

# Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de sistema de protección trasera  
antiempotramiento de camión según R58

Design and calculation of underrun rear protection  
system for truck according to R58

Autor

**Juan Albesa**

Directores

David Valladares Hernando

Luis Castejón Herrer

Escuela de ingeniería y arquitectura

2021



# AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por apoyarme y estar siempre ahí.

A mis compañeros y amigos por enseñarme lo que se aprende más allá de las clases.

A mis tutores por guiarme en el desarrollo de este trabajo, en especial a David quien siempre tuvo tiempo para resolver mis dudas a lo largo del trabajo.

# **Diseño y cálculo de sistema de protección trasera antiempotramiento de camión según R58**

## **RESUMEN**

El presente trabajo de fin de grado tiene como objetivo el estudio de un sistema de protección trasera antiempotramiento del remolque de un camión. Estos dispositivos van colocados en la parte trasera inferior del remolque del camión para evitar el empotramiento de otros vehículos sobre esta parte del camión y evitar a su vez que lleguen a incrustarse bajo el remolque.

Estos dispositivos deben ser homologados antes de poder colocarse y circular, por esto se pretende estudiar un diseño que mejore su resistencia y rigidez ante las situaciones de ensayo recogidas en el reglamento UNECE Nº 58 (Reglamento nº 58 de la comisión económica europea, 2019) con el mínimo peso posible.

La primera fase del proyecto consistirá en el estudio de la normativa aplicable: R58. para determinar los requisitos recogidos en la reglamentación existente en la actualidad en cuanto a sistemas de protección trasera antiempotramiento para camiones.

La segunda fase del proyecto consistirá en el estudio del diseño y geometrías del sistema de protección trasero con objeto de mejorar su comportamiento mecánico, a su vez estudiaremos el empleo de espumas PUR como relleno de perfiles de acero.

En la tercera fase realizaremos el cálculo numérico por el método M.E.F. utilizando el software de diseño Autodesk Inventor Nastran para analizar los resultados, de esta manera buscaremos la mejor opción para incrementar su resistencia y rigidez ante las situaciones de ensayo recogidas en el reglamento UNECE Nº58, también analizaremos la influencia en los resultados del empleo de espumas PUR como relleno de los perfiles de acero empleados en el sistema.



# INDICE:

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| 1.1.   | Ámbito.....  | 1  |
| 1.2.   | Objetivo .....   | 1  |
| 1.3.   | Metodología .....  | 2  |
| 1.4.   | Descripción de la memoria .....                            | 2  |
| 2.     | DISEÑO DEL DISPOSITIVO .....                               | 3  |
| 2.1.   | Criterios de diseño que exige la norma aplicable R58.....  | 3  |
| 2.2.   | Criterios de ensayo que exige la norma aplicable R58.....  | 4  |
| 2.3.   | Descripción del dispositivo Underrun.....                  | 6  |
| 2.3.1. | Materiales .....   | 6  |
| 2.3.2. | Bastidor .....   | 12 |
| 2.3.3. | Diseños preliminares.....                                  | 13 |
| 2.3.4. | Diseño definitivo .....                                    | 15 |
| 3.     | ANÁLISIS Y CÁLCULO DEL DISPOSITIVO.....                    | 18 |
| 3.1.   | Mallado .....  | 18 |
| 3.2.   | Simulación de ensayo diseño preliminar 1.....              | 20 |
| 3.3.   | Simulación de ensayo diseño preliminar 2.....              | 24 |
| 3.4.   | Simulación de ensayo diseño definitivo.....                | 27 |
| 3.4.1  | Ensayo carga P2 .....                                      | 27 |
| 3.4.2  | Ensayo carga P1 .....                                      | 33 |
| 3.4.3  | Ensayo carga P3 .....                                      | 36 |
| 3.4.4  | Ensayo pandeo P2 .....                                     | 38 |
| 3.4.5  | Conclusión ensayo .....                                    | 39 |
| 3.5    | Simulación de ensayo diseño definitivo con mejora PUR..... | 40 |
| 3.5.1  | Ensayo carga P2 .....                                      | 40 |
| 3.5.2  | Ensayo carga P1 .....                                      | 44 |
| 3.5.3  | Ensayo carga P3 .....                                      | 46 |
| 3.5.4  | Ensayo pandeo P2 .....                                     | 48 |
| 3.5.5  | Conclusión ensayo mejora con espuma PUR .....              | 49 |
| 4.     | CONCLUSIÓN GENERAL .....                                   | 50 |
| 4.1    | Conclusiones .....   | 50 |
| 4.2    | Líneas futuras.....  | 52 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 5.  | BIBLIOGRAFÍA .....  | 53 |
| 6.  | ANEXOS .....  | 54 |
| 6.1 | Anexo 1: Análisis de accidentes con camiones de gran tonelaje ...     | 54 |
| 6.2 | Anexo 2: Categorías de vehículos.....                                 | 56 |
| 6.3 | Anexo 3: Materiales.....  | 58 |
| 6.4 | Anexo 4: Nastran <i>Inventor</i> ( <i>simulación mecánica</i> ) ..... | 61 |
| 6.5 | Anexo 5: Criterios de diseño que exige la norma aplicable R58. ...    | 62 |

# INDICE DE IMÁGENES

|  |    |
|--|----|
| Imagen 1: Distribución de cargas (ELABORACION PROPIA A PARTIR DE DATOS UNECE R58)..... | 5  |
| Imagen 2: S355J2 ( (AUSA, 2020)) .....   | 6  |
| Imagen 3:Strenx 960 PLUS (SSAB PRODUCTOS, 2020).....                                   | 7  |
| Imagen 4:Strenx 960 Cr (SSAB PRODUCTOS, 2020) .....                                    | 9  |
| Imagen 5: PUR Características (G.Caprino, 1989) .....                                  | 10 |
| Imagen 6:Características bastidor (LECIÑENA TRAILER, 2019) .....                       | 12 |
| Imagen 7: Frontal diseño 1.....  | 13 |
| Imagen 8: Parte trasera diseño 1 .....   | 13 |
| Imagen 9: Parte frontal diseño 2.....  | 14 |
| Imagen 10: Parte trasera diseño 2 .....  | 14 |
| Imagen 11: Unión a travesaño diseño 2.....   | 15 |
| Imagen 12: Frontal diseño definitivo .....   | 16 |
| Imagen 13: Parte trasera diseño definitivo .....                                       | 16 |
| Imagen 14: Unión a travesaño diseño definitivo .....                                   | 17 |
| Imagen 15: Ensayo Tensión equivalente VON MISSES diseño preliminar 1 .....             | 20 |
| Imagen 16: Ensayo Tensión equivalente VON MISSES diseño preliminar 1 .....             | 21 |
| Imagen 17: Ensayo deformación diseño preliminar 1 .....                                | 21 |
| Imagen 18: Ensayo deformación diseño preliminar 1 .....                                | 22 |
| Imagen 19: Ensayo Desplazamiento diseño preliminar 1 .....                             | 22 |
| Imagen 20: Ensayo Coeficiente de seguridad diseño preliminar 1 .....                   | 23 |
| Imagen 21: Ensayo Tensión equivalente VON MISSES diseño preliminar 2 .....             | 24 |
| Imagen 22: Ensayo Tensión equivalente VON MISSES diseño preliminar 2 .....             | 24 |
| Imagen 23: Ensayo deformación diseño preliminar 2 .....                                | 25 |
| Imagen 24: Ensayo deformación diseño preliminar 2 .....                                | 26 |
| Imagen 25: Ensayo Desplazamiento diseño preliminar 2 .....                             | 26 |
| Imagen 26: Ensayo Tensión equivalente de VON MISSES diseño definitivo P2.....          | 27 |
| Imagen 27: Ensayo Tensión equivalente de VON MISSES diseño definitivo P2.....          | 28 |
| Imagen 28: Tensión Equivalente Von Misses Máxima pletina trasera .....                 | 29 |
| Imagen 29:Tensión Equivalente Von Misses Máxima pletina trasera .....                  | 29 |
| Imagen 30: Ensayo de formación diseño definitivo P2 .....                              | 30 |
| Imagen 31: Ensayo deformación diseño definitivo P2.....                                | 30 |
| Imagen 32: Ensayo deformación diseño definitivo P2.....                                | 31 |
| Imagen 33: Ensayo deformación diseño definitivo P2.....                                | 32 |
| Imagen 34: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo P1 .....            | 33 |
| Imagen 35: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo P1.....             | 34 |
| Imagen 36: Ensayo deformación diseño definitivo P1.....                                | 34 |
| Imagen 37: Ensayo deformación diseño definitivo P1.....                                | 35 |
| Imagen 38: Ensayo desplazamiento diseño definitivo P1 .....                            | 35 |
| Imagen 39: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo P3 .....            | 36 |
| Imagen 40: Ensayo deformación diseño definitivo P3.....                                | 37 |
| Imagen 41: Ensayo desplazamiento diseño definitivo P1 .....                            | 37 |
| Imagen 42: Ensayo Pandeo 1 diseño definitivo P2 .....                                  | 38 |
| Imagen 43: Ensayo Pandeo 2 diseño definitivo P2 .....                                  | 39 |

|  |           |
|--|-----------|
| Imagen 44: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo + PUR P2 .....            | 40        |
| Imagen 45: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo + PUR P2 .....            | 41        |
| Imagen 46: Ensayo deformación diseño definitivo + PUR P2 .....                               | 42        |
| Imagen 47: Ensayo desplazamiento diseño definitivo + PUR P2 .....                            | 43        |
| Imagen 48: Ensayo Tensión Equivalente de Von Misses diseño definitivo + PUR P1 .....         | 44        |
| Imagen 49: Ensayo deformación diseño definitivo + PUR P2 .....                               | 45        |
| Imagen 50: Ensayo deformación diseño definitivo + PUR P2 .....                               | 45        |
| Imagen 51: Ensayo Tensión equivalente Von Misses diseño definitivo + PUR P3 .....            | 46        |
| Imagen 52: Ensayo deformación diseño definitivo + PUR P3 .....                               | 47        |
| Imagen 53: Ensayo desplazamiento máximo diseño definitivo + PUR P3 .....                     | 47        |
| Imagen 54: Pandeo caso 1 PUR.....  | 48        |
| Imagen 55: Pandeo caso 2 PUR.....  | 48        |
| <i>Imagen 56: Accidente por alcance (ANCOSEV, 2015) .....</i>                                | <i>54</i> |
| Imagen 57: Crash test por alcance (ANCOSEV, 2015) .....                                      | 55        |
| Imagen 58: Clasificación categoría de vehículos (ITV Tres Aguas, 2020) .....                 | 56        |
| Imagen 59: Clasificación categoría de vehículos (ITV Tres Aguas, 2020) .....                 | 57        |
| Imagen 60: Características S355J2 (AUSA, 2020).....  | 58        |
| Imagen 61: Características espuma PUR (G.Caprino, 1989) .....                                | 59        |
| Imagen 62: Características Strenx 960 PLUS (SSAB PRODUCTOS, 2020) .....                      | 60        |
| Imagen 63: Descripción espuma PUR (Asociación de la industria Poliuretano Rígido, 2019) .... | 60        |
| Imagen 64: Características Strenx 960 Cr (SSAB PRODUCTOS, 2020).....                         | 61        |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Características S355J2 .....  | 6  |
| Tabla 2: Características Strenx 960 PLUS .....                               | 8  |
| Tabla 3: Características Strenx 960 Cr .....                                 | 9  |
| Tabla 4: Características PUR 70 kg/m <sup>3</sup> .....                      | 11 |
| Tabla 5: Componentes diseño 1 .....  | 13 |
| Tabla 6: Componentes diseño 2 .....  | 15 |
| Tabla 7: Componentes diseño definitivo .....                                 | 17 |
| Tabla 8: Tipos de mallado.....   | 18 |
| Tabla 9: Coeficiente de seguridad diseño 1 preliminar.....                   | 23 |
| Tabla 10: Tensión Equivalente de Von Misses Máxima diseño preliminar 2 ..... | 25 |
| Tabla 11: Tensión Equivalente Von Misses Máxima .....                        | 28 |
| Tabla 12: Deformación Máxima diseño definitivo P2 .....                      | 31 |
| Tabla 13: Tensión Equivalente Von Misses Máxima diseño definitivo P1 .....   | 33 |
| Tabla 14: Tensión equivalente Von misses diseño definitivo P1 .....          | 34 |
| Tabla 15: Tensión equivalente Von misses diseño definitivo P1 .....          | 36 |
| Tabla 16: Tensión equivalente Von misses diseño definitivo + PUR P2.....     | 41 |
| Tabla 17: Deformación diseño definitivo + PUR P2.....                        | 42 |
| Tabla 18: Tensión equivalente Von misses diseño definitivo + PUR P2.....     | 44 |
| Tabla 19: Resumen resultados diseños P2 .....                                | 51 |

## INDICE DE GRÁFICAS

|   |    |
|---|----|
| Gráfica 1: Gráfica curva elasto-plástica S355J2.....                          | 7  |
| Gráfica 2:Gráfica curva elasto-plástica Strenx 960 PLUS .....                 | 8  |
| Gráfica 3:Gráfica curva elasto-plástica Strenx 960 Cr .....                   | 9  |
| Gráfica 4: Gráfica curva elasto-plástica Strenx PUR 70Kg/m <sup>3</sup> ..... | 11 |
| Gráfica 5: Tamaño malla/ Tensión .....  | 19 |
| Gráfica 6: Tamaño malla/ Desplazamiento .....                                 | 19 |

## 1. INTRODUCCIÓN

En ingeniería, el diseño mecánico es el proceso de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de un elemento para que cumpla unas determinadas funciones o necesidades.

En la simulación virtual o análisis mecánico comprobaremos la resistencia de los productos para evitar fallos posteriores a su fabricación, también verificaremos que los elementos estructurales que incorporan son capaces de soportar las cargas funcionales a las que son sometidos

### 1.1. Ámbito

El ámbito donde se desarrolla este trabajo está comprendido dentro de la ingeniería mecánica, concretamente en el diseño mecánico y el análisis mecánico.

En este trabajo analizaremos el diseño y comportamiento de un sistema de protección trasera anti-empotramiento para camión.

Para el diseño mecánico utilizaremos Autodesk Inventor, el cual es un programa de modelado paramétrico de sólidos en 3D.

Para el análisis usaremos el método de elementos finitos (M.E.F.), este es un método utilizado en ingeniería para estimar el rendimiento y las variaciones producidas por las tensiones y las deformaciones en estructuras mecánicas.

### 1.2. Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es crear un diseño de sistema de protección trasera anti-empotramiento de camión. Se pretende estudiar y mejorar su resistencia y rigidez ante las situaciones de ensayo recogidas en el reglamento UNECE Nº 58 (Reglamento nº 58 de la comisión económica europea, 2019).

El diseño propuesto se calculará con distintos materiales y geometrías con objeto de mejorar su comportamiento mecánico. Se analizará la influencia en los resultados de empleo de espumas de PUR como relleno en los perfiles de acero.

### 1.3. Metodología

En este proyecto empezaremos estudiando los requisitos recogidos en la reglamentación existente en la actualidad en cuanto a sistemas de protección trasera anti-empotramiento para camiones, de la normativa aplicable: R58 (Reglamento nº 58 de la comisión económica europea, 2019).

A continuación, una vez conocidos los requisitos realizaremos el diseño 3D del sistema de protección en Autodesk Inventor, el cual se adapte a los requisitos previamente estudiados.

Una vez tengamos el diseño realizaremos el cálculo por el método M.E.F. utilizando Autodesk Inventor Nastran para comprobar la resistencia y la rigidez de la estructura, de esta forma analizaremos los datos que nos aportan los distintos materiales empleados y el uso de la espuma PUR, además realizaremos un estudio de sensibilidad de malla para descubrir que tamaño de malla es el óptimo.

Con todo esto ya podremos optimizar la estructura según resultados y la inclusión de espuma PUR.

### 1.4. Descripción de la memoria

La memoria está compuesta de 3 capítulos que explican el trabajo desarrollado en la realización del TFG.

1. Diseño del dispositivo, en esta parte explicaremos los siguientes apartados:
  - los criterios de diseño que exige la norma aplicable R58.
  - Presentación y descripción de los materiales a emplear.
  - la descripción de los elementos del dispositivo.
2. Análisis y cálculo del dispositivo, donde analizaremos:
  - Análisis del mallado de los elementos.
  - Ensayos y resultados.
3. Conclusión de los resultados obtenidos a partir de los cálculos anteriores y exposición de la estructura óptima que cumpla la normativa aplicable R58.

## 2. DISEÑO DEL DISPOSITIVO

Un dispositivo de protección trasera contra el empotramiento, según la Directiva 70/221 sobre Depósitos de combustible y dispositivos de protección trasera, consiste en:

*«Un dispositivo de protección trasera contra el empotramiento, en adelante denominado, «dispositivo», consistirá, por regla general, en un travesaño y en elementos de conexión a los largueros del bastidor o a aquello que haga sus veces.»* (Agencia Estatal, 1979)

En este apartado expondremos los criterios que exige la norma, los criterios de ensayo y por consiguiente explicaremos los materiales y diseño elegido para que cumpla la normativa y a su vez poder obtener un sistema de protección trasera antiempotramiento lo más ligero posible.

El trabajo del diseño consistirá en 3 etapas, primero se diseñará un dispositivo con la geometría más optima posible, segundo se elegirá el material correspondiente para cada elemento, y por último se realizará la simulación del ensayo, en función de los datos obtenidos se optará por modificar la geometría o modificar los materiales utilizados para que el dispositivo cumpla con los requisitos de la norma con el menor peso posible.

### 2.1. Criterios de diseño que exige la norma aplicable R58.

Para RUP (underrun protection system) de vehículos de la categoría O4, que es nuestro caso (*anexo 2*), sin ningún sistema de elevación de plataforma y sin estar diseñado como un remolque basculante, la distancia horizontal máxima entre la parte trasera del dispositivo y el punto más exterior en la extremidad trasera del vehículo es de 200 mm antes de la prueba y a 300 mm durante la prueba cuando se aplican las fuerzas, medidos en la parte trasera del travesaño.

Antes de la prueba la distancia horizontal máxima permitida en el elemento transversal de un RUPD será de 100 mm entre la parte posterior del elemento transversal, medido en el punto más adelantado y la parte posterior del elemento transversal medido en el punto más retrasado, medido en el plano longitudinal del vehículo.

El ancho de la RUP no deberá exceder en ningún momento el ancho del eje trasero medido en los puntos más exteriores de las ruedas, excluyendo el abultamiento de neumáticos cerca del suelo, ni el RUP podrá ser 100 mm más corto a cada lado.

El travesaño debe tener una altura de sección de al menos 120 mm. Las extremidades laterales del travesaño no deben doblarse hacia atrás ni tener un borde exterior afilado.

El RUP debe ofrecer una resistencia adecuada a las fuerzas aplicadas paralelas al eje longitudinal del vehículo y estar conectado, cuando está en la posición de servicio, con los miembros laterales del chasis o lo que sea que los reemplace. Este requisito se cumplirá si se demuestra que tanto durante como después de la aplicación de las fuerzas, la distancia horizontal entre la parte trasera de la RUP y el punto más hacia atrás en la extremidad trasera del vehículo, incluido



cualquier sistema de elevación de la plataforma, no exceda los 400 mm en ninguno de los puntos donde las fuerzas de prueba se aplican. Al medir esta distancia, se excluirá cualquier parte del vehículo que esté a más de 2 m del suelo cuando el vehículo esté sin carga.

Después de aplicar las fuerzas de la prueba, la distancia al suelo máxima del dispositivo de protección, incluso cuando el vehículo esté sin carga, no deberá en ningún momento exceder en más de 60 mm el valor de antes de la prueba. Para vehículos con un ángulo de salida de hasta 8 °, la distancia al suelo máxima no debe superar los 60 mm.

## **2.2. Criterios de ensayo que exige la norma aplicable R58.**

Procedimiento del test:

- 2.2.1 La pletina sobre la que se aplicarán las cargas deberá tener una cara que no exceda 250 mm de altura (cubriendo la altura máxima del travesaño) y 200 mm de ancho, en nuestro caso 120 mm de alto por 200 mm de ancho.
- 2.2.2 Una fuerza horizontal de 180kN se aplicará consecutivamente a dos puntos situados simétricamente alrededor de la línea central del dispositivo o del vehículo, según corresponda, a una distancia mínima de 700 mm y un máximo de 1 m. El fabricante especificará la ubicación exacta de los puntos de aplicación, en nuestro caso 700mm.
- 2.2.3 Una fuerza horizontal de 100KN se aplicará consecutivamente a dos puntos ubicados a  $300 \pm 25$  mm desde los planos longitudinales tangenciales a los bordes exteriores de ruedas en el eje trasero o del RUP, si este excede el ancho del eje trasero, también se aplicará una fuerza de 100KN en un tercer punto ubicado en la línea que une estos dos puntos, en el plano vertical medio del vehículo.

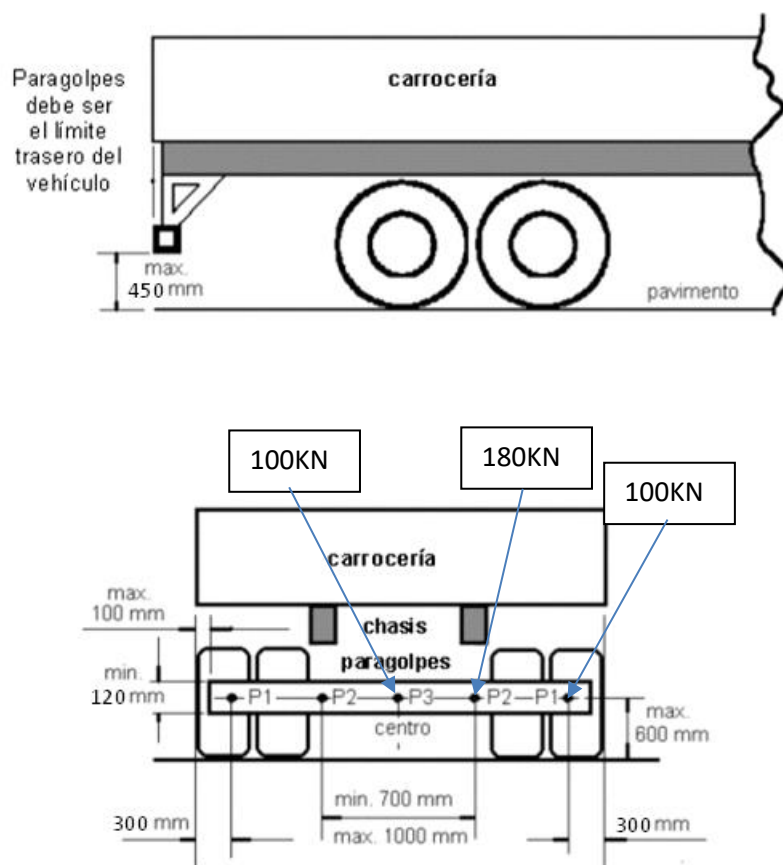


Imagen 1: Distribución de cargas (ELABORACION PROPIA A PARTIR DE DATOS UNECE R58)

Las cargas se aplicarán sobre el perfil mediante una placa de dimensiones 200 x 120 x 10 para cumplir con la Directiva:

«Las fuerzas indicadas deberán aplicarse por medio de dispositivos convenientemente articulados (por ejemplo, mediante juntas universales), paralelamente al plano longitudinal mediano del vehículo, a través de una superficie de una altura máxima de 25 cm —la altura exacta deberá indicarla el fabricante— y de 20 cm de ancho, cuyos bordes verticales tengan un radio de curvatura de  $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  y cuyo centro esté situado sucesivamente en los puntos P1, P2 y P3.» (Reglamento nº 58 de la comisión económica europea, 2019)

## 2.3. Descripción del dispositivo Underrun

### 2.3.1. Materiales

La finalidad de la elección de los materiales es conseguir un dispositivo antiempotramiento lo más resistente y ligero posible, a continuación, se analizan los distintos materiales utilizados y el porqué de su utilización o descarte:

- **Acero S355J2:**

En el momento inicial del estudio elegimos este material por ser un material comercial, una vez analizado su comportamiento y sus características explicadas en el *anexo 3* se decide descartar por su baja relación resistencia/peso.

