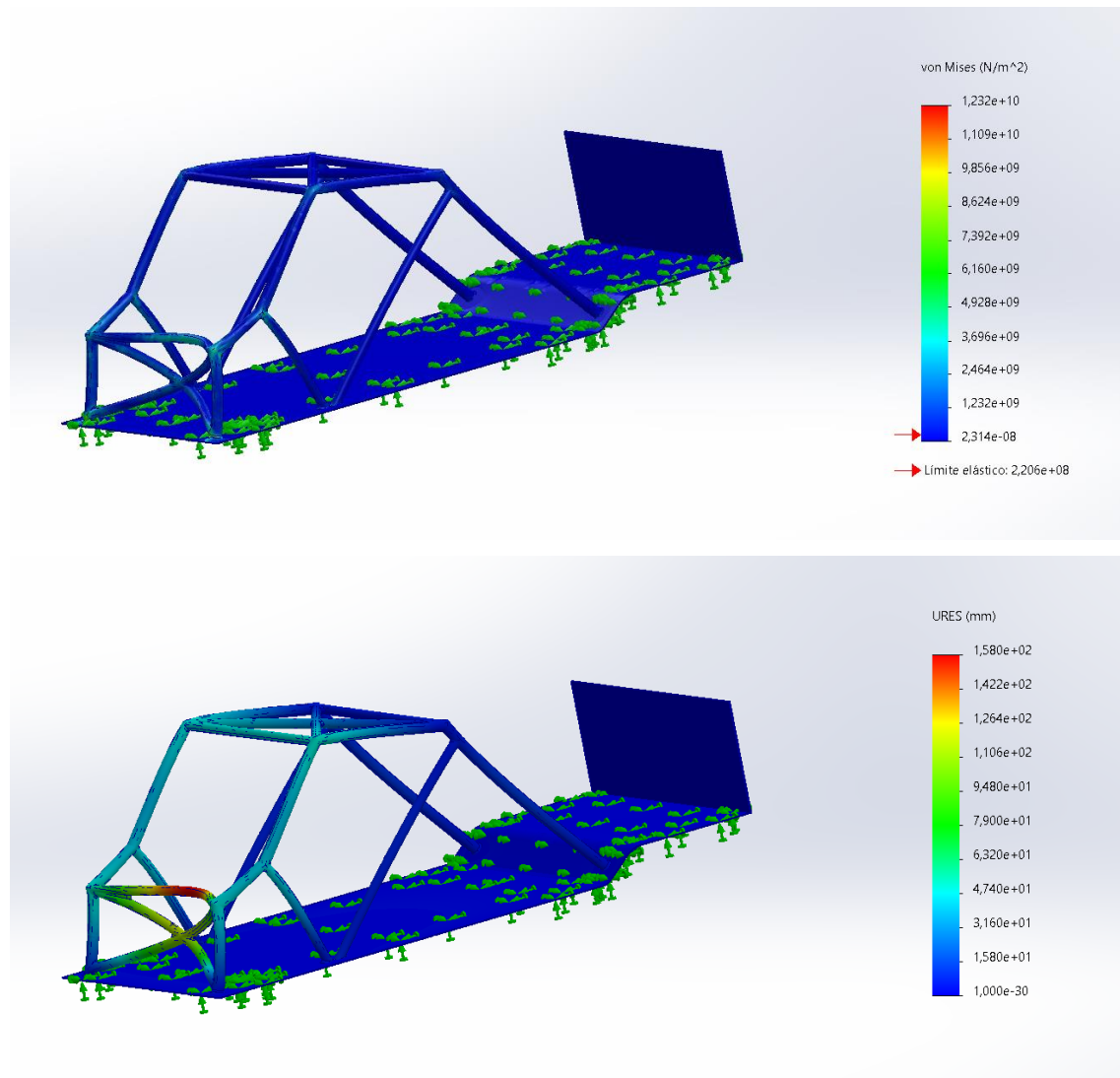
En esta situación de impacto frontal, podemos apreciar un cambio de comportamiento respecto a los modelos previos debido a la fragilización mencionada anteriormente. La debilitación de la estructura provoca que sea afectada en zonas más extensas en lugar de en casos puntuales. Si bien es cierto que la elongación se reduce debido a la absorción del impacto por múltiples barras en lugar de por una sola zona que recibe el impacto, la deformación conjunta distribuye la presión en un área más amplia.

Ahora analizaremos la misma situación, pero con el cambio de material, para determinar si la situación es similar o en qué difieren los resultados debido al mero cambio de material.



Según los datos mostrados, incluso cambiando el modelo, este sigue colapsando, por lo que no es capaz de proporcionar una estimación precisa de los puntos con mayor tensión, aunque, lo que sí podemos apreciar es que la estimación de la elongación generada es la misma que con el material previo.

Esto nos indica que la forma y estructura del material desempeñan un papel más importante que el propio material de construcción. En esta situación, no podemos observar ninguna mejora significativa.

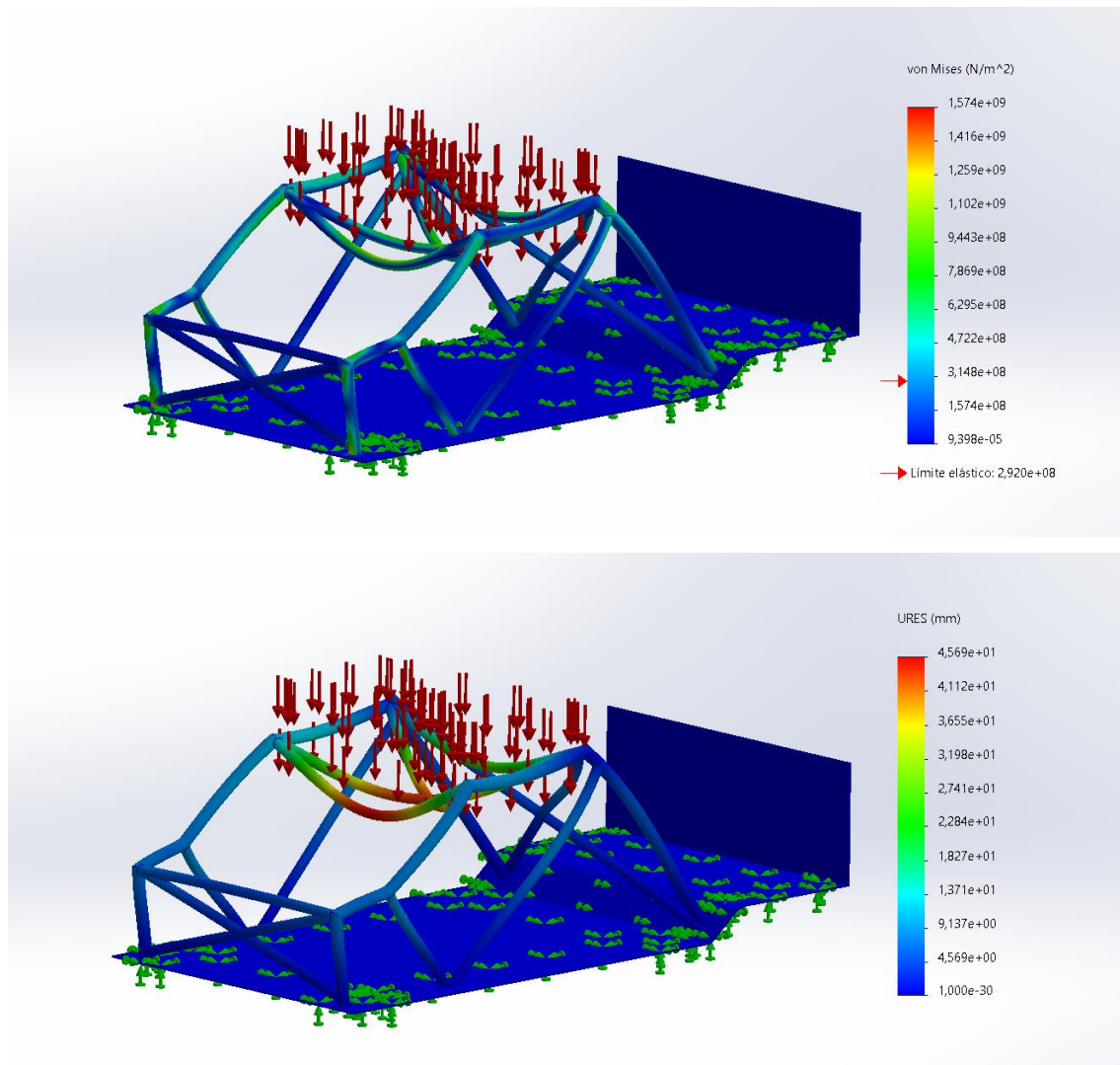


A diferencia de lo mostrado anteriormente, en la situación de impacto frontal, podemos notar una ligera mejora en cuanto a la elongación se refiere. Esto se atribuye únicamente a las propiedades del material. Como hemos observado a lo largo del proyecto, este acero al carbono no aleado tiene una mayor resistencia y dureza que su contraparte, el acero inoxidable recocido, que estamos utilizando para comparación.

No obstante, tras analizar el sistema, se llega a la conclusión de que sigue fallando. Es cierto que en este modelo era de esperar, debido a que en la estructura maciza también fallaba, y en este caso tenemos un margen muy escaso de grosor. Sin embargo, este sistema no merece la pena seguir explorándolo, variando diferentes grosores

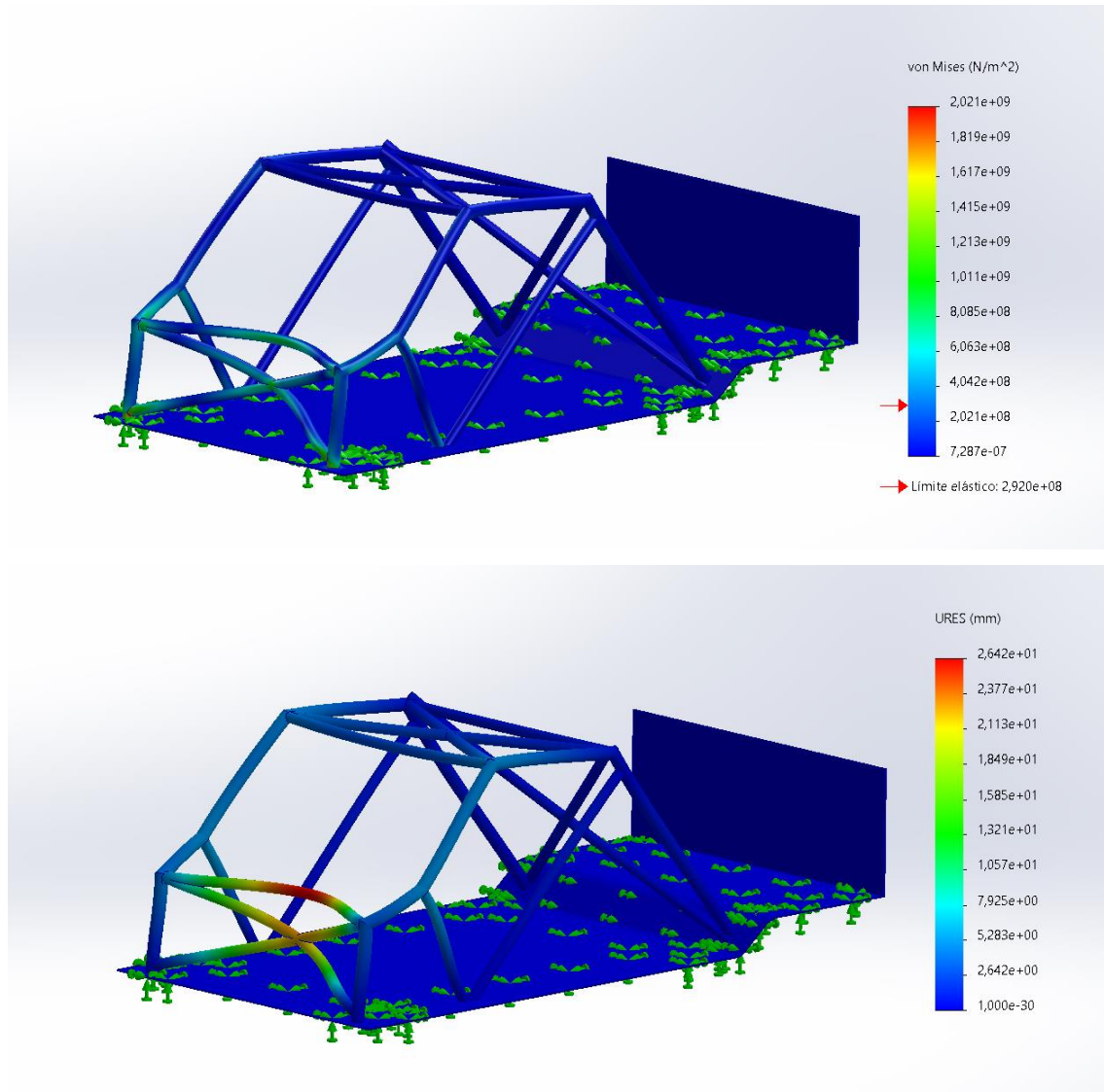
3.2.7 Sexto Diseño tubular

Continuando con el siguiente diseño, seguimos reforzando la parte posterior de la estructura, dado que es donde se presupone que va a sufrir más en un golpe superior. A pesar de ello, en este modelo hemos vuelto al diseño de estructura maciza, obteniendo los siguientes resultados:



En este ejemplo podemos apreciar cómo hemos recuperado la progresión que seguimos al principio. Si bien es cierto que la deformación sigue siendo bastante alarmante, la estamos reduciendo con cada nuevo aporte a la estructura. No obstante, el propósito de este proyecto es garantizar la seguridad del piloto en la mayor medida posible. Aunque esta deformación con este material pueda considerarse aceptable, queremos seguir mejorando el sistema.

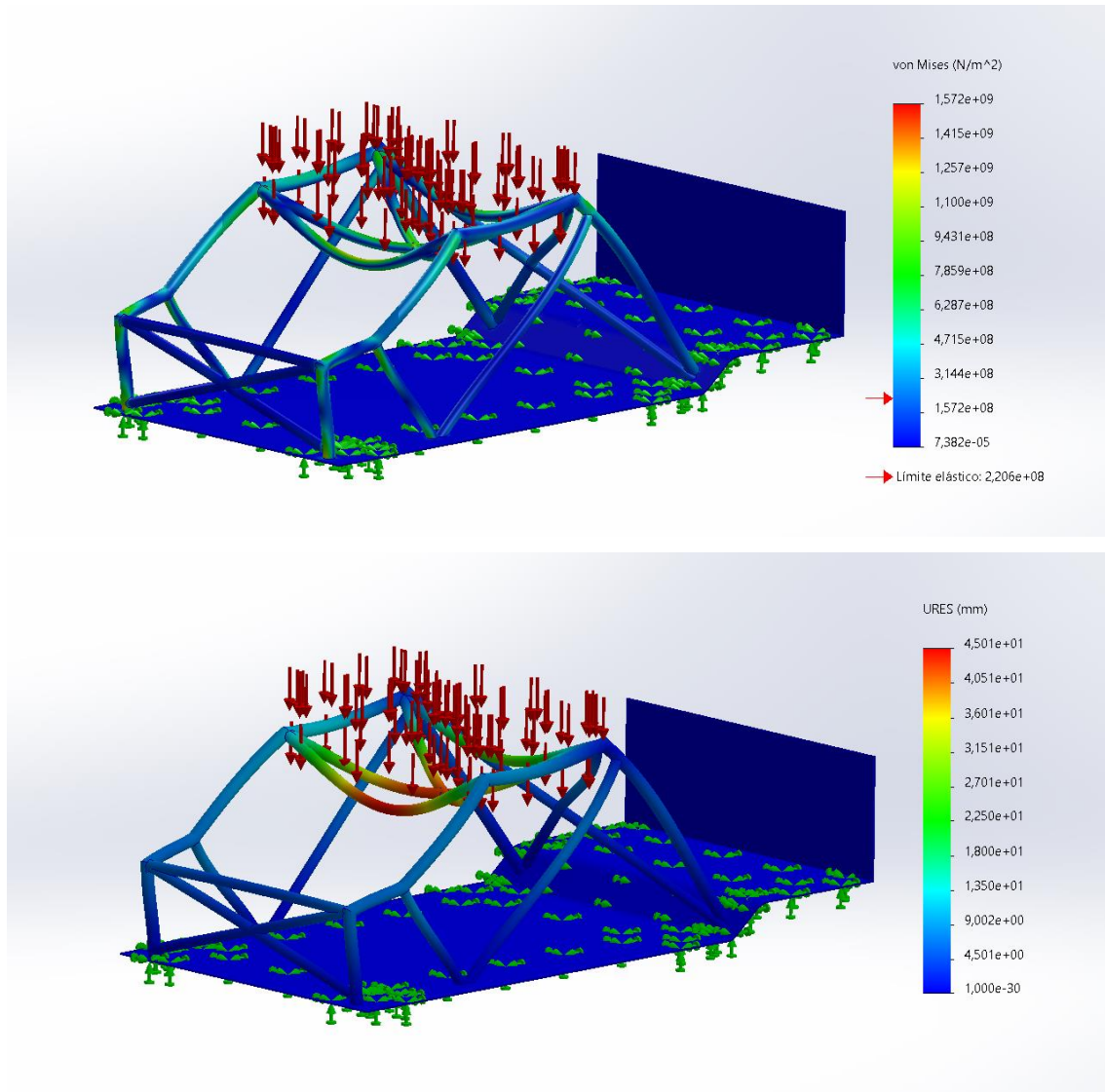
A continuación, continuamos con el modelo de impacto frontal:



Si analizamos este modelo de impacto, apenas continuamos viendo mejoras, aunque siguen existiendo, aunque de manera muy leve. Esto se debe a que la robustez de la propia estructura se considera aceptable, y los cambios que vamos añadiendo en cada modelo se concentran en la parte posterior.

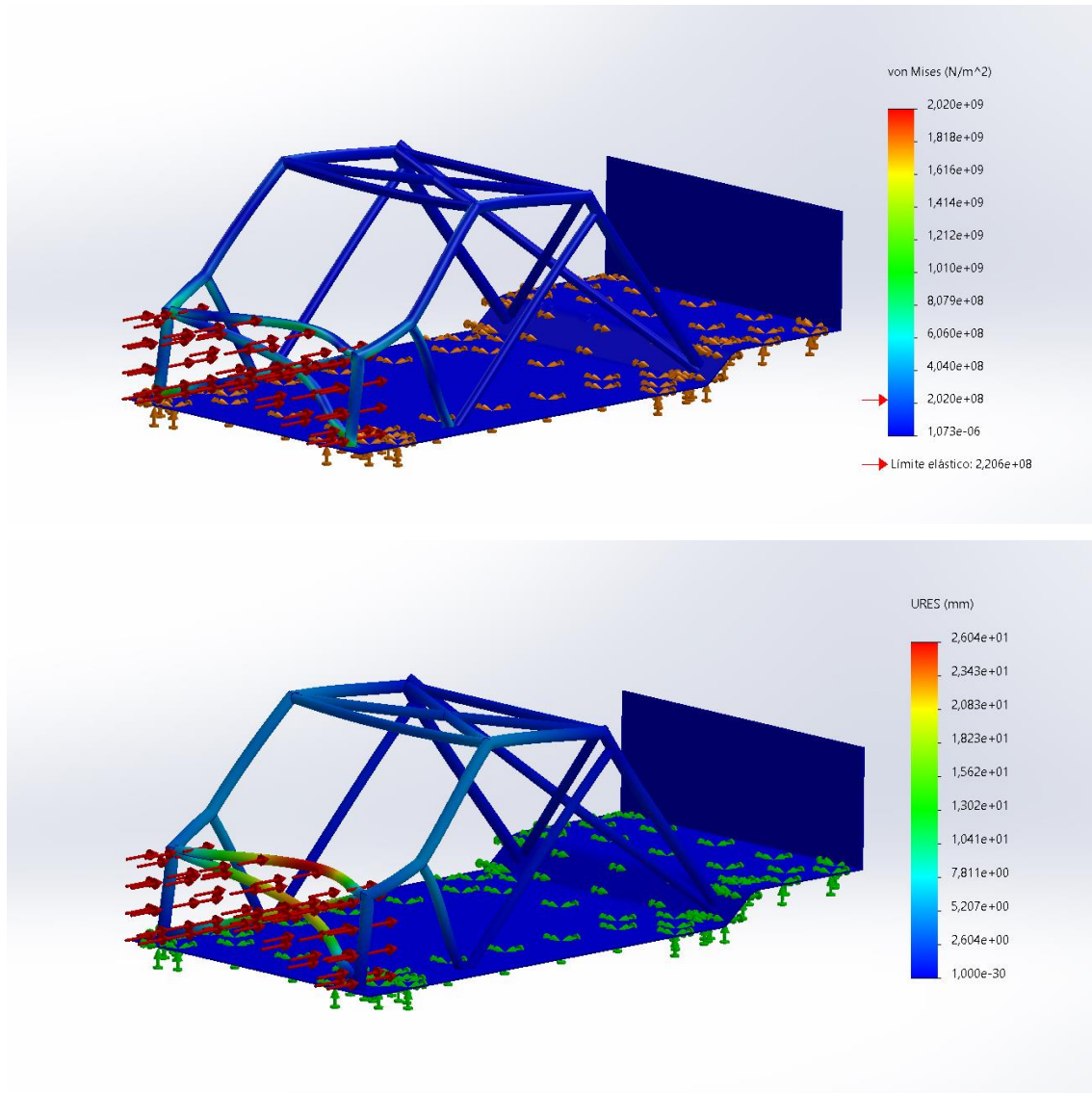
De esta manera, vemos cómo dichas modificaciones están afectando de manera más indirecta, puesto que la tensión no está llegando hasta la mitad de la estructura prácticamente.

Por otro lado, debemos proceder al análisis con el material requerido por la homologación, aunque actualmente hemos alcanzado un punto de aceptación mínima con este material más frágil. Sin embargo, debemos continuar generando las simulaciones hasta llegar a un punto de aceptación completa del modelo.



En este modelo se puede apreciar una simulación muy similar al otro tipo de material. Si bien es cierto que la elongación en este modelo se ve reducida ligeramente, la tensión a la que las barras tienen que hacer frente es menor, lo que disminuye el riesgo de rotura ante esta situación de impacto.

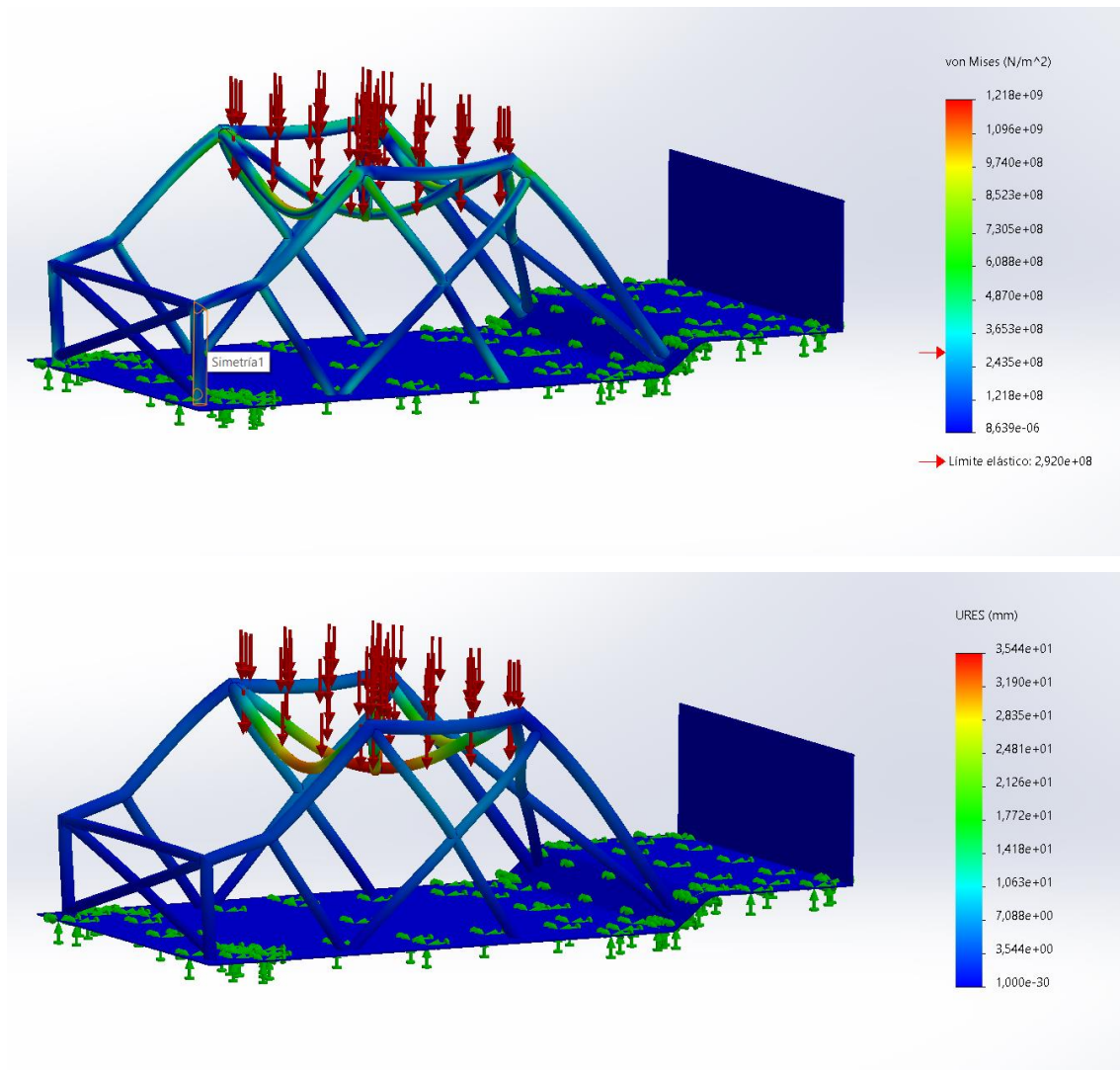
Por lo tanto, procedemos al análisis de la estructura ante un impacto frontal:



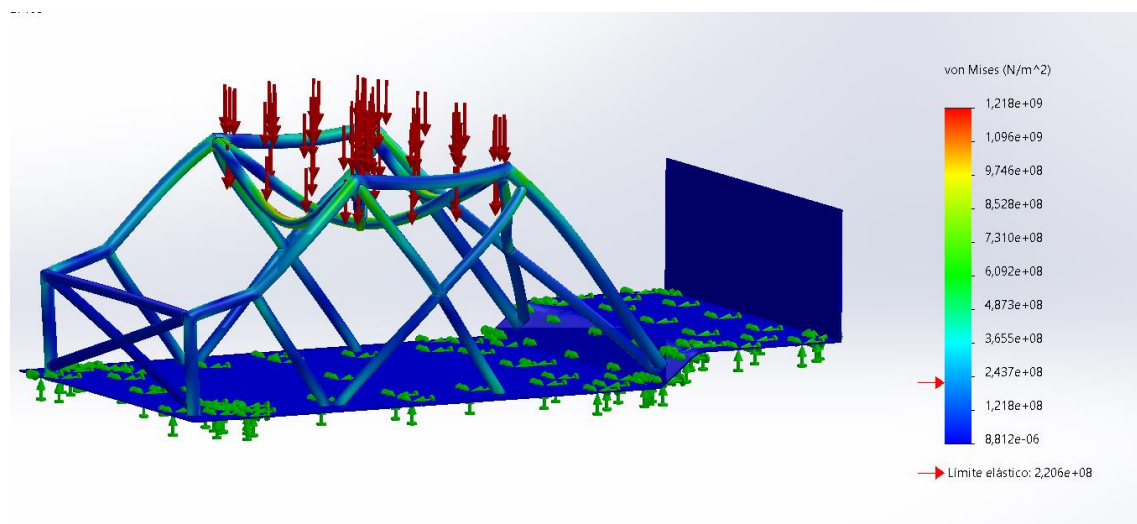
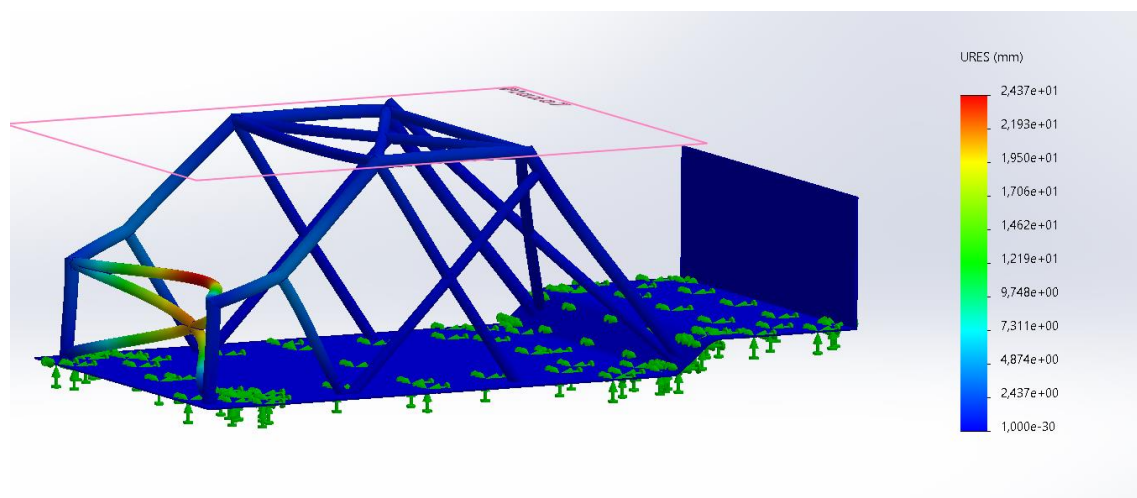
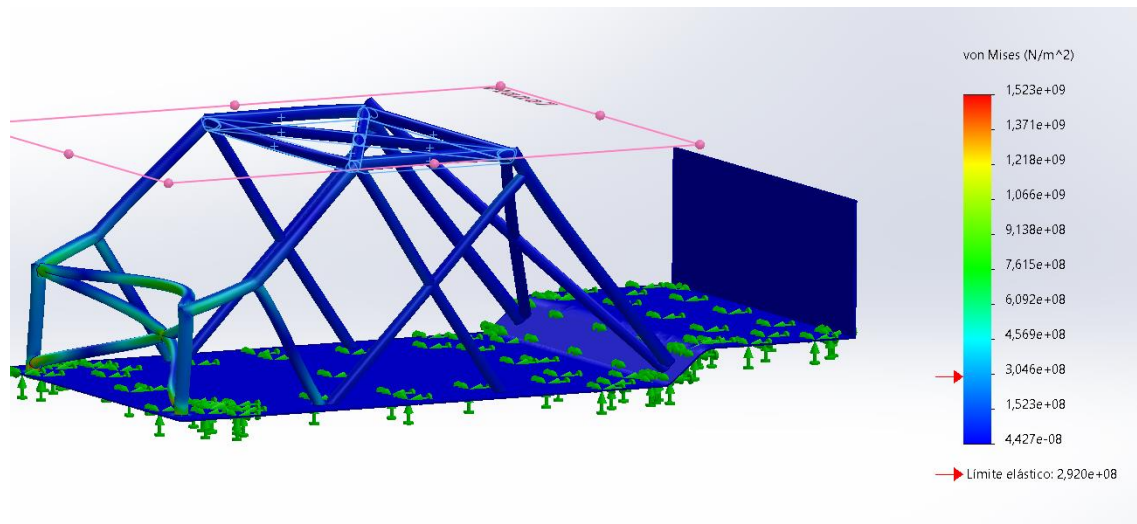
En este modelo de impacto frontal, repetimos la situación. Si bien es cierto que hemos vuelto a una progresión lineal, en este caso el incremento en la seguridad sigue siendo notable. Por lo tanto, frente a un impacto frontal, el sistema se sostiene, aunque no estemos reforzando directamente la estructura.

3.2.8 Séptimo Diseño tubular

Aunque ya hayamos alcanzado un punto aceptable, vamos a continuar realizando un par de simulaciones extra para tratar de alcanzar un punto donde la deformación presentada ante este tipo de impacto sea segura en la mejor medida de lo posible. Así pues, para el siguiente modelo, continuamos reforzando el sistema previo, obteniendo el siguiente modelo.

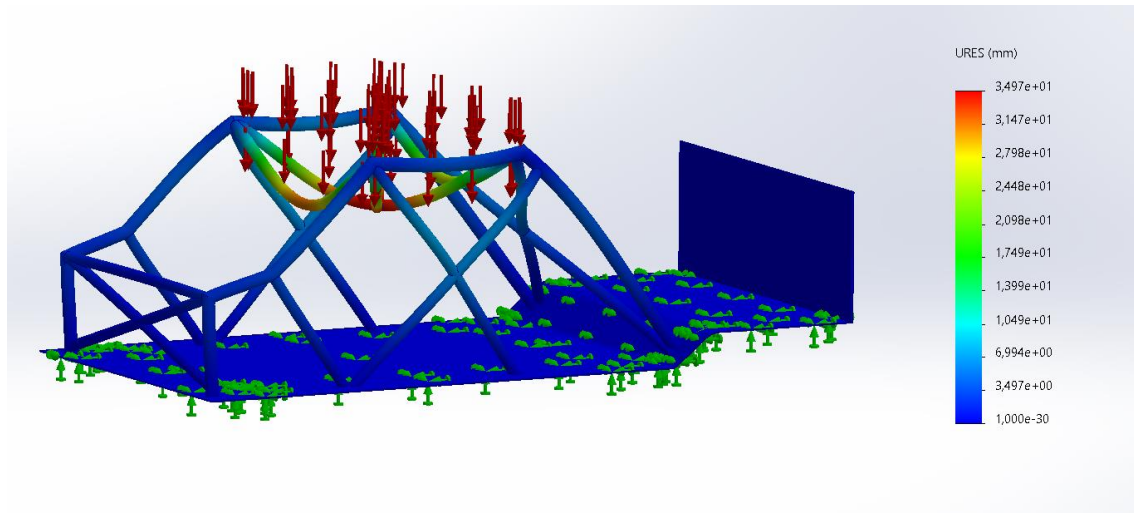


En este siguiente modelo encontramos un aumento importante en la seguridad que esta jaula ofrece, pues se distingue un salto bastante más notable de lo que llevamos viendo a lo largo de todo el estudio.



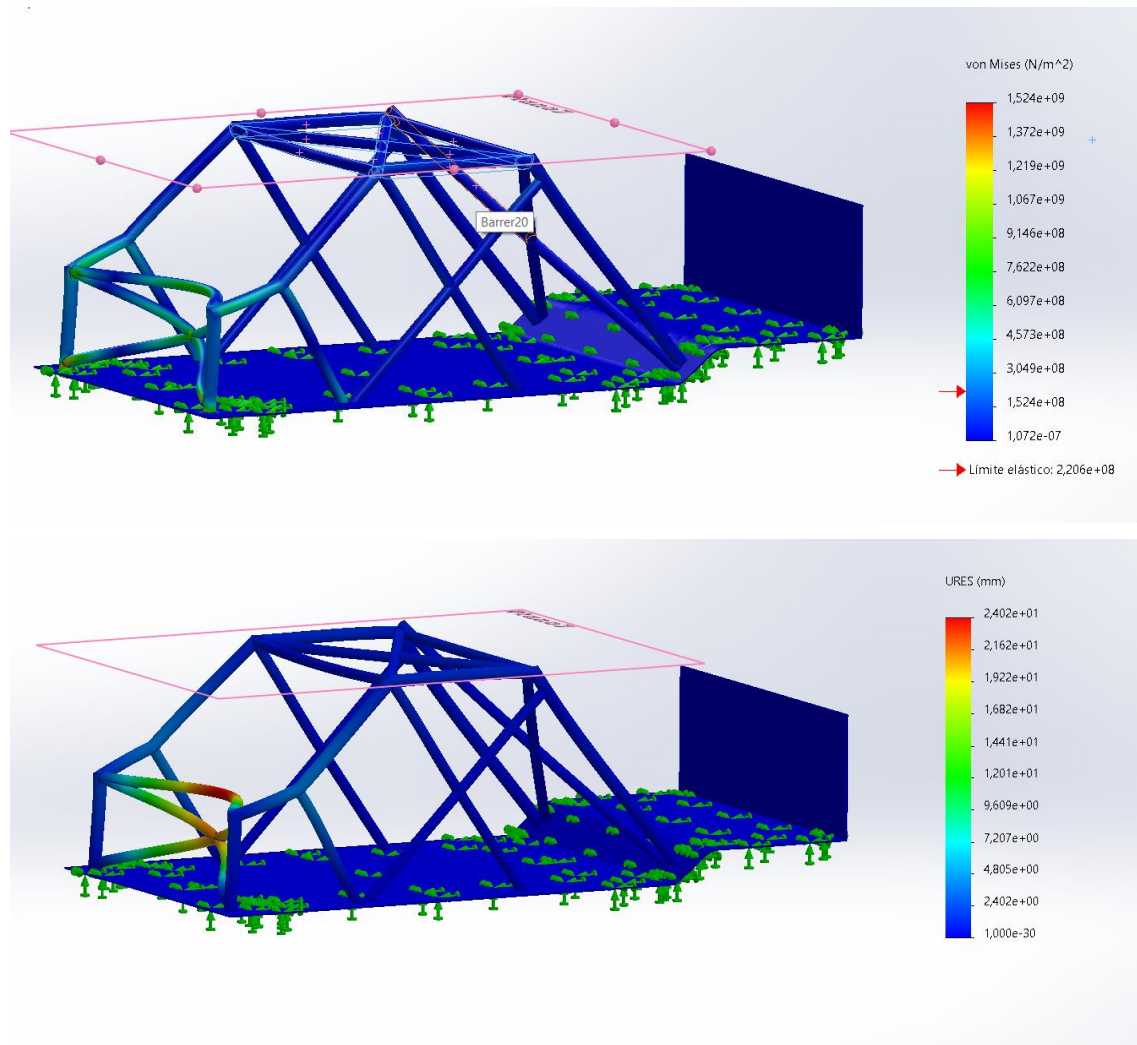
Por otro lado, en el impacto frontal, el incremento es mucho menor que en el impacto superior. Esto se debe a que ya no se están realizando cambios para mejorar la estructura frente a este impacto, pero aun así se está viendo reforzado de manera indirecta.

Consecuentemente, realizaremos el mismo estudio, pero sustituyendo el material nuevamente:



Si comparamos ambas las imágenes, el cambio de material sigue generando un aumento en la seguridad de nuestro sistema, aunque el cambio es bastante leve. Esto se debe a lo que se explicó previamente: el material no juega un papel tan importante como la estructura, siempre y cuando dichos materiales se consideren primos hermanos.

Procediendo con el impacto frontal, obtenemos el siguiente estudio:



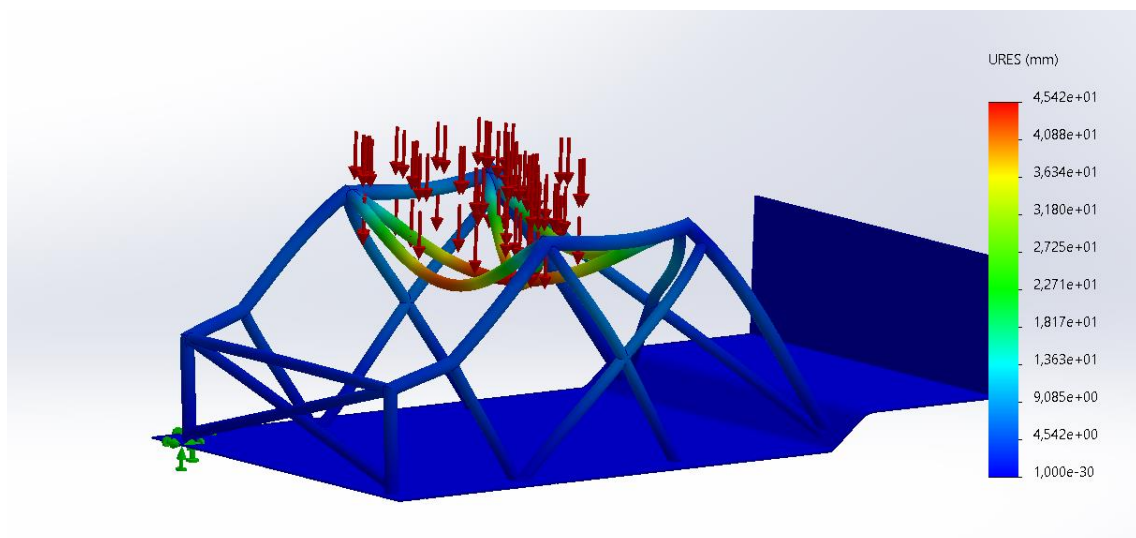
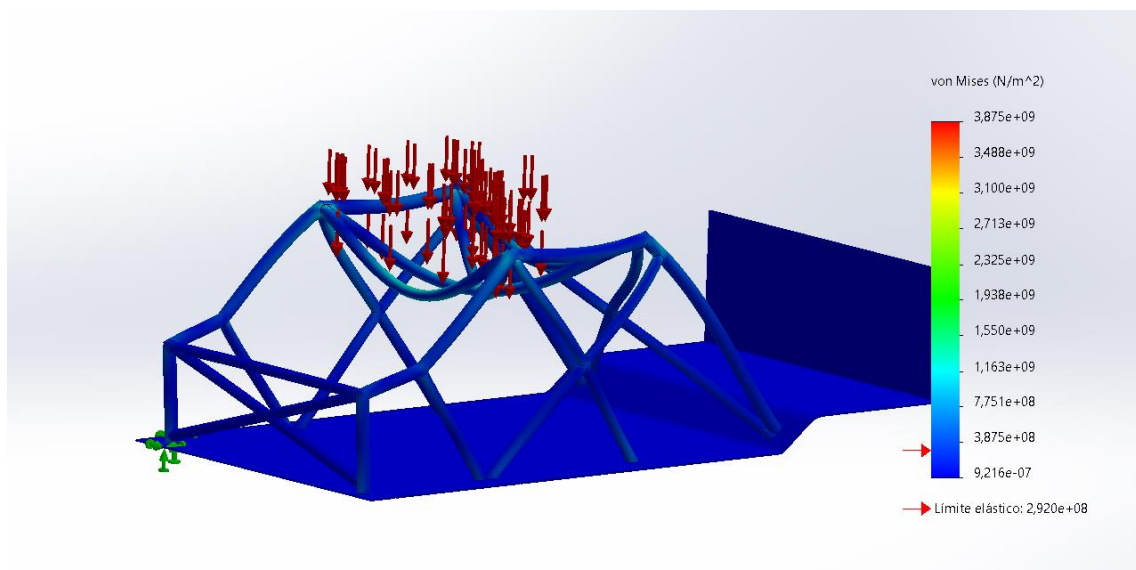
En este diseño de impacto frontal, se presenta la misma situación que en el otro material: una mejora continua y lineal, pero a su vez leve.

3.2.9 Octavo Diseño tubular

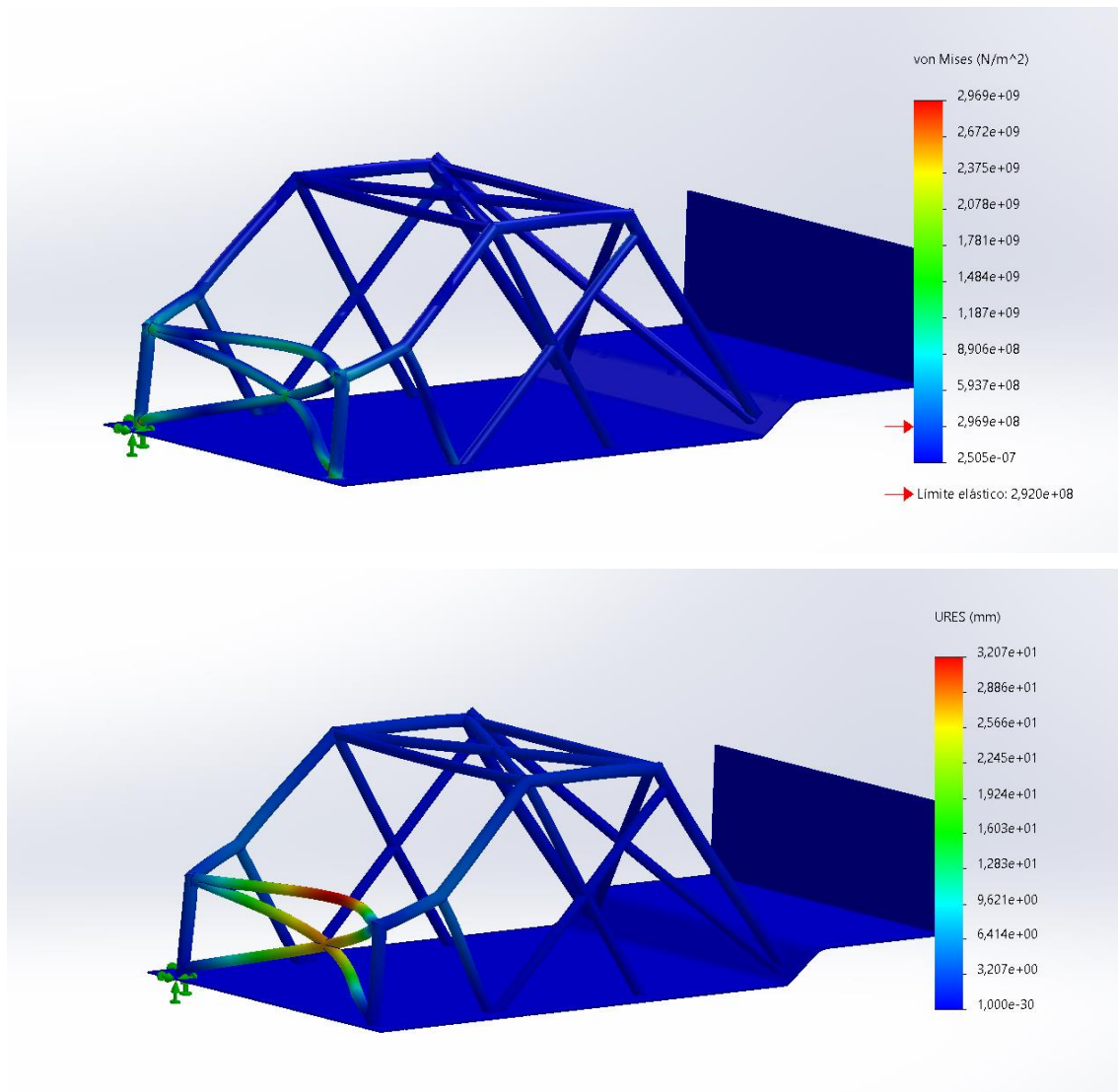
Tras analizar el modelo anterior como válido, se procederá a analizar el mismo diseño de estructura, pero en este caso siendo de estilo hueco. Para este siguiente modelo, vamos a utilizar un espesor de 10 mm. El resultado obtenido es el siguiente:



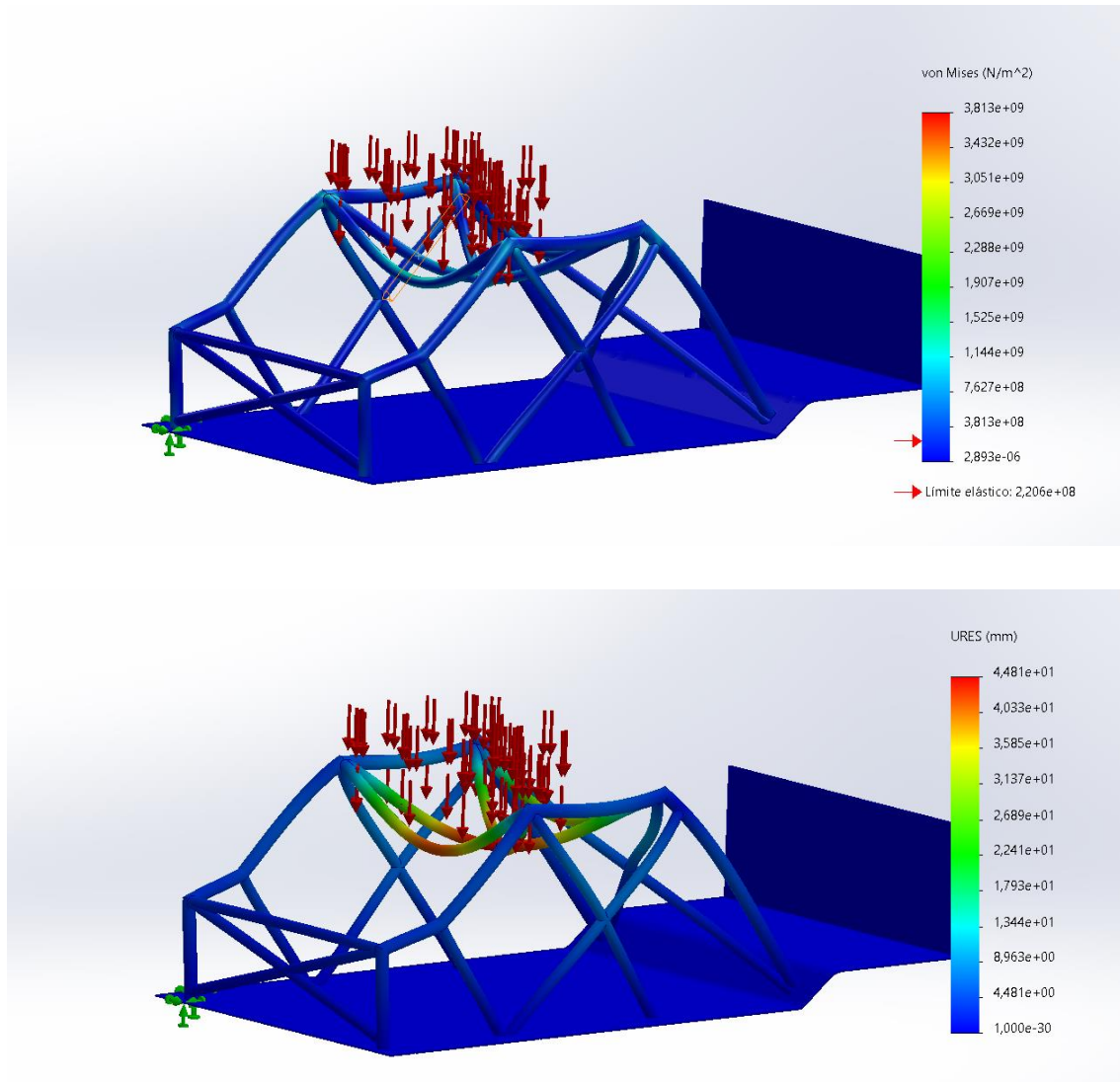
Por lo que obtenemos los siguientes resultados:



En este modelo podemos comprobar cómo se ha incrementado la elongación. Esto se debe a la reducción del material, aunque, observamos una disipación de todas las tensiones presentes, la elongación en este sistema se ve claramente afectada. En consecuencia, este modelo presenta un fallo en el diseño.