## S355J2

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Propiedades mecánicas a temperatura ambiente en el estado normalizado. (+N)

| Dimensiones |      | Re<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Rm<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      | A<br>(%) | KV MIN.<br>(-20 ± C) | DUREZA<br>ORIENTATIVA |
|-------------|------|----------------------------|----------------------------|------|----------|----------------------|-----------------------|
| mm.         |      | min.                       | min.                       | máx. | min.     | J                    | HB                    |
| ≥ 3         | ≤ 16 | 355                        | 470                        | 630  | 22       | 27                   | 146-187               |
| > 16        | ≤ 40 | 345                        | 470                        | 630  | 22       | 27                   | 146-187               |

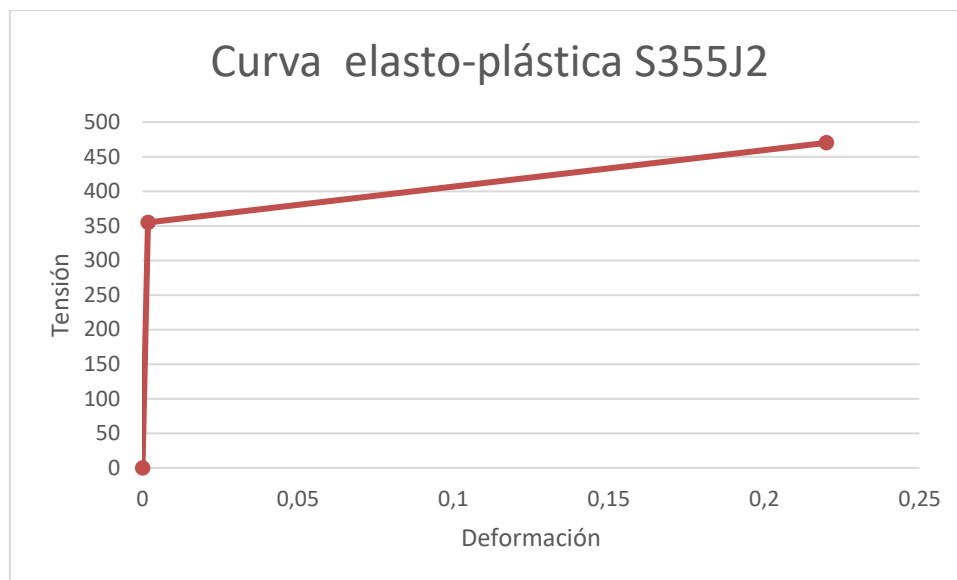
Imagen 2: S355J2 ( (AUSA, 2020))

Para el material S355J2 los valores utilizados en la simulación han sido:

| Limite elástico<br>(MPa) | Tensión de<br>rotura (MPa) | Módulo de Young<br>(MPa) | Alargamiento<br>de rotura (%) | Densidad<br>(Kg/m3) |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 355                      | 470                        | 199 960                  | 22                            | 7850                |

Tabla 1: Características S355J2

Con los valores de la tabla 1 obtenemos la curva elasto-plástica que utilizaremos para la realización de los ensayos, en la simulación de los ensayos se le permitirá llegar hasta el 100% de deformación para evitar problemas de convergencia al alcanzar valores cercanos al de rotura.



Gráfica 1: Gráfica curva elasto-plástica S355J2

- **Strenx 960 PLUS:**

Optamos por este material por su elevada tensión de rotura (980-1150 MPa) y su capacidad de elongación de hasta un 7%, el cual será una buena opción para algún elemento que tenga que absorber una deformación considerable, en su defecto el espesor mínimo posible es de 2 mm, véase todas las características en *anexo 3*.

### Propiedades mecánicas

| Espesor<br>(mm) | Límite de<br>elasticidad ReH <sup>1)</sup><br>(min MPa) | Tensión de rotura<br>R <sub>m</sub><br>(MPa) | Elongación A <sub>5</sub><br>(min %) | Elongation A80<br>(min %) | Radio mínimo de<br>plegado interior<br>para un plegado<br>de 90°. |
|-----------------|---|--|--------------------------------------|---------------------------|---|
| 2.0 - 2.9       | 960   | 980 - 1150                                   | -                                    | 7                         | 3.5 x t   |

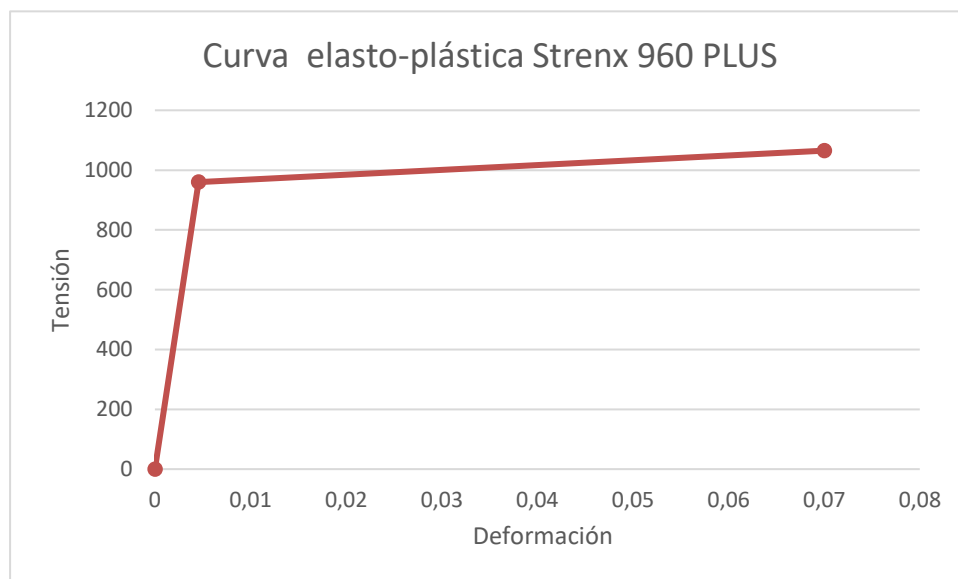
Imagen 3: Strenx 960 PLUS (SSAB PRODUCTOS, 2020).

Para el material Strenx 960 PLUS los valores utilizados en la simulación han sido:

| Limite elástico (MPa) | Tensión de rotura (MPa) | Módulo de Young (MPa) | Alargamiento de rotura (%) | Densidad (Kg/m3) |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|
| 960                   | 1065                    | 210 000               | 7                          | 7850             |

*Tabla 2: Características Strenx 960 PLUS*

Con los valores de la *tabla 2* obtenemos la curva elasto-plástica que utilizaremos para la realización de los ensayos, en la simulación de los ensayos se le permitirá llegar hasta el 100% de deformación para evitar problemas de convergencia al alcanzar valores cercanos al de rotura.



*Gráfica 2: Gráfica curva elasto-plástica Strenx 960 PLUS*

- **Strenx 960Cr:**

Este material será una buena opción para elementos que necesiten de una alta resistencia de rotura, pero a su vez no se deformen de forma considerable, también ha sido un material a tener en cuenta porque nos permitía obtenerlo en espesores mínimos de 0,7 mm (*anexo 3*), lo cual nos permitiría reducir el peso.

#### Propiedades mecánicas

| Límite de elasticidad $R_{p0.2}$<br>(min MPa) | Tensión de rotura $R_m$<br>(MPa) | Elongación $A_{80}$<br>(min %) | Radio de plegado interior mínimo<br>para un plegado de 90° <sup>1)</sup> |
|---|----------------------------------|--------------------------------|--|
| 960   | 1200 - 1400                      | 3                              | 3.5 x t  |

Las propiedades mecánicas se ensayan en sentido longitudinal.

Las propiedades mecánicas se garantizan en estado de bobina.

<sup>1)</sup> Tanto en sentido longitudinal como transversal

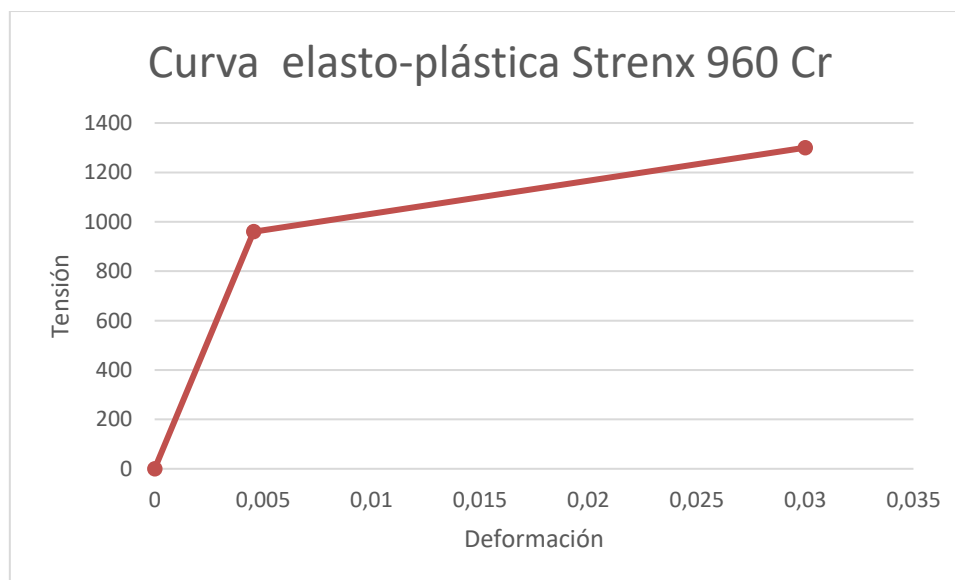
*Imagen 4: Strenx 960 Cr (SSAB PRODUCTOS, 2020)*

Para el material Strenx 960 Cr los valores utilizados en la simulación han sido:

| Límite elástico<br>(MPa) | Tensión de<br>rotura (MPa) | Módulo de Young<br>(MPa) | Alargamiento<br>de rotura (%) | Densidad (Kg/m3) |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------|
| 960                      | 1300                       | 210 000                  | 3                             | 7850             |

*Tabla 3: Características Strenx 960 Cr*

Con los valores de la *tabla 3* obtenemos la curva elasto-plástica que utilizaremos para la realización de los ensayos, en la simulación de los ensayos se le permitirá llegar hasta el 100% de deformación para evitar problemas de convergencia al alcanzar valores cercanos al de rotura.

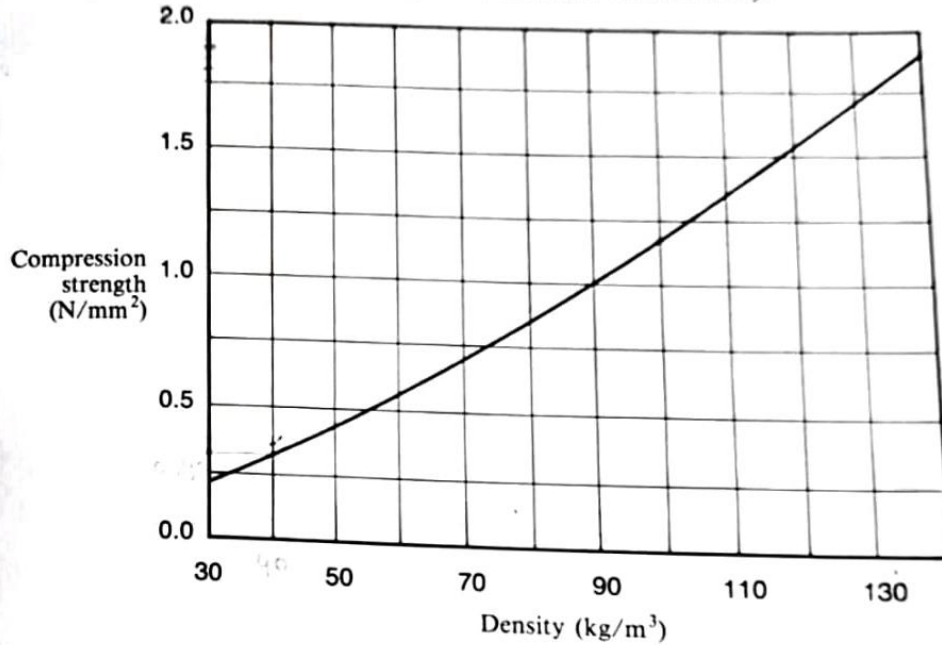


*Gráfica 3: Gráfica curva elasto-plástica Strenx 960 Cr*

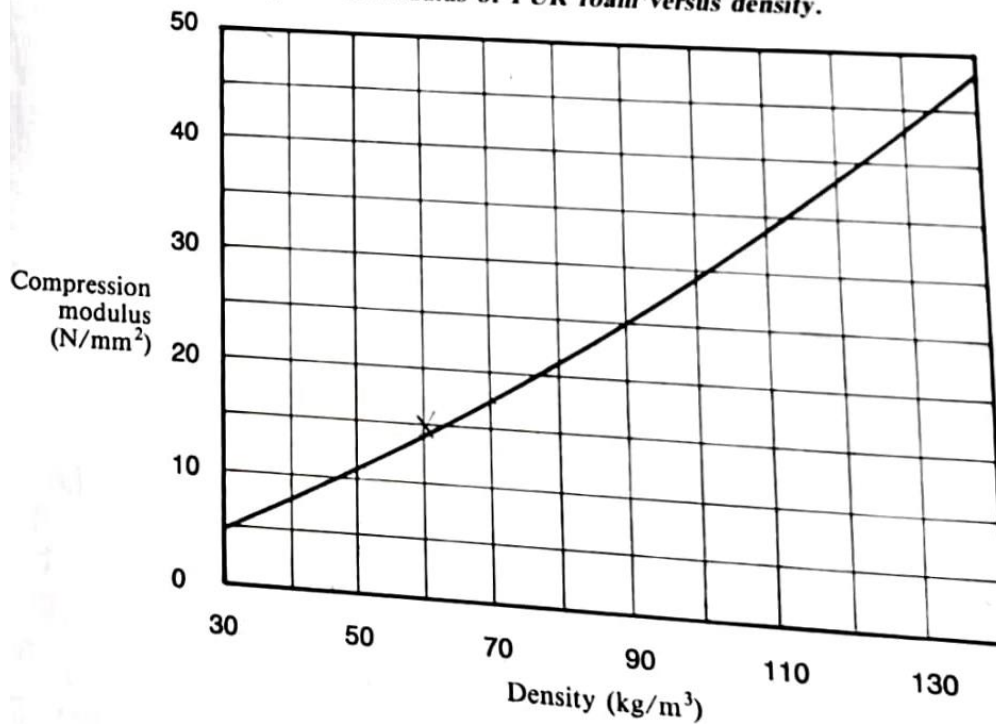
- **Espuma PUR 70 Kg/m<sup>3</sup>:**

Con la espuma PUR estudiaremos si nos sirve para conseguir rigidez en el dispositivo y a su vez poder aligerar el paragolpes, véase todas las características en *anexo 3*.

**Fig. 1.4.2-1** Compression strength of PUR foam versus density.



**Fig. 1.4.2-2** Compression modulus of PUR foam versus density.



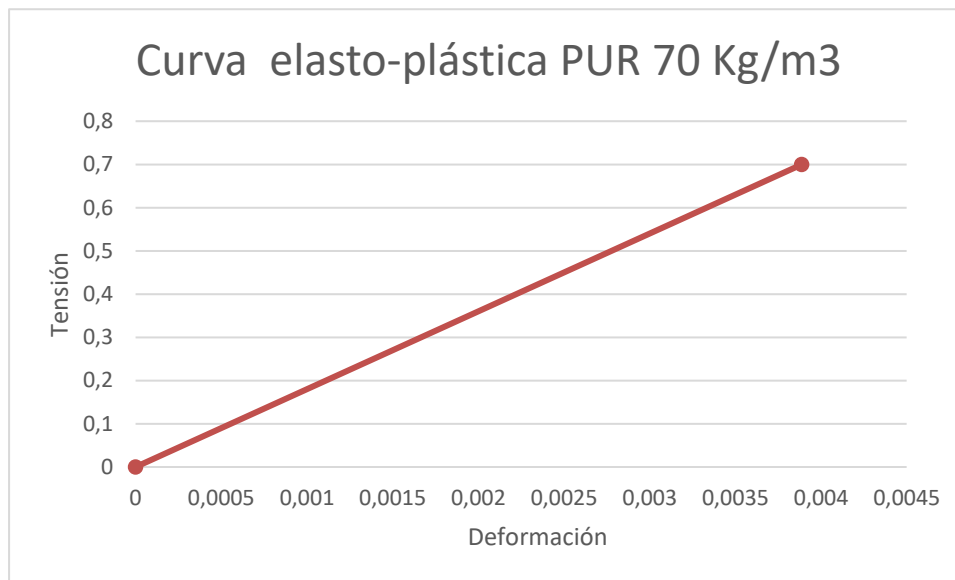
*Imagen 5: PUR Características (G.Capriano, 1989)*

Para el material PUR 70 kg/m<sup>3</sup> los valores utilizados en la simulación han sido:

| Limite elástico (MPa) | Tensión de rotura (MPa) | Módulo de Young (MPa) | Alargamiento de rotura (%) | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 0,7                   | 0,7                     | 180                   | 0,39                       | 7850                          |

Tabla 4: Características PUR 70 kg/m<sup>3</sup>

Con los valores de la *tabla 4* obtenemos la curva elasto-plástica que utilizaremos para la realización de los ensayos, en la simulación de los ensayos se le permitirá llegar hasta el 100% de deformación para evitar problemas de convergencia al alcanzar valores cercanos al de rotura.



Gráfica 4: Gráfica curva elasto-plástica Strenx PUR 70Kg/m<sup>3</sup>



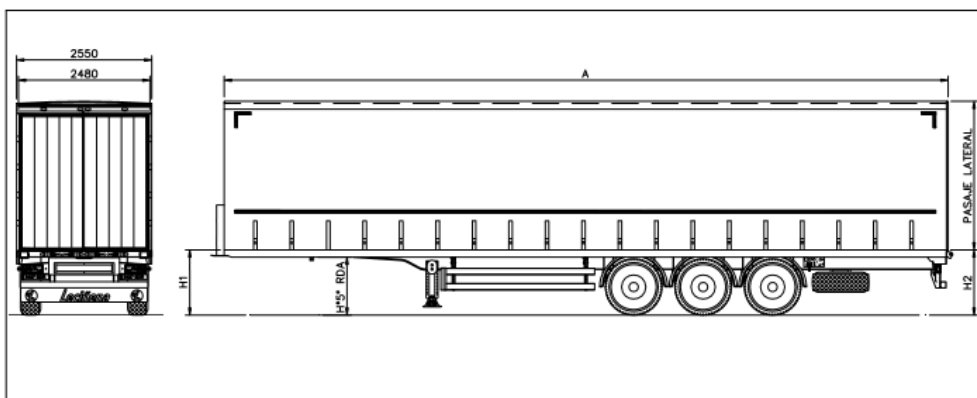
### 2.3.2. Bastidor

El bastidor del vehículo es el elemento que soporta toda la carga, por tanto, es el elemento sobre el que actúan todas las reacciones. Este elemento consiste en dos largueros principales y un entramado de perfiles metálicos que los unen y que forman la estructura del vehículo. Es en los largueros principales donde irá soldado nuestro dispositivo antiempotramiento, estos largueros estarán a una distancia entre sí de 1200 mm.



## LEC.LCL XL Lonas Correderas EN 12642-XL

### ESPECIFICACIONES Y CARACTERISTICAS



#### DIMENSIONES (en mm.)

| LONGITUD TOTAL "A" | LONGITUD UTIL | ANCHURA TOTAL | ANCHURA UTIL | ALTURA UTIL MAXIMA |
|--------------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|
| 13.750             | 13.620        | 2.550         | 2.480        | 2.900              |

#### RANGO DE ALTURAS

Cálculo basado en perfil LEC.PCG C-118

| ALTURA 5ª RUEDA | NEUMATICO    | ALTURA EN FRONTAL H1 | ALTURA EN TRASERA H2 | PASAJE LATERAL | ALTURA MAXIMA | VOLUMEN              |
|-----------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------|---------------|----------------------|
| 1200            | 385/65 R22.5 | 1320                 | 1303                 | 2550           | 4020          | 87.76 m <sup>3</sup> |

Imagen 6: Características bastidor (LECIÑENA TRAILER, 2019)

### 2.3.3. Diseños preliminares

#### 2.3.3.1 Diseño 1

En el diseño inicial se optó por usar perfiles comerciales por su facilidad de obtención en el mercado. Este dispositivo consistía en unos perfiles cuadrados principales soldados a los largueros de la caja del camión, estos estaban inclinados para evitar la flexión, también se le añadieron unos perfiles de menor tamaño soldados a los perfiles principales y a los extremos del travesaño, para evitar la flexión en el caso de la carga en el extremo del travesaño. A continuación, mostramos los elementos y materiales utilizados:

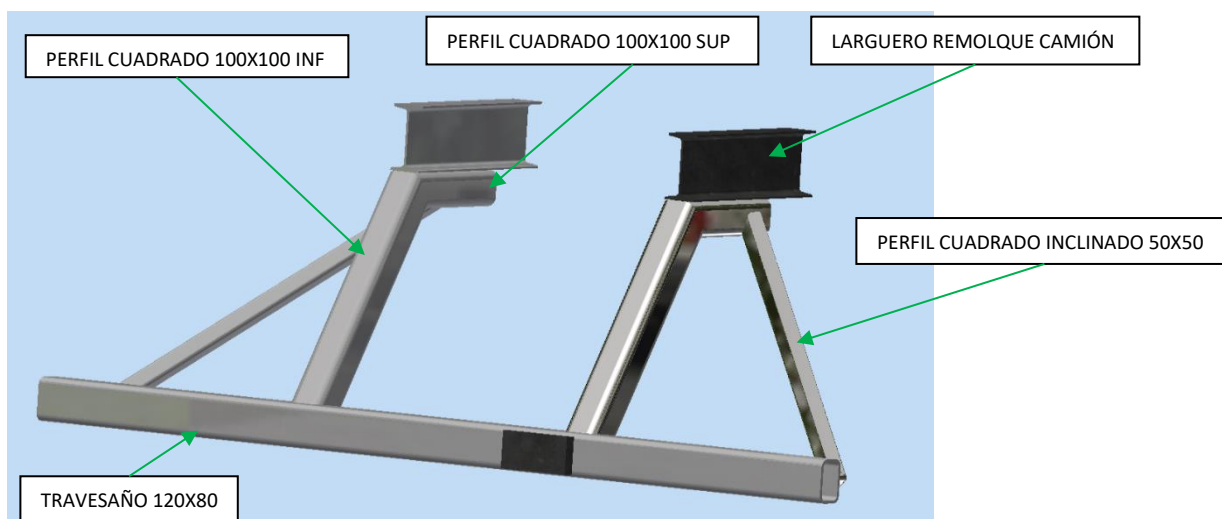


Imagen 7: Frontal diseño 1

| ELEMENTO   | MATERIAL     | ESPESOR | PESO          |
|--|--------------|---------|---------------|
| Perfil cuadrado 100x100x10 sup   | Acero 43-355 | 10 mm   | 7,7 kg        |
| Perfil cuadrado 100x100 x10 inf  | Acero 43-355 | 10 mm   | 18,2 kg       |
| Travesaño 120x80x8   | Acero 43-355 | 8 mm    | 52,4 kg       |
| Perfil cuadrado inclinado 50x50x5  | Acero 43-355 | 5 mm    | 6,7 kg        |
| Perfil cuadrado inf 50x50x5  | Acero 43-355 | 5 mm    | 0,7 kg        |
| <b>Peso Total sistema de protección anti-empotramiento diseño preliminar 1</b> |              |         | <b>119 kg</b> |

Tabla 5: Componentes diseño 1

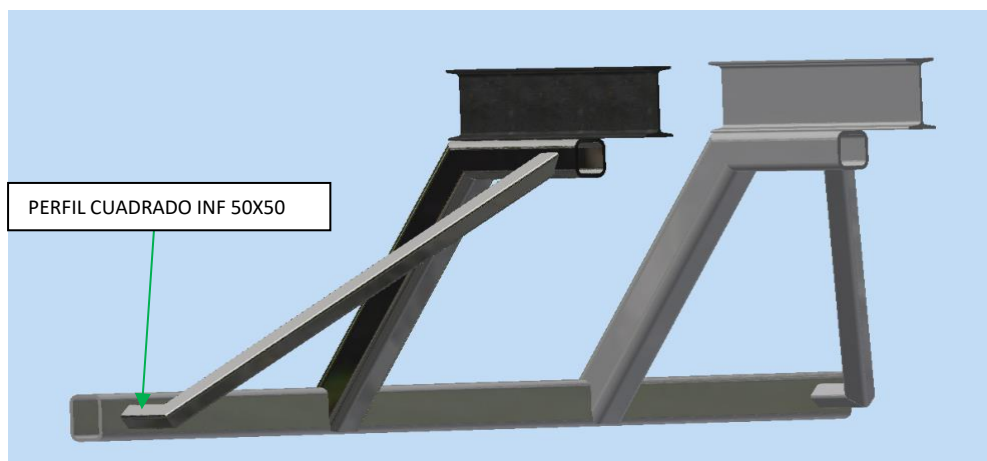


Imagen 8: Parte trasera diseño 1

### 2.3.3.2 Diseño 2

Ante los resultados obtenidos en el análisis del diseño 1 se decidió modificar drásticamente el diseño del dispositivo underrun. Para este segundo diseño se optó por dos soportes principales contruidos con chapas soldadas y un travesaño unido a estos. Como ya se había decidido utilizar aceros Strenx que son mucho más resistentes, se pudo disminuir drásticamente los espesores y en consecuencia el peso. Los soportes principales están compuestos de un alma y de unas chapas soldadas al alma para darle rigidez y resistencia, al estilo de una IPE.