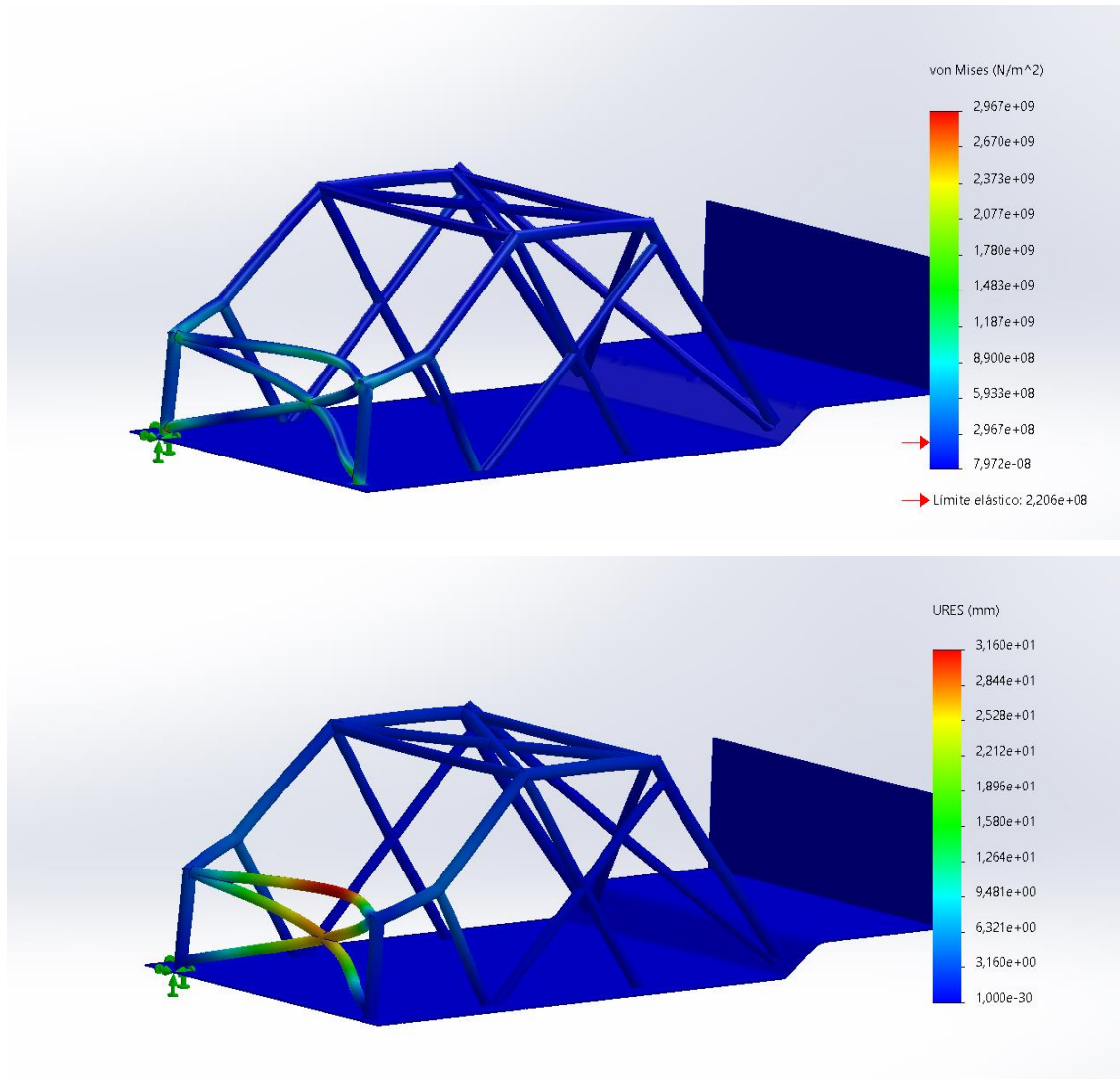


Este modelo presenta la misma situación: una mayor elongación en el esquema estructural, pero una mayor capacidad para disipar toda la energía recibida durante el impacto. Por tanto, se va a proceder a cambiar el material para poder analizar cómo afecta este cambio.



En este modelo, podemos apreciar cómo la variación del material mejora ligeramente la rigidez de la propia estructura, lo que resulta en una reducción leve de la elongación máxima recibida.

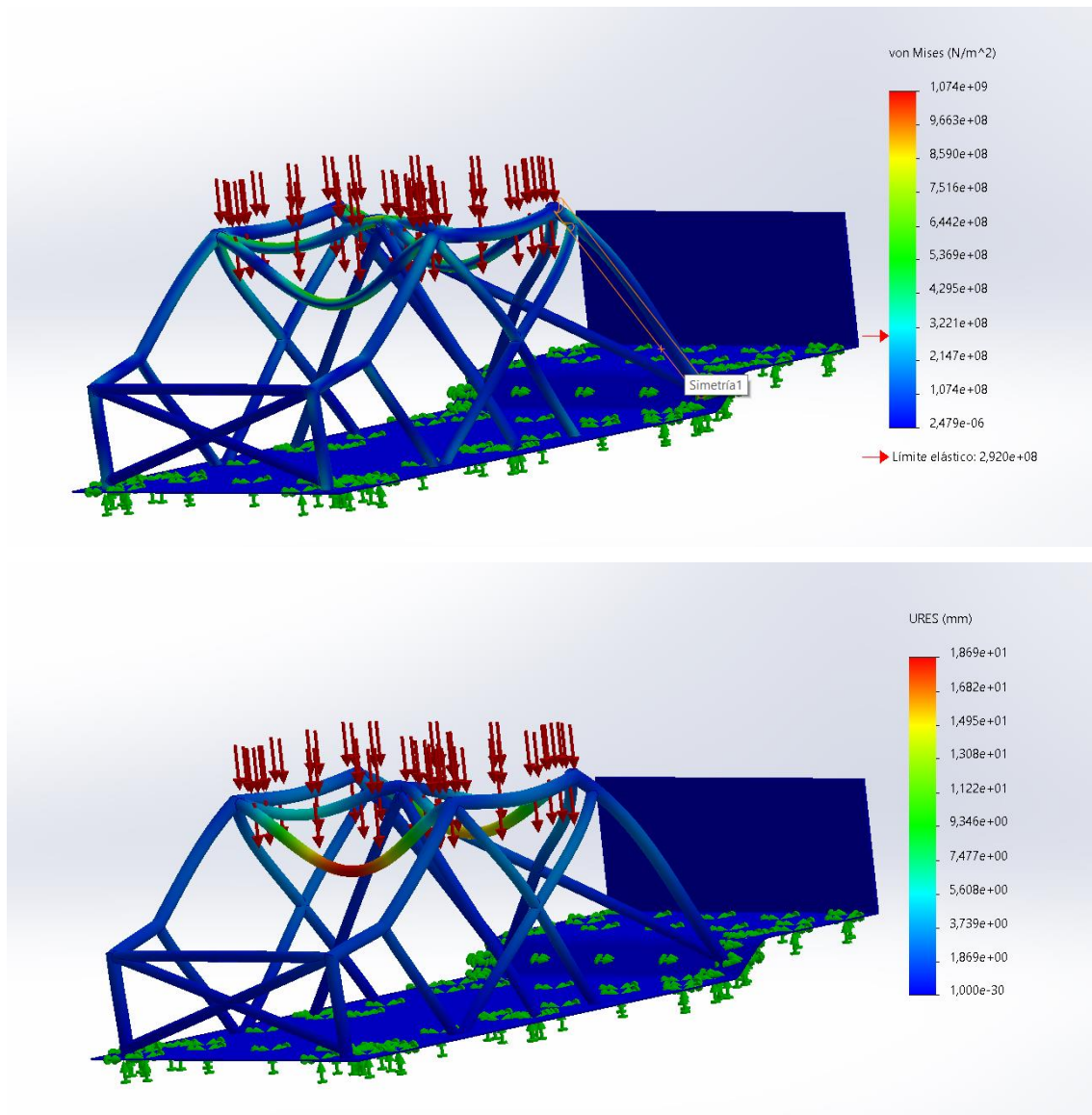
Ahora bien, al igual que en el modelo con la otra variante del material, consideramos este modelo de jaula para protección frente a un golpe superior como fallido.



En el modelo de impacto frontal, se presenta la misma situación: mayor elongación, pero la tensión recibida por el impacto se disipa a lo largo de toda la estructura. Pese a todo, este modelo de estructura hueca se considerará fallido, pues en lugar de reducir la elongación, la ha aumentado. Si bien es cierto que, por otro lado, tenemos un menor riesgo de fractura frente al impacto, también existe una mayor posibilidad de que la tubería superior impacte contra la cabeza del piloto, creando un riesgo de lesión elevado.

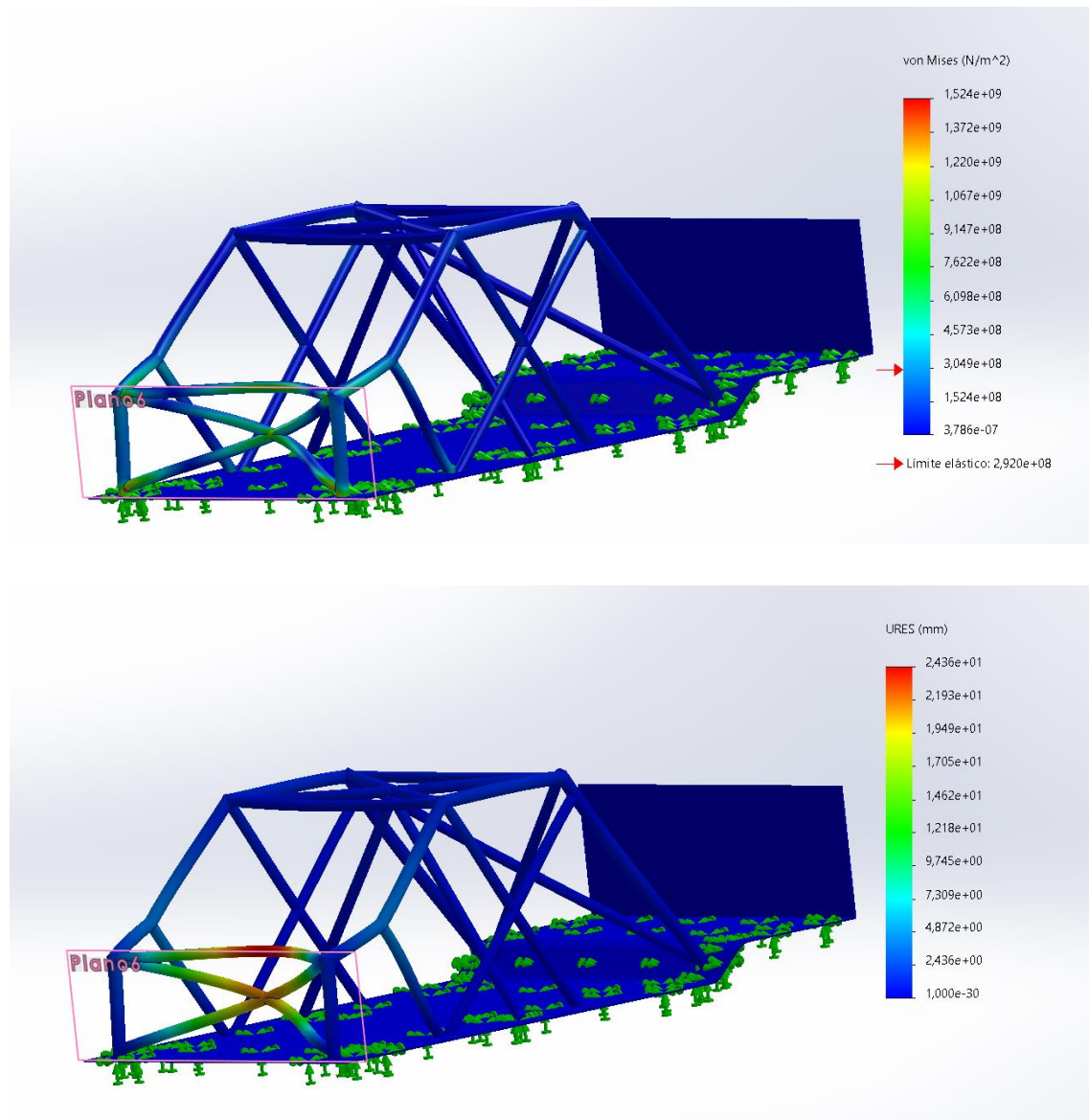
3.2.10 Noveno Diseño tubular

Para el siguiente modelo, pues hemos alcanzado un sistema aceptable en la versión anterior y las zonas de refuerzo están comenzando a estar completas, se han añadido dos barras extra. Estas dos barras ya no tienen otro propósito que garantizar la seguridad del piloto sin fallo alguno, como se aprecia en las siguientes imágenes:



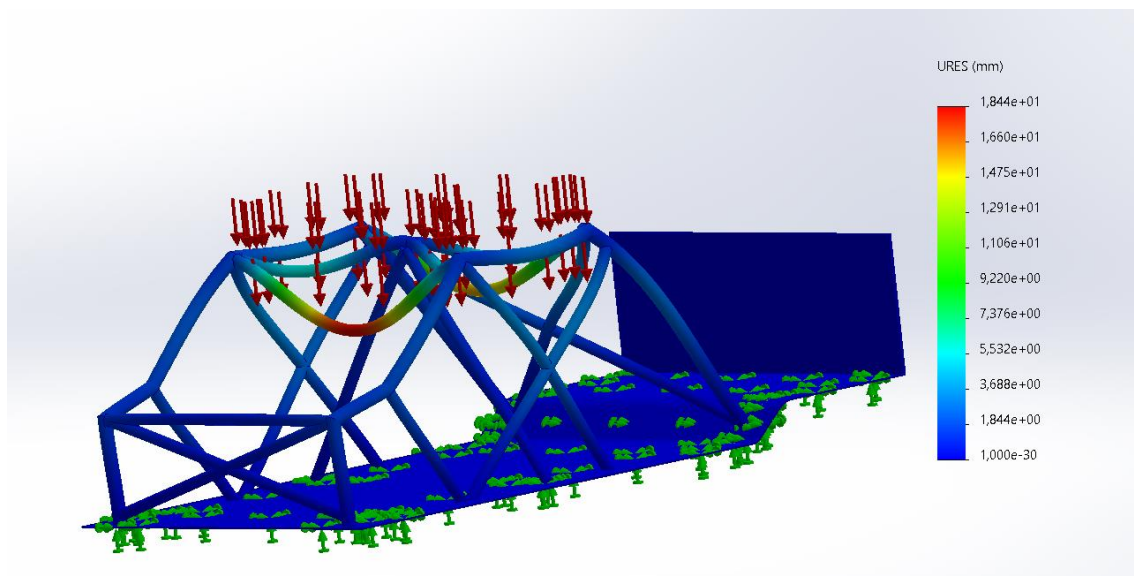
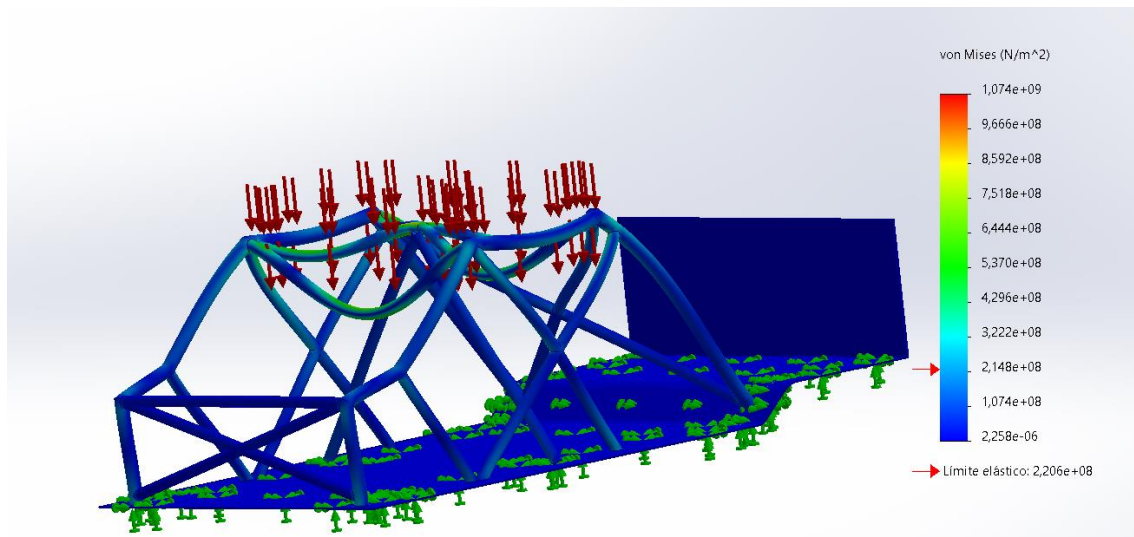
En este modelo, estamos presenciando una reducción muy considerable de las zonas con tensiones al haber añadido un punto específico para que todas las fuerzas se concentren en esa zona, liberando el resto.

También se puede apreciar otro salto drástico en la elongación de las barras superiores ante el mismo estudio de impacto.

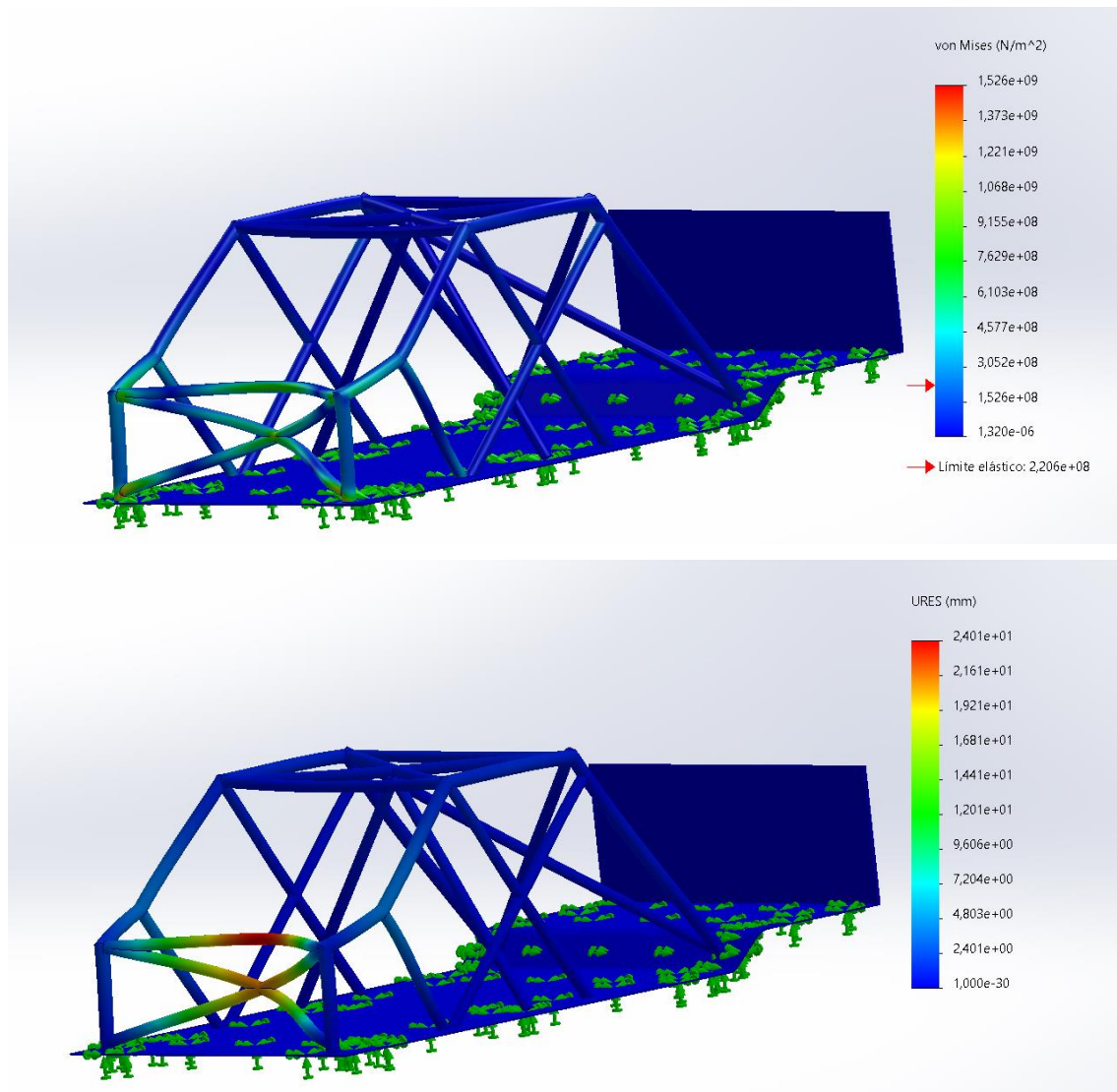


Adicionalmente, el modelo de impacto frontal mantiene la misma progresión lineal. Incluso en este modelo se aprecia una disminución algo menor, ya que es cierto que las barras añadidas para este modelo tienen un propósito único y no están soportando más la estructura que lo que corresponde a la parte superior de la carrocería.

Puesto que este modelo es el más eficaz en garantizar la seguridad del piloto, procedemos a cambiar el material para analizar su comportamiento en la misma situación.



Al aplicar el nuevo material, observamos una diferencia de deformaciones leve con respecto al anterior material. No obstante, el salto con el modelo anterior es muy similar, lo que se debe nuevamente a las dos barras que actúan como soporte añadido al sistema estructural que se ha ido diseñando a lo largo del proyecto.

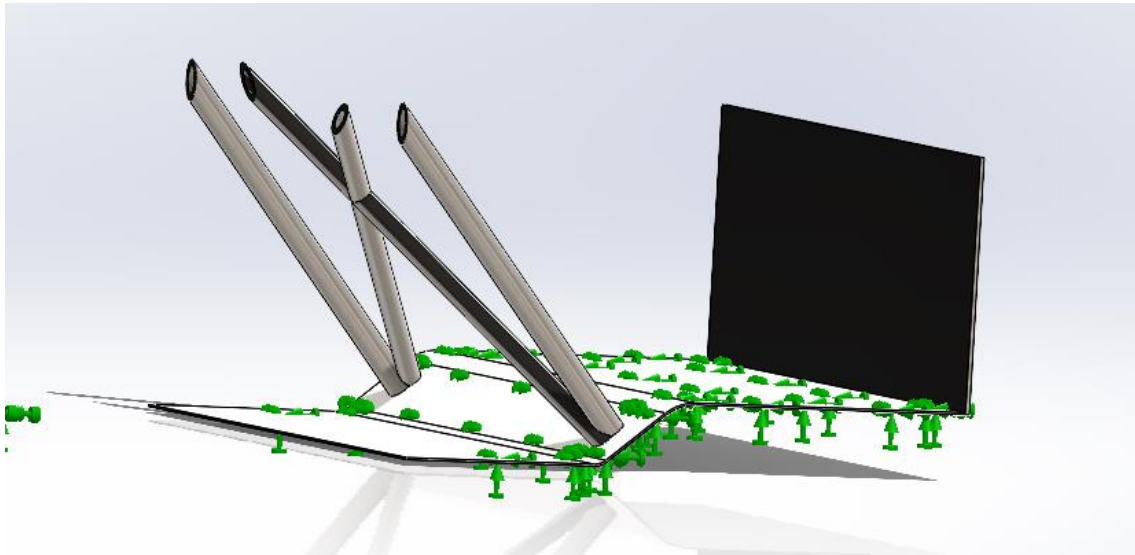


En cambio, en el modelo de impacto frontal continuamos observando la misma tendencia que hemos seguido a lo largo del proyecto, con un leve incremento en este diseño.

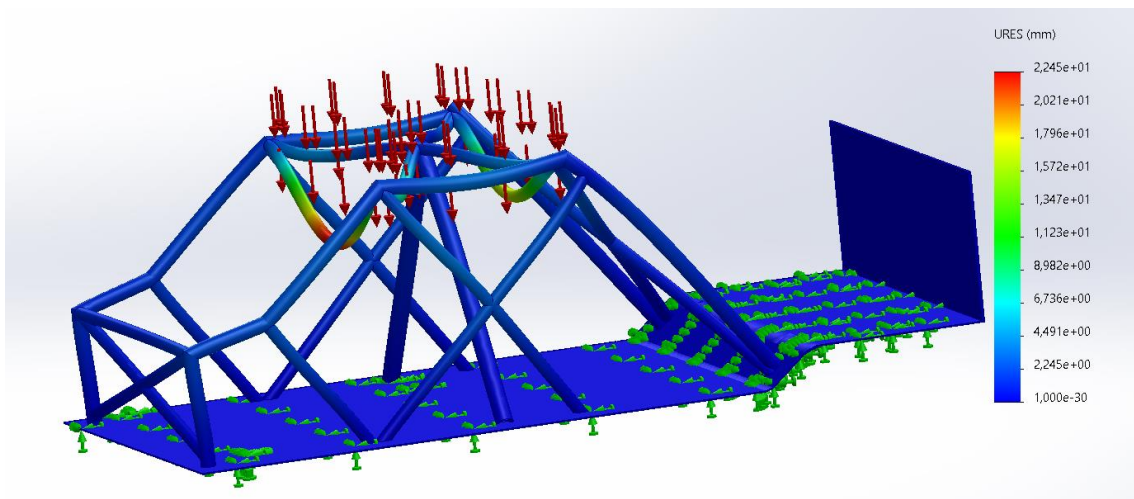
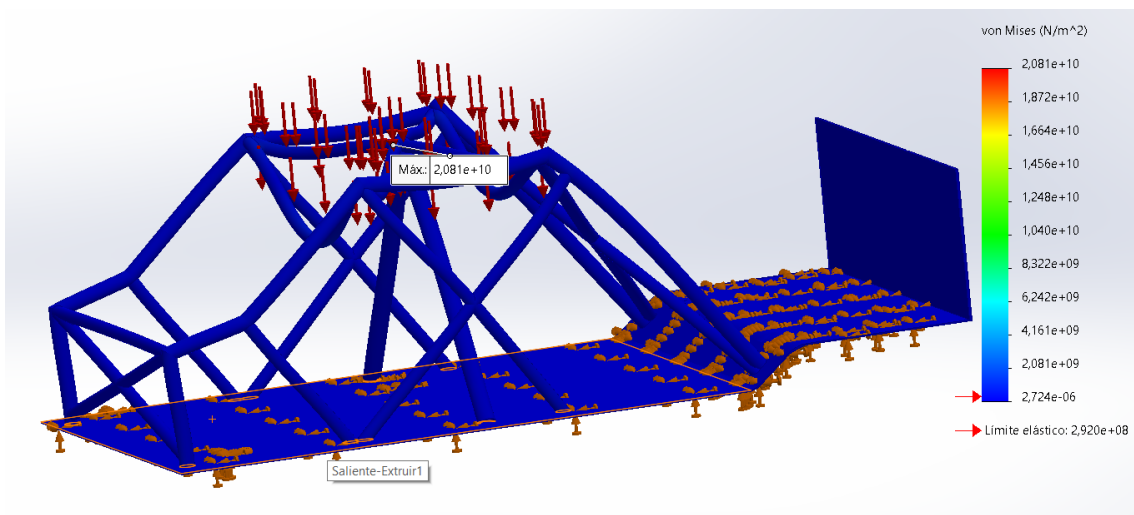
3.2.11 Decimo diseño tubular

Como hemos venido haciendo a lo largo de los modelos, vamos a estudiar nuevamente el caso anterior, pero en lugar de ser macizo, lo crearemos de manera hueca. Debido a que el modelo soporta el impacto, pero si logramos obtener el mismo resultado en este segundo tipo de estructura, podríamos reducir considerablemente el peso y el coste de fabricación de la estructura ya diseñada.

Este modelo contará con un grosor de 10 mm, al igual que en el caso previo, con la expectativa de una continuidad en los resultados. Estamos tratando de encontrar el punto de equilibrio.

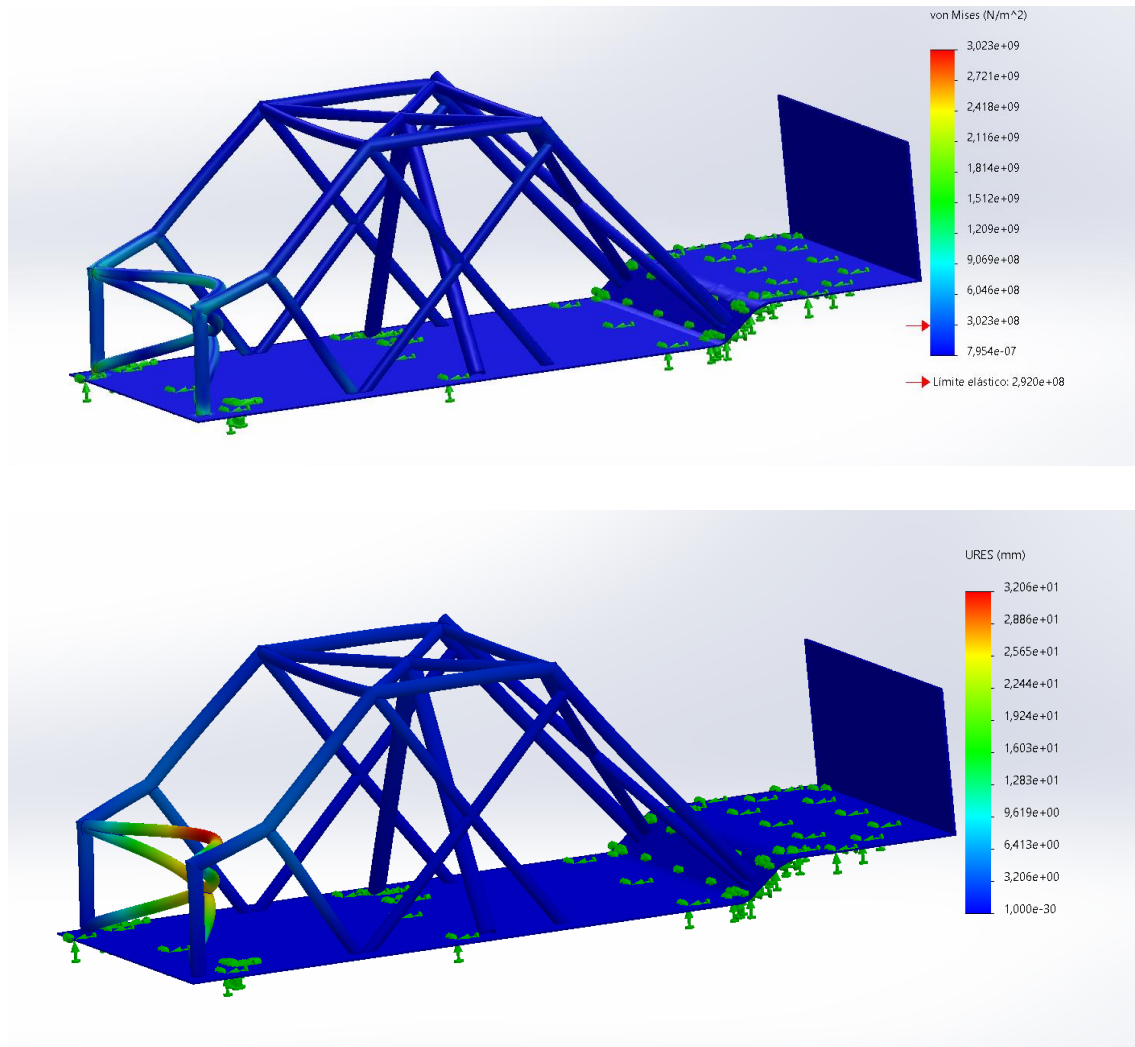


Se muestran los siguientes resultados obtenidos:



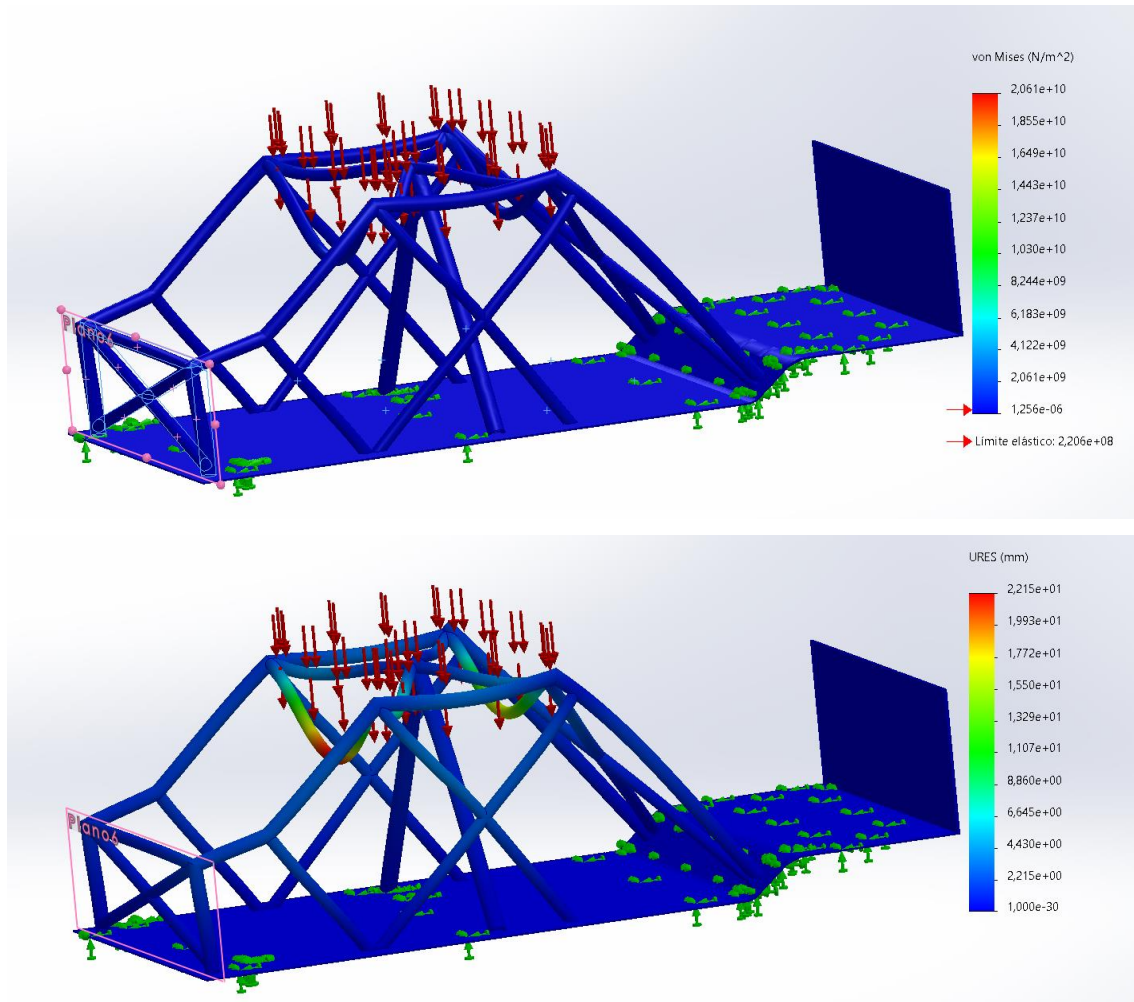
En este estudio, podemos comprobar cómo la simulación resulta en una elongación bastante superior en comparación con el modelo macizo. Sin embargo, la tensión producida en el área superior es menor, donde la anotación representa el punto de tensión máximo que el sistema está experimentando. Este modelo, al igual que la versión maciza, se considera válido debido a la poca elongación que sufren a lo largo del proceso de impacto.

Por consiguiente, procedemos a analizar el impacto frontal:

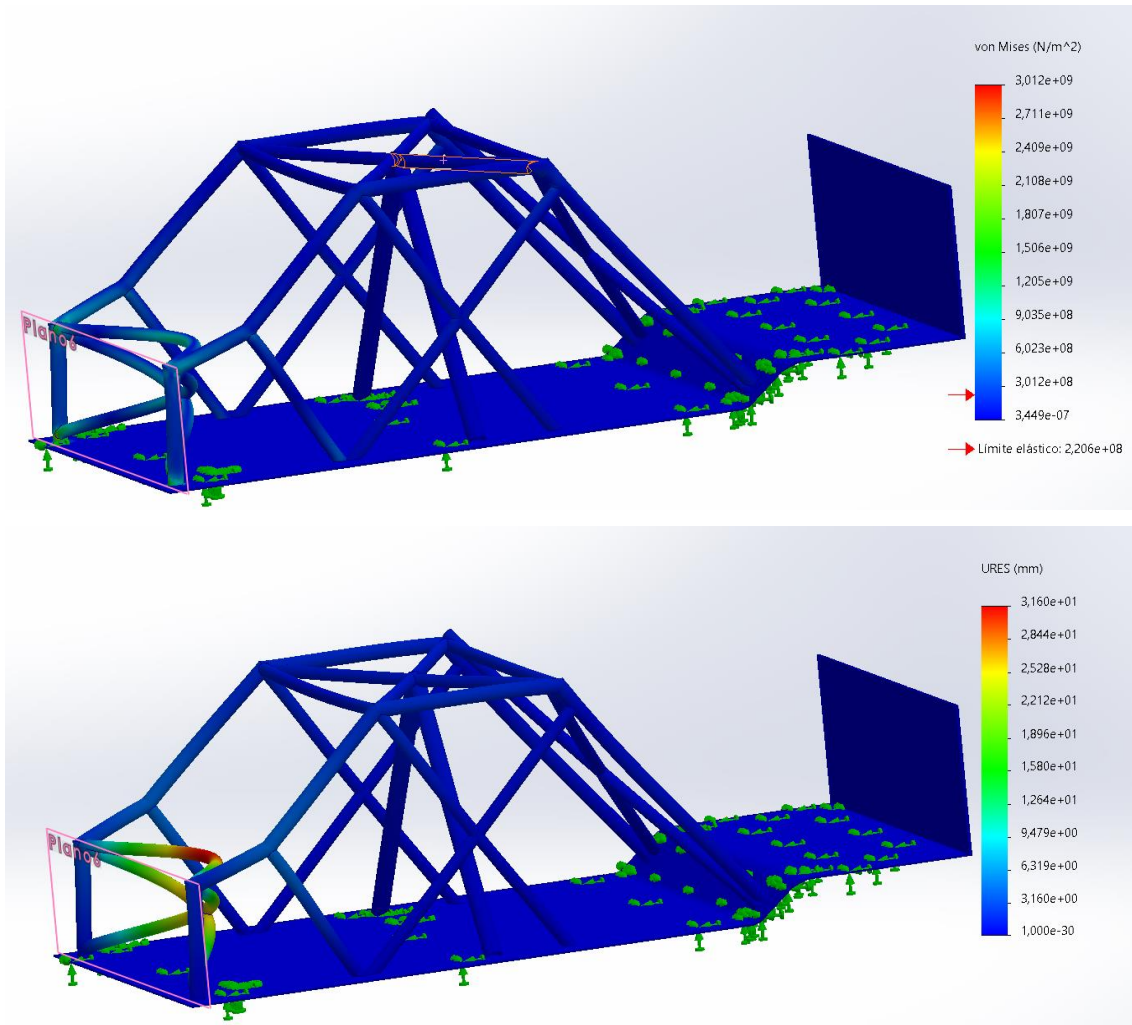


Dicho modelo, como bien hemos venido observando, continúa experimentando una mayor elongación que el modelo macizo; pese a esto, la disipación de las tensiones es más eficiente. Además, en este modelo podemos apreciar cómo la tensión no se propaga tanto como en los modelos anteriores, gracias a los refuerzos que se han ido incluyendo en todo momento.

Finalmente, el último paso de estos modelos es analizar este último modelo con el material obligado por la normativa vigente.



Con el cambio de material se puede apreciar un ligero cambio en lo respecto a las elongaciones, dado que en este caso la diferencia es muy ligera.



En el modelo de impacto frontal, notamos la misma situación que en el impacto superior: una mayor elongación, pero, por el lado positivo, una mayor disipación de la tensión sufrida durante el impacto. Tanto este modelo de estructura hueca como el modelo de estructura maciza, en ambos materiales, se considera válido. Aunque hemos visto que el modelo previo también soportaba el impacto, este presenta una mayor seguridad frente al diseño sin las barras centrales. Según las simulaciones, los dos últimos diseños, tanto en sus variantes macizas como huecas, son válidos. El siguiente paso será valorar el coste económico y el peso que dichas jaulas generan.

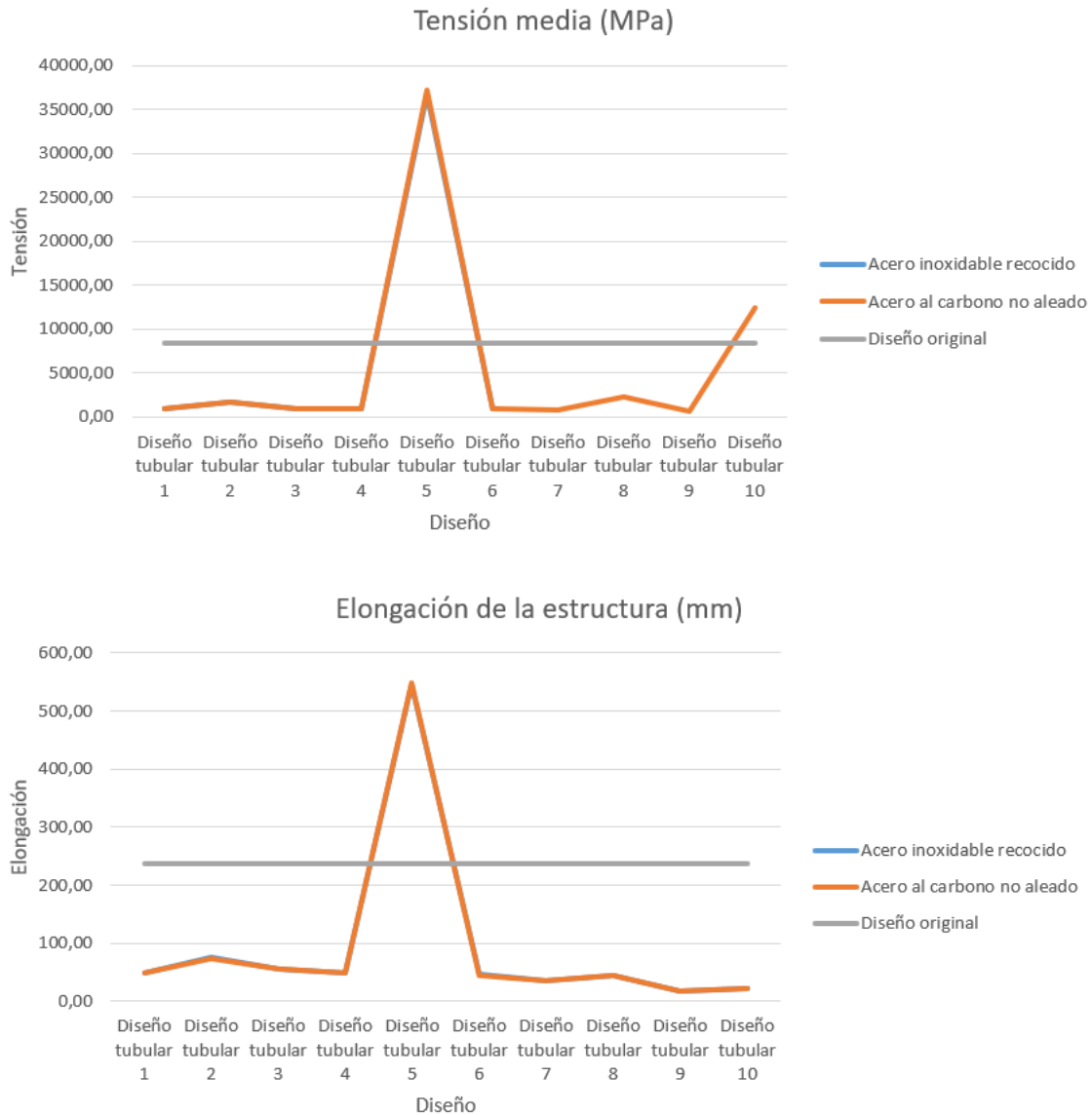
3.3 Evolución de las simulaciones

Después de haber analizado brevemente todas y cada una de las simulaciones, en ambas situaciones, junto con los diferentes materiales, obtenemos los siguientes resultados compilados:

- Para el impacto superior se muestra la siguiente tabla de resultados:

Impacto superior	Material	Tension media (MPa)	elongacion maxima (mm)	Peso esturctura (kg)
Diseño original	Acero basico	8354,00	236,00	1244,34
Diseño tubular 1	Acero inoxidable recocido	889,30	48,74	495,5
	Acero al carbono no aleado	887,40	48,05	491,71
Diseño tubular 2	Acero inoxidable recocido	1743,00	75,63	578,47
	Acero al carbono no aleado	1741,00	74,47	574,05
Diseño tubular 3	Acero inoxidable recocido	949,90	56,62	605,24
	Acero al carbono no aleado	950,40	55,80	600,62
Diseño tubular 4	Acero inoxidable recocido	930,60	49,27	642,38
	Acero al carbono no aleado	928,50	48,58	637,47
Diseño tubular 5	Acero inoxidable recocido	36830,00	545,70	125,47
	Acero al carbono no aleado	37280,00	547,10	124,51
Diseño tubular 6	Acero inoxidable recocido	944,30	45,69	696,57
	Acero al carbono no aleado	943,10	45,01	691,25
Diseño tubular 7	Acero inoxidable recocido	730,50	35,44	732,32
	Acero al carbono no aleado	731,00	34,97	725,73
Diseño tubular 8	Acero inoxidable recocido	2325,00	45,42	557,28
	Acero al carbono no aleado	2288,00	44,81	553,03
Diseño tubular 9	Acero inoxidable recocido	644,20	18,69	768,36
	Acero al carbono no aleado	644,40	18,44	762,49
Diseño tubular 10	Acero inoxidable recocido	12480,00	22,45	592,79
	Acero al carbono no aleado	12370,00	22,15	588,27

Dicha tabla proporciona los resultados mostrados en las siguientes tablas.



Como se puede apreciar tanto en la tabla como en los gráficos, ambos materiales muestran un desempeño muy similar, hasta el punto de que las diferencias en lo que respecta a tensión y elongación son prácticamente las mismas. A su vez, la evolución de los resultados muestra cómo se ha ido mejorando el sistema con cada simulación. Si bien es cierto que el salto que se observa en la gráfica se debe a la curiosidad de analizar una estructura que comenzaba a entrar en el rango de mínimo aceptable, aplicando una reducción de grosor muy considerable. Tras analizar el salto desproporcionado en los resultados, queda claro que dicho grosor no puede ser considerado. Por otro lado, se ha continuado generando estructuras huecas, pero con un grosor algo más considerable y razonable.

Debido a esta situación, podemos observar que el decrecimiento de los resultados no se comporta de manera lineal.

Otro punto interesante que se puede contemplar en la tabla es el peso de cada diseño estructural, ya que en ambas situaciones el cambio de material tiene un impacto mínimo en el peso, variando no más de 5 kg por diseño.

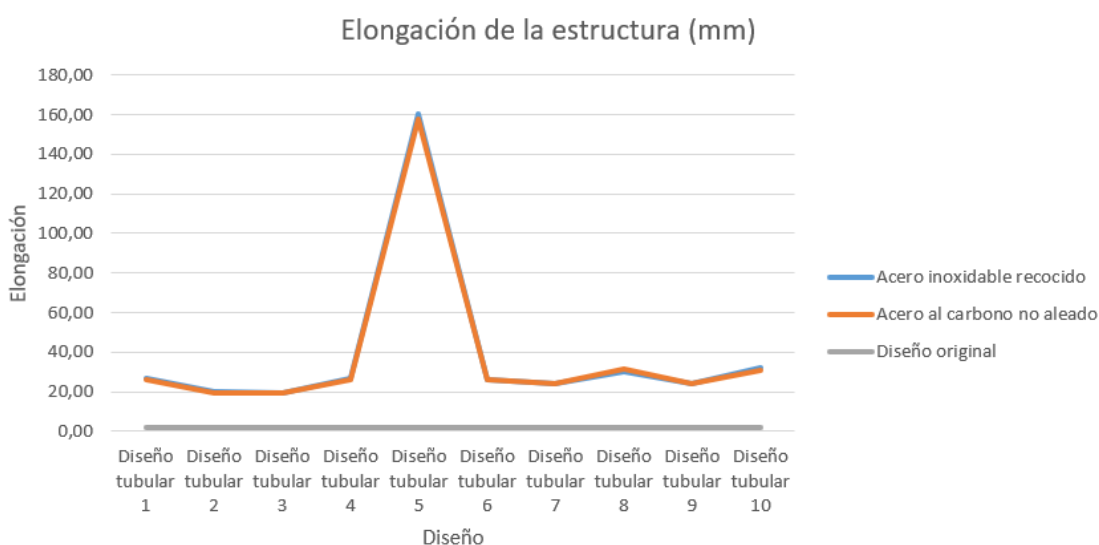
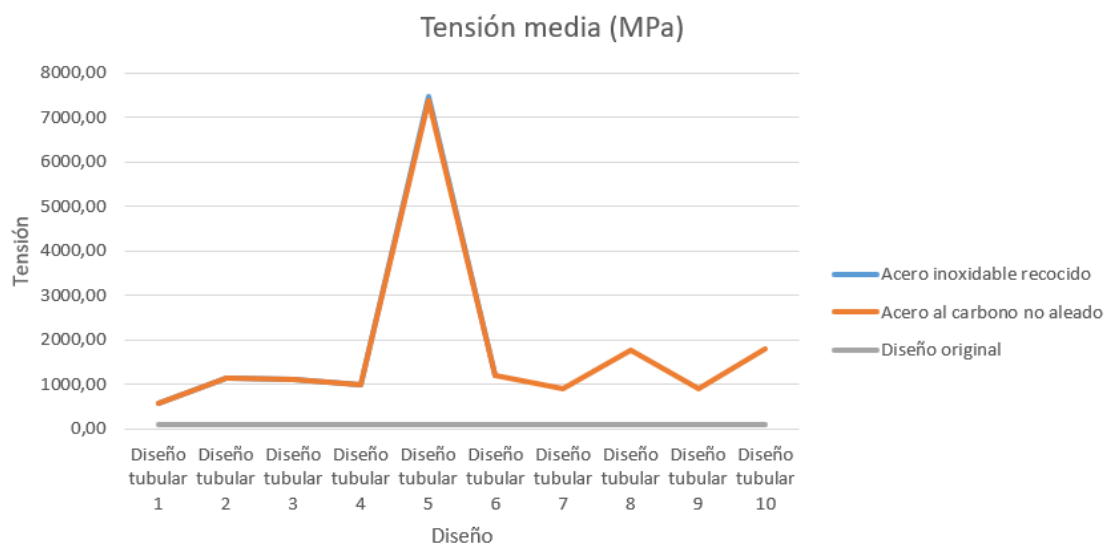
En este tipo de estructuras, la tensión que reciben las zonas de impacto es mayor, y la estructura hueca no es capaz de absorber toda la energía recibida en dichas zonas de primer impacto, por lo que la distribuye a lo largo de la estructura, aumentando el valor medio de tensión. El caso más exagerado es cuando se realizó el estudio con un grosor de un milímetro. Aunque es un caso irreal, nos ha proporcionado los datos para establecer un progreso lineal entre el grosor y el aumento de tensión y elongación a lo largo de toda la estructura.

Sin embargo, tenemos una tercera línea que, como bien se puede apreciar, es el diseño del chasis original, donde dicho valor es más elevado que la media. Esto se debe a que durante el estudio se han eliminado elementos como ventanas y segmentos móviles (como las puertas), los cuales, aunque aportan poco a la estructura, algo influyen. Por motivos de simplificación de elementos, se ha diseñado así.

Por otro lado, tenemos la compilación de resultados respecto al impacto frontal, obteniendo la siguiente tabla:

Impacto Frontal	Material	Tension media (MPa)	elongacion maxima (mm)	Peso esturctura (kg)
Diseño original	Acero basico	92,70	2,04	1244,34
Diseño tubular 1	Acero inoxidable recocido	589,30	26,55	495,5
	Acero al carbono no aleado	588,80	26,18	491,71
Diseño tubular 2	Acero inoxidable recocido	1145,00	19,74	578,47
	Acero al carbono no aleado	1145,00	19,48	574,05
Diseño tubular 3	Acero inoxidable recocido	1127,00	19,56	605,24
	Acero al carbono no aleado	1128,00	19,31	600,62
Diseño tubular 4	Acero inoxidable recocido	998,70	26,45	642,38
	Acero al carbono no aleado	998,10	26,07	637,47
Diseño tubular 5	Acero inoxidable recocido	7462,00	160,20	125,47
	Acero al carbono no aleado	7392,00	158,00	124,51
Diseño tubular 6	Acero inoxidable recocido	1213,00	26,42	696,57
	Acero al carbono no aleado	1212,00	26,04	691,25
Diseño tubular 7	Acero inoxidable recocido	913,80	24,37	732,32
	Acero al carbono no aleado	914,60	24,02	725,73
Diseño tubular 8	Acero inoxidable recocido	1781,00	30,27	557,28
	Acero al carbono no aleado	1780,00	31,60	553,03
Diseño tubular 9	Acero inoxidable recocido	914,70	24,36	768,36
	Acero al carbono no aleado	915,50	24,01	762,49
Diseño tubular 10	Acero inoxidable recocido	1814,00	32,06	592,79
	Acero al carbono no aleado	1807,00	31,06	588,27

Con los datos mencionados obtenemos las siguientes tablas de resultados.



A lo largo de este estudio podemos observar una situación similar y a la vez contraria en los resultados. Esto se debe a la rapidez con la que se encontró un punto de aceptación al comienzo de las simulaciones, por lo que no se ha trabajado la situación frontal tan exhaustivamente como la superior.

Analizando simulación a simulación, se pueden ver claramente los refuerzos únicamente incluidos en la parte central posterior. Tras dichas mejoras, la parte frontal presentaba más debilidad que la parte posterior, generando un incremento, simulación a simulación, de las tensiones recibidas y las elongaciones que afectan a la estructura.