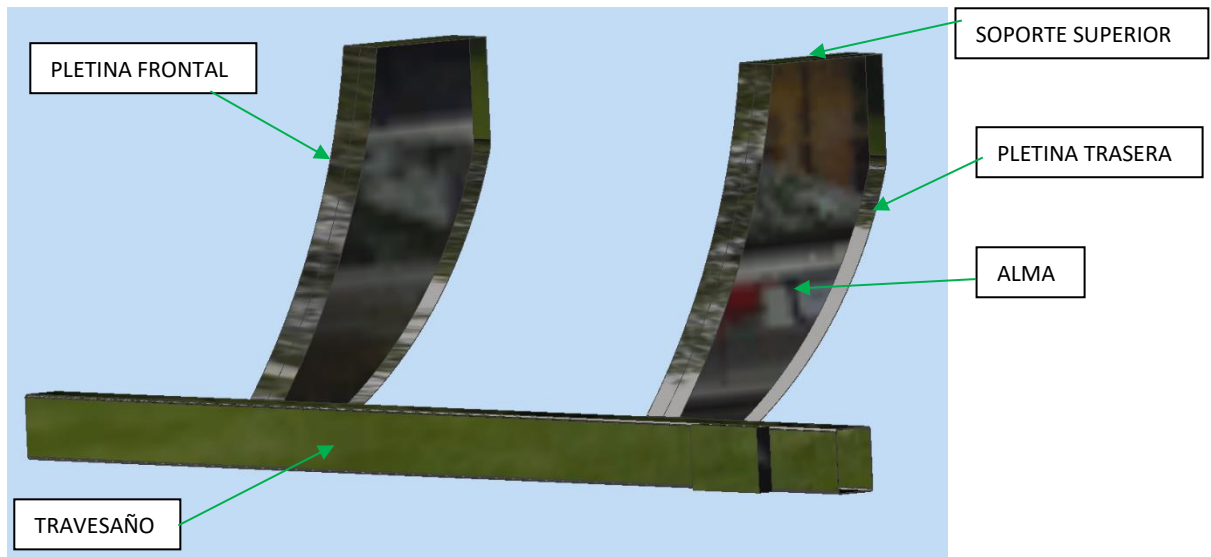


Imagen 9: Parte frontal diseño 2

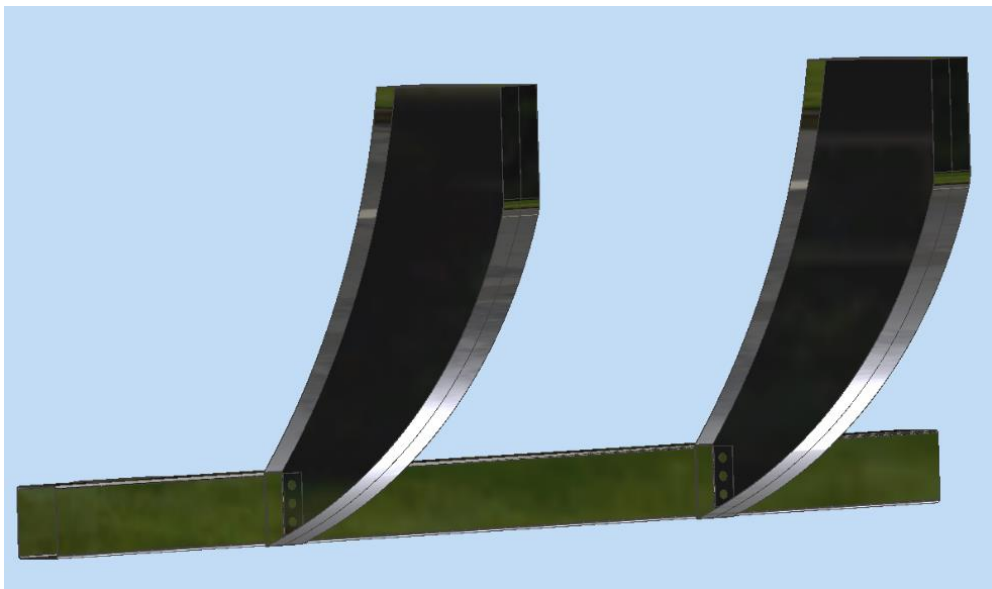


Imagen 10: Parte trasera diseño 2

| ELEMENTO   | MATERIAL        | ESPESOR | PESO            |
|--|-----------------|---------|-----------------|
| SOPORTE SUPERIOR   | STRENX 960 PLUS | 2 mm    | 0,4 kg          |
| ALMA   | STRENX 960 PLUS | 2 mm    | 2,9 kg          |
| PLETINA DELANTERA  | STRENX 960 PLUS | 2 mm    | 1,08 kg         |
| PLETINA TRASERA  | STRENX 960 PLUS | 2 mm    | 1,52 kg         |
| SOPORTE FRONTAL  | STRENX 960 PLUS | 2 mm    | 0,2 kg          |
| ÁNGULO SUJECCIÓN   | STRENX 960 PLUS | 2 mm    | 0,14 kg         |
| TRAVESAÑO  | STRENX 960 PLUS | 2 mm    | 14,8 kg         |
| <b>Peso Total sistema de protección anti-empotramiento diseño preliminar 2</b> |                 |         | <b>27,28 kg</b> |

Tabla 6: Componentes diseño 2

En este diseño la sujeción al travesaño se realizó mediante un ángulo que estaba soldado al travesaño y atornillado al alma de los soportes.

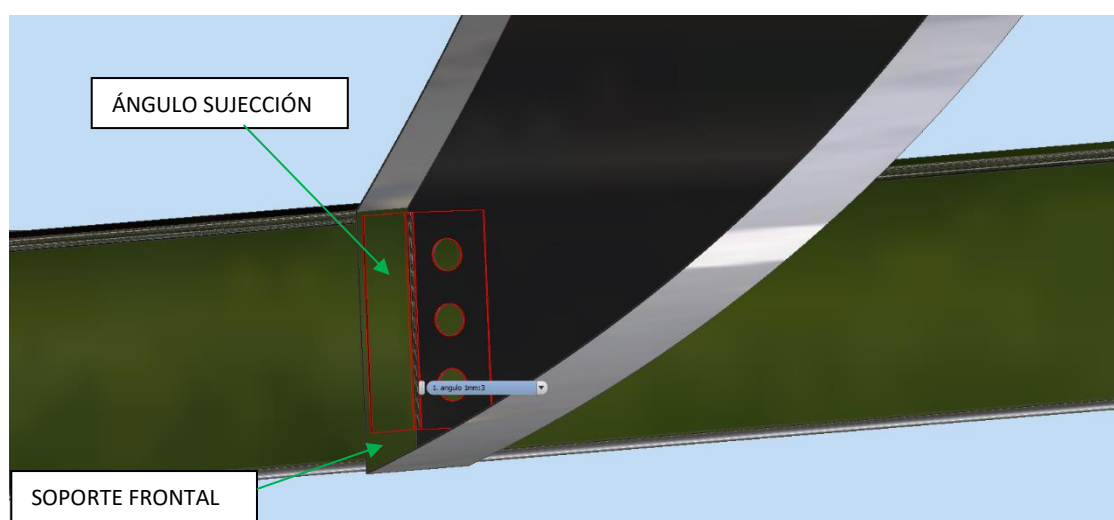
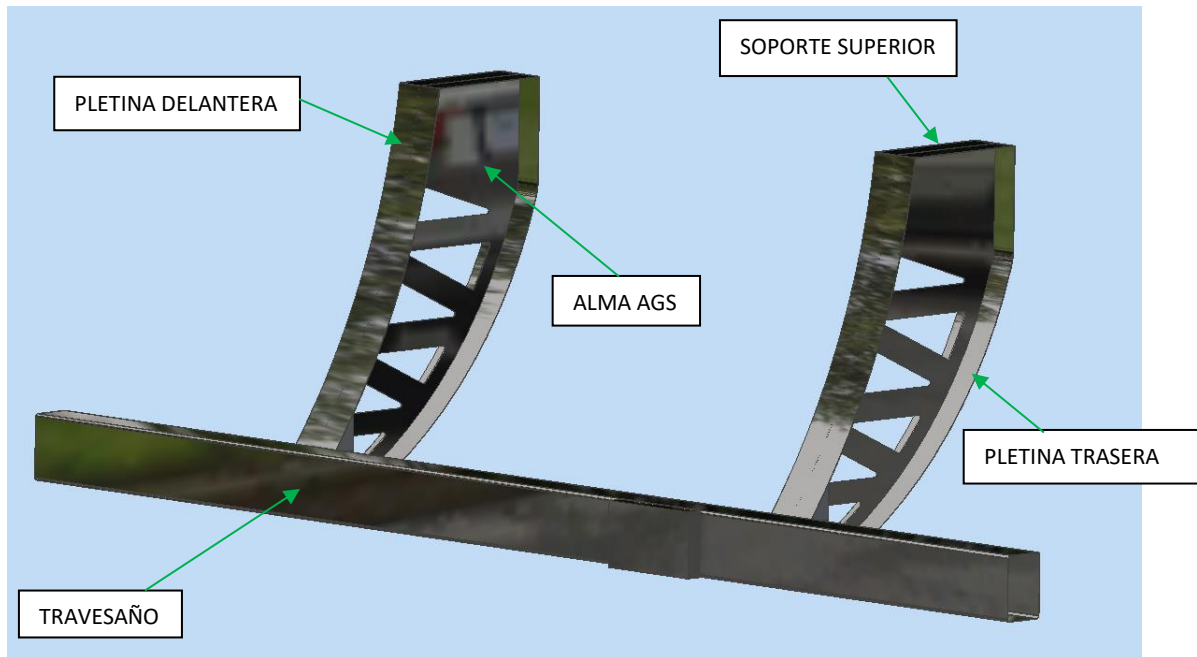


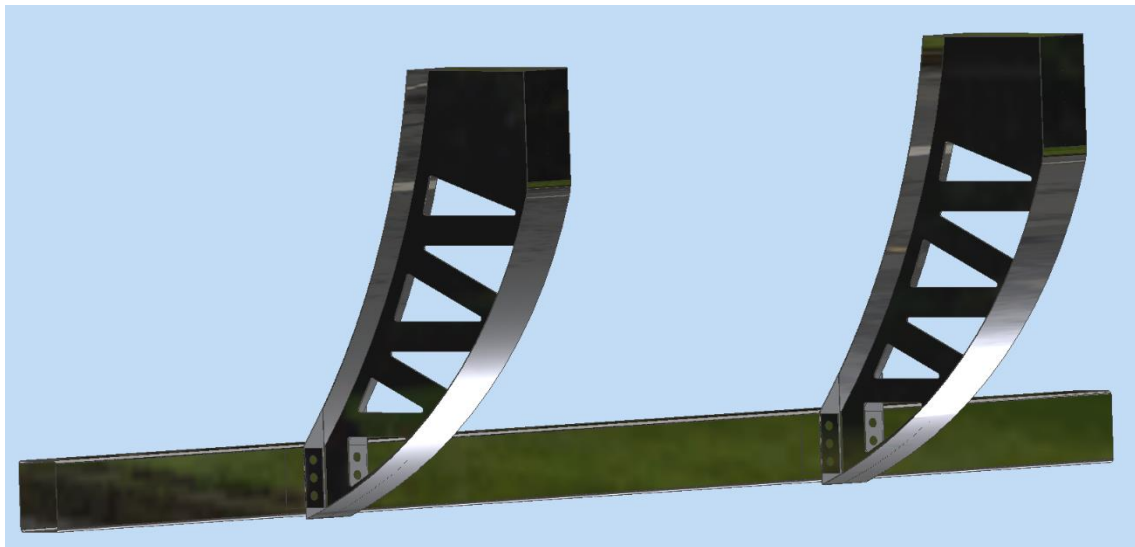
Imagen 11: Unión a travesaño diseño 2

#### 2.3.4. Diseño definitivo

Después de muchas pruebas realizadas se decidió que el diseño mostrado a continuación (imagen 12, 13 y 14) será el definitivo, en este diseño se ha optado por dos materiales, Strenx 960 Cr y Strenx 960 PLUS, cada parte con su material utilizado están detallados en la tabla 7. Por otro lado, se ha decidido realizar agujeros en el alma del soporte para aligerar el dispositivo, estos agujeros se han realizado en forma de triángulo para poder dejar unos nervios paralelos a las pletinas y en la dirección de las tensiones para obtener más resistencia, a su vez forman una estructura en forma de “cerchas” para obtener mayor rigidez.



*Imagen 12: Frontal diseño definitivo*



*Imagen 13: Parte trasera diseño definitivo*

En este caso la unión del travesaño a los soportes se realiza mediante un ángulo soldado al travesaño y atornillado al soporte mediante una pletina con agujeros que está soldada al extremo del soporte, esto aporta rigidez al soporte y facilidad de montaje.

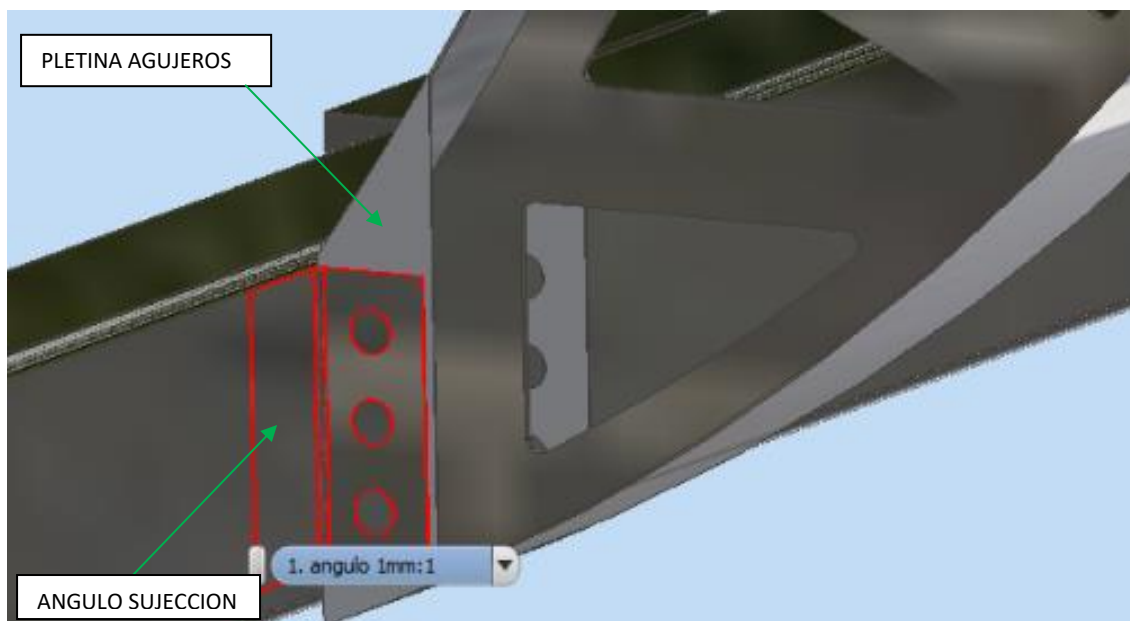


Imagen 14: Unión a travesaño diseño definitivo

El material Strenx 960 Cr se ha utilizado en las piezas que tenían menor deformación y estaban obteniendo mayores tensiones. En el caso del travesaño usar este material ha permitido reducir el peso en más de la mitad ya que hemos podido reducir su espesor a 0,7mm.

Para el caso del alma la elección ha sido strenx 960 PLUS, ya que es una de las piezas que más tensión soporta y a la vez más nos interesa que se deforme para que absorba la energía del impacto. En esta pieza no nos limitaba el espesor mínimo de este material (2mm) al ser la pieza principal del soporte que más energía absorbe, por tanto, teníamos que diseñarla en espesor mayor o igual a 2 mm de todos modos.

| ELEMENTO                           | MATERIAL        | ESPESOR         | PESO            |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| SOPORTE SUPERIOR                   | STRENX 960 Cr   | 1 mm            | 0,2 kg          |
| ALMA                               | STRENX 960 PLUS | 2,5 mm          | 2,75 kg         |
| PLETINA DELANTERA                  | STRENX 960 Cr   | 1,5 mm          | 0,8 kg          |
| PLETINA TRASERA                    | STRENX 960 Cr   | 1,2 mm          | 0,92 kg         |
| SOPORTE FRONTAL                    | STRENX 960 Cr   | 0,7 mm          | 0,07 kg         |
| PLETINA AGUJEROS                   | STRENX 960 Cr   | 0,7 mm          | 0,035           |
| ÁNGULO SUJECCIÓN                   | STRENX 960 Cr   | 1 mm            | 0,07 kg         |
| TRAVESAÑO                          | STRENX 960 Cr   | 0,7 mm          | 5,3 kg          |
| PUR                                | 70 kg/m3        | 118,6 x 78,6 mm | 1,6 kg          |
| Peso RUP diseño definitivo sin PUR |                 |                 | <b>14.99 kg</b> |
| Peso RUP diseño definitivo con PUR |                 |                 | <b>16.59 kg</b> |

Tabla 7: Componentes diseño definitivo

### 3. ANÁLISIS Y CÁLCULO DEL DISPOSITIVO

Una vez completado el diseño del dispositivo, se va a realizar la simulación de los ensayos para comprobar si cumple las especificaciones de la Directiva necesarias para su homologación. El objetivo del ensayo es comprobar si, tras la aplicación de una serie de cargas sobre el dispositivo, la distancia de éste a la parte trasera del vehículo no supera los 300 mm. Por supuesto, el conjunto también debe soportar las tensiones generadas durante el proceso.

Todos los ensayos del presente proyecto se han realizado con el módulo INVENTOR NASTRAN incluido en el programa de diseño AUTODESK INVENTOR.

En el *Anexo 4* se explica la herramienta de simulación utilizada.

A continuación, el dispositivo se someterá a dicho ensayo con el fin de comprobar su comportamiento e introducir mejoras en el diseño en caso necesario. A partir de los datos obtenidos se podrá seleccionar el material concreto de cada elemento, teniendo en cuenta que la premisa de este proyecto es diseñar un dispositivo que cumpla las especificaciones de la directiva con el menor peso posible.

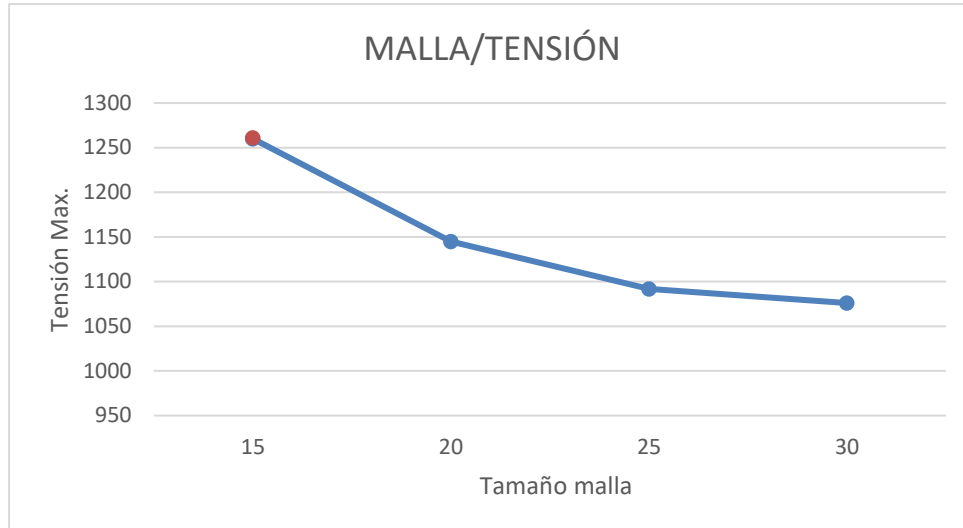
Se realizará una simulación NO LINEAL ya que un análisis no lineal es aquel que “*considera el comportamiento tenso-deformacional de los materiales y la no linealidad geométrica, descartando de manera directa el principio de superposición*” (Tapia, 2012), siendo este nuestro caso de trabajo ya que se nos van a producir deformaciones y grandes desplazamientos en el dispositivo underrun.