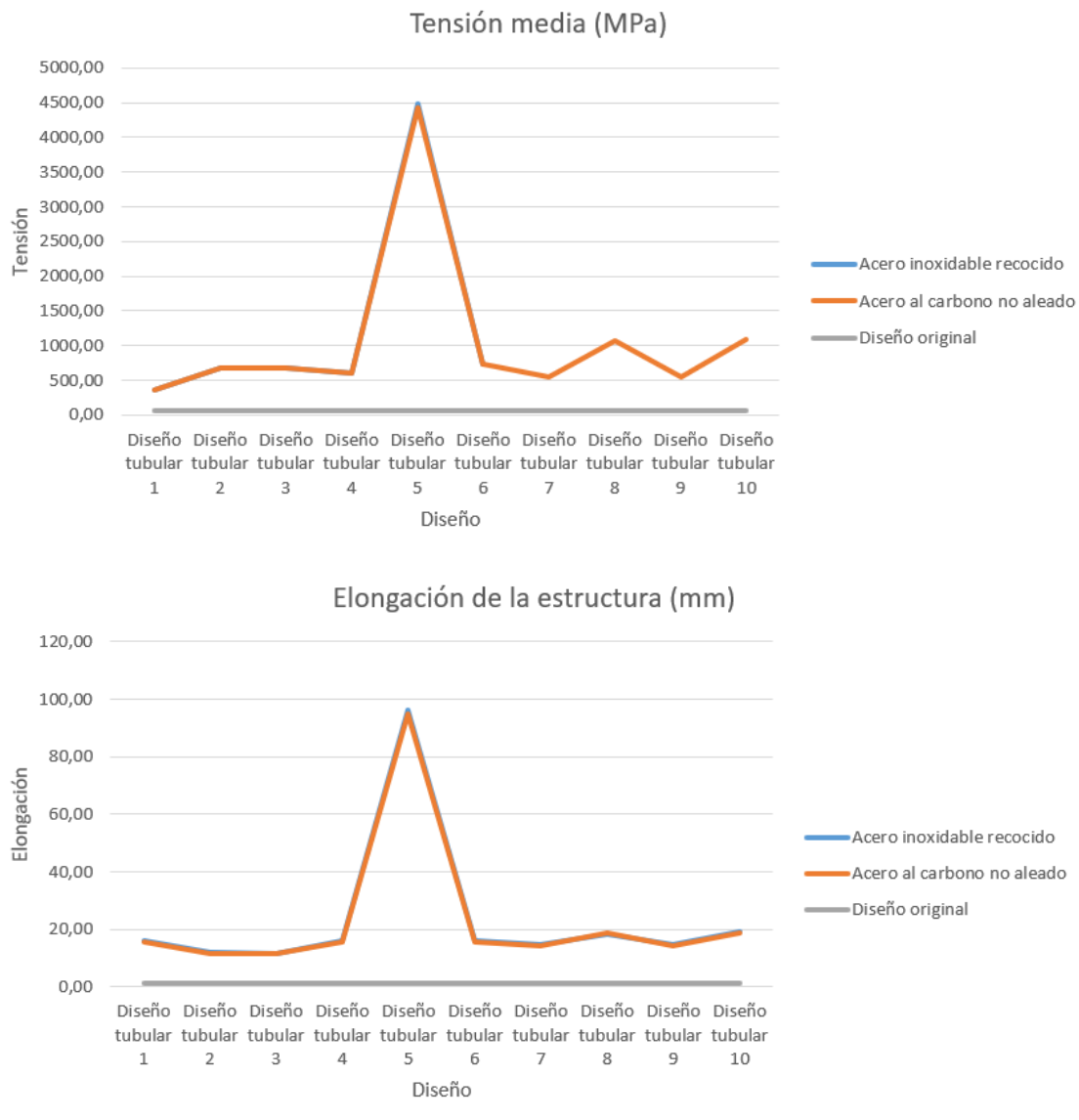
También se debe mencionar que el diseño de estructura hueca es mucho más débil en este tipo de impacto por el mismo motivo: no se ha ido reforzando, por lo que el modelo frontal es significativamente más débil que el superior.

Por otro lado, en este modelo podemos ver cómo la tensión y elongación del diseño original son muy inferiores a los resultados obtenidos. Al igual que en el modelo superior, aquí tenemos una situación contraria. Al no haber diseñado dicho modelo con segmentos móviles y teniendo la fijación de la simulación en la parte inferior, estos resultados no se pueden considerar frente a un modelo real. Sin embargo, se han mantenido dichos resultados para tener una base de la que partir.

En este modelo superior, también se debe tener en cuenta el coeficiente de seguridad que se debe añadir. Dicho coeficiente representa la inclusión de todos los elementos que se encuentran en la parte frontal, desde el capó, aletas frontales, elementos mecánicos como el motor, la caja de cambios anclada al puente trasero (que endurece mínimamente la rigidez estructural), etc. Estos elementos deben absorber gran parte del impacto. Por ello, se va a establecer un coeficiente de seguridad de 1,4. De esta manera, podemos aumentar la precisión en el estudio frontal.

A pesar de todo, este no es el punto principal del proyecto. Dicho coeficiente transforma la tabla de la siguiente manera:

Impacto Frontal	Material	Coeficiente de seguridad	Tension media (MPa)	elongacion maxima (mm)	Peso esturctura (kg)
Diseño original	Acero basico	1,4	55,62	1,23	1244,34
Diseño tubular 1	Acero inoxidable recocido	1,4	353,58	15,93	495,5
	Acero al carbono no aleado	1,4	353,28	15,71	491,71
Diseño tubular 2	Acero inoxidable recocido	1,4	687,00	11,84	578,47
	Acero al carbono no aleado	1,4	687,00	11,69	574,05
Diseño tubular 3	Acero inoxidable recocido	1,4	676,20	11,74	605,24
	Acero al carbono no aleado	1,4	676,80	11,59	600,62
Diseño tubular 4	Acero inoxidable recocido	1,4	599,22	15,87	642,38
	Acero al carbono no aleado	1,4	598,86	15,64	637,47
Diseño tubular 5	Acero inoxidable recocido	1,4	4477,20	96,12	125,47
	Acero al carbono no aleado	1,4	4435,20	94,80	124,51
Diseño tubular 6	Acero inoxidable recocido	1,4	727,80	15,85	696,57
	Acero al carbono no aleado	1,4	727,20	15,62	691,25
Diseño tubular 7	Acero inoxidable recocido	1,4	548,28	14,62	732,32
	Acero al carbono no aleado	1,4	548,76	14,41	725,73
Diseño tubular 8	Acero inoxidable recocido	1,4	1068,60	18,16	557,28
	Acero al carbono no aleado	1,4	1068,00	18,96	553,03
Diseño tubular 9	Acero inoxidable recocido	1,4	548,82	14,62	768,36
	Acero al carbono no aleado	1,4	549,30	14,41	762,49
Diseño tubular 10	Acero inoxidable recocido	1,4	1088,40	19,24	592,79
	Acero al carbono no aleado	1,4	1084,20	18,64	588,27



Como se puede apreciar tras añadir este coeficiente de seguridad, ha habido una gran reducción en los resultados. Si bien esto es una estimación, al menos permite ver con claridad el tipo de deformación que sufriría el chasis durante este tipo de impacto.

3.4 Coste económico

Antes de comenzar con las conclusiones, es necesario hablar brevemente sobre este apartado. Como se ha podido apreciar, el peso de dichas jaulas es bastante elevado, lo que implica un gasto económico considerable en materiales.

precio	Material	Densidad (Kg/m3)	Coste (euros*m)	Peso estructura (kg)	Precio (euros*m3)
Diseño original	Acero basico	-	-	-	-
Diseño tubular 1	Acero inoxidable recocido	7859,99	215,64	495,5	226,5686089
	Acero al carbono no aleado	7800,00	107,00	491,71	112,4208761
Diseño tubular 2	Acero inoxidable recocido	7859,99	215,64	578,47	264,506848
	Acero al carbono no aleado	7800,00	107,00	574,05	131,2464744
Diseño tubular 3	Acero inoxidable recocido	7859,99	215,64	605,24	276,7474971
	Acero al carbono no aleado	7800,00	107,00	600,62	137,3212393
Diseño tubular 4	Acero inoxidable recocido	7859,99	215,64	642,38	293,7298546
	Acero al carbono no aleado	7800,00	107,00	637,47	145,7463462
Diseño tubular 5	Acero inoxidable recocido	7859,99	120,00	125,47	31,92624927
	Acero al carbono no aleado	7800,00	50,00	124,51	13,30235043
Diseño tubular 6	Acero inoxidable recocido	7859,99	215,64	696,57	318,5083671
	Acero al carbono no aleado	7800,00	107,00	691,25	158,0422009
Diseño tubular 7	Acero inoxidable recocido	7859,99	215,64	732,32	334,8551436
	Acero al carbono no aleado	7800,00	107,00	725,73	165,9254487
Diseño tubular 8	Acero inoxidable recocido	7859,99	180,00	557,28	212,7025607
	Acero al carbono no aleado	7800,00	107,00	553,03	126,4406197
Diseño tubular 9	Acero inoxidable recocido	7859,99	215,64	768,36	351,3345233
	Acero al carbono no aleado	7800,00	107,00	762,49	174,3299786
Diseño tubular 10	Acero inoxidable recocido	7859,99	180,00	592,79	226,256013
	Acero al carbono no aleado	7800,00	107,00	588,27	134,4976282

Como se puede apreciar en la tabla, los modelos macizos tienen un coste más elevado, debido a que para ambos materiales se ha podido encontrar oferta con las medidas utilizadas durante las simulaciones. Por lo que se descarta la necesidad de utilizar máquinas de mecanizado, como podría ser una CNC. Gracias a esta tabla, también podemos entender mejor los resultados, considerando que la diferencia en el módulo de Young de ambos materiales se compensa con la diferencia de densidades, siendo una ligeramente superior a la otra. No obstante, el material que hemos seleccionado y que está fuera de la normativa tiene un coste bastante más elevado en estado bruto, aunque su desempeño durante las simulaciones es muy similar. Por ello, el uso del material homologado está representado en este proyecto.

A la tabla de costes también se le debe incluir el coste del trabajo de modelado y soldadura, en vista de que la tabla anterior únicamente representa el coste del material bruto. En esta segunda parte del coste, se ha hablado con múltiples compañías para obtener una estimación, donde el coste de la soldadura se establece en 90 euros/hora. El tiempo estimado de soldadura es de entre 8 y 18 horas, obteniendo un rango de entre 720 y 1.620 euros. Ahora bien, esto no incluye el proceso de preparación del material, que implica cortar el material bruto para su posterior ensamblaje.

Esta parte tiene un coste estimado de 60 euros/hora, con un periodo de tiempo aproximado de 14 a 18 horas de trabajo, estableciendo un rango de 840 a 1.080 euros. Por lo tanto, el coste total de fabricación de la jaula se establece en un rango de 1.560 a 2.700 euros, al cual se debe añadir el coste representado en las tablas previamente.

3.5 Análisis de Resultados

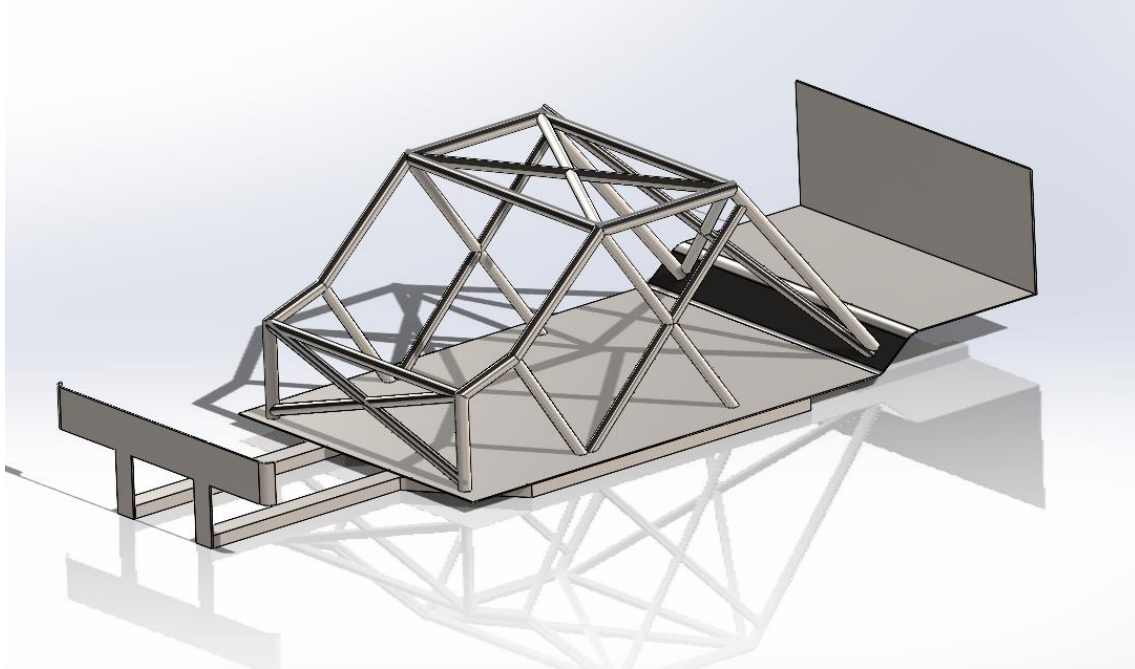
Tras analizar el grueso del proyecto, ya podemos concluir, con los resultados obtenidos en los últimos apartados, cuál es el diseño óptimo para el problema que se presentó al principio del proyecto. Según lo que se ha considerado una deformación aceptable, con un rango de no más de 5 cm de elongación y sin puntos de tensión crítica, los diseños seleccionados son el Diseño Tubular 7 y el Diseño Tubular 8.

La selección entre un modelo u otro puede ser crítica debido al coste y al aumento de peso. Si bien es cierto que todos los modelos suponen un aumento considerable del peso, esto se debe a la necesidad de solucionar una situación poco común y crítica, como es el impacto a 200 km/h en la zona superior y la colisión en seco, evitando la situación mostrada en las fotos al comienzo del proyecto. Aunque en las tablas aparece un aumento de peso superior a 500 kg, también se debe tener en cuenta la reducción de peso cuando los vehículos se preparan para esta clase de competición.

Removiendo todos y cada uno de los elementos del interior se logra alcanzar una reducción de peso de entre 250 y 400 kg de media en vehículos de este estilo, reduciendo así el aumento de peso total a un mero porcentaje respecto a lo que representan las tablas.

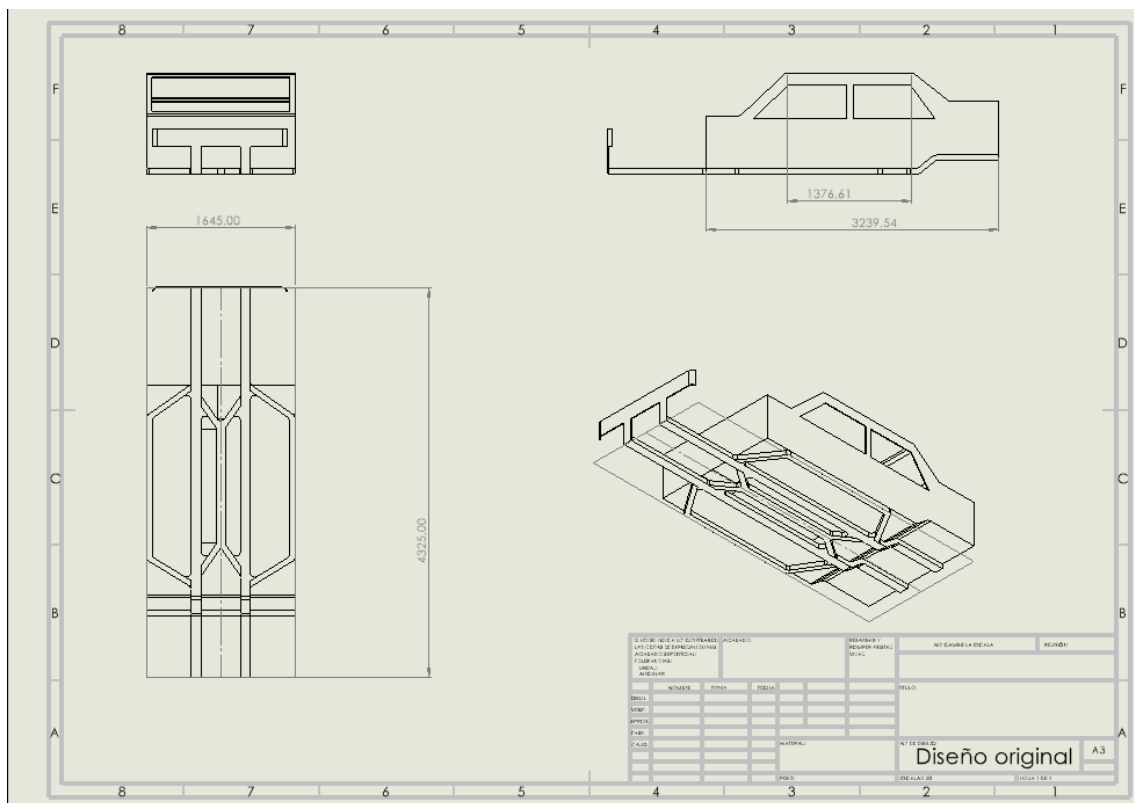
La selección de un diseño u otro de todos los mostrados también puede depender del tipo de competición, ya que no es lo mismo correr por montaña, pista, bosque o incluso arena. Cada competición tiene sus riesgos y complicaciones, por lo que, a partir del modelo 4, todos son aceptables dependiendo de la competición. Sin embargo, los más polivalentes podrían ser los ya mencionados modelos 7 y 8. De esta manera, se evita el coste de crear múltiples jaulas y el tiempo de sustitución de una jaula por otra.

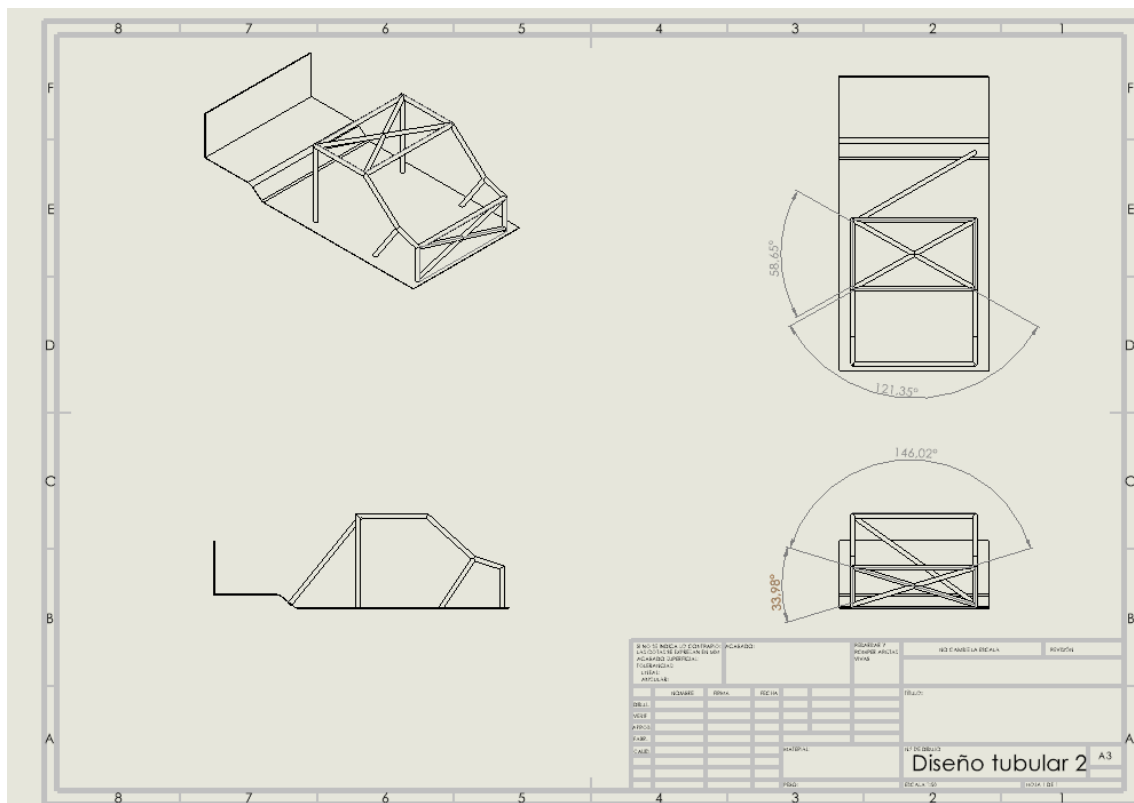
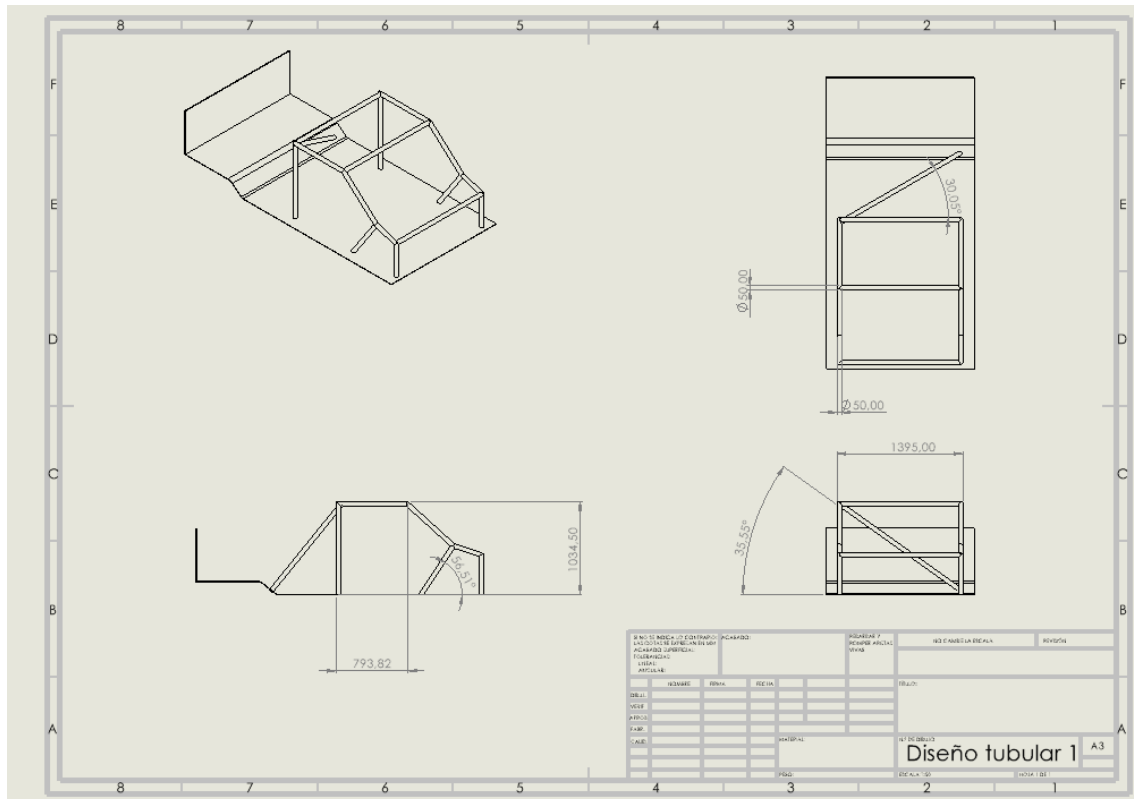
Lo que sí queda claro con este proyecto es la posibilidad de reducir prácticamente a cero los accidentes fatales en esta competición. El modelo final tendría una estructura como la que se representa en la siguiente foto.