#### 3.1. Mallado

Para la realización del mallado se ha hecho un estudio previo de sensibilidad del tamaño de malla con los distintos tamaños de malla tetraédrica lineal, en la tabla 8 indicamos los resultados obtenidos.

| TAMAÑO MALLA | NODOS | ELEMENTOS | TENSION MAX. (MPa) | DESPLAZAMIENTO MAX. (MPa) | TIEMPO DE CALCULO |
|--------------|-------|-----------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| 15           | 34663 | 119816    | 1260               | 65,7                      | 1h 13 min         |
| 20           | 23077 | 75785     | 1145               | 40,5                      | 44 min            |
| 25           | 15863 | 49888     | 1092               | 30,67                     | 26 min            |
| 30           | 12170 | 37267     | 1076               | 23,17                     | 18 min            |

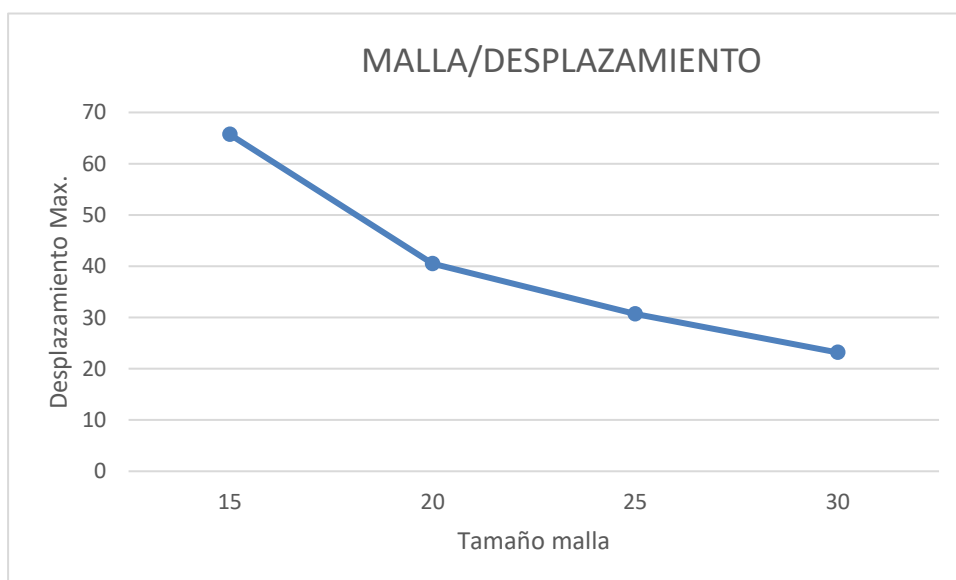
Tabla 8: Tipos de mallado



Gráfica 5: Tamaño malla/ Tensión

En la *gráfica 5* podemos observar como la disminución del tamaño de la malla hace que la tensión máxima aumente debido a que una malla tetraédrica más pequeña hace que el cálculo del dispositivo sea más rígido.

Hasta un tamaño de 20 mm la tensión máxima sube gradualmente, pero al disminuir hasta 15 mm la tensión máxima aumenta bruscamente, debido a un exceso de rigidez de malla por una malla demasiado pequeña, por otro lado, en esta malla el tiempo de cálculo aumenta considerablemente hasta 1h 13 min al aumentar de forma considerable el número de nodos.



Gráfica 6: Tamaño malla/ Desplazamiento



En la *gráfica 6* “malla/desplazamiento” se observa como al disminuir el tamaño de elemento, al igual que sucede en la gráfica anterior hasta el tamaño de 20 mm, el desplazamiento aumenta gradualmente, pero para el caso de 15 mm este desplazamiento aumenta bruscamente. Se ha considerado que esto es debido a un tamaño de elemento de malla excesivamente pequeño, se trataría de un efecto numérico y en consecuencia la gráfica de desplazamiento máximo por debajo de tamaño de elemento de 20 mm se incrementa de forma irreal.

Por tanto, se decide que la malla más óptima en cuanto a resultados y tiempo de cálculo será de 20 mm. Sera con este tamaño de malla con el que realizaremos todas las simulaciones de ensayos.

### 3.2. Simulación de ensayo diseño preliminar 1

En esta simulación aplicaremos la carga P2 (*imagen 1*) en el diseño preliminar 1, esta carga representa el caso más desfavorable al ser la mayor carga de las tres (180KN). El material utilizado como ya hemos explicado anteriormente es S355J2.

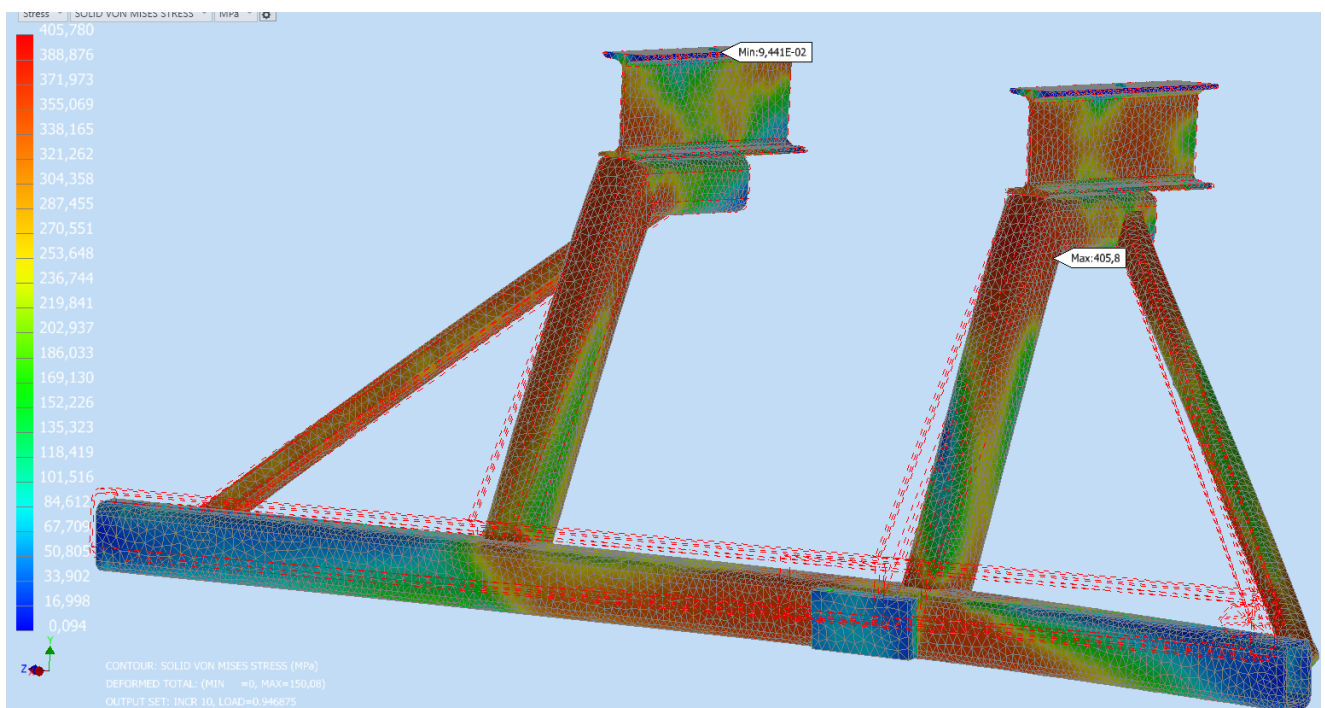


Imagen 15: Ensayo Tensión equivalente VON MISSES diseño preliminar 1

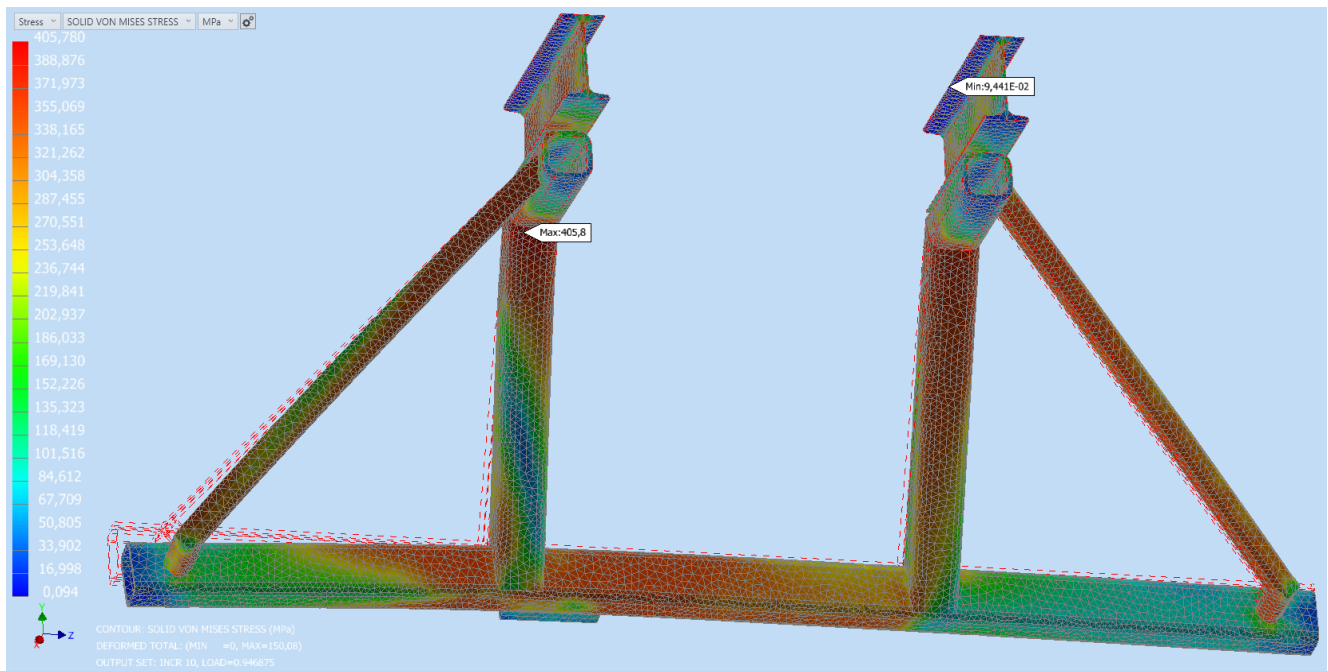


Imagen 16: Ensayo Tensión equivalente VON MISSES diseño preliminar 1

Para este caso el programa nos dice que este dispositivo no aguanta la carga de 180KN y nos realiza los cálculos para un factor de carga de 0,946.

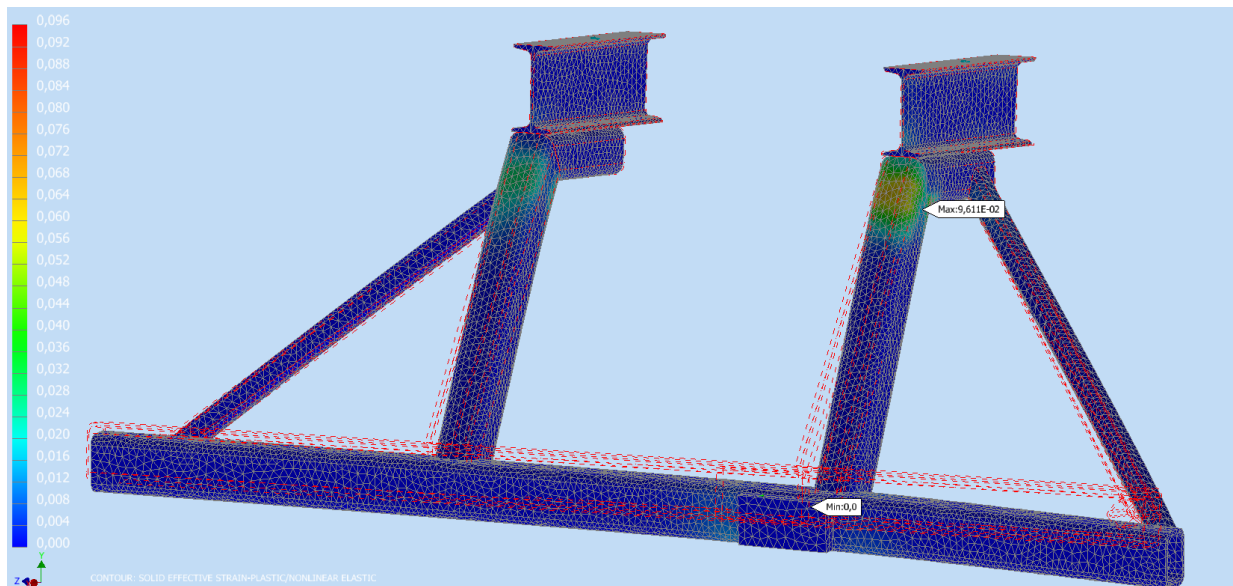


Imagen 17: Ensayo deformación diseño preliminar 1

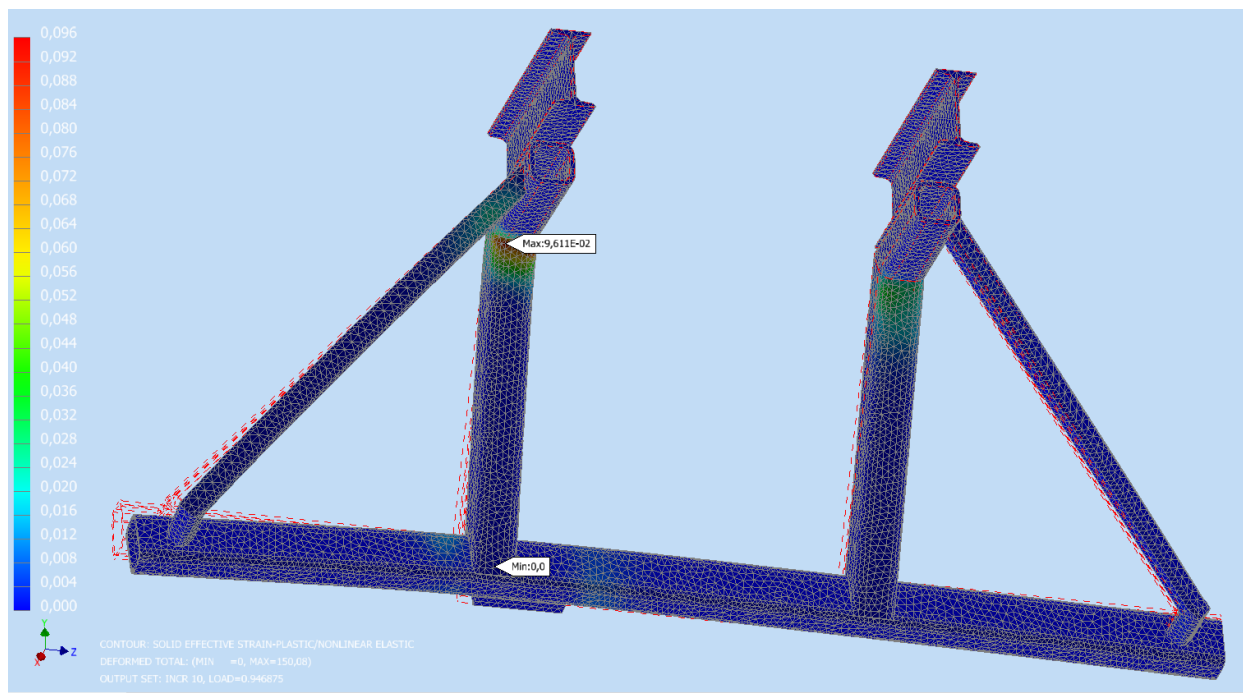


Imagen 18: Ensayo deformación diseño preliminar 1

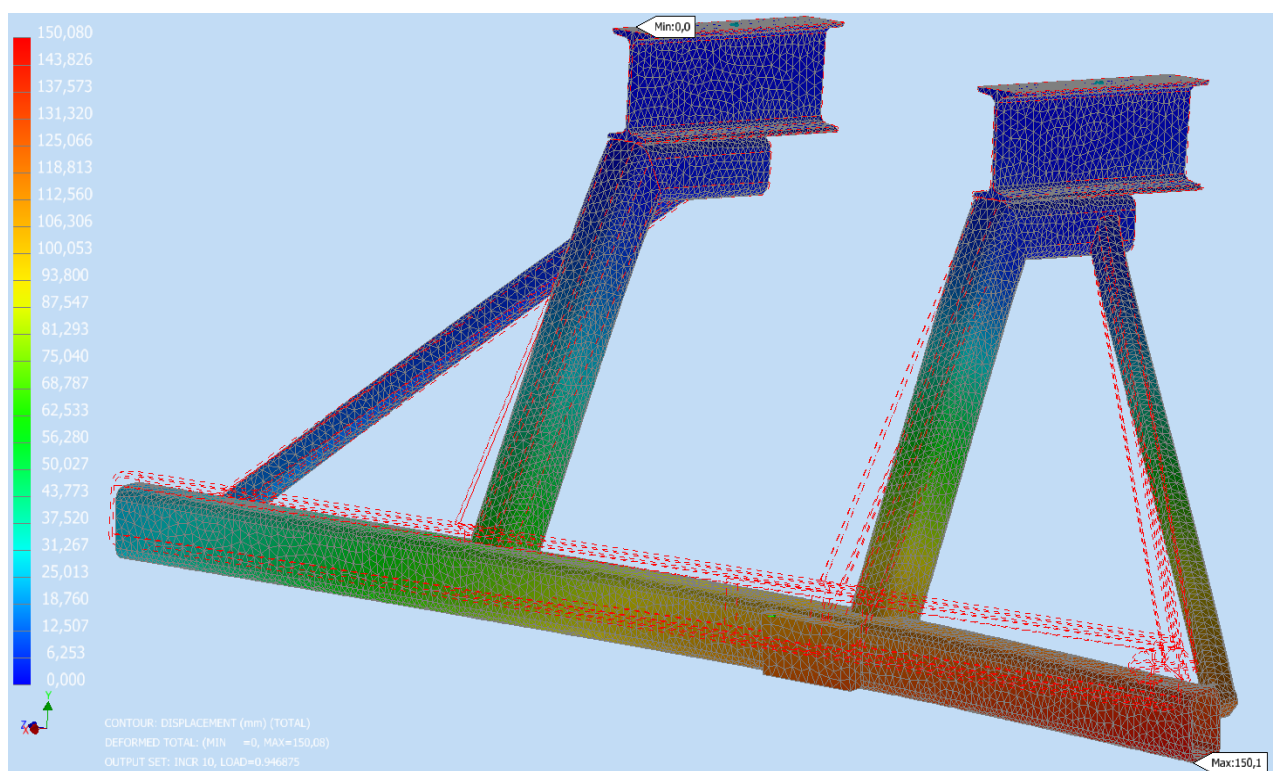


Imagen 19: Ensayo Desplazamiento diseño preliminar 1

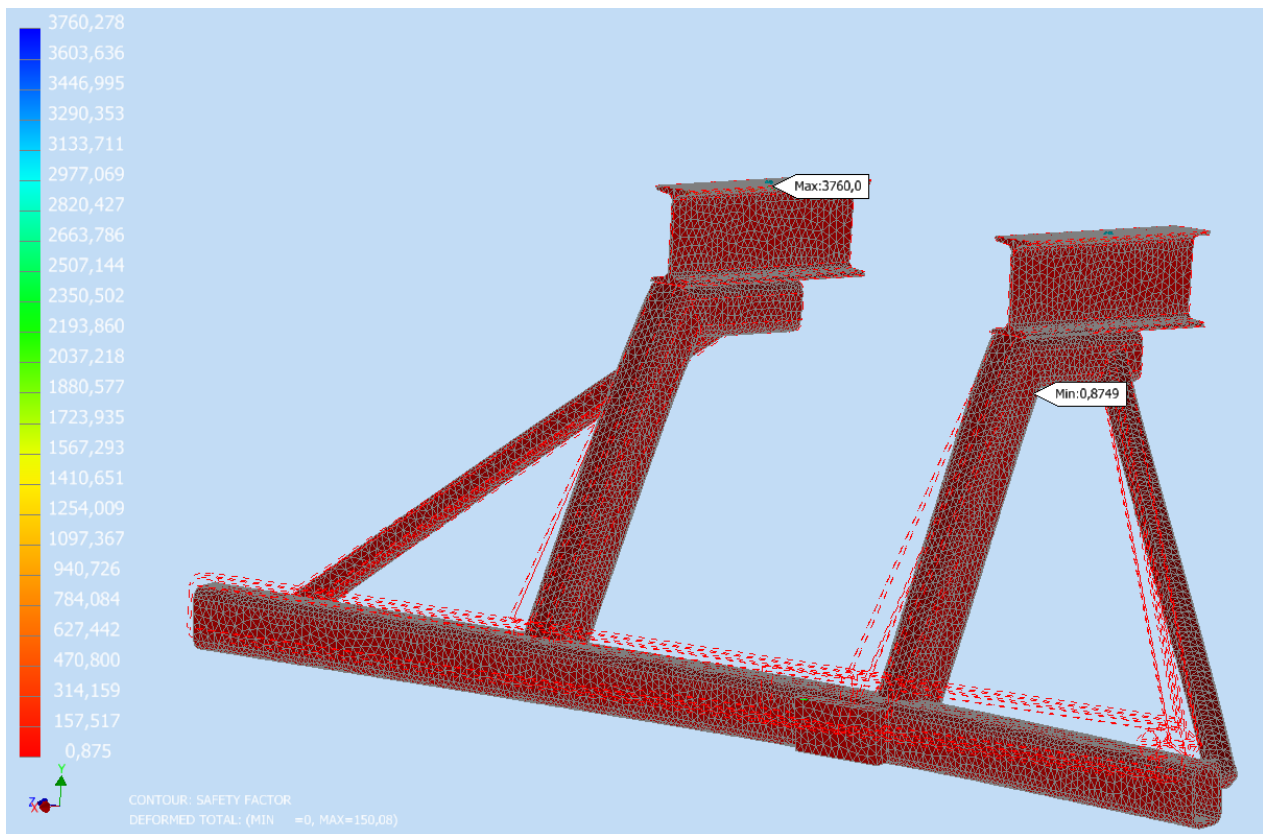


Imagen 20: Ensayo Coeficiente de seguridad diseño preliminar 1

Tras analizar los datos obtenidos en esta simulación llegamos a la conclusión que se necesitará materiales mucho más resistentes si se quiere reducir el peso, por otro lado, habrá que modificar el diseño del dispositivo para conseguir una estructura mucho más rígida capaz de soportar las cargas y desplazamientos exigidos con el menor peso posible.

A continuación, mostramos los coeficientes de seguridad mínimos:

| ELEMENTO                          | $C_s \text{ min}$ |
|-----------------------------------|-------------------|
| Perfil cuadrado 100x100x10 sup    | 0,95              |
| Perfil cuadrado 100x100 x10 inf   | 0.875             |
| Travesaño 120x80x8                | 0,98              |
| Perfil cuadrado inclinado 50x50x5 | 0,965             |
| Perfil cuadrado inf 50x50x5       | 0,99              |

Tabla 9: Coeficiente de seguridad diseño 1 preliminar

$$C_s = \frac{\sigma_{Fluencia}}{\sigma_{Von Mises}} = 0,875$$



### 3.3. Simulación de ensayo diseño preliminar 2

En esta simulación aplicaremos la carga P2 (*imagen 1*) en el diseño preliminar 2, esta carga representa el caso más desfavorable al ser la mayor carga de los tres casos (180 KN). El material utilizado en este caso será Strenx 960 Plus, hay que recordar que el espesor mínimo de este material es 2 mm (*anexo 3*), por tanto, todas las partes de este diseño son de espesor 2 mm.

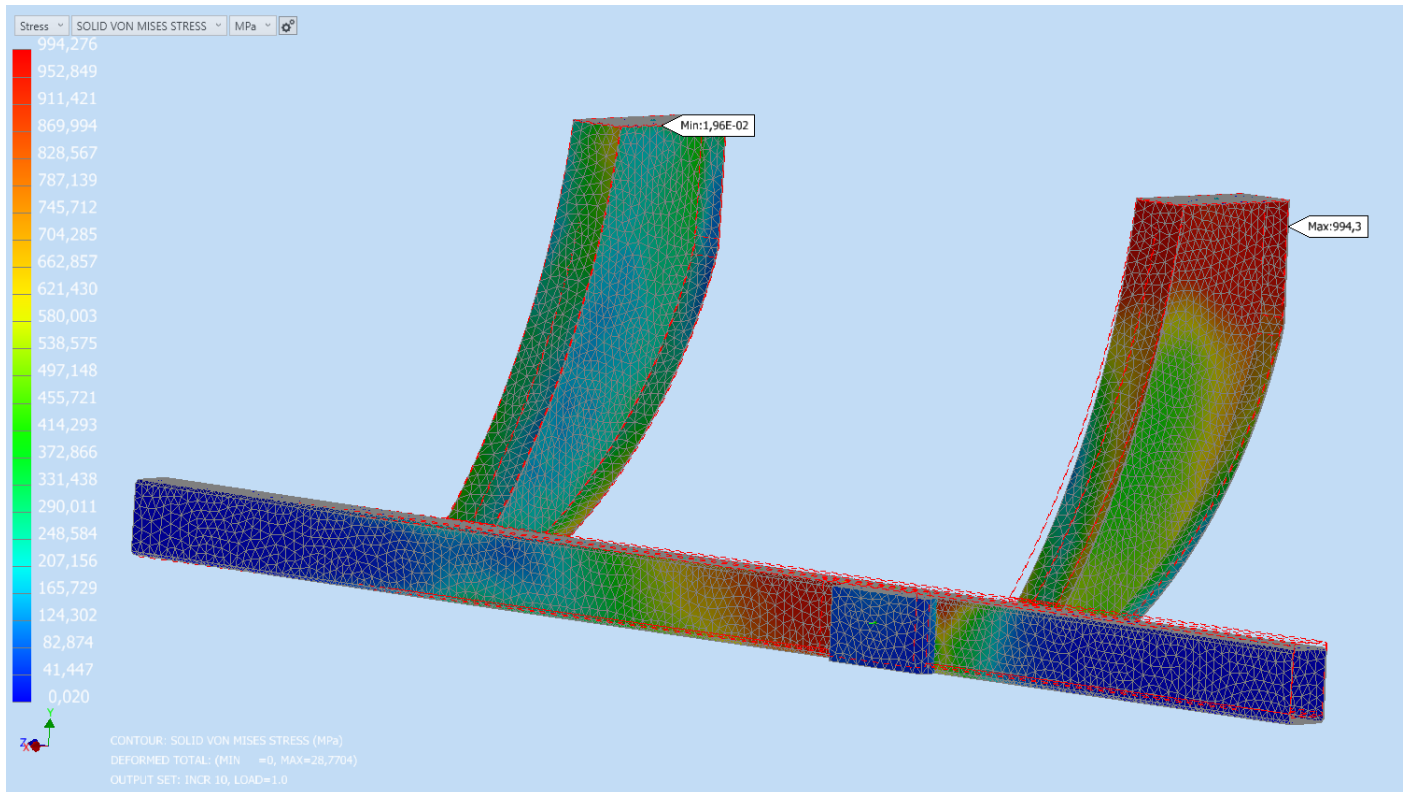


Imagen 21: Ensayo Tensión equivalente VON MISSES diseño preliminar 2

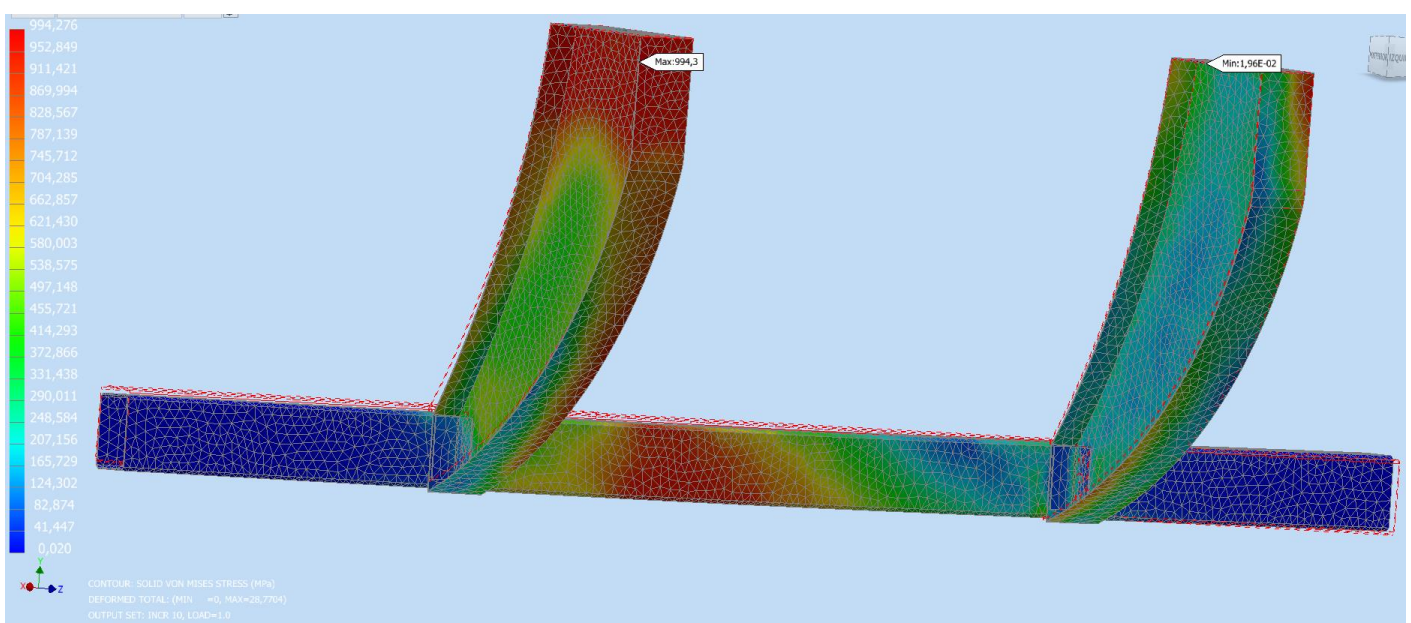


Imagen 22: Ensayo Tensión equivalente VON MISSES diseño preliminar 2

Detallamos en la siguiente tabla las tensiones máximas obtenidas en este dispositivo:

| ELEMENTO          | $\sigma_{max}$ (MPa) |
|-------------------|----------------------|
| SOPORTE SUPERIOR  | 503,5                |
| ALMA              | 986,9                |
| PLETINA DELANTERA | 992,3                |
| PLETINA TRASERA   | 994,3                |
| SOPORTE FRONTAL   | 249,2                |
| ÁNGULO SUJECCIÓN  | 328,3                |
| TRAVESAÑO         | 967,1                |

Tabla 10: Tensión Equivalente de Von Mises Máxima diseño preliminar 2

Como podemos observar este dispositivo esta sobredimensionado ya que la tensión limite capaz de soportar el acero Strenx 960 PLUS es de 1065 MPa, estando todas estas por debajo de esta.

Según lo comentado podríamos mejorar el peso de este dispositivo disminuyendo espesores.

A continuación, mostramos resultados de deformación:

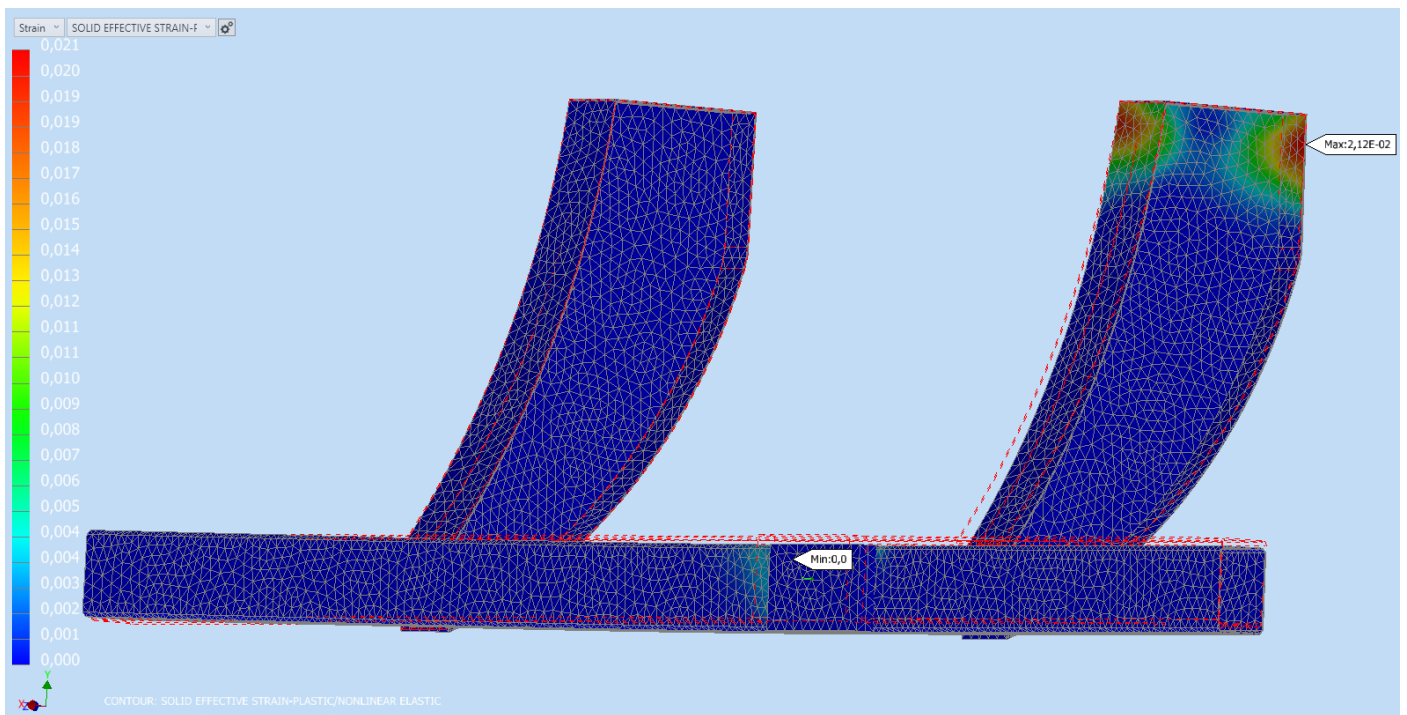


Imagen 23: Ensayo deformación diseño preliminar 2

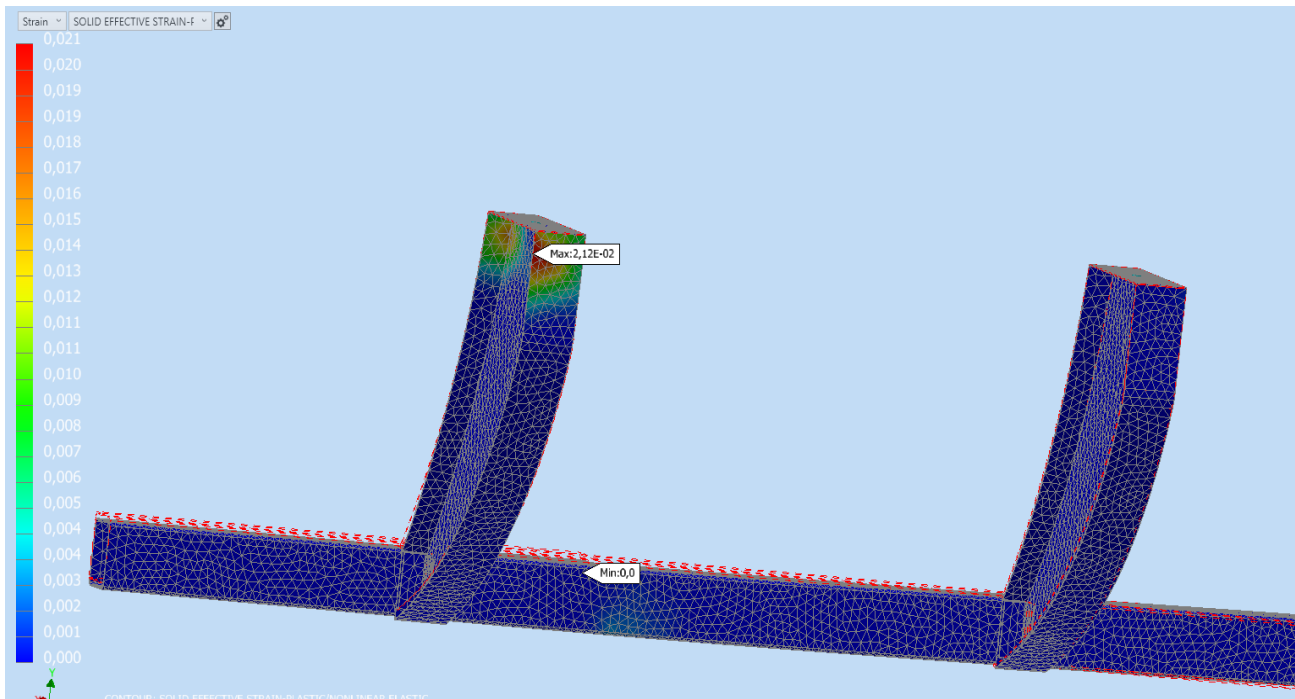


Imagen 24: Ensayo deformación diseño preliminar 2

En estas imágenes de la deformación podemos observar que debido al sobredimensionamiento y a la gran rigidez que tiene el travesaño, toda la deformación se está desarrollando en la parte superior del soporte, mientras que el travesaño apenas deforma y por tanto apenas absorbe energía.

Por tanto, un punto de mejora en este caso sería disminuir el espesor del travesaño para que disminuyera la rigidez de este y se produjera más deformación en el travesaño frente al soporte.

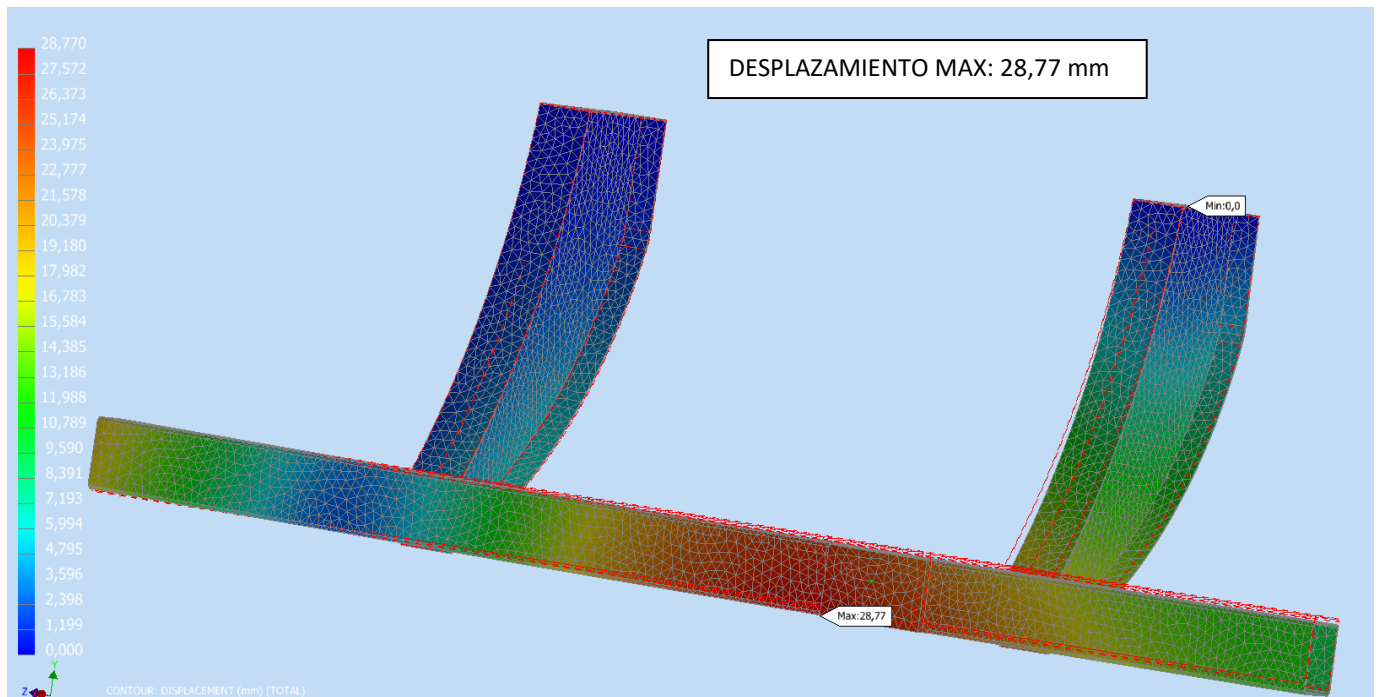


Imagen 25: Ensayo Desplazamiento diseño preliminar 2

El desplazamiento máximo del dispositivo es 28,77mm, muy lejos del límite de 300mm que nos indica la normativa, claro ejemplo de que este dispositivo está muy sobredimensionado en nuestro objetivo de obtener un dispositivo que cumpla la normativa con el mínimo peso posible.

### 3.4. Simulación de ensayo diseño definitivo

Finalmente, tras muchas pruebas y cálculos se optó por este dispositivo como mejor opción resistencia/peso. Este diseño soporta las cargas a las que debe ser sometido sin llegar a romper por completo.

#### 3.4.1 Ensayo carga P2

Primero mostraremos y analizaremos el ensayo para el caso de la carga P2 (*imagen 1*) que es la que más nos limita por ser la carga mayor (180KN) y donde más sufrirá el soporte al estar la carga casi frontal a este.

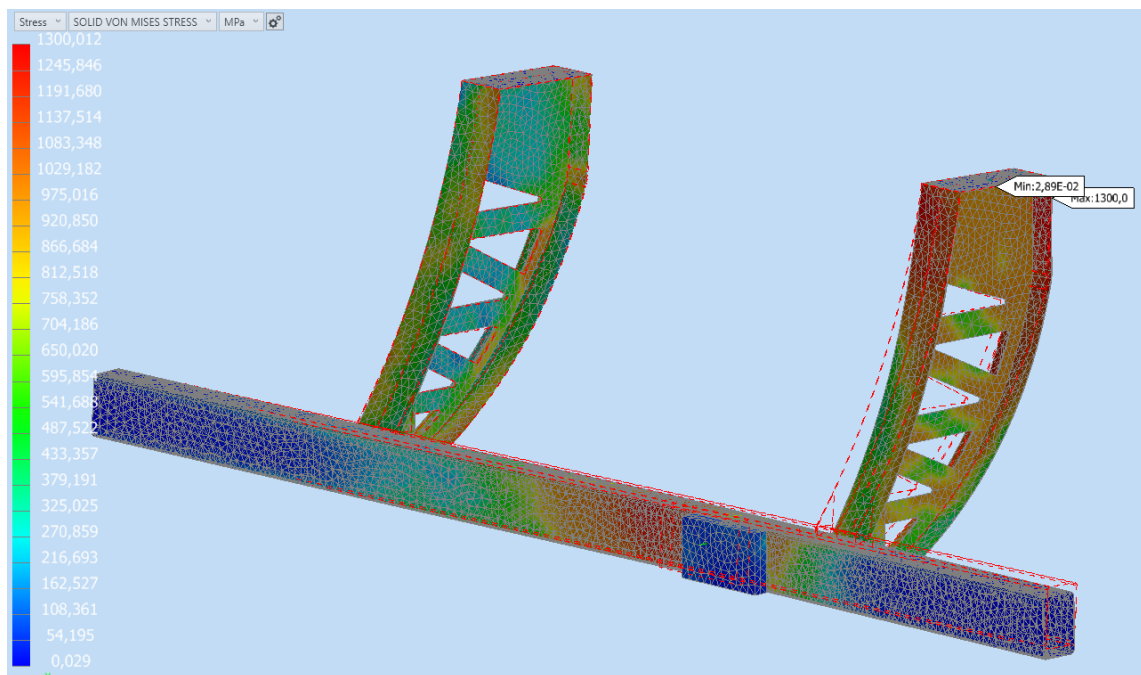


Imagen 26: Ensayo Tensión equivalente de VON MISSES diseño definitivo P2



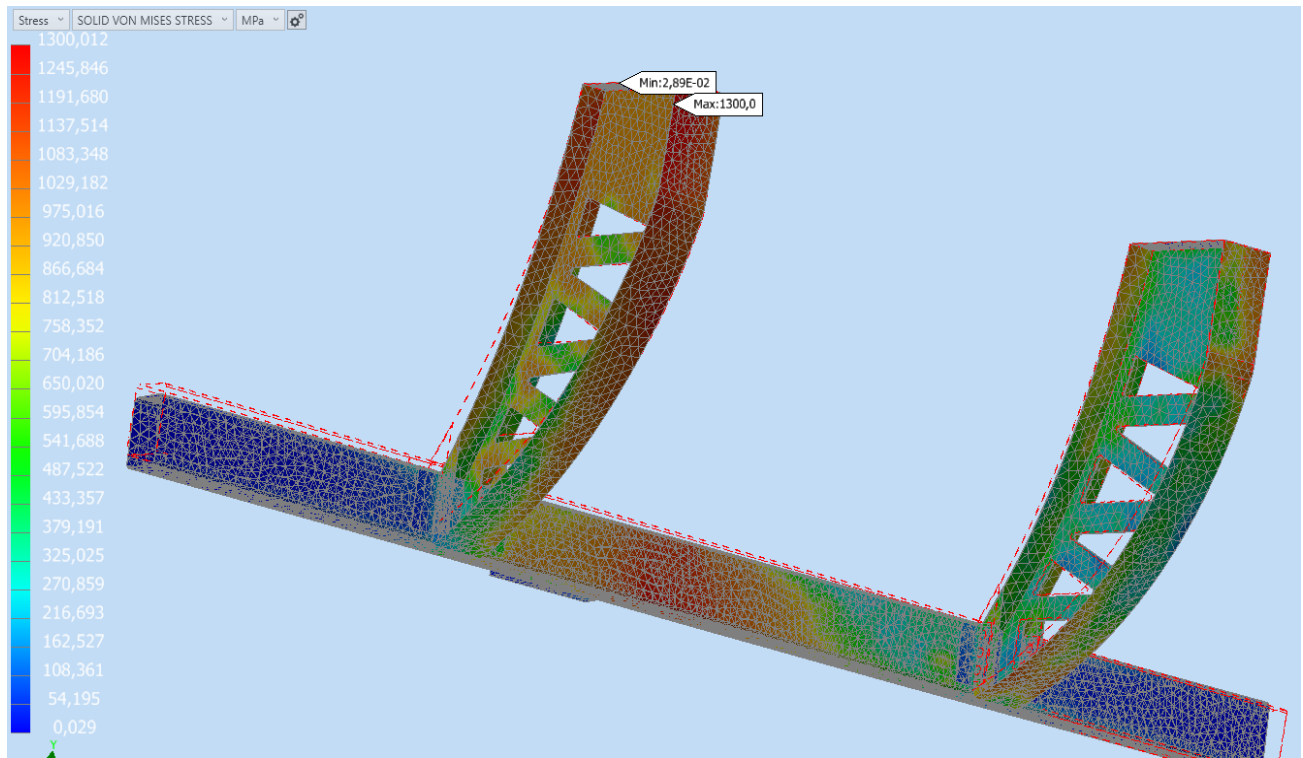


Imagen 27: Ensayo Tensión equivalente de VON MISES diseño definitivo P2

| ELEMENTO          | Tensión MAX (MPa) |
|-------------------|-------------------|
| SOPORTE SUPERIOR  | 620               |
| ALMA              | 1036              |
| PLETINA DELANTERA | 1300              |
| PLETINA TRASERA   | 1300              |
| SOPORTE FRONTAL   | 407               |
| SOPORTE AGUJEROS  | 968               |
| ANGULO SUJECCION  | 433               |
| TRAVESAÑO         | 1300              |

Tabla 11: Tensión Equivalente Von Misses Máxima

Como podemos apreciar en las imágenes 26 y 27 los componentes que más sufren son la pletina delantera y la pletina trasera, pero a pesar de ello no superan el límite de tensión de 1300 MPa, el alma del soporte en cambio (el componente principal) soporta sin problema la carga, por tanto, esta estructura aguantara las cargas de la prueba sin romperse.