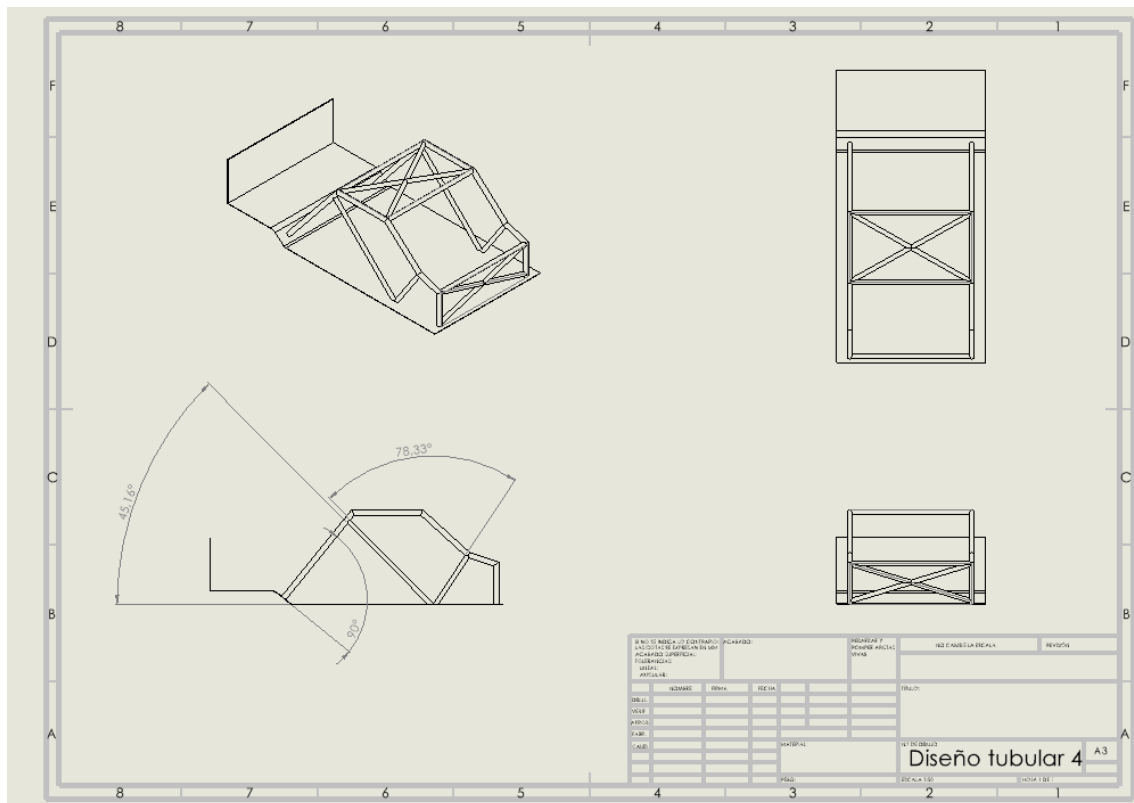


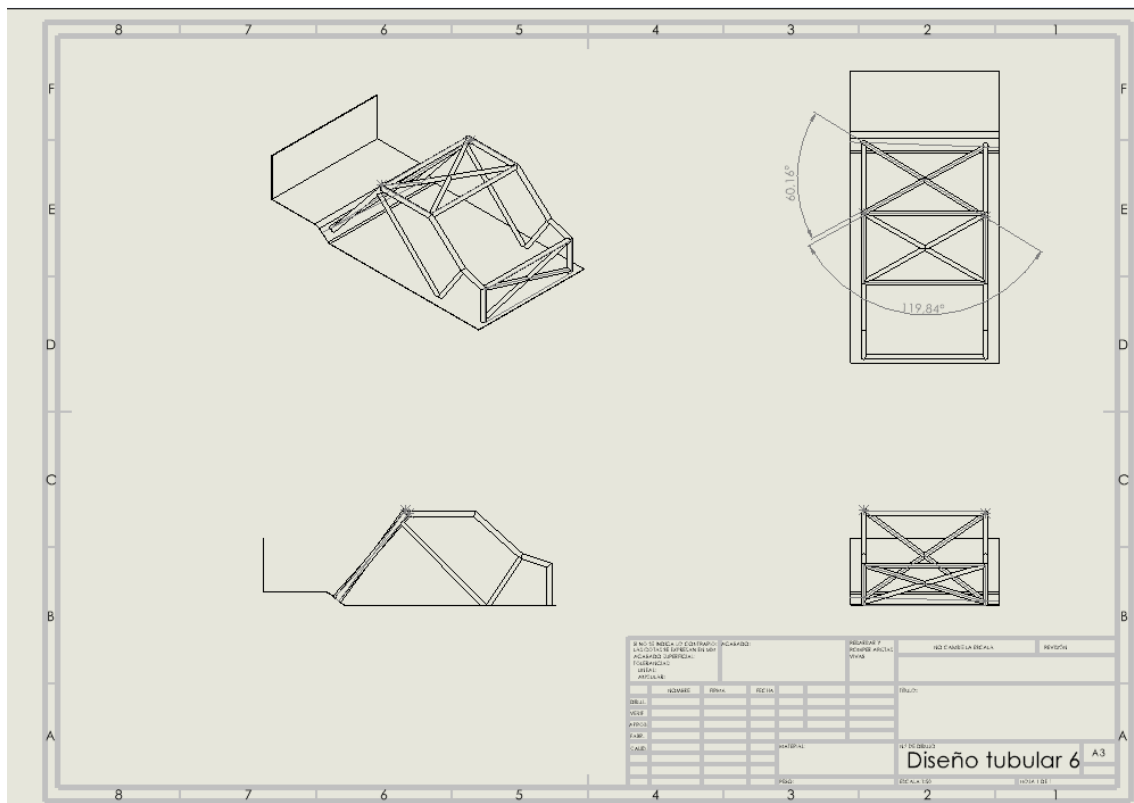
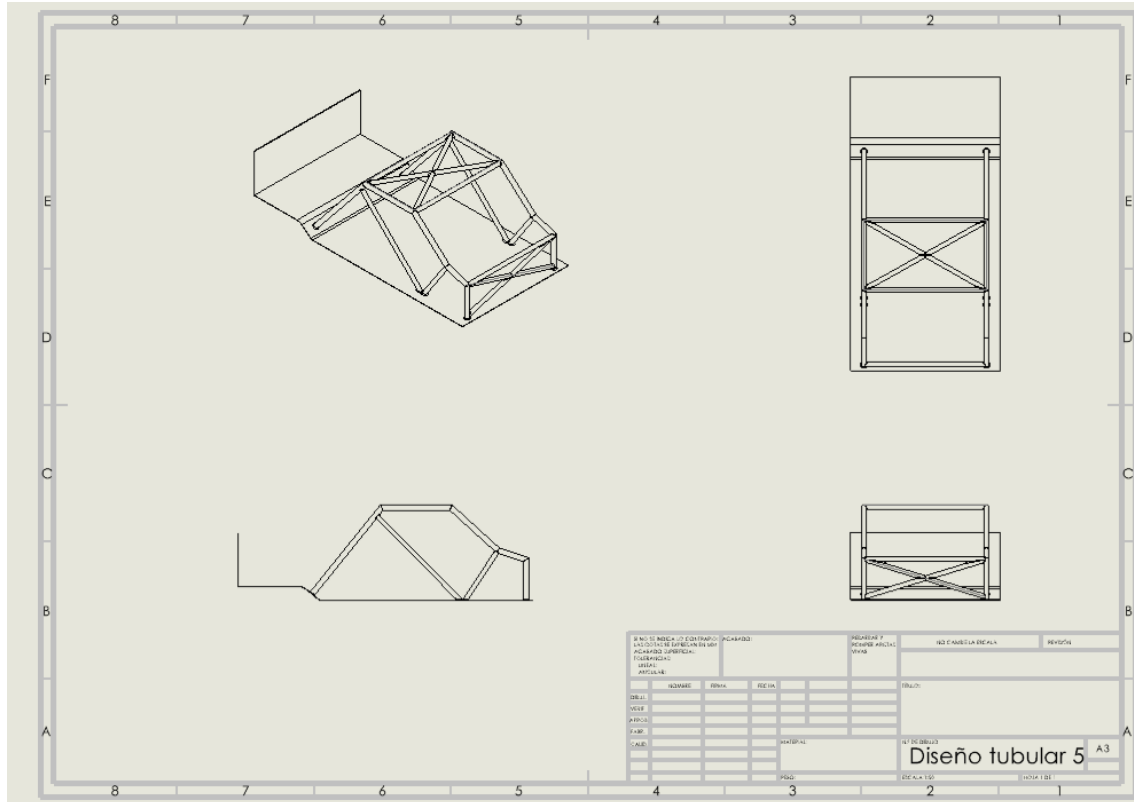
Siendo este el modelo seleccionado, tanto en su versión maciza como en su versión de tubería hueca, se garantiza la seguridad de los integrantes en todo momento frente a un impacto severo.

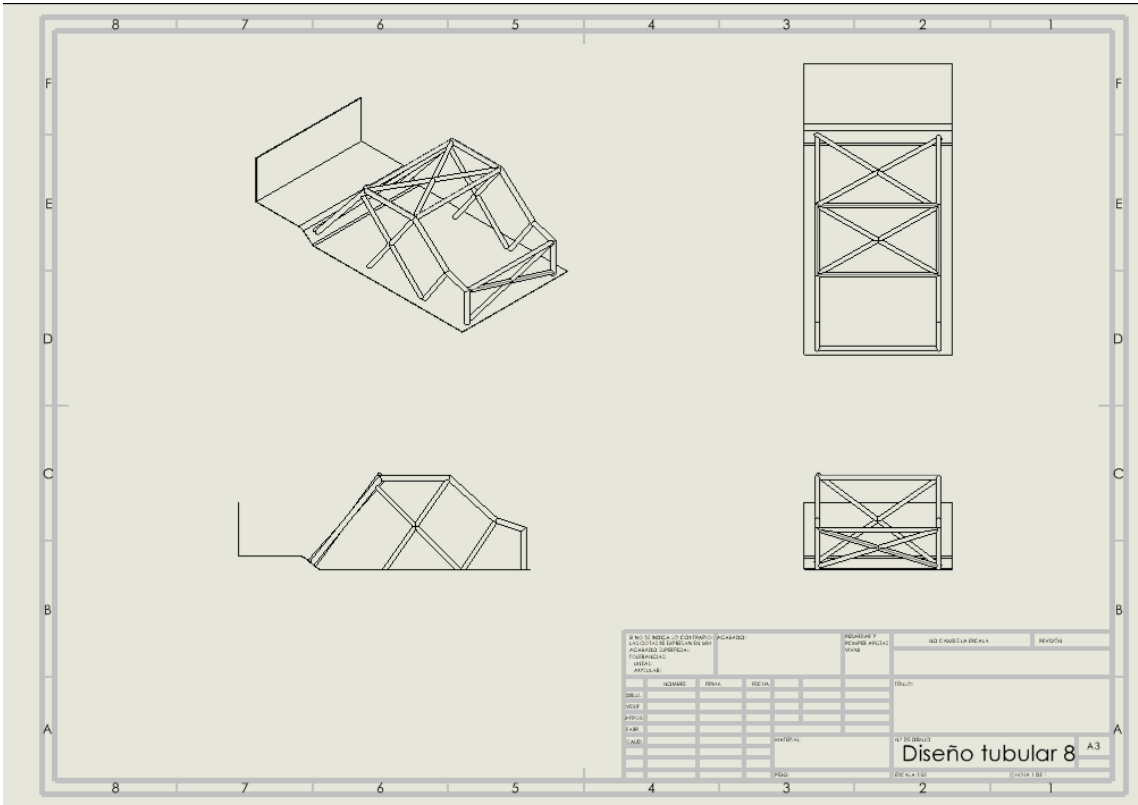
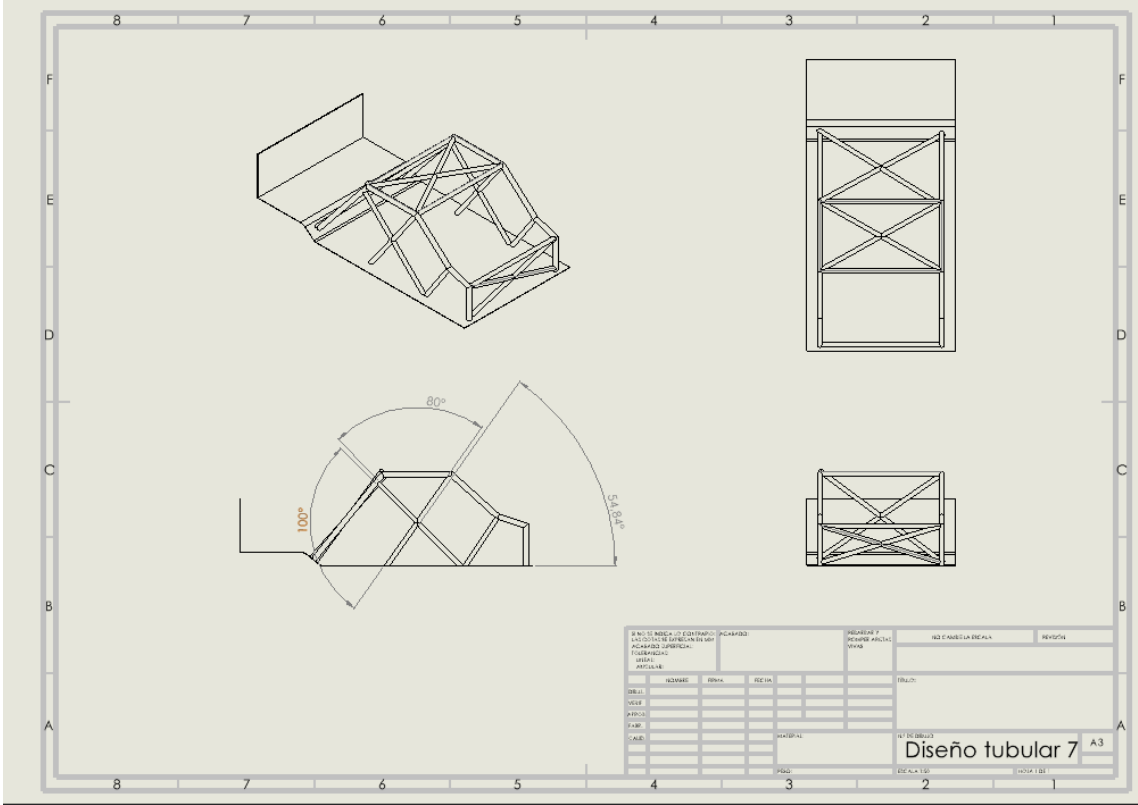
3.6 Planos

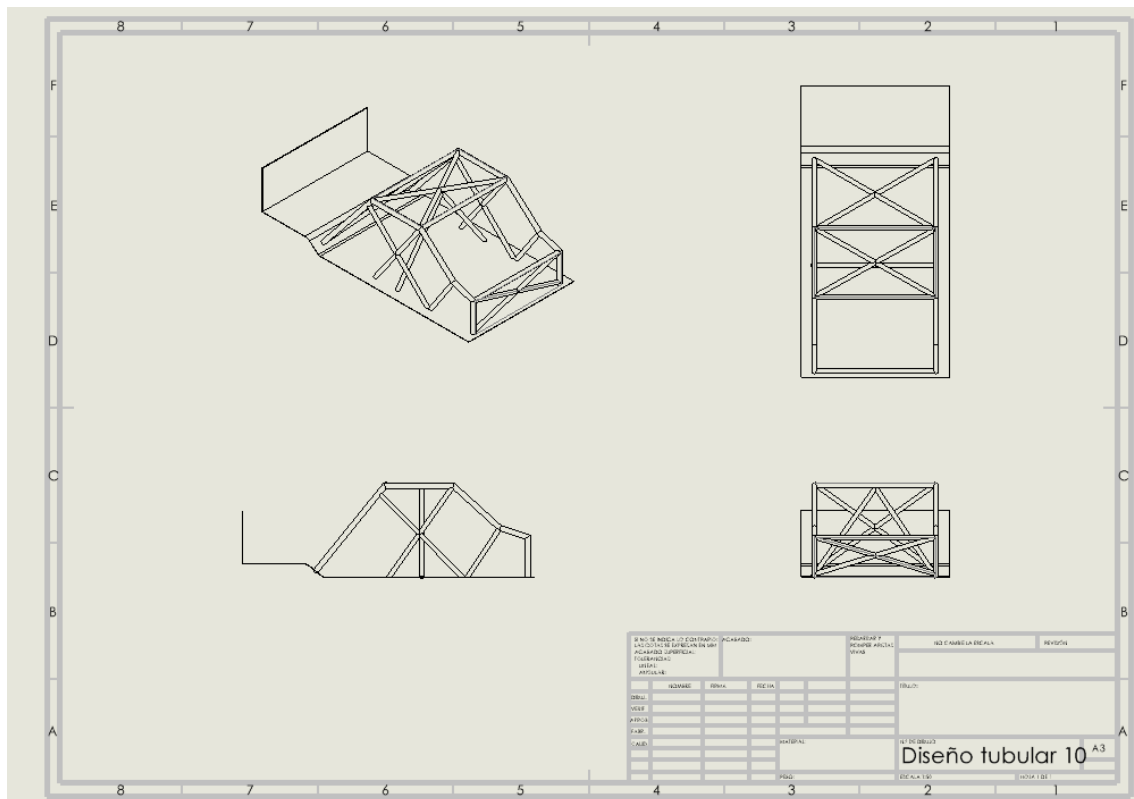












Capítulo 4. CONCLUSIONES

Una vez alcanzados los estándares de aceptación para el modelo, explicados en el apartado 3.2 y en la evolución mostrada a lo largo del proyecto, se puede comprender con mayor detalle el alcance del problema que se planteaba resolver y su procedimiento.

La situación a la que nos enfrentamos es crítica. Aunque estos accidentes son cada vez menos comunes gracias a la mejora en la calidad de los pilotos y las máquinas, el riesgo persiste, generando situaciones que los seguidores de este deporte preferirían evitar.

Este proyecto ha supuesto un gran desafío debido al corto plazo de tiempo y la magnitud del problema a resolver. Por ello, se adoptó un enfoque basado en la prueba y el error. De esta manera, no solo logramos diseñar un modelo apto, sino que también analizamos paso a paso los puntos más críticos que provocaban fallos en el sistema. Esto permitió ver la evolución del proyecto y proporcionó una base para continuar su estudio en detalle en el futuro.

Aunque los modelos originales no ofrecían seguridad inicialmente, se valoró su potencial. Si estos modelos hubieran soportado las simulaciones, habrían representado un avance debido a su simplicidad en construcción y economía. Esta situación evolucionó a medida que el proyecto avanzaba, alcanzando el estándar autoimpuesto en el modelo 7. Sin embargo, aunque cumplía con los estándares, se consideró la posibilidad de un modelo con mejor desempeño tanto en rendimiento como en costos.

Así se llegó al modelo número 8, seleccionado como el mejor modelo por su balance de pros y contras. Aunque los otros modelos también son válidos para este deporte, algunos son más adecuados para situaciones específicas.

Por otro lado, el diseño de impacto frontal se estudió durante toda la simulación debido a la forma rectangular de estos vehículos. Esta forma proporciona un refuerzo longitudinal, que es una continuación de la estructura inferior existente. Este refuerzo longitudinal nos permitió calcular de forma precisa el impacto frontal. Aunque este no era el objetivo principal del proyecto, sirvió para comprender mejor cómo las modificaciones en cualquier punto de la estructura afectan el comportamiento del resto de esta.

Capítulo 5. MEJORAS DEL PROYECTO

En este apartado se valora la posibilidad de continuar mejorando el modelo, dado que, si bien ha cumplido con las expectativas, podría ser más preciso.

Se utilizó el programa SolidWorks, enfrentándose a múltiples problemas durante el diseño y la computación de las simulaciones debido a conflictos con el software. Inicialmente, se planeó utilizar el modelo completo, incluyendo chasis, sub-chasis, traviesa, motor y jaula, para analizar mejor los esfuerzos durante un impacto. Sin embargo, esta idea se descartó porque el programa no podía soportar la carga requerida.

Además, se consideró estudiar las herramientas de soldadura, puesto que, en elementos continuos, la soldadura representa el punto más crítico en la transmisión de esfuerzos. No obstante, este objetivo no pudo alcanzarse debido a los conflictos generados en el modelo. Como resultado, se diseñó el modelo asumiendo una estructura completa y continua, situación que deberá reevaluarse al implementar el diseño en la realidad.

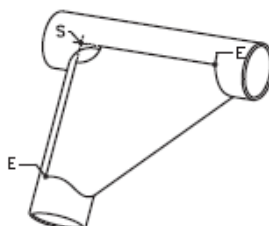
ANEXOS

	Se requiere el uso de topes Anti-torpedo.	Anti-torpedo tabs are required.
7.3.7	Los extintores deben ser fácilmente accesibles al piloto y copiloto.	The extinguishers must be easily accessible for the driver and the co-driver.
ART. 8	ESTRUCTURA DE SEGURIDAD	SAFETY CAGES
8.1	General	General
	La instalación de una estructura de seguridad es obligatoria. <u>Puede estar:</u>	The fitting of a safety cage is compulsory. <u>It may be either:</u>
	a. Fabricada de acuerdo a los requerimientos de los artículos siguientes [a partir del Artículo 253-8.2];	Fabricated in compliance with the requirements of the following articles (as from Article 253-8.2);
	b. Homologada o certificada por una ADN de acuerdo a los reglamentos de homologación para estructuras de seguridad: Se debe presentar a los Comisarios Técnicos de la competición una copia original del documento o certificado de homologación aprobado por la ADN y firmado por técnicos cualificados que representen al fabricante. Toda nueva estructura de seguridad homologada por una ADN y vendida a partir del 01/01/2003, deberá estar identificada, de forma individual, por una placa de identificación colocada por el constructor que no pueda copiarse ni retirarse (es decir, soldada, troquelada o un adhesivo auto destructible). La placa de identificación debe portar el nombre del constructor, el número de homologación de la ADN y el número de serie único del fabricante. Deberá llevarse a bordo un certificado mostrando los mismos números identificativos y presentarse a los comisarios técnicos de la competición.	Homologated or Certified by an ASN according to the homologation regulations for safety cages ; An authentic copy of the homologation document or certificate, approved by the ASN and signed by qualified technicians representing the manufacturer, must be presented to the competition's scrutineers. Any new cage which is homologated by an ASN and is on sale, as from 01.01.2003, must be identified by means of an identification plate affixed to it by the manufacturer; this identification plate must be neither copied nor moved (i.e. embedded, engraved or self-destroying sticker). The identification plate must bear the name of the manufacturer, the homologation or certification number of the ASN homologation form or certificate and the individual series number of the manufacturer. A certificate bearing the same numbers must be carried on board and be presented to the competition's scrutineers.
	c. Homologada por la FIA de acuerdo a los reglamentos de homologación para estructuras de seguridad. Esta estructura de seguridad debe ser objeto de una extensión (VO) de la ficha de homologación del vehículo homologado por la FIA. La identificación del fabricante y un número de serie debe ser claramente visible en todas las estructuras homologadas y vendidas desde el 1 de enero de 1997. La ficha de homologación de la estructura debe especificar cómo y dónde se indica esta información, y los compradores deben recibir un certificado numerado correspondiente a la misma. Para los siguientes vehículos, la estructura de seguridad debe estar homologada por FIA: Variante VRS, Variante Kit Súper 1600, Variante Kit Súper 2000, Variante Kit Súper 2000 Rallye, Variante World Rallye Car. ***** Toda modificación de una estructura de seguridad homologada o certificada está prohibida. Será considerado como modificación cualquier proceso sobre la estructura por medio de mecanizado o soldadura que implique una modificación permanente del material o de la estructura de seguridad. Cualquier reparación de una estructura de seguridad dañada tras un accidente debe llevarse a cabo por el fabricante de la estructura o con su aprobación. Se prohíbe el cromado de toda o parte de la estructura. Los tubos de las estructuras de seguridad no deben transportar fluidos ni ninguna otra cosa. Las estructuras de seguridad no deben dificultar la entrada o salida del piloto y copiloto. <u>En el interior del habitáculo, está prohibido llevar los siguientes elementos entre los miembros laterales de la carrocería y la estructura de seguridad:</u> * Cables eléctricos * Conductos que lleven fluidos (excepto el conducto del líquido del limpiaparabrisas) * Conductos del sistema de extinción Los elementos de la estructura podrán ocupar el espacio de los ocupantes atravesando el salpicadero y los revestimientos delanteros, así como el asiento y revestimientos traseros. Los asientos traseros pueden plegarse.	Homologated by the FIA according to the homologation regulations for safety cages. It must be the subject of an extension (VO) to the homologation form of the vehicle homologated by the FIA. The manufacturer's identification and a series number must be clearly visible on all cages homologated and sold after 01.01.1997. The homologation form of the cage must specify how and where this information is indicated, and the purchasers must receive a numbered certificate corresponding to this. <u>For the following cars, the cage must compulsorily be homologated by the FIA:</u> VRS Variant, Super 1600 Kit Variant, Super 2000 Kit Variant, Super 2000 Rally Kit Variant, World Rally Car Variant. ***** Any modification to a homologated or certified safety cage is forbidden. To be considered as a modification, any process made to the cage by machining, welding, that involves a permanent modification of the material or the safety cage. All repairs to a homologated or certified safety cage, damaged after an accident must be carried out by the manufacturer of the cage or with his approval. The chromium plating of all or part of the cage is forbidden. Tubes of the safety cages must not carry fluids or any other item. The safety cages must not unduly impede the entry or exit of the driver and co-driver. <u>Inside the cockpit, the passage of the following elements between the side members of the bodysell and the safety cage is forbidden:</u> • Electric cables • Lines carrying fluids (except windscreen washer fluid) • Lines of the extinguishing system. Members may intrude into the occupant's space in passing through the dashboard and trim, as well as through the rear seats. <u>The rear seat may be folded down.</u>

8.2.1	Estructura de seguridad Estructura multitubular instalada en el habitáculo cerca de la carrocería, concebida con el fin de evitar una deformación importante de la carrocería (chasis) en caso de accidente.	Safety cage Multi-tubular structure installed in the cockpit and fitted close to the bodyshell, the function of which is to reduce the deformation of the bodyshell (chassis) in case of an impact.
8.2.2	Arco de seguridad Estructura tubular formando un arco con dos bases de anclaje.	Rollbar Tubular frame forming a hoop with two mounting feet.
8.2.3	Arco principal (Dibujo 253-1) Estructura prácticamente vertical constituida por un arco tubular de una sola pieza (inclinación máxima $\pm 10^\circ$ con respecto a la vertical) situado en un plano transversal al vehículo, e inmediatamente detrás de los asientos delanteros. El eje del tubo debe estar contenido en un solo plano.	Main rollbar (Drawing 253-1) Transverse and near-vertical (maximum angle $\pm 10^\circ$ to the vertical) single piece tubular hoop located across the vehicle just behind the front seats. The tube axis must be within one single plane.
8.2.4	Arco delantero (Dibujo 253-1) Similar al arco principal pero su forma sigue los montantes y el borde superior del parabrisas.	Front rollbar (Drawing 253-1) Similar to main rollbar but its shape follows the windscreen pillars and top screen edge.
8.2.5	Arco lateral (Dibujo 253-2) Estructura casi longitudinal y prácticamente vertical constituida por un arco tubular de una sola pieza, situado a lo largo de la parte derecha o izquierda del vehículo, siguiendo el pilar delantero del mismo el montante del parabrisas, y los montantes traseros siendo casi verticales y estando justo detrás de los asientos delanteros. El montante trasero debe ser rectilíneo en vista lateral.	Lateral rollbar (Drawing 253-2) Near-longitudinal and near-vertical single piece tubular hoop located along the right or left side of the vehicle, the front pillar of which follows the windscreen pillar and the rear pillar of which is near-vertical and located just behind the front seats. The rear pillar must be straight in side view.
8.2.6	Semiarco lateral (dibujo 253-3) Idéntico al arco lateral pero sin el pilar trasero.	Lateral half-rollbar (Drawing 253-3) Identical to the lateral rollbar but without the rear pillar.
8.2.7	Tirante longitudinal Tubo casi longitudinal de una única pieza uniendo las partes superiores del arco principal y delantero.	Longitudinal member Near-longitudinal single piece tube joining the upper parts of the front and main rollbars.
8.2.8	Tirante transversal Tubo semi-transversal de una única pieza que une los miembros superiores de los arcos o semiarcos laterales.	Transverse member Near-transverse single piece tube joining the upper parts of the lateral half-rollbars or of the lateral rollbars.
8.2.9	Tirante diagonal <u>Tubo transversal entre:</u> Uno de los ángulos superiores del arco principal o uno de los extremos del miembro transversal en el caso de un arco lateral, y el pie de anclaje opuesto inferior del arco. o El extremo superior de un tirante trasero con el punto de anclaje inferior del otro tirante trasero.	Diagonal member <u>Transverse tube between:</u> One of the top corners of the main rollbar, or one of the ends of the transverse member in the case of a lateral rollbar, and at the lower mounting point on the opposite side of the rollbar. or The upper end of a backstay and the lower mounting point of the other backstay.
8.2.10	Tirantes desmontables Miembros estructurales de una estructura de seguridad que se pueden desmontar.	Removable members Members of a safety cage which must be able to be removed.
8.2.11	Refuerzo de la estructura Miembro añadido a la estructura de seguridad para mejorar su resistencia.	Cage reinforcement Member added to the safety cage to improve its strength.
8.2.12	Pie de anclaje Placa soldada al final de un tubo de la estructura para permitir su atornillado sobre la carrocería/chasis, generalmente sobre una placa de refuerzo. Esta placa puede ser soldada a la carrocería / chasis, además de los pernos.	Mounting foot Plate welded to the end of a rollbar tube to permit its bolting to the bodyshell/chassis, usually onto a reinforcement plate. This plate may be welded to the bodyshell/chassis in addition to the bolts.
8.2.13	Placa de refuerzo Placa metálica fijada a la carrocería/chasis bajo el pie de anclaje de un arco para repartir mejor la carga sobre la carrocería/chasis.	Reinforcement plate Metal plate fixed to the bodyshell/chassis under a rollbar mounting foot to better spread the load onto the bodyshell/chassis.
8.2.14	Cartela (Dibujo 253-34) Refuerzo para un ángulo o unión hecho de chapa doblada en forma de U (dibujo 253-34) de espesor no inferior a 1,0 mm.	Gusset (Drawing 253-34) Reinforcement for a bend or junction made from bent sheet metal with a U shape the thickness of which must not be less than 1.0 mm.