Otro de los puntos fuertes de este diseño es que tiene una gran capacidad de absorción de energía llevando al límite su capacidad de deformación, a su vez se obtiene una deformación proporcional en todo el dispositivo.

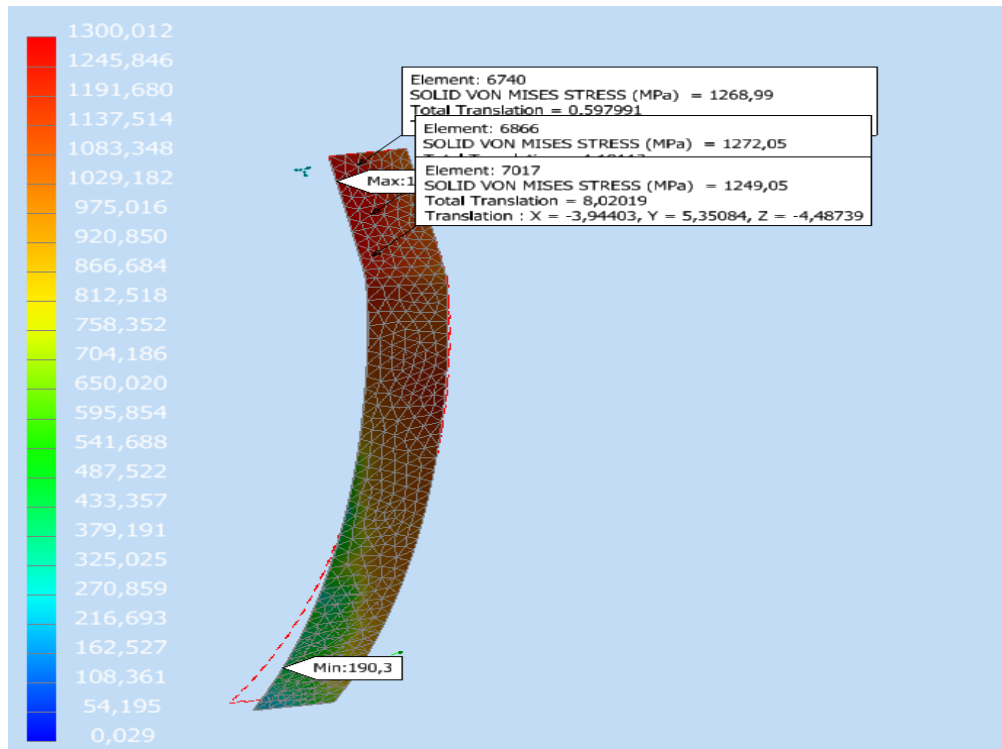


Imagen 28: Tensión Equivalente Von Misses Máxima pletina trasera

Como antes hemos explicado, en las imágenes 28 y 29 se puede apreciar que la pletina no superar la tensión límite de 1300 MPa, los nodos de la región cercana al nodo con la tensión máxima están muy cerca de la tensión de rotura, pero no llegan a superarla, por tanto, deducimos que la pletina no llegará a colapsar y por tanto resistirá.

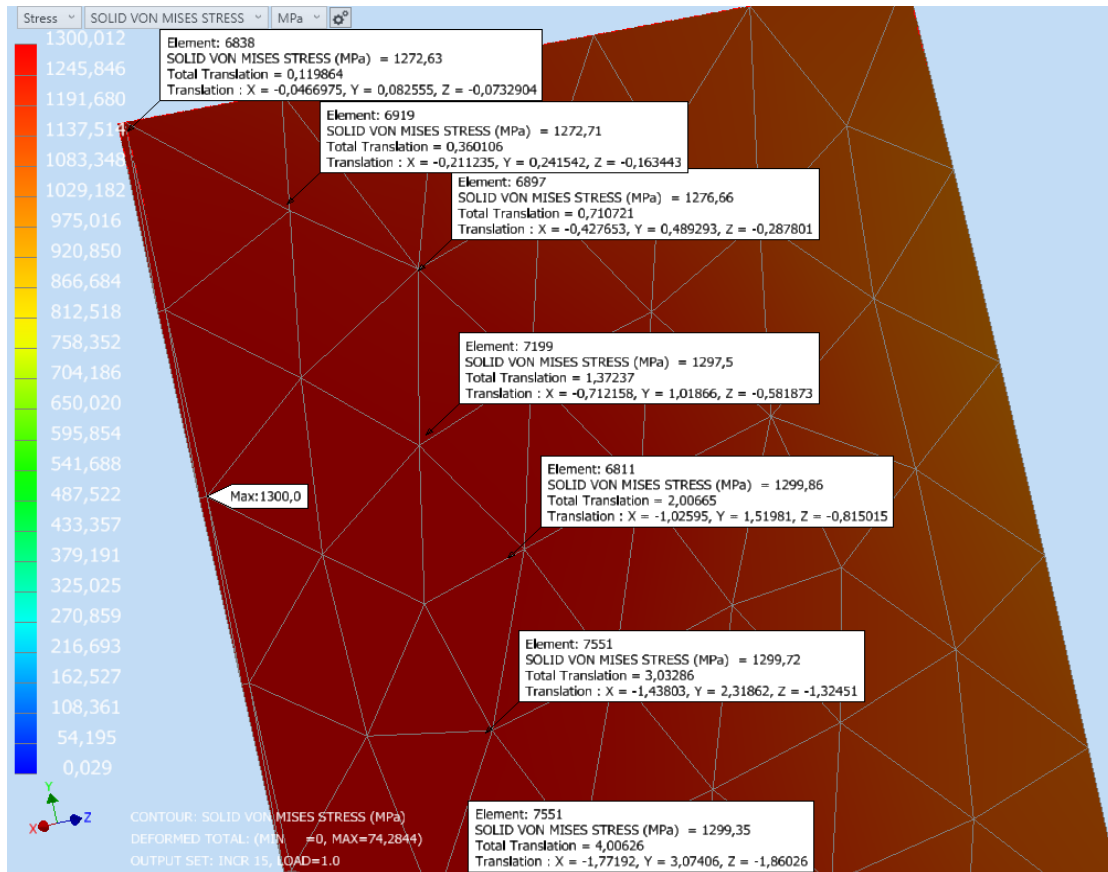
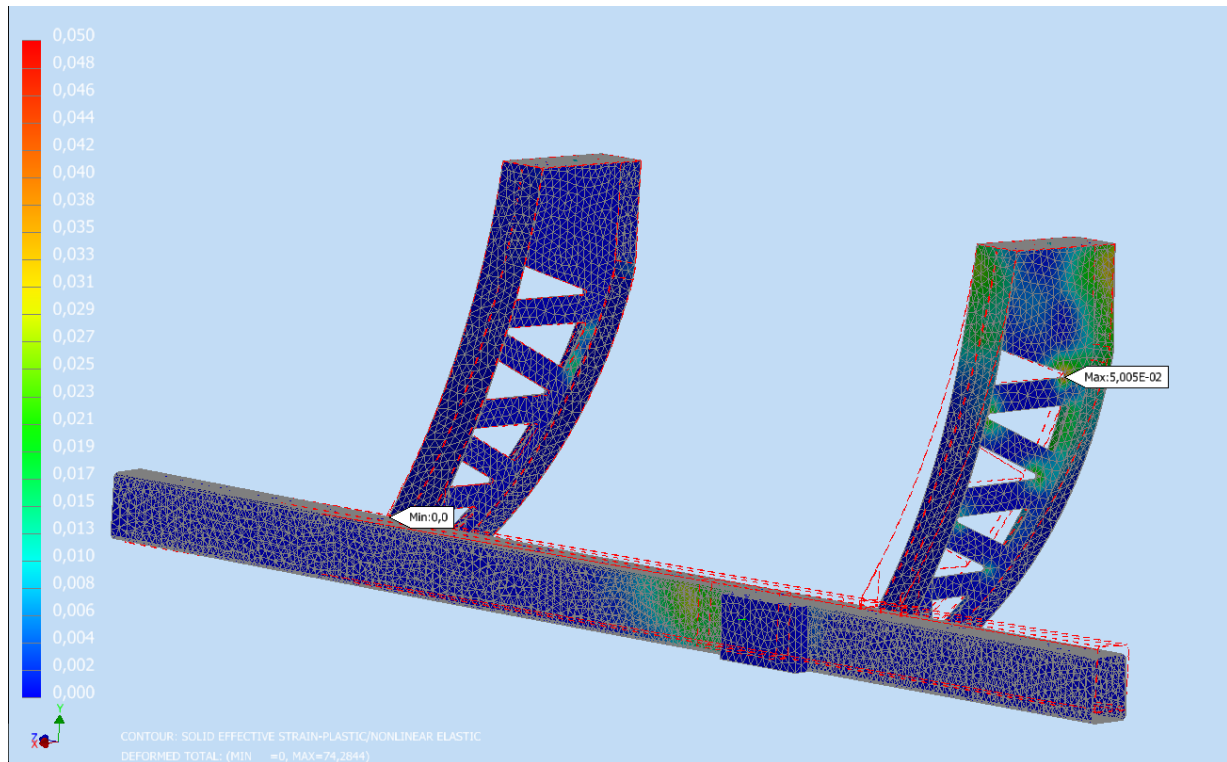


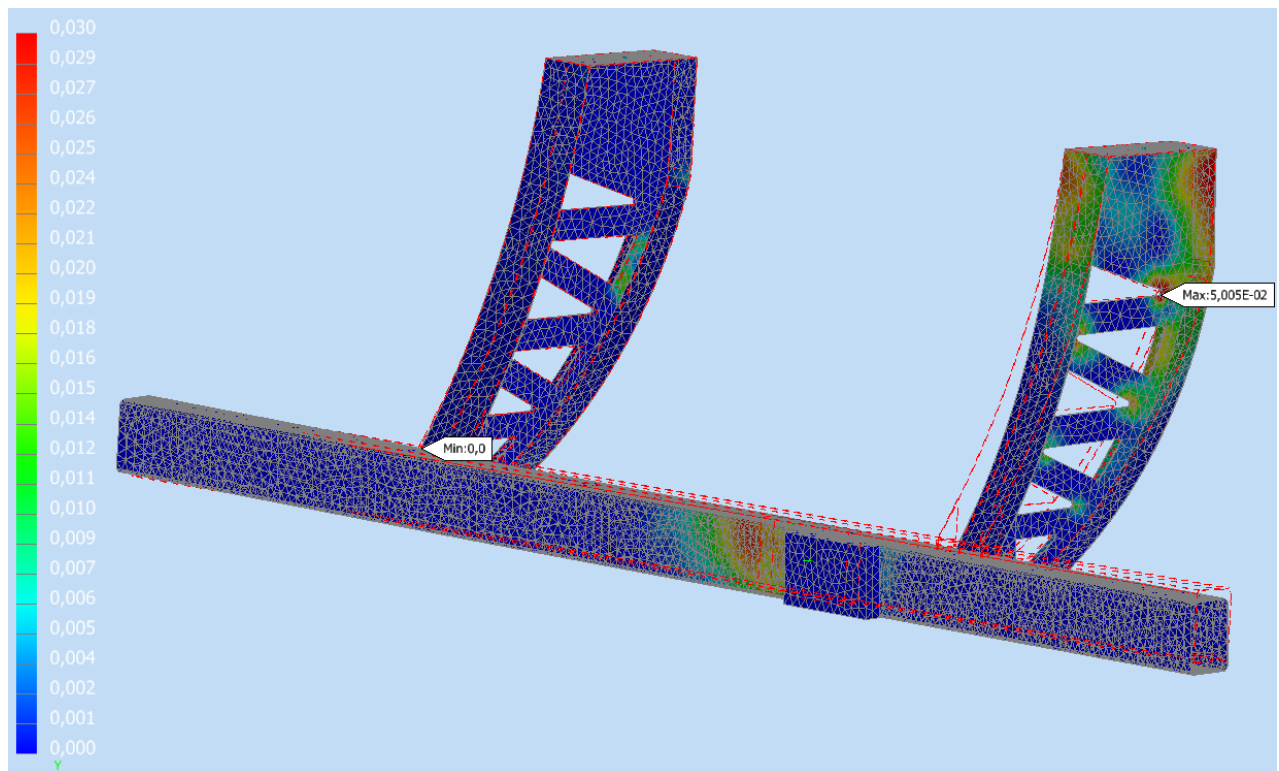
Imagen 29: Tensión Equivalente Von Misses Máxima pletina trasera

A continuación, en la *imagen 30* mostramos la deformación de los elementos con un máximo de 0,07 que sería el límite del Strenx 960 PLUS.



*Imagen 30: Ensayo de formación diseño definitivo P2*

En la *imagen 31* mostramos la deformación de los elementos con un máximo de 0,03 que sería el límite del Strenx 960Cr



*Imagen 31: Ensayo deformación diseño definitivo P2*

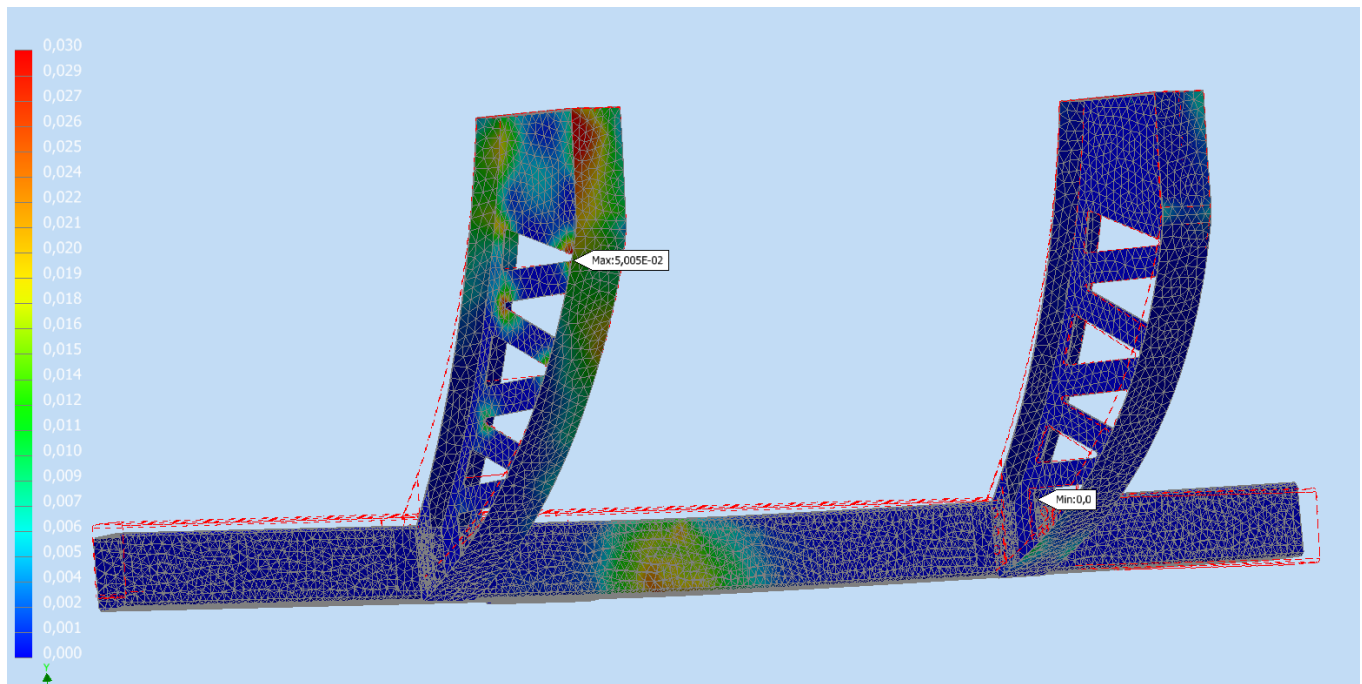


Imagen 32: Ensayo deformación diseño definitivo P2

| ELEMENTO          | Deformación MAX P2 [0/1] |
|-------------------|--------------------------|
| SOPORTE SUPERIOR  | 0                        |
| ALMA              | 0,05                     |
| PLETINA DELANTERA | 0,026                    |
| PLETINA TRASERA   | 0,032                    |
| SOPORTE FRONTAL   | 0                        |
| SOPORTE AGUJEROS  | 0,005                    |
| ANGULO SUJECCION  | 0                        |
| TRAVESAÑO         | 0,031                    |

Tabla 12: Deformación Máxima diseño definitivo P2

Según lo indicado en la *tabla 12* podemos observar que las piezas que más deformación sufren son el travesaño y la pletina trasera, superan levemente su límite de deformación, por lo que es muy probable que pueda aparecer alguna grieta en esas zonas de máxima tensión/deformación de la pieza.

A pesar de estas grietas este dispositivo aguantaría y superaría las condiciones de la normativa, por lo que indica que estamos en el límite peso/resistencia.

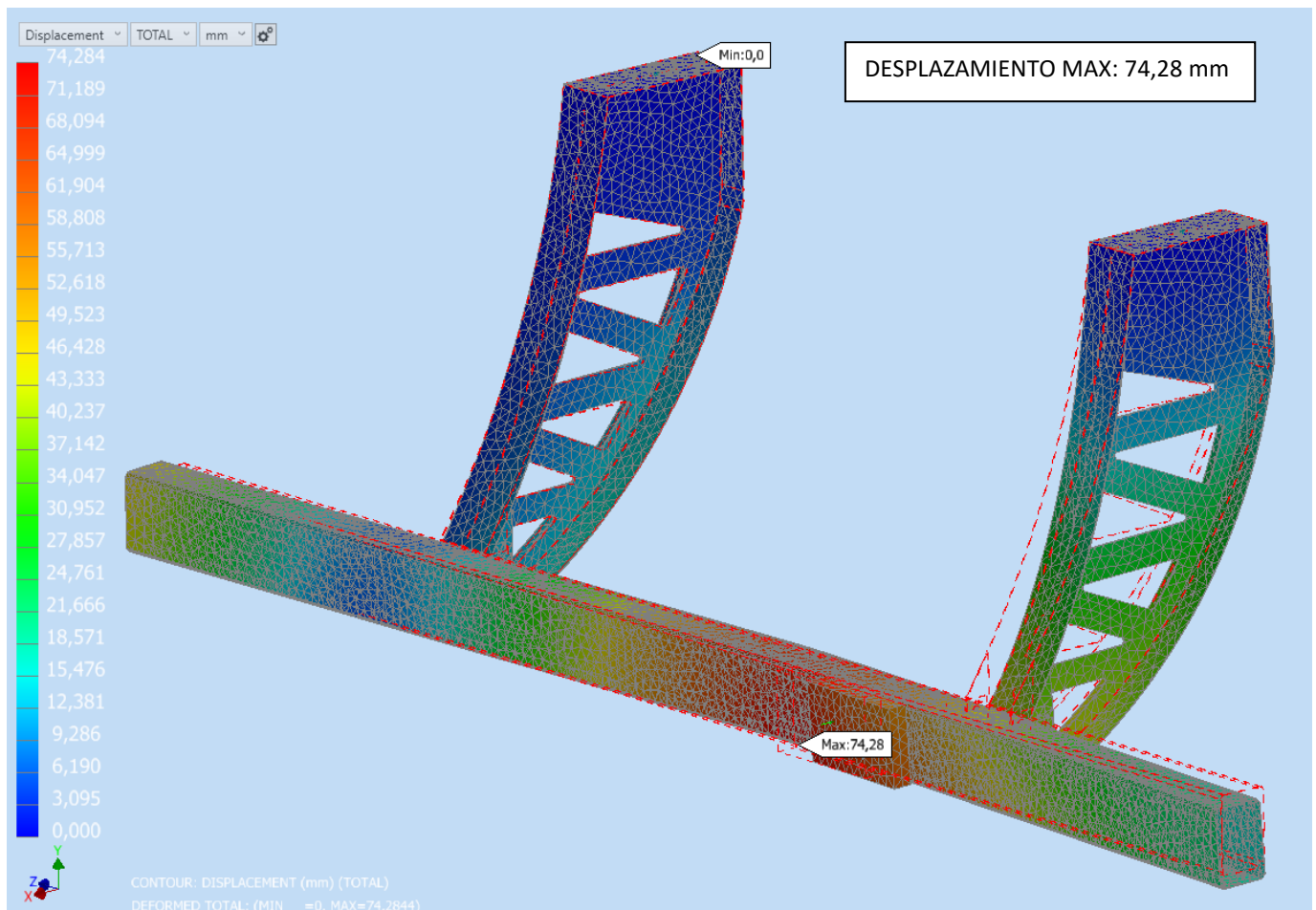


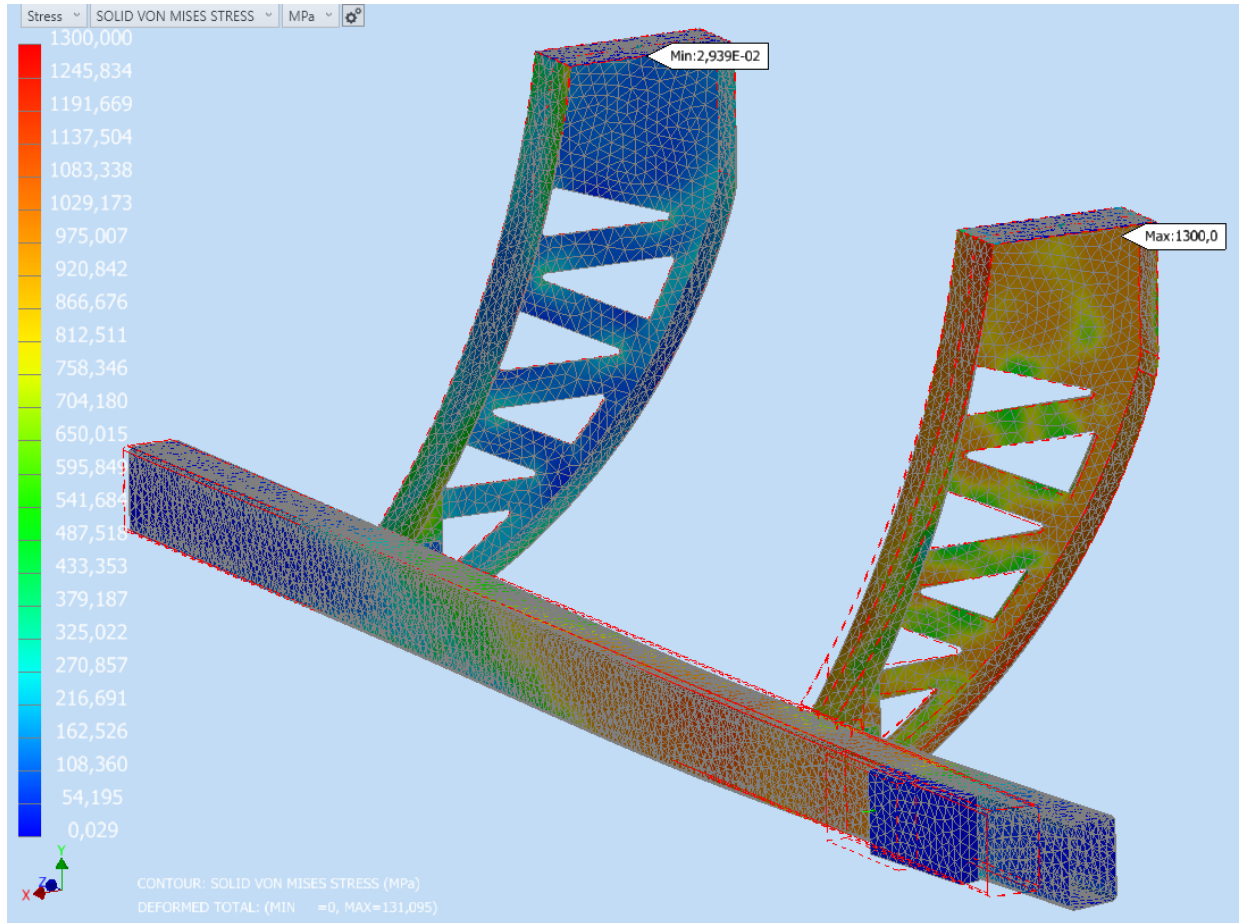
Imagen 33: Ensayo deformación diseño definitivo P2

En cuanto al desplazamiento, el máximo que nos indica el ensayo es de 74,28mm, por lo que estamos bastante lejos de los 300mm que nos exige como limite la normativa, siendo esto un muy buen resultado.



### 3.4.2 Ensayo carga P1

En este apartado mostramos el ensayo para P1 (*imagen 1*), en este caso la carga está a 200mm del extremo del travesaño, es decir, estamos ante una carga en voladizo, se deduce por tanto que el componente que más puede sufrir en este ensayo sea el travesaño.



*Imagen 34: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo P1*

| ELEMENTO          | TENSION EQ. VON MISSES MAX (P1) |
|-------------------|---------------------------------|
| SOPORTE SUPERIOR  | 482,2 MPa                       |
| ALMA              | 994,6 MPa                       |
| PLETINA DELANTERA | 1218,6 MPa                      |
| PLETINA TRASERA   | 1300 MPa                        |
| SOPORTE FRONTAL   | 680,7 MPa                       |
| SOPORTE AGUJEROS  | 1006 MPa                        |
| ANGULO SUJECCION  | 987 MPa                         |
| TRAVESAÑO         | 1184,1 MPa                      |

*Tabla 13: Tensión Equivalente Von Misses Máxima diseño definitivo P1*

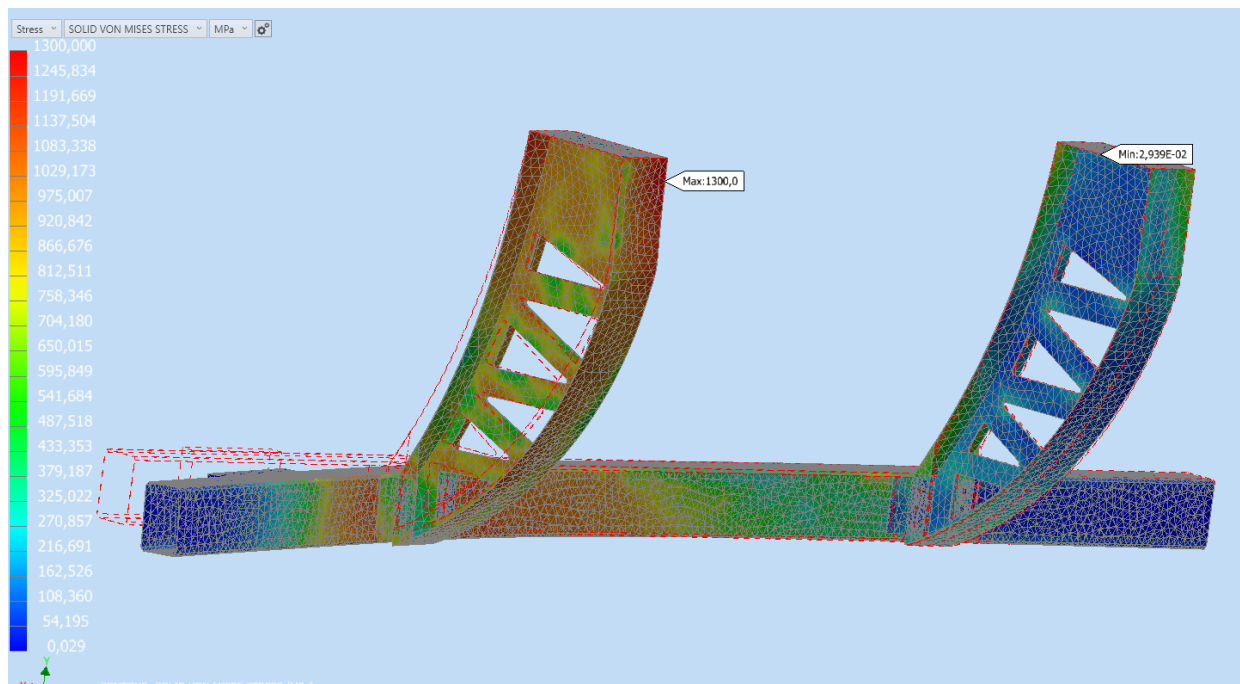


Imagen 35: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo P1

En la *tabla 13* se observa que, como bien hemos supuesto previamente tanto el travesaño como la pletina trasera son las piezas que más sufren del dispositivo, aunque en ningún caso superan el límite de rotura.

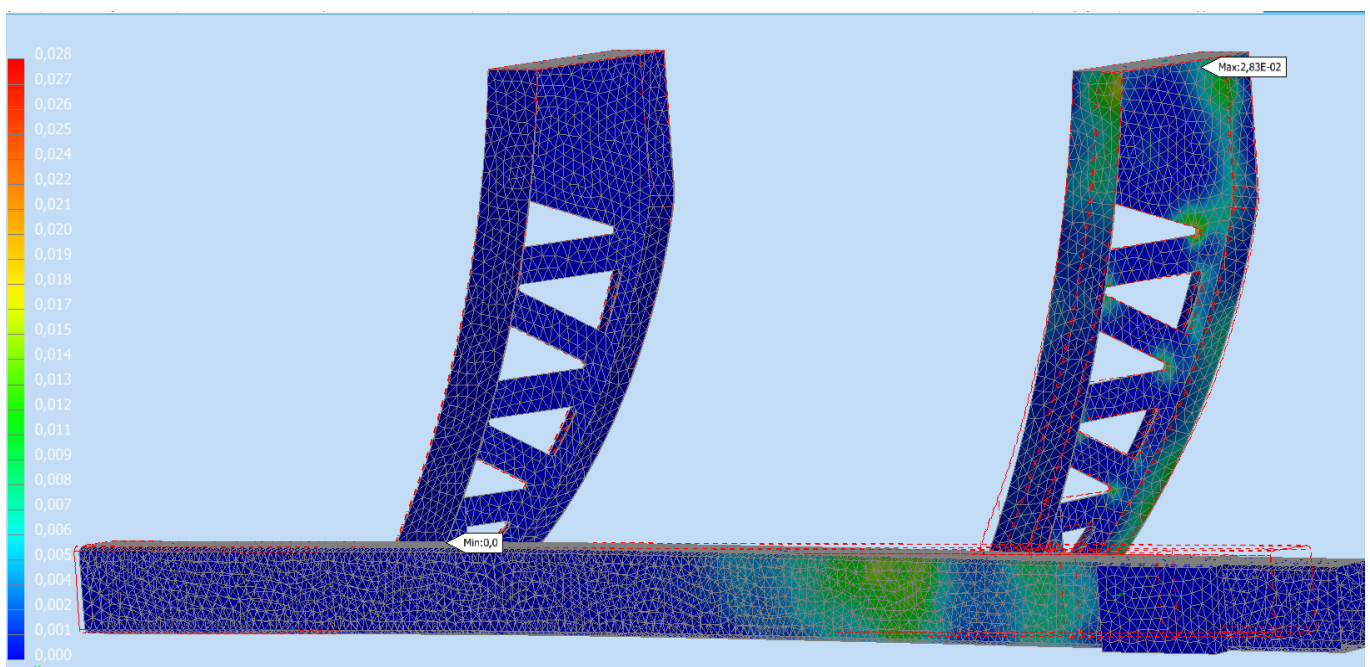


Imagen 36: Ensayo deformación diseño definitivo P1

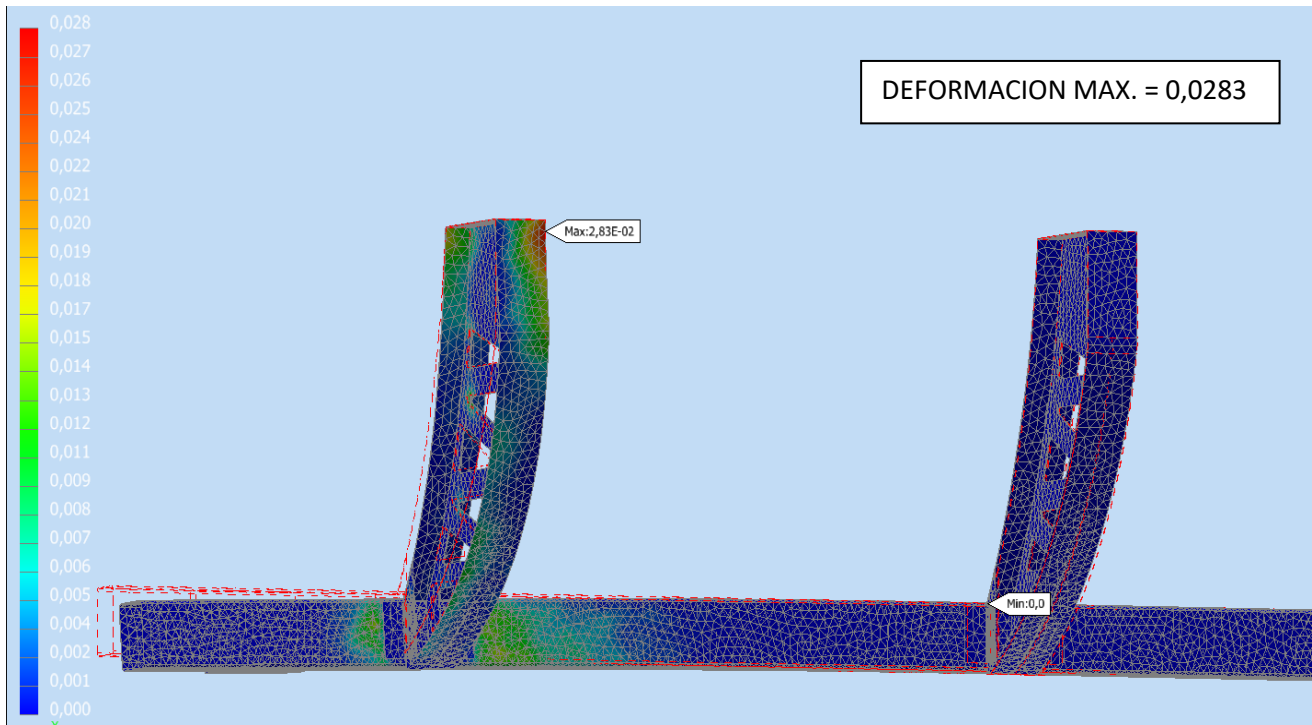


Imagen 37: Ensayo deformación diseño definitivo P1

En cuanto a la deformación en el caso P1 se concentra en una pequeña zona de la parte superior de la pletina trasera, aunque en ningún momento llegamos al límite máximo, por tanto, en este caso no aparecerá ninguna grieta.

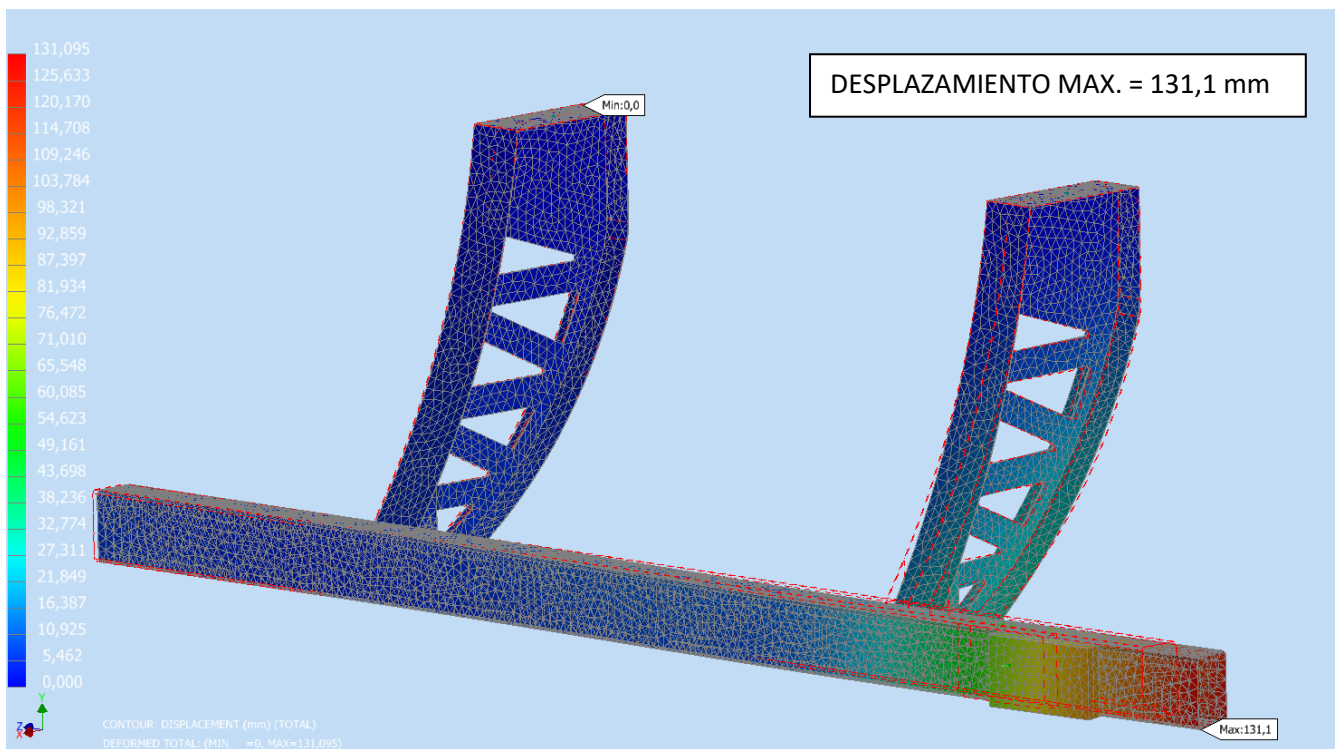


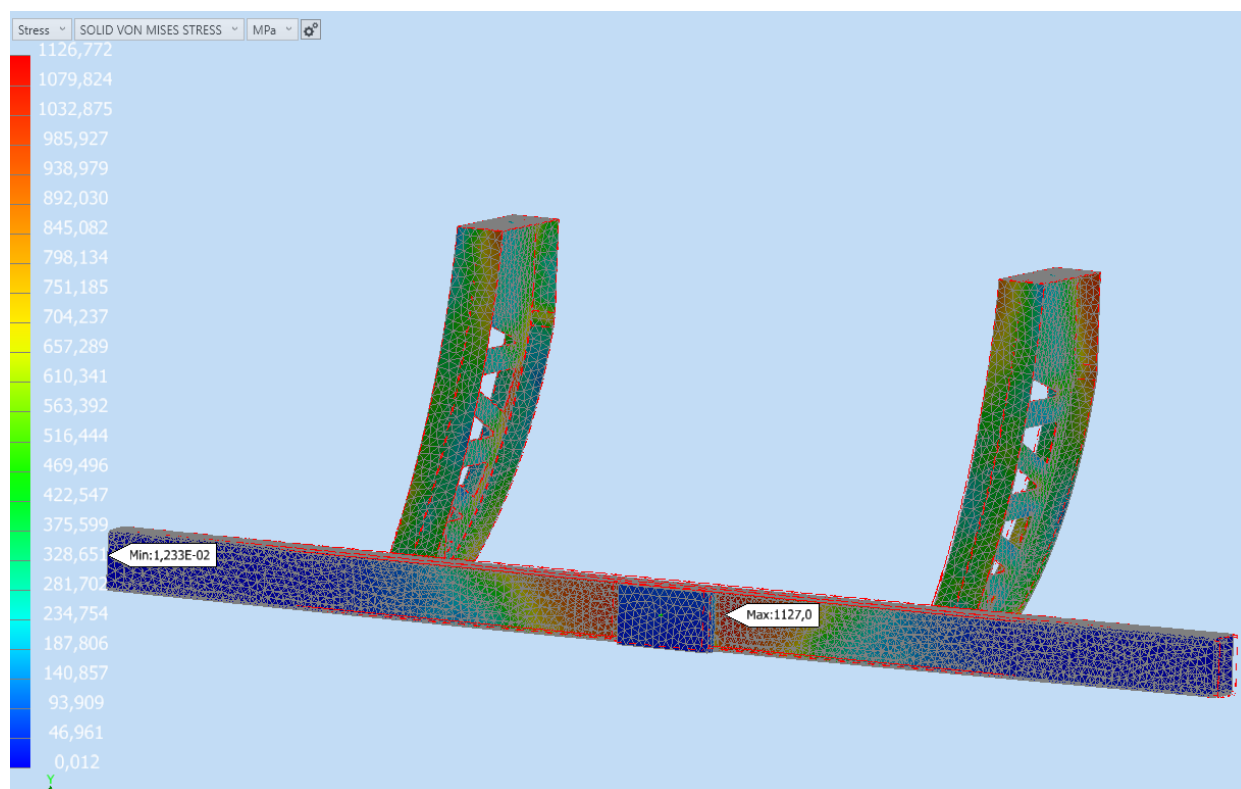
Imagen 38: Ensayo desplazamiento diseño definitivo P1



El desplazamiento en el ensayo del caso P1 ha aumentado respecto al caso P2, esto es normal debido a que estamos ante una carga en voladizo, a pesar de esto seguimos estando dentro de los límites que nos exige la normativa y la estructura ha aguantado.

### 3.4.3 Ensayo carga P3

Este caso es el ensayo para la carga P3 (*imagen 1*), esta carga es de 100 KN y se aplica en el centro del travesaño, al igual que en el caso anterior el travesaño es el elemento más castigado de la prueba, sin olvidar que en la parte superior de los soportes también se acumula gran cantidad de tensión.



*Imagen 39: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo P3*

| ELEMENTO          | TENSION EQ. VON MISSES MAX (P3) |
|-------------------|---------------------------------|
| SOPORTE SUPERIOR  | 209 MPa                         |
| ALMA              | 892,4 MPa                       |
| PLETINA DELANTERA | 925 MPa                         |
| PLETINA TRASERA   | 1017 MPa                        |
| SOPORTE FRONTAL   | 305 MPa                         |
| SOPORTE AGUJEROS  | 670 MPa                         |
| ANGULO SUJECCION  | 495 MPa                         |
| TRAVESAÑO         | 1127 MPa                        |

*Tabla 15: Tensión equivalente Von misses diseño definitivo P1*

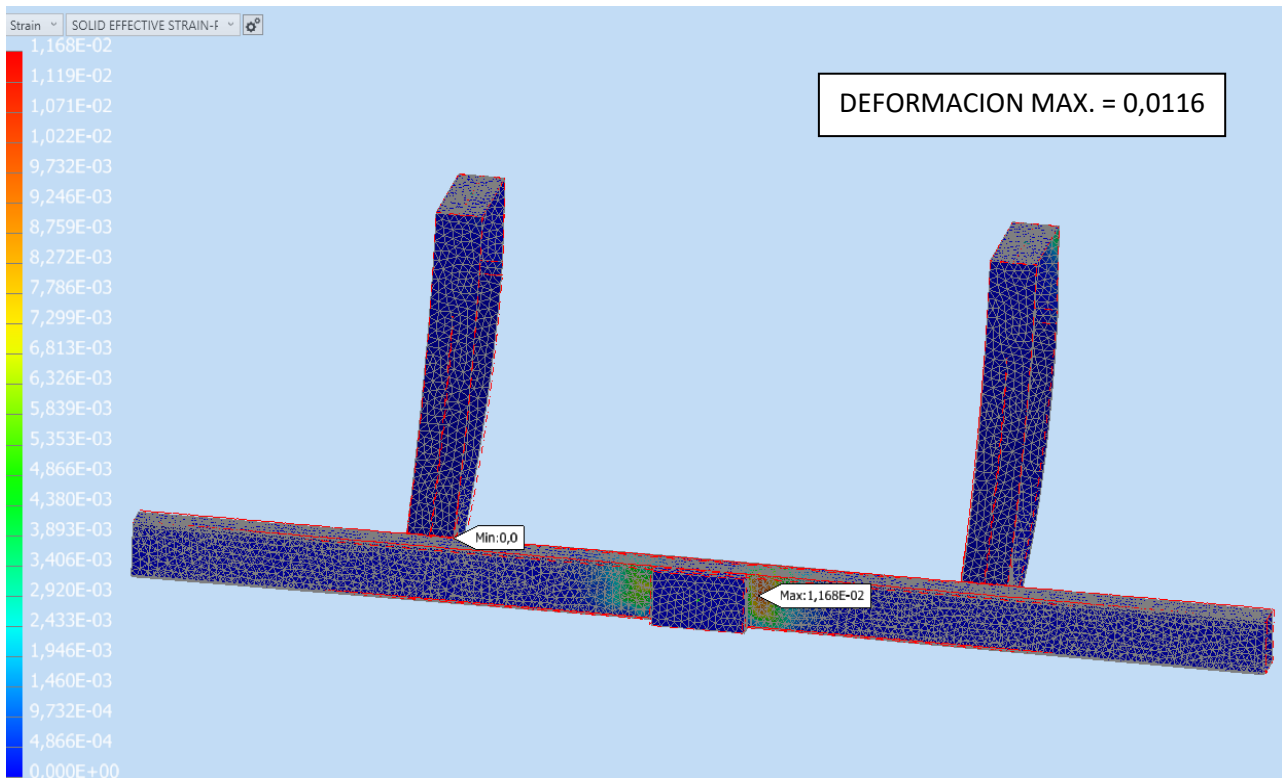


Imagen 40: Ensayo deformación diseño definitivo P3

Como se muestra en la *imagen 40* y *41* la deformación y desplazamiento máxima son inferiores respecto al ensayo con P1 y P2, esto se debe a que la carga está centrada, los esfuerzos se dividen entre los dos soportes a partes más o menos iguales. Debido a esto el centro del travesaño es la parte más castigada, a pesar de ello cumple con la normativa sin dificultad.