Los extremos de dicha cartela (punto E) deben estar situados a una distancia del punto superior del ángulo (punto S) de 2 a 4 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.
Se permite un corte en la parte superior del ángulo (R) pero su radio no debe ser mayor de 1,5 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.
El lado plano de la cartela puede tener un agujero cuyo diámetro no debe ser más grande que el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.

The ends of this gusset (point E) must be situated at a distance from the top of the angle (point S) of between 2 to 4 times the outer diameter of the biggest of the tubes joined.
A cut-out is permitted at the top of the angle but its radius (R) must be no greater than 1.5 times the outer diameter of the biggest of the tubes joined.
The flat sides of the gusset may have a hole the diameter of which must not be greater than the outer diameter of the biggest of the tubes joined.



253-34

8.3 Especificaciones

Specifications

8.3.1 Estructura básica

Basic structure

La estructura básica debe estar realizada de acuerdo a uno de los diseños siguientes:

The basic structure must be made according to one of the following designs:

- 1 arco principal + 1 arco delantero + 2 miembros longitudinales + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje (dibujo 253-1)
- o
- 2 arcos laterales + 2 miembros transversales + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje (ver dibujo 253-2)
- o
- 1 arco principal + 2 semiarcos laterales + 1 miembro transversal + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje (ver dibujo 253-3)

- 1 main rollbar + 1 front rollbar + 2 longitudinal members + 2 backstays + 6 mounting feet (Drawing 253-1)
- or
- 2 lateral rollbars + 2 transverse members + 2 backstays + 6 mounting feet (Drawing 253-2)
- or
- 1 main rollbar + 2 lateral half-rollbars + 1 transverse member + 2 backstays + 6 mounting feet (Drawing 253-3)



253-1



253-2



253-3

La parte vertical del arco principal debe ser tan recta como sea posible y estar lo más próxima al contorno interior de la carrocería, y tener una sola curvatura en su parte vertical inferior.

The vertical part of the main rollbar must be as close as possible to the interior contour of the bodyshell and must have only one bend with its lower vertical part.

El montante delantero de un arco delantero o de un arco lateral debe seguir los montantes del parabrisas lo más cerca posible y tener una sola curvatura en su parte vertical inferior.

The front pillar of a front rollbar or of a lateral rollbar must follow the windscreen pillars as closely as possible and have only one bend with its lower vertical part.

De cara a fabricar la estructura de seguridad, las conexiones de los miembros transversales de los arcos laterales, las conexiones de los miembros longitudinales al arco principal y delantero, así como la conexión de un semiarco lateral al arco principal, deben estar situadas al nivel del techo.

In order to build the safety cage, the connections of the transverse members to the lateral rollbars, the connections of the longitudinal members to the front and main rollbars, as well as the connection of a semi-lateral rollbar to the main rollbar must be situated at the roof level.

En cualquier caso, no debe haber más de 4 uniones desmontables a nivel del techo.

In all cases, there must not be more than 4 removable connections at the roof level.

Los tirantes longitudinales traseros deben anclarse cerca del techo y cerca de los ángulos superiores exteriores del arco principal a ambos lados del vehículo, permitiéndose por medio de conexiones desmontables.

The backstays must be attached near the roofline and near the top outer bends of the main rollbar, on both sides of the car, possibly by means of removable connections.

Deberán formar un ángulo mínimo de 30° con la vertical y estar dirigidos hacia atrás., serán rectos y tan cercanos como sea posible a los paneles interiores laterales de la carrocería.

They must form an angle of at least 30° with the vertical, must run rearwards and be straight and as close as possible to the interior side panels of the bodyshell.

8.3.2 Diseño

Design

Una vez que la estructura básica está definida, debe ser completada con miembros y refuerzos obligatorios (ver artículo 253-8.3.2.1), a los cuales se podrán añadir miembros y refuerzos opcionales (ver artículo 253-8.3.2.2).

Once the basic structure is defined, it must be completed with compulsory members and reinforcements (see Article 253-8.3.2.1), to which optional members and reinforcements may be added (see Article 253-8.3.2.2).

Salvo que esté explícitamente permitido y salvo que se usen uniones desmontables de acuerdo al Artículo 253-8.3.2.4, todos los

Unless explicitly permitted and unless dismountable joints are used in compliance with Article 253-8.3.2.4, all members and tubular

elementos y refuerzos tubulares deben ser de una única pieza.

reinforcements must be single pieces.

8.3.2.1 Tirantes y refuerzos obligatorios

Compulsory members and reinforcements

8.3.2.1.1 Tirante diagonal

Diagonal member

Vehículos homologados antes del 01/01/2002:

Cars homologated before 01.01.2002:

La estructura debe incorporar uno de los tirantes diagonales definidos por los dibujos 253-4, 253-5 y 253-6. La orientación de la diagonal puede invertirse.

The cage must have one of the diagonal members defined by Drawings 253-4, 253-5, 253-6.

En el caso del dibujo 253-6, la distancia entre los dos anclajes de la carrocería/chasis no debe ser superior a 300 mm.

The orientation of the diagonal may be reversed.

In the case of Drawing 253-6, the distance between the two mountings on the bodyshell/chassis must not be greater than 300mm.

Los miembros deben ser rectos y pueden ser desmontables.

Members must be straight and may be removable.

El extremo superior de la diagonal debe unirse al arco principal a menos de 100 mm de la unión del arco principal con el tirante longitudinal trasero, o al tirante longitudinal trasero a menos de 100 mm de su unión con el arco principal (ver dibujo 253-52 para las medidas).

The upper end of the diagonal must join the main rollbar no further than 100 mm from its junction with the backstay, or the backstay no more than 100 mm from its junction with the main rollbar (see Drawing 253-52 for the measurement).

El extremo inferior de la diagonal debe unirse al arco principal o a un tirante longitudinal trasero a menos de 100 mm del pie de anclaje (excepto para el caso del dibujo 253-6).

The lower end of the diagonal must join the main rollbar or the backstay no further than 100 mm from the mounting foot (except for the case of Drawing 253-6).

Vehículos homologados desde el 01/01/2002:

Cars homologated as from 01.01.2002:

La estructura debe tener dos miembros diagonales en el arco principal de acuerdo al dibujo 253-7.

The cage must have two diagonal members on the main rollbar according to Drawing 253-7.

Los miembros deben ser rectos y pueden ser desmontables.

Members must be straight and may be removable.

El extremo inferior de la diagonal debe unirse con el arco principal o con el tirante trasero a menos de 100mm del pie de anclaje (ver dibujo 253-52 para las medidas).

The lower end of the diagonal must join the main rollbar no further than 100 mm from the mounting foot (see Drawing 253-52 for the measurement).

El extremo superior de la diagonal debe unirse al arco principal a menos de 100mm de la unión de este con el tirante posterior.

The upper end of the diagonal must join the main rollbar no further than 100 mm from its junction with the backstay.



253-4



253-5



253-6



253-7

8.3.2.1.2 Barras de puertas

Doorbars

Se deberán montar uno o más miembros longitudinales a cada lado del vehículo de acuerdo a los dibujos 253-8, 253-9, 253-10 y 253-11 (dibujos 253-9, 253-10 y 253-11 para vehículos homologados a partir de 01-01-2007).

One or more longitudinal members must be fitted at each side of the vehicle according to Drawings 253-8, 253-9, 253-10 and 253-11 (Drawings 253-9, 253-10 and 253-11 for cars homologated as from 01.01.2007).

Los dibujos se pueden combinar.

Drawings may be combined.

El diseño debe ser idéntico en ambos lados.

The design must be identical on both sides.

Podrán ser desmontables.

They may be removable.

La protección lateral estará situada tan alta como sea posible pero sus puntos de anclaje superiores no estarán a más de la mitad de la altura total de la puerta medida desde su base.

The side protection must be as high as possible, but its upper attachment point must not be higher than half the height of the door opening measured from its base.

Si estos puntos de anclaje superiores están situados delante o detrás de la apertura de la puerta, esta limitación de altura es también válida para la intersección correspondiente al tirante y la apertura de la puerta.

If these upper attachment points are located in front of or behind the door opening, this height limitation is also valid for the corresponding intersection of the strut and the door opening.

En el caso de una protección en "X" (dibujo 253-9), es aconsejable que los puntos de anclaje inferiores se fijen directamente sobre el larguero longitudinal de la carrocería (chasis) y que al menos una parte de la "X" sea una barra de una sola pieza.

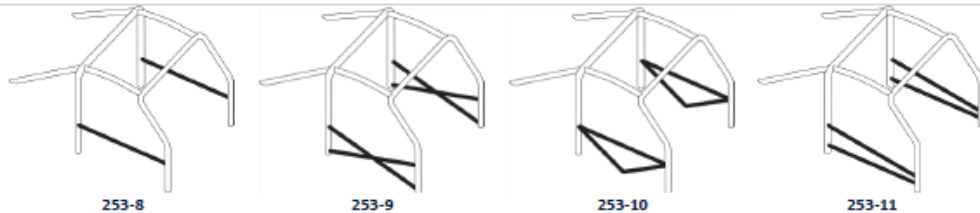
In the case of doorbars in the form of an "X" (Drawing 253-9), it is recommended that the lower attachment points of the cross-struts be fixed directly onto the longitudinal member of the bodyshell/chassis and that at least one part of the "X" be a single-piece bar.

La conexión de los tirantes de puertas con el pilar de refuerzo del parabrisas (dibujo 253-15) está autorizada.

The connection of the doorbars to the windscreen pillar reinforcement (Drawing 253-15) is authorised.

Para competiciones sin copiloto, dichos miembros pueden ser montados sólo en el lado del conductor y no es obligatorio que el diseño sea idéntico en ambos lados.

For competitions without co-driver, members may be fitted on the driver's side only and it is not compulsory for the design to be identical on both sides.



8.3.2.1.3 Elementos de refuerzo de techo

Únicamente vehículos homologados desde el 01/01/2005:

La parte superior de la estructura de seguridad debe cumplir con los dibujos 253-12, 253-13 y 253-14.

Los refuerzos pueden seguir la curvatura del techo.

Para competiciones sin copiloto, en el caso del dibujo 253-12 solamente, puede montarse un solo refuerzo pero su conexión delantera debe estar situada del lado del piloto.

Los extremos de los refuerzos deben estar a menos de 100mm de la unión entre arcos y miembros (esto no será de aplicación para la punta de la V formada por los refuerzos en los dibujos 253-13 y 253-14).

Unión de los tubos en la punta de la V:

Si los tubos no se juntan entre sí, la distancia entre ellos en su conexión con el arco o el miembro transversal no deberá ser superior a 100 mm.

Roof reinforcement

Cars homologated as from 01.01.2005 only:

The upper part of the safety cage must comply with one of Drawings 253-12, 253-13 and 253-14.

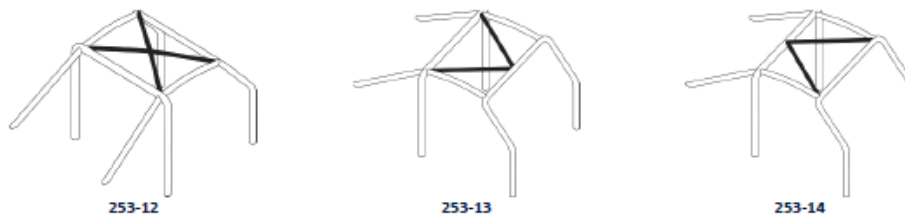
The reinforcements may follow the curve of the roof.

For competitions without co-drivers, in the case of Drawing 253-12 only, only one diagonal member may be fitted but its front connection must be on the driver's side.

The ends of the reinforcements must be less than 100 mm from the junction between rollbars and members (not applicable to the top of the V formed by reinforcements in Drawings 253-13 and 253-14).

Junction of tubes at the top of the V:

If the tubes do not join each other, the distance between them must not be more than 100 mm at their connection with the rollbar or the transverse member.



8.3.2.1.4 Pilar de refuerzo del parabrisas

Únicamente vehículos homologados desde el 01/01/2006:

Deben estar montados a cada lado del arco delantero si la dimensión "A" es superior a 200mm (ver dibujo 253-15).

Este refuerzo puede ser curvado a condición de que sea rectilíneo en vista lateral y que el ángulo de la curvatura no exceda 20°.

Su extremo superior debe estar a menos de 100mm de la unión entre el arco delantero (lateral) y el miembro longitudinal (transversal) (ver dibujo 253-52 para las medidas).

Su extremo inferior debe estar a menos de 100mm del pie de anclaje del arco (el pie de anclaje delantero en caso de arco lateral).

Windscreen pillar reinforcement

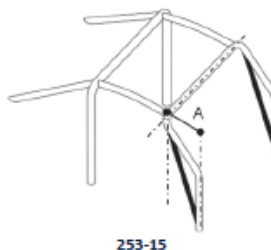
Cars homologated as from 01.01.2006 only:

It must be fitted on each side of the front rollbar if dimension "A" is greater than 200 mm (Drawing 253-15).

It may be bent on condition that it is straight in side view and that the angle of the bend does not exceed 20°.

Its upper end must be less than 100 mm from the junction between the front (lateral) rollbar and the longitudinal (transverse) member (see Drawing 253-52 for the measurement).

Its lower end must be less than 100 mm from the (front) mounting foot of front (lateral) rollbar.



253-15

8.3.2.1.5 Refuerzo de ángulos y uniones

Las uniones entre:

- los miembros diagonales del arco principal,
- los refuerzos del techo (configuración según dibujo 253-12 y sólo para vehículos homologados a partir de 01/01/2007)
- los tirantes de las puertas (configuración del dibujo 253-9),
- los tirantes de las puertas y los pilares de refuerzo del parabrisas (dibujo 253-15)

deben estar reforzados por un mínimo de dos cartelas de acuerdo con el artículo 253-8.2.14.

Si los tirantes de las puertas y el pilar de refuerzo del parabrisas no están situados en el mismo plano, el refuerzo debe estar fabricado

Reinforcement of bends and junctions

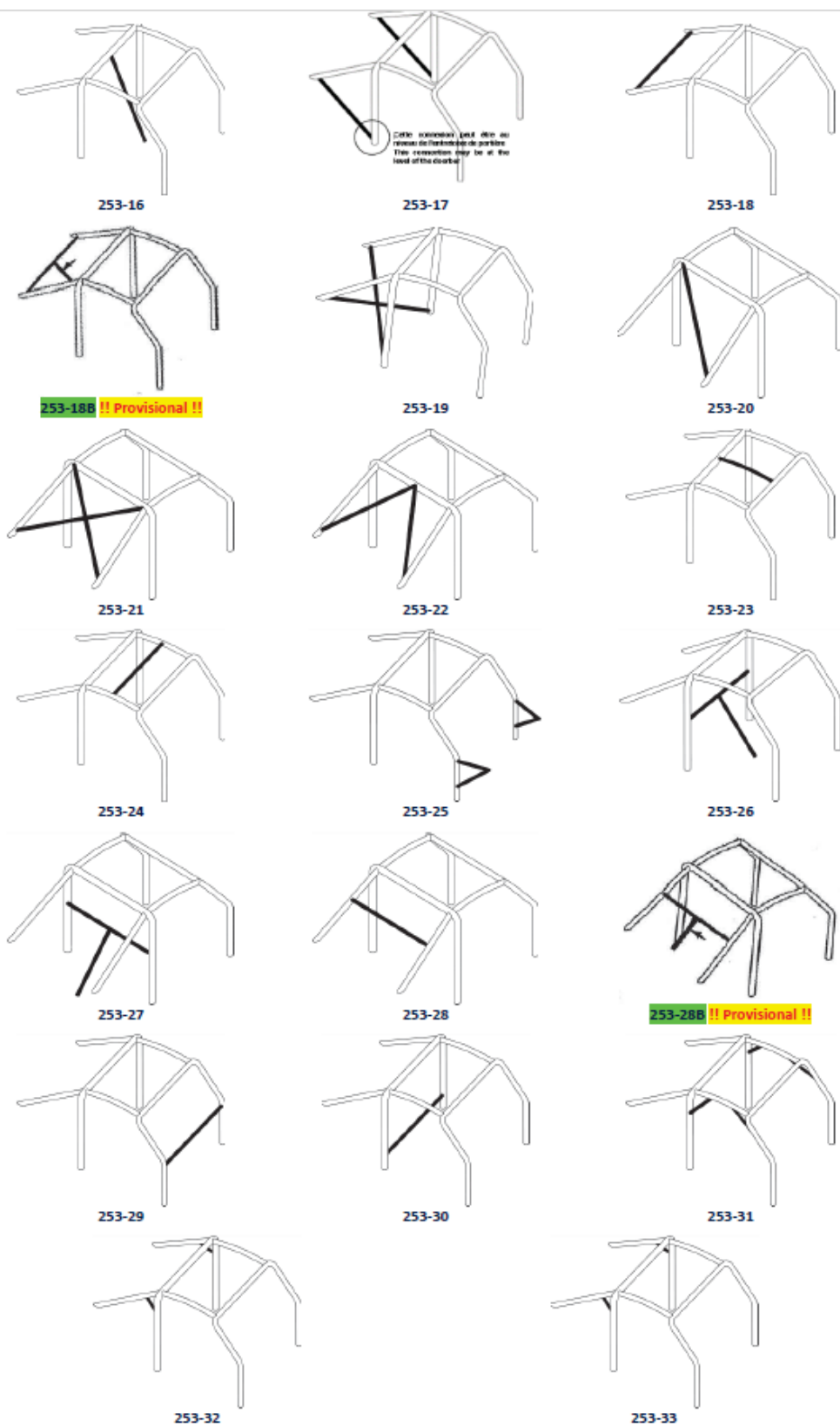
The junctions between:

- The diagonal members of the main rollbar
- The roof reinforcements (configuration of Drawing 253-12 and only for cars homologated as from 01.01.2007)
- The doorbars (configuration of Drawing 253-9)
- The doorbars and the windscreen pillar reinforcement (Drawing 253-15)

must be reinforced by a minimum of 2 gussets complying with Article 253-8.2.14.

If the doorbars and the windscreen pillar reinforcement are not situated in the same plane, the reinforcement may be made of

	en chapa de acero, siempre que cumpla con las dimensiones del Art. 253-8.2.14.	fabricated sheet metal, provided it complies with dimensions in Article 253-8.2.14.
8.3.2.2	Tirantes y refuerzos opcionales	Optional members and reinforcements
	Excepto otras indicaciones dadas en el artículo 253-8.3.2.1, los miembros y refuerzos mostrados en los dibujos 253-12 a 253-21 y 253-23 a 253-33, son opcionales y pueden ser instalados a voluntad del fabricante. Deben estar o bien soldados o bien instalados mediante conexiones desmontables. Todos los tirantes y refuerzos mencionados anteriormente pueden utilizarse por separado o combinados entre sí.	Except other indications given in Article 253-8.3.2.1, members and reinforcements shown in Drawings 253-12 to 253-21 and 253-23 to 253-33 are optional and may be installed as desired by the constructor. They must be either welded or installed by means of dismantable joints. All members and reinforcements mentioned above may be used separately or combined with one another.
8.3.2.2.1	<u>Refuerzo de techo (dibujos 253-12 a 253-14)</u>	<u>Roof reinforcement (Drawings 253-12 to 253-14)</u>
	<u>Opcionales únicamente para los vehículos homologados antes del 01/01/2005.</u> Para competiciones sin copiloto, en el caso del dibujo 253-12 solamente, puede montarse un solo refuerzo pero su conexión delantera debe estar situada del lado del piloto.	<u>Optional only for cars homologated before 01.01.2005.</u> For competitions without co-drivers, in the case of Drawing 253-12 only, one diagonal member only may be fitted but its front connection must be on the driver's side.
8.3.2.2.2	<u>Pilar de refuerzo del parabrisas (dibujo 253-15)</u>	<u>Windscreen pillar reinforcement (Drawing 253-15)</u>
	<u>Opcional únicamente para los vehículos homologados antes del 01/01/2006.</u> Este refuerzo puede ser curvado a condición de que sea rectilíneo en vista lateral y que el ángulo de la curvatura no exceda 20°.	<u>Optional only for cars homologated before 01.01.2006.</u> It may be bent on condition that it is straight in side view and that the angle of the bend does not exceed 20°.
8.3.2.2.3	<u>Diagonales de los tirantes traseros (dibujo 253-21)</u>	<u>Backstay diagonals (Drawing 253-21)</u>
	La configuración del dibujo 253-21 puede ser reemplazada por la del dibujo 253-22, en el caso de que se instale un refuerzo en el techo de acuerdo con el dibujo 253-14. <u>Para vehículos homologados a partir del 01.01.2014:</u> La configuración del dibujo 253-22 es obligatoria si se usa un refuerzo de acuerdo con el dibujo 253-14.	The configuration of Drawing 253-21 may be replaced with that of Drawing 253-22 if a roof reinforcement complying with Drawing 253-14 is used. <u>For cars homologated as from 01.01.2014:</u> The configuration of Drawing 253-22 is compulsory if a roof reinforcement complying with Drawing 253-14 is used.
8.3.2.2.4	<u>Puntos de anclaje sobre la suspensión delantera (dibujo 253-25)</u>	<u>Front suspension mounting points (Drawing 253-25)</u>
	Los refuerzos deben estar conectados a los puntos de anclaje superiores de la suspensión.	The extensions must be connected to the front suspension top mounting points.
8.3.2.2.5	<u>Miembros transversales (dibujos 253-26 a 253-30)</u>	<u>Transverse members (Drawings 253-26 to 253-30)</u>
	Los miembros transversales montados sobre el arco principal o entre los tirantes traseros pueden usarse para los anclajes de los arneses de seguridad, conforme al art. 253-6.2 (prohibida la utilización de conexiones desmontables). Para los miembros mostrados en los dibujos 253-26 a 253-27, el ángulo entre el brazo central y el vertical debe ser de al menos 30°. El miembro transversal fijado al arco delantero no debe invadir el espacio reservado para los ocupantes. Debe estar situado tan alto como sea posible, pero su borde inferior no debe estar situado por encima del punto más elevado del salpicadero. <u>Para vehículos homologados a partir del 01/01/2007:</u> No debe posicionarse por debajo de la columna de dirección.	Transverse members fitted on the main rollbar or between the backstays may be used for the safety harness mountings in accordance with Article 253-6.2 (use of dismantable joints prohibited). For members shown on Drawings 253-26 and 253-27, the angle between the central leg and the vertical must be at least 30°. The transverse member fixed to the front rollbar must not encroach upon the space reserved for the occupants. It may be placed as high as possible but its lower edge must not be higher than the uppermost point of the dashboard. <u>For cars homologated as from 01.01.2007:</u> It must not be positioned below the steering column.
8.3.2.2.6	<u>Refuerzos de ángulos o uniones (dibujos 253-31 a 253-34)</u>	<u>Reinforcement of bends or junctions (Drawings 253-31 to 253-34)</u>
	Los refuerzos deben estar hechos de tubos o chapa curvada en forma de U cumpliendo con el art. 253-8.2.14. El espesor de los elementos que formen un refuerzo no debe ser menor de 1,0 mm. Los extremos de las barras de refuerzo no deben situarse a más distancia de la mitad de la longitud del miembro al que van unidos, a excepción de aquellos del arco delantero, que pueden unirse a las barras de refuerzo de las puertas y el arco delantero.	Reinforcements must be made of tubes or bent-sheet metal with U shape complying with Article 253-8.2.14. The thickness of the components forming a reinforcement must not be less than 1.0 mm. The ends of the tubular reinforcements must not be more than half way down or along the members to which they are attached, except for those of the junction of the front rollbar, which may join the junction of the door strut/front rollbar.



8.3.2.3 Configuración mínima de la estructura de seguridad

Minimum configuration of the safety cage

La configuración mínima de la estructura de seguridad se define como sigue: The minimum configuration of a safety cage is defined as follows:

Vehículos homologados	Con copiloto	Sin copiloto	Cars homologated	With co-driver	Without co-driver
entre 01.01.2002 y 31.12.2004	Dibujo 253-35A	Dibujo 253-36A o simétrico	between 01.01.2002 and 31.12.2004	Drawing 253-35A	Drawing 253-36A or symmetrical
entre 01.01.2005 y 31.12.2005	Dibujo 253-35B	Dibujo 253-36B o simétrico	between 01.01.2005 and 31.12.2005	Drawing 253-35B	Drawing 253-36B or symmetrical
a partir 01.01.2006	Dibujo 253-35C	Dibujo 253-36C o simétrico	as from 01.01.2006	Drawing 253-35C	Drawing 253-36C or symmetrical

Las barras de las puertas y los refuerzos del techo pueden variar de acuerdo con los artículos 253-8.3.2.1.2 y 253-8.3.2.1.3. Doorbars and roof reinforcement may vary according to Articles 253-8.3.2.1.2 and 253-8.3.2.1.3.



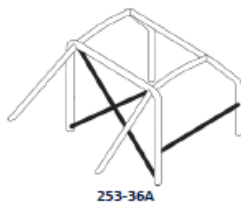
253-35A



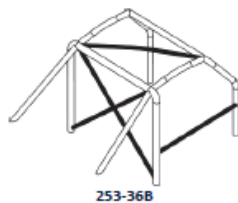
253-35B



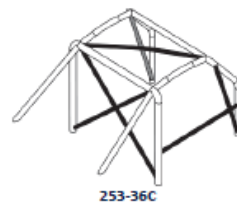
253-35C



253-36A



253-36B



253-36C

8.3.2.4 Tirantes desmontables

Removable members

Si se usan tirantes desmontables en la construcción de una estructura de seguridad, las conexiones desmontables utilizadas deben estar conformes con un tipo aprobado por la FIA (ver dibujos 253-37 a 253-47). Should removable members be used in the construction of a safety cage, the dismantable joints used must comply with a type approved by the FIA (Drawings 253-37 to 253-47).

No podrán soldarse después de ensamblarse.

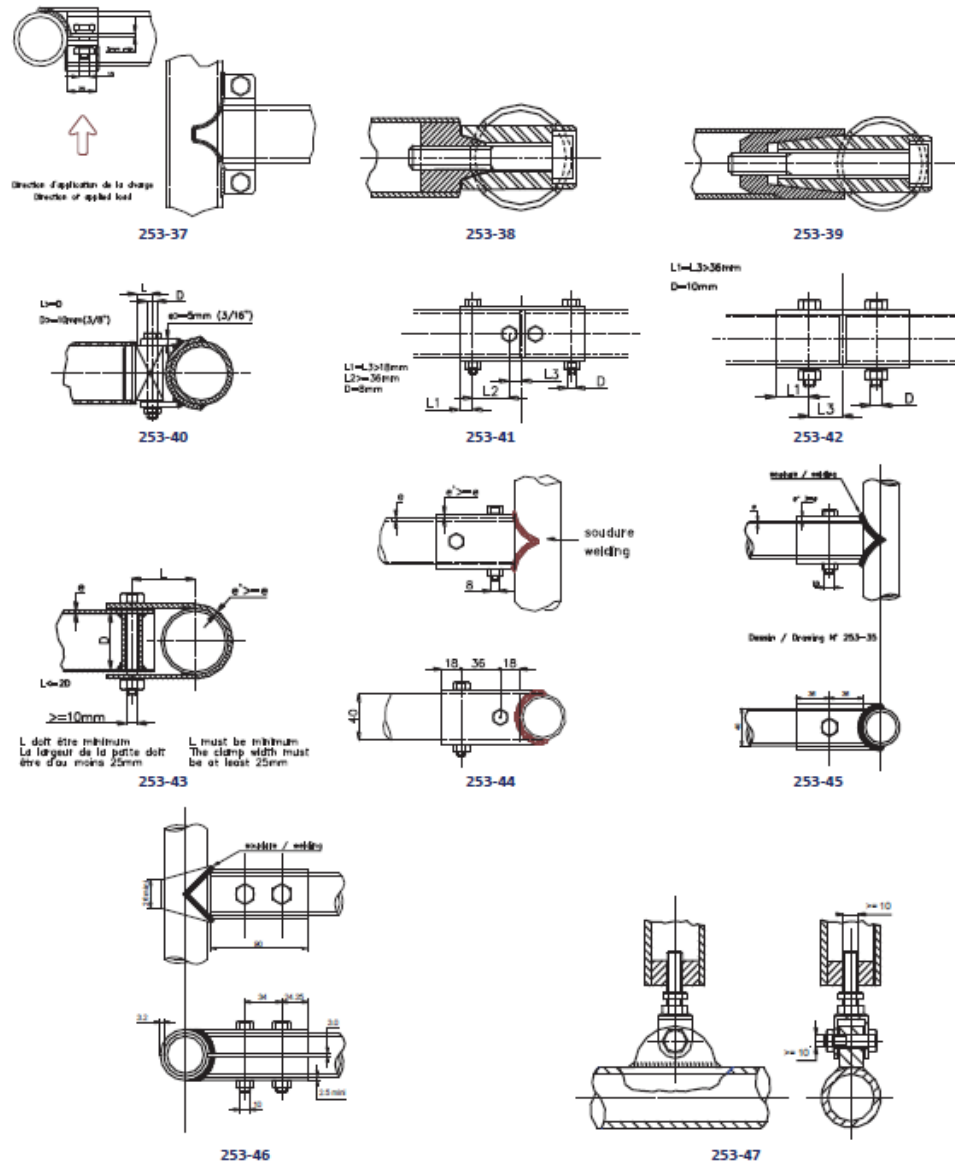
They must not be welded once assembled.

Los tornillos y las tuercas deben ser de una calidad ISO 8.8 o superior (norma ISO).

The screws and bolts must have a minimum quality of 8.8 (ISO standard).

Las conexiones desmontables que cumplan con los dibujos 253-37, 253-40, 253-43, 253-46 y 253-47 están reservadas solamente para fijar los tirantes y los refuerzos opcionales descritos en el artículo 253-8.3.2.2 y están prohibidas para unir las partes superiores del arco principal, del arco delantero, de los semiarcos laterales y de los arcos laterales.

Dismountable joints complying with Drawings 253-37, 253-40, 253-43, 253-46 and 253-47 are solely for attaching optional members and reinforcements described by Article 253-8.3.2.2, and are forbidden for joining the upper parts of the main rollbar, of the front rollbar, of the lateral half-rollbars and of the lateral rollbars.



8.3.2.5 Especificaciones complementarias

Longitudinalmente, la estructura de seguridad debe estar completamente contenida entre los anclajes de los elementos de las suspensiones delanteras y traseras que soportan las cargas verticales (muelles y amortiguadores).

Los refuerzos suplementarios que excedan estos límites se autorizan entre la estructura de seguridad y los puntos de anclaje de las barras estabilizadoras traseras en la carrocería/chasis.

Cada uno de esos puntos de anclaje puede ser conectado a la estructura de seguridad mediante un solo tubo de dimensiones de 30 x 1,5 mm.

Para los vehículos homologados desde el 01/01/2002:

En protección frontal, los refuerzos de los ángulos y de las uniones de los ángulos superiores del arco delantero deben ser visibles únicamente a través de la superficie del parabrisas descrita en el dibujo 253-48.

Para todas las estructuras de seguridad de los vehículos de "Super

Additional constraints

Longitudinally, the safety cage must be entirely contained between the mounting points of the front and rear suspension elements carrying the vertical loads (springs and shock absorbers).

Supplementary reinforcements exceeding these limits are authorised between the safety cage and the anchorage points of the rear antiroll bars on the bodyshell/chassis.

Each of these anchorage points may be connected to the safety cage by a single tube with dimensions of 30 x 1.5mm.

For cars homologated as from 01.01.2002:

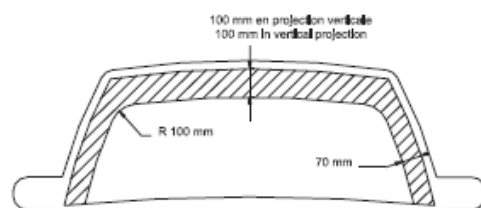
In frontal projection, reinforcements of bends and junctions of the upper corners of the front roll-cage must be only visible through the area of the windscreen described by Drawing 253-48.

For all the safety cages for "Super 2000" cars homologated as from

Producción" y "Súper 2000", homologadas a partir del 01/01/2000, y para todas las estructuras de seguridad para vehículos de rallyes homologadas a partir de 01/01/2001:

La apariencia de la estructura de seguridad en la abertura de la puerta debe cumplir con los criterios siguientes (ver dibujo 253-49):

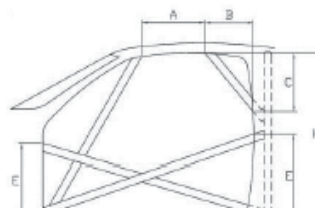
- Dimensión A debe tener un mínimo de 300 mm.
- Dimensión B debe tener un máximo de 250 mm.
- Dimensión C debe tener un máximo de 300 mm.
- Dimensión E no debe ser superior a la mitad de la altura de la apertura de la puerta (H).



253-48

The presence of the cage reinforcements in the door aperture must comply with the following criteria (Drawing 253-49):

- Dimension A must be a minimum of 300 mm
- Dimension B must be a maximum of 250 mm
- Dimension C must be a maximum of 300 mm
- Dimension E must not be more than half the height of the door aperture (H).



253-49

8.3.2.6 Anclajes de la estructura de seguridad a la carrocería/chasis

El mínimo de puntos de anclaje es:

- 1 para cada montante del arco delantero
- 1 para cada montante de los arcos laterales o semiarcos laterales
- 1 para cada montante del arco principal
- 1 para cada tirante longitudinal trasero

Para conseguir un montaje óptimo sobre la carrocería, el guarnecido original puede ser modificado junto a la estructura de seguridad o sus puntos de anclaje, recortándolo o modificándolo localmente.

Sin embargo, esta modificación no permite la eliminación completa de partes de la tapicería o guarnecido.

Donde sea necesario, la caja de fusibles puede ser trasladada para fijar la estructura de seguridad.

Puntos de anclaje del arco delantero, arco principal, arcos laterales o semiarcos laterales:

Cada punto de anclaje debe incluir una placa de refuerzo, de un espesor de, al menos, 3 mm.

Cada pie de anclaje debe estar fijado por, al menos, 3 tornillos en una placa de refuerzo de, al menos, 3 mm de espesor y de, al menos, 120 cm² que estará soldada a la carrocería.

Para los vehículos homologados a partir del 01/01/2007, el área de 120 cm² debe ser la de contacto entre la placa de refuerzo y la carrocería.

Se muestran ejemplos en los dibujos 253-50 a 253-56.

Para el dibujo 253-52 la placa de refuerzo no necesita estar soldada necesariamente a la carrocería.

En el caso del dibujo 253-54, los laterales de los puntos de anclaje pueden estar cerrados con una placa soldada.

Los tornillos deben ser de, al menos, M8 de una calidad ISO 8.8 o mejor (norma ISO).

Las tuercas serán autoblocantes o dotadas de arandelas de bloqueo.

El ángulo entre 2 tornillos (medido con respecto al eje central del tubo al nivel del pie de anclaje, véase el dibujo 253-50) no debe ser inferior a 60 grados.

Puntos de anclaje de los tirantes traseros:

Cada tirante longitudinal trasero deberá fijarse con un mínimo de 2 tornillos M8 con las placas de refuerzo de un área de, al menos, 60 cm² (dibujo 253-57), o fijadas por un solo tornillo a doble cizalladura, (dibujo 253-58), bajo reserva de que sea de la sección y resistencia adecuadas y a condición de que se suelde un manguito al tirante.

Estas exigencias son las mínimas.

Como complemento podrán utilizarse fijaciones suplementarias, los pies de los arcos podrán soldarse a las placas de refuerzo, las estructuras (definidas por el art. 253-8.3.1) podrán soldarse a la carrocería/chasis.

Caso especial:

Mounting of safety cages to the bodyshell/chassis

Minimum mounting points are:

- 1 for each pillar of the front rollbar
- 1 for each pillar of the lateral rollbars or lateral half-rollbars
- 1 for each pillar of the main rollbar
- 1 for each backstay

To achieve an efficient mounting to the bodyshell, the original interior trim may be modified around the safety cages and their mountings by cutting it away or by distorting it.

However, this modification does not permit the removal of complete parts of upholstery or trim.

Where necessary, the fuse box may be moved to enable a safety cage to be fitted.

Mounting points of the front, main, lateral rollbars or lateral half-rollbars:

Each mounting point must include a reinforcement plate at least 3 mm thick.

Each mounting foot must be attached by at least three bolts on a steel reinforcement plate at least 3 mm thick and of at least 120 cm² area which is welded to the bodyshell.

For cars homologated as from 01.01.2007, the area of 120 cm² must be the contact surface between the reinforcement plate and the bodyshell.

Examples according to Drawings 253-50 to 253-56.

For Drawing 253-52, the reinforcement plate need not necessarily be welded to the bodyshell.

In the case of Drawing 253-54, the sides of the mounting point may be closed with a welded plate.

Fixing bolts must have a minimum diameter of M8 and a minimum quality of 8.8 (ISO standard).

Fasteners must be self-locking or fitted with lock washers.

The angle between 2 bolts (measured from the tube axis at the level of the mounting foot cf. Drawing 253-50) must not be less than 60 degrees.

Mounting points of the backstays:

Each backstay must be secured by a minimum of 2 M8 bolts with mounting feet of at least 60 cm² area (Drawing 253-57), or secured by a single bolt in double shear (Drawing 253-58), provided it is of adequate section and strength and provided that a bush is welded into the backstay.

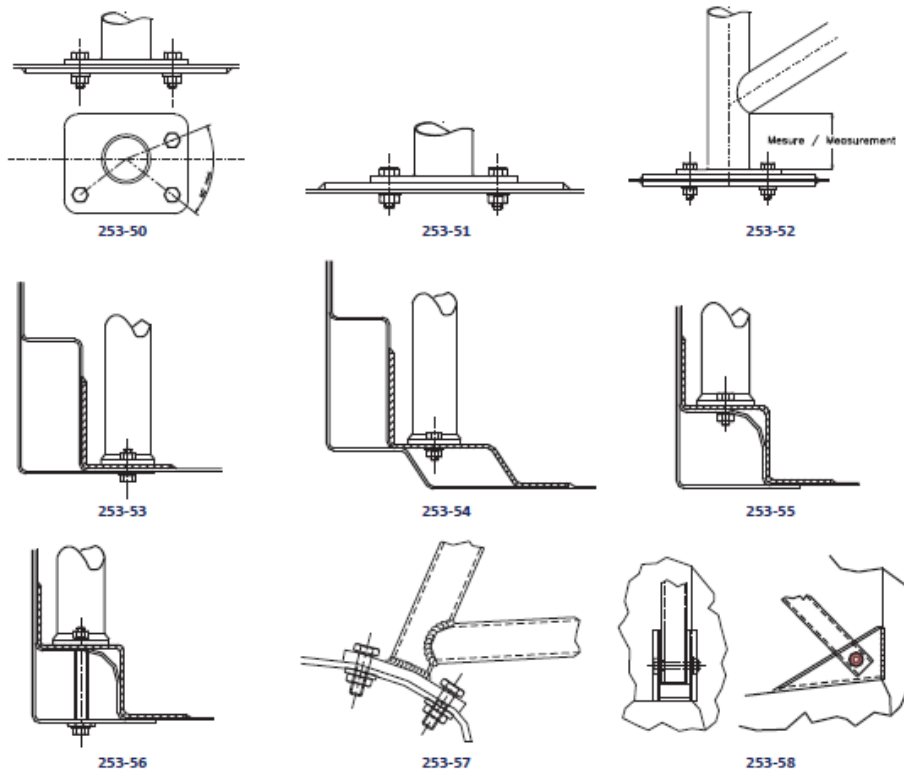
These are minimum requirements.

In addition, more fasteners may be used, the support plates of the mounting feet may be welded to reinforcement plates, the safety cage (as defined by Article 253-8.3.1) may be welded to the bodyshell/chassis.

Special case:

Para carrocerías/chasis que no sean de acero, cualquier soldadura entre la estructura de seguridad y la carrocería/chasis está prohibida, solo se permite el pegado de la placa de refuerzo a la carrocería/chasis.

For non-steel bodyshells/chassis, any weld between the cage and the bodyshell/chassis is prohibited, only the bonding of the reinforcement plate on the bodyshell/chassis is permitted.



8.3.3

Especificaciones del Tubo

Sólo se autorizan tubos de sección circular.

Especificaciones de los tubos utilizados:

Material	Resistencia mínima a la tracción	Dimensiones mínimas (mm)	Aplicación
Acero al carbono no aleado (ver a continuación) conformado en frío sin soldadura conteniendo un máximo del 0,3% de carbono.	350 N/mm ²	45 x 2.5 (1.75"x0.095") o 50 x 2.0 (2.0"x0.083")	Arco principal (Dibujos 253-1 y 253-3) o arcos laterales y miembros transversales traseros (Dibujos 253-2) según la construcción
		38 x 2.5 (1.5"x0.095") o 40 x 2.0 (1.6"x0.083")	Semiarcos laterales y otras partes de la estructura de seguridad (a menos que se indique lo contrario en los artículos anteriores)

Tube specifications

Only tubes with a circular section are authorised.

Specifications of the tubes used:

Material	Minimum tensile strength	Minimum dimensions (mm)	Use
Cold drawn seamless unalloyed carbon steel (see below) containing a maximum of 0.3 % of carbon	350 N/mm ²	45 x 2.5 (1.75"x0.095") or 50 x 2.0 (2.0"x0.083")	Main rollbar (Drawings 253-1 and 253-3) or Lateral rollbars and Rear transverse member (Drawing 253-2)
		38 x 2.5 (1.5"x0.095") or 40 x 2.0 (1.6"x0.083")	Lateral half-rollbars and other parts of the safety cage (unless otherwise indicated in the articles above)

	NOTA: Para un acero no aleado, el contenido máximo de aditivos es de 1,7% para manganeso y de 0,6% para otros elementos. Al seleccionar el acero, debe prestarse atención a la obtención de buenas propiedades de elongación y adecuadas características de soldabilidad. El curvado del tubo debe hacerse en frío con un radio de curvatura (medido en el eje del tubo) de, al menos, 3 veces el diámetro. Si el tubo se ovaliza durante esta operación la relación entre el diámetro menor y mayor no será inferior a 0,9. La superficie al nivel de los ángulos debe ser uniforme sin ondulaciones ni fisuras.	NOTE: For unalloyed steel, the maximum content of additives is 1.7 % for manganese and 0.6 % for other elements. In selecting the steel, attention must be paid to obtaining good elongation properties and adequate weldability. The tubing must be bent by a cold working process and the centreline bend radius must be at least 3 times the tube diameter. If the tubing is ovalised during bending, the ratio of minor to major diameter must be 0.9 or greater. The surface at the level of the bends must be smooth and even, without ripples or cracks.
8.3.4	Indicaciones para la soldadura Deberán cubrir todo el perímetro del tubo. Todas las soldaduras deben ser de la mejor calidad posible y de una penetración total (preferentemente usando soldadura al arco en atmósfera de gas inerte). Aunque una buena apariencia exterior no garantiza necesariamente la calidad de la soldadura, una soldadura de mala apariencia no será nunca señal de un buen trabajo. En el caso de utilizar acero tratado térmicamente deben seguirse las instrucciones del fabricante (electrodos especiales, soldadura en atmósfera inerte).	Guidance on welding These must be carried out along the whole perimeter of the tube. All welds must be of the highest possible quality with full penetration and preferably using a gas-shielded arc. Although good external appearance of a weld does not necessarily guarantee its quality, poor looking welds are never a sign of good workmanship. When using heat-treated steel the special instructions of the manufacturers must be followed (special electrodes, gas protected welding).
8.3.5	Revestimiento protector En los lugares donde los cuerpos de los ocupantes puedan entrar en contacto con la estructura de seguridad debe instalarse un revestimiento protector no inflamable. En aquellos puntos en los que los cascos de los ocupantes pudieran entrar en contacto con la estructura de seguridad, el revestimiento debe cumplir con la Norma FIA 8857-2001, tipo A (ver la Lista Técnica nº 23 "Revestimiento de Arco de Seguridad Homologado por la FIA") y debe estar fijada permanentemente a la estructura. <u>Aplicación:</u> Para todas las categorías.	Protective padding Where the occupants' bodies could come into contact with the safety cage, flame retardant padding must be provided for protection. Where the occupants' crash helmets could come into contact with the safety cage, the padding must comply with FIA standard 8857-2001, type A (see technical list n°23 "Roll Cage Padding Homologated by the FIA") and must be permanently fixed to the cage. <u>Application:</u> For all categories.
ART. 9	VISIÓN HACIA ATRÁS La visión hacia atrás debe estar asegurada por dos retrovisores exteriores (uno en el lado derecho y otro en el izquierdo). Esos retrovisores pueden ser los de serie. Cada retrovisor debe tener al menos una superficie de cristal de espejo de 90 cm². El retrovisor interior es opcional. <u>Aplicación:</u> Grupos N, A, R, Súper 2000 Rallies y WRC. Un recorte sobre el cuerpo del retrovisor (máximo 25 cm² por retrovisor) se autoriza para ventilación del habitáculo. Se puede modificar la puerta en el soporte del espejo retrovisor para hacer un recorte equivalente a 25cm² como máximo. <u>Aplicación:</u> Sólo en rallies, Grupos N, A, Súper 2000 Rallies y WRC.	REAR VIEW Rearward visibility must be ensured by two external rear-view mirrors (one on the right and one on the left). These rear-view mirrors may be as standard. Each rear-view mirror must have a reflecting surface of at least 90 cm². An inside rear-view mirror is optional. <u>Application:</u> Groups N, A, R, Super 2000 Rallies and WRC. A cut-out (maximum surface 25 cm² per mirror) is authorised in the rear view mirror housing for cockpit ventilation. The door may be modified at the mounting of the rear view mirror to make an equivalent cut-out of 25 cm² maximum. <u>Application:</u> only in rallies, Groups N, A, R, Super 2000 Rallies and WRC.
ART. 10	ANILLA PARA REMOLQUE Todos los vehículos deben estar equipados con una anilla de remolque delantera y otra trasera en todas las competiciones. Este enganche solo se usará si el vehículo puede moverse libremente. Debe ser fácilmente visible y estar pintada en amarillo, rojo o naranja.	TOWING-EYE All cars must be equipped with a rear and front towing-eye for all competitions. This towing-eye will only be used if the car can move freely. It must be clearly visible and painted in yellow, red or orange.
ART. 11	LUNAS Y REDES Lunas Todas las lunas deben estar certificadas para su uso en carretera, dando fe su marcado. Para vehículos de 4 o 5 puertas, se puede colocar una pieza intermedia entre la parte superior de la ventana y la de la abertura en la puerta para la ventana, siempre que no tenga otra función que ventilar el habitáculo y que no sobresalga más allá del perímetro de la superficie exterior de la ventana. El parabrisas será de vidrio laminado. Se puede instalar una o varias láminas transparentes o tintadas (espesor máximo total de 400 micras) en la superficie externa, salvo que esté prohibido por el reglamento de tráfico del país por donde	WINDOWS / NETS Windows The windows must be certified for road use, their marking standing as proof. For cars with 4 or 5 doors, an intermediate part may be fitted between the upper part of the window and the upper part of the rear door window opening, provided that it has no function other than to ventilate the cockpit and that it does not protrude beyond the exterior surface of the window. The windscreen must be made of laminated glass. It may be fitted with one or several transparent and colourless films (maximum total thickness of 400 microns) on its outer surface, unless this is forbidden by the traffic regulations of the country(ies)

PRESUPUESTO

Para el apartado económico, ya representado y explicado con las tablas correspondientes en el punto cuatro, se establecen los siguientes aspectos:

El coste del trabajo de modelado y soldadura, considerando que la tabla anterior solo incluye el coste del material bruto. Para esta segunda parte del coste, se ha consultado con múltiples compañías para obtener una estimación, estableciéndose que el coste de la soldadura es de 90 euros por hora. El tiempo estimado de soldadura varía entre 8 y 18 horas, resultando en un coste de entre 720 y 1.620 euros. Cabe mencionar que esto no incluye el proceso de preparación del material, que implica cortar el material bruto para su posterior ensamblaje.

Este proceso de preparación tiene un coste estimado de 60 euros por hora, con una duración aproximada de 14 a 18 horas de trabajo, lo que establece un coste de entre 840 y 1.080 euros. Por lo tanto, el coste total de fabricación de la jaula se encuentra en un rango de 1.560 a 2.700 euros, al cual se debe añadir el coste representado en las tablas previamente.

Adicionalmente, se debe considerar el coste del ingeniero, que puede valorarse de dos maneras: realizando la simulación en un modelo específico propuesto por un cliente, o creando un modelo desde cero, como ha sido en este caso. La principal diferencia entre ambas situaciones es el tiempo empleado, ya que el coste del ingeniero por hora es el mismo en ambos casos, con un rango de 75 a 120 euros por hora.

En este proyecto, se ha empleado un tiempo de aproximadamente 50 horas. Sin embargo, dado que mi experiencia en este sector es limitada, este tiempo no debe considerarse directamente. Consultando con diferentes empresas del sector, se establece que un ingeniero con experiencia puede calcular y diseñar todo el modelo en un plazo de 6 a 8 horas por modelo estructural. Por lo tanto, el coste de ingeniería para 3 o 4 modelos se sitúa en un rango aproximado de 2.400 a 3.840 euros.

En conclusión, el coste total por jaula, incluyendo todos los componentes, se encuentra en un rango de entre 5.000 y 10.000 euros, que corresponde al rango existente en el mercado actual.

BIBLIOGRAFÍA

Acero al Carbono E470. (s/f). Tubos Mecánicos. Recuperado de <https://tubosmecanicos.es/es/acero-carbono/e470>

BARRAS ANTIVUELCO - *rallystore.net.* (s/f). Rallystore.net. Recuperado de <https://rallystore.net/es/6225-barras-antivuelco>

FICHA TECNICA SAE 1045. (s/f). Europer.cl. Recuperado de: <https://europer.cl/wp-content/uploads/2021/10/INFORMACION-TECNICA-SAE-1045.pdf>

Jaula antivuelco, normativa de seguridad. (2020). El blog de Rodiauto Sport; Rodiauto Sport. <https://blog.rodiautosport.es/estructuras-de-seguridad-jaulas-antivuelco/>

Jaulas antivuelco. (s/f). ANCustoms Motorsport. Recuperado de <https://www.ancustoms.com/jaulas-antivuelco>

Jhonsalinas4B, P. P. (s/f). *Seguridad Activa y Pasiva.* Blogspot.com. Recuperado de <https://jhondelpoli-2011.blogspot.com/2014/05/carroceria-con-deformacion-programada.html>

Parikh, B. (2017). *El elemento de seguridad más importante de WRC.* Red Bull. <https://www.redbull.com/es-es/como-funciona-una-jaula-antivuelco-wrc-seguridad>

Real Federación Española de Automovilismo. (2024). *ANEXO 8 - REGLAMENTO TÉCNICO PROTOTIPOS.* Rfeda.es. Recuperado de: https://www.rfeda.es/docs/pdf/reglamentos/03_cert/08.02%20CERT%202024%20RT%20Prototipos_15.12.23.pdf

Todo sobre las jaulas antivuelco. - Rodiauto Sport. (2022). El blog de Rodiauto Sport; Rodiauto Sport. <https://blog.rodiautosport.es/todo-sobre-las-jaulas-antivuelco/>