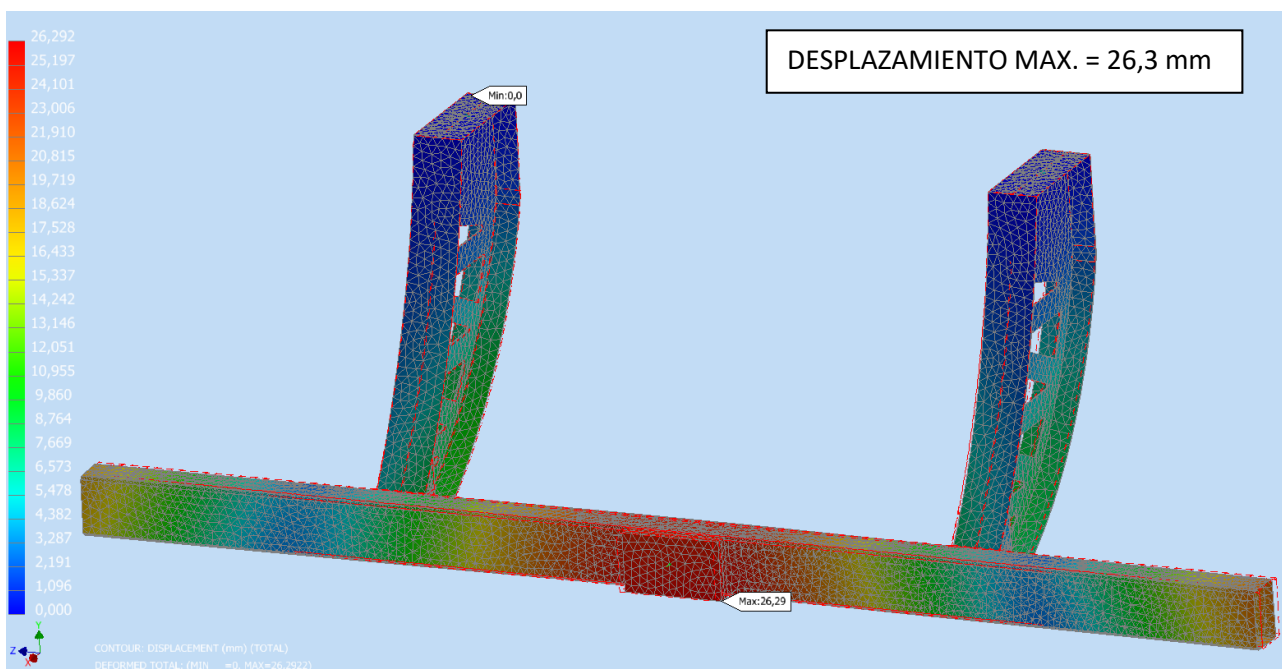


Imagen 41: Ensayo desplazamiento diseño definitivo P1

### 3.4.4 Ensayo pandeo P2

Uno de los ensayos que no nos deberíamos de olvidar de realizar es el ensayo de pandeo, como hemos reducido tanto los espesores de los componentes es muy interesante comprobar si puede llegar a existir pandeo. En algún caso hemos reducido el espesor al mínimo posible que nos indica el fabricante como el travesaño de 0,7mm de espesor.

Este ensayo lo realizaremos para la carga P2 ya que es la carga mayor, también porque es en este ensayo donde mayores tensiones se producen en los soportes, siendo este el elemento más probable en el que pueda existir pandeo debido a la dirección de la carga y la geometría de la estructura.

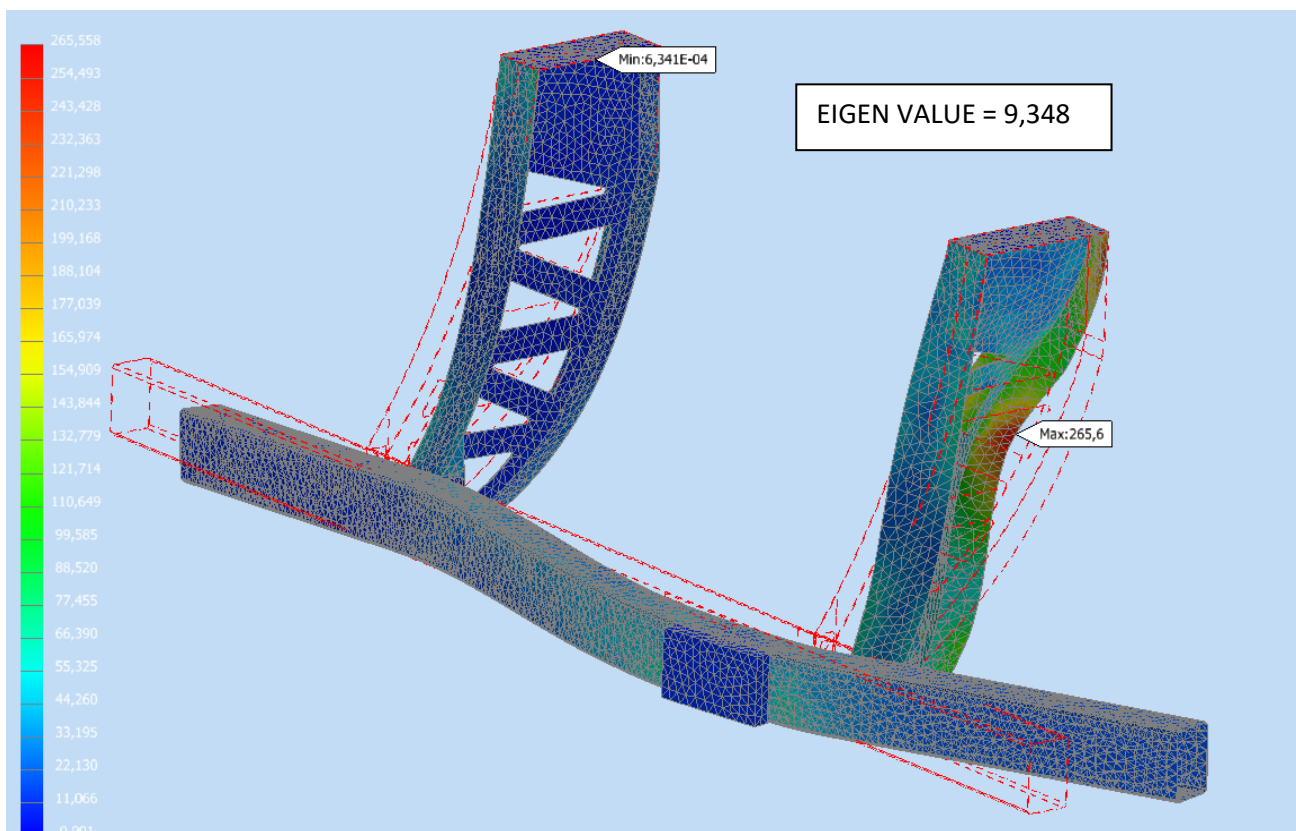


Imagen 42: Ensayo Pandeo 1 diseño definitivo P2

En el primer caso de pandeo posible (imagen 42) podemos apreciar que la zona más propensa a pandear podría ser la pletina trasera junto con el alma del soporte, esto coincide con las zonas que tiene mayor tensión, a pesar de ello nos ofrece un factor de pandeo (Eigenvalue) de 9,348, es decir, que soportaría 9,348 veces nuestra carga hasta que se produjera el pandeo.

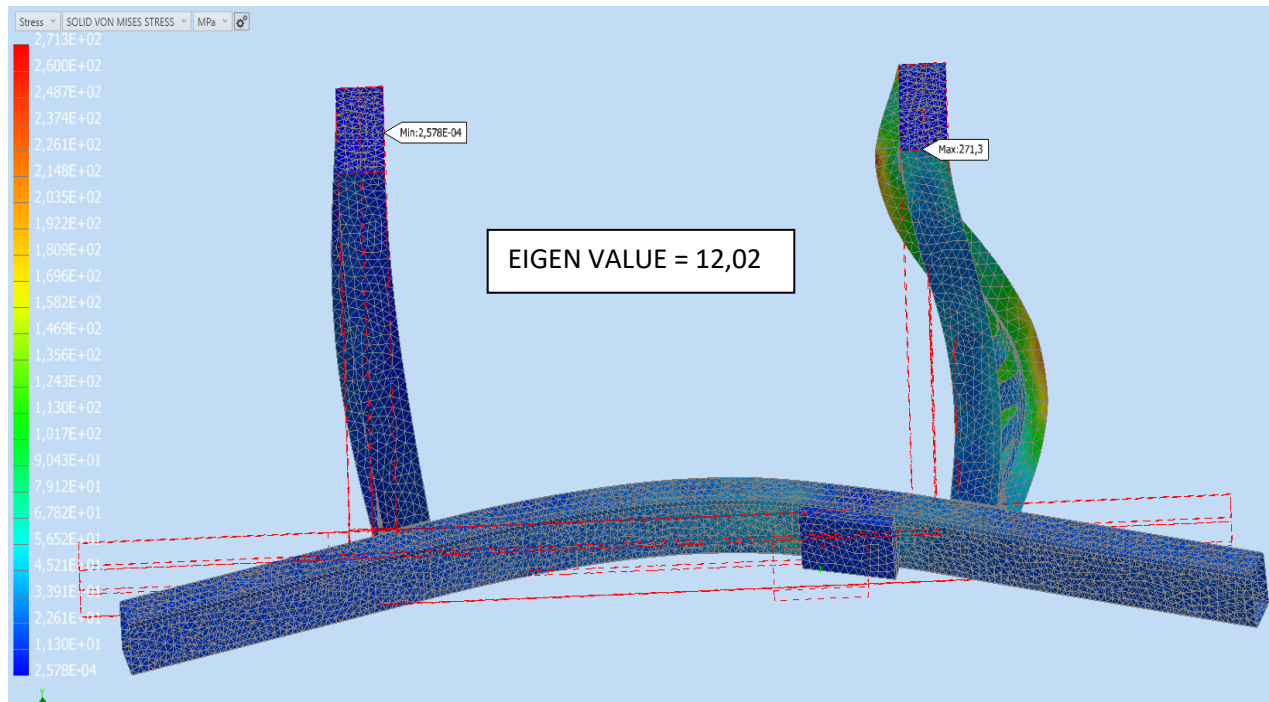


Imagen 43: Ensayo Pandeo 2 diseño definitivo P2

En el segundo caso de pandeo posible (*imagen 43*) podemos apreciar que la zona más propensa a pandear podría ser la parte central del travesaño junto con la parte trasera soporte, a pesar de ello los factores de pandeo en ambos casos son bastante elevados, por tanto, podemos estar seguros de que la estructura no pandeará.

### 3.4.5 Conclusión ensayo

Después de analizar los resultados obtenidos podemos llegar a la conclusión de que tenemos un dispositivo antiempotramiento muy ligero que supera las condiciones exigidas en la normativa R58, a pesar de esto estamos en el límite de sus capacidades principalmente en el caso de la carga P2 donde es posible que apareciera alguna grieta en la pletina trasera.

Por tanto, sería muy recomendable mejorar estos resultados, pero sin aumentar en exceso el peso del sistema de protección trasera antiempotramiento.

### 3.5 Simulación de ensayo diseño definitivo con mejora PUR

Tras la conclusión obtenida en el apartado anterior se ha optado por introducir una mejora en el sistema de protección trasera antiempotramiento. Esta mejora es introducir una espuma PUR (ver anexo 3) en el interior del travesaño.

Con esta mejora se espera obtener una mayor inercia y rigidez en el travesaño, con esto se espera que el travesaño sea capaz de absorber mayor cantidad de energía, también se espera que el aumento de rigidez haga que las cargas se repartan entre los dos soportes del travesaño en los casos de carga P2 y P1, en vez de que sea un solo soporte el que absorba la mayor parte de la carga.

#### 3.5.1 Ensayo carga P2

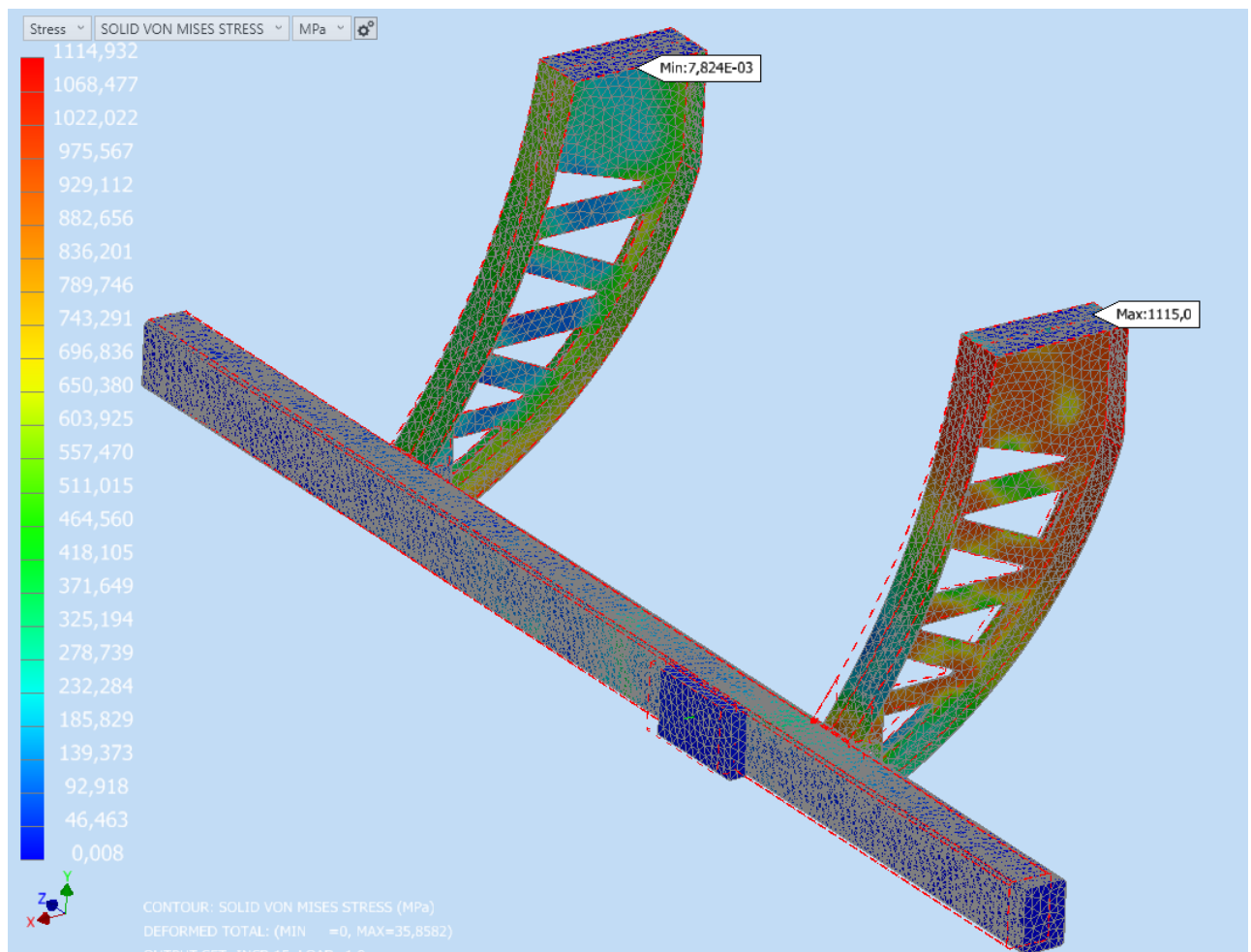


Imagen 44: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo + PUR P2



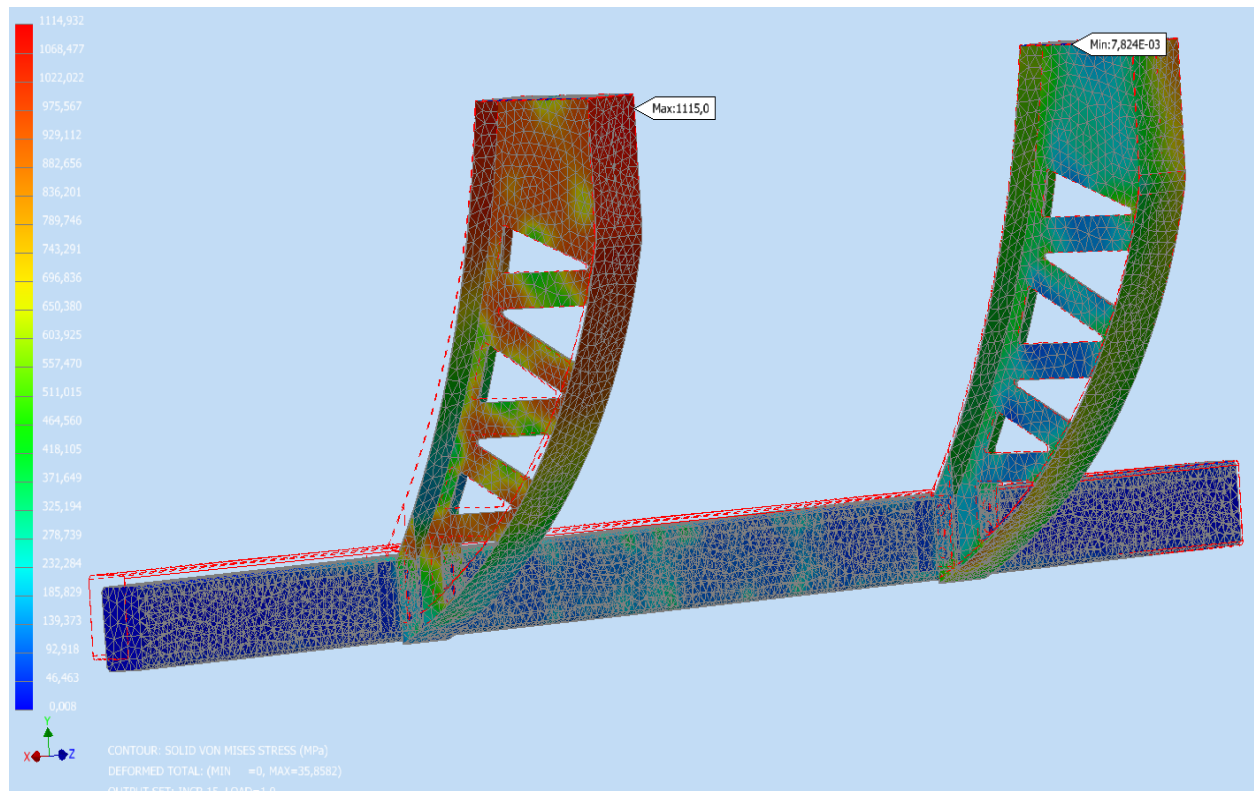


Imagen 45: Ensayo Tensión equivalente Von misses diseño definitivo + PUR P2

| ELEMENTO          | TENSION EQ. VON MISSES MAX (P2) |
|-------------------|---------------------------------|
| SOPORTE SUPERIOR  | 401 MPa                         |
| ALMA              | 1005 MPa                        |
| PLETINA DELANTERA | 1095 MPa                        |
| PLETINA TRASERA   | 1115 MPa                        |
| SOPORTE FRONTAL   | 271,1 MPa                       |
| SOPORTE AGUJEROS  | 978 MPa                         |
| ANGULO SUJECCION  | 662,6 MPa                       |
| TRAVESAÑO         | 745,2 MPa                       |
| PUR               | 0,4121 MPa                      |

Tabla 16: Tensión equivalente Von misses diseño definitivo + PUR P2

Si analizamos los resultados obtenidos de la *tabla 16* vemos que nuestra premisa se cumple, las tensiones máximas han disminuido considerablemente en todos los componentes, principalmente en el travesaño.

En las *imágenes 44 y 45* se puede ver que las tensiones están más repartidas, se puede apreciar que el soporte situado en la parte contraria a la carga está soportando mayores tensiones que en el caso P2 sin espuma PUR, esto es debido a que el aumento de rigidez del travesaño hace que se repartan las tensiones entre los dos soportes en mayor medida que sin la espuma PUR.

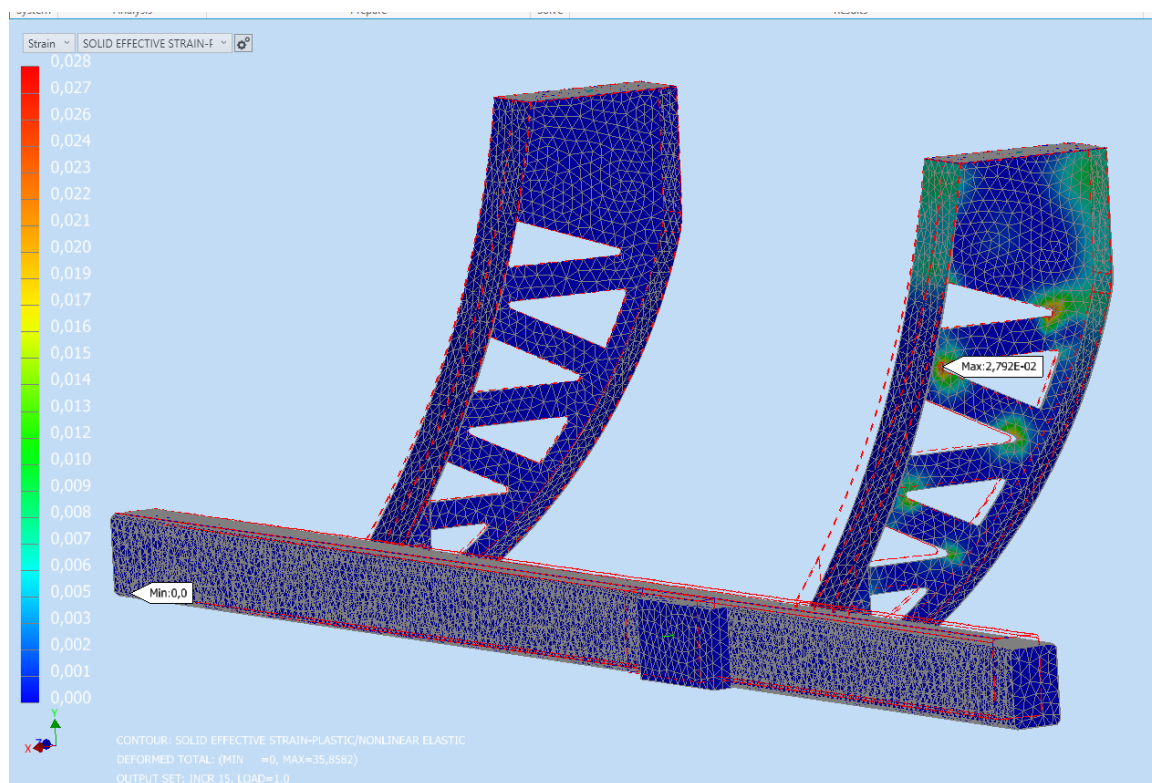


Imagen 46: Ensayo deformación diseño definitivo + PUR P2

| ELEMENTO          | Deformación MAX P2 [0/1] |
|-------------------|--------------------------|
| SOPORTE SUPERIOR  | 0                        |
| ALMA              | 0,0279                   |
| PLETINA DELANTERA | 0,00943                  |
| PLETINA TRASERA   | 0,0108                   |
| SOPORTE FRONTAL   | 0                        |
| SOPORTE AGUJEROS  | 0,00141                  |
| ANGULO SUJECCION  | 0                        |
| TRAVESAÑO         | 0,002565                 |
| PUR               | 0,0005473                |

Tabla 17: Deformación diseño definitivo + PUR P2

Al igual que sucede con la Tensión, la deformación ha disminuido considerablemente respecto al diseño sin espuma PUR, en este caso en ningún momento nos acercamos al límite de deformación de cada componente, por lo tanto, se puede asegurar que gracias a la espuma PUR evitaremos que pueda aparecer alguna grieta en cualquier momento del ensayo.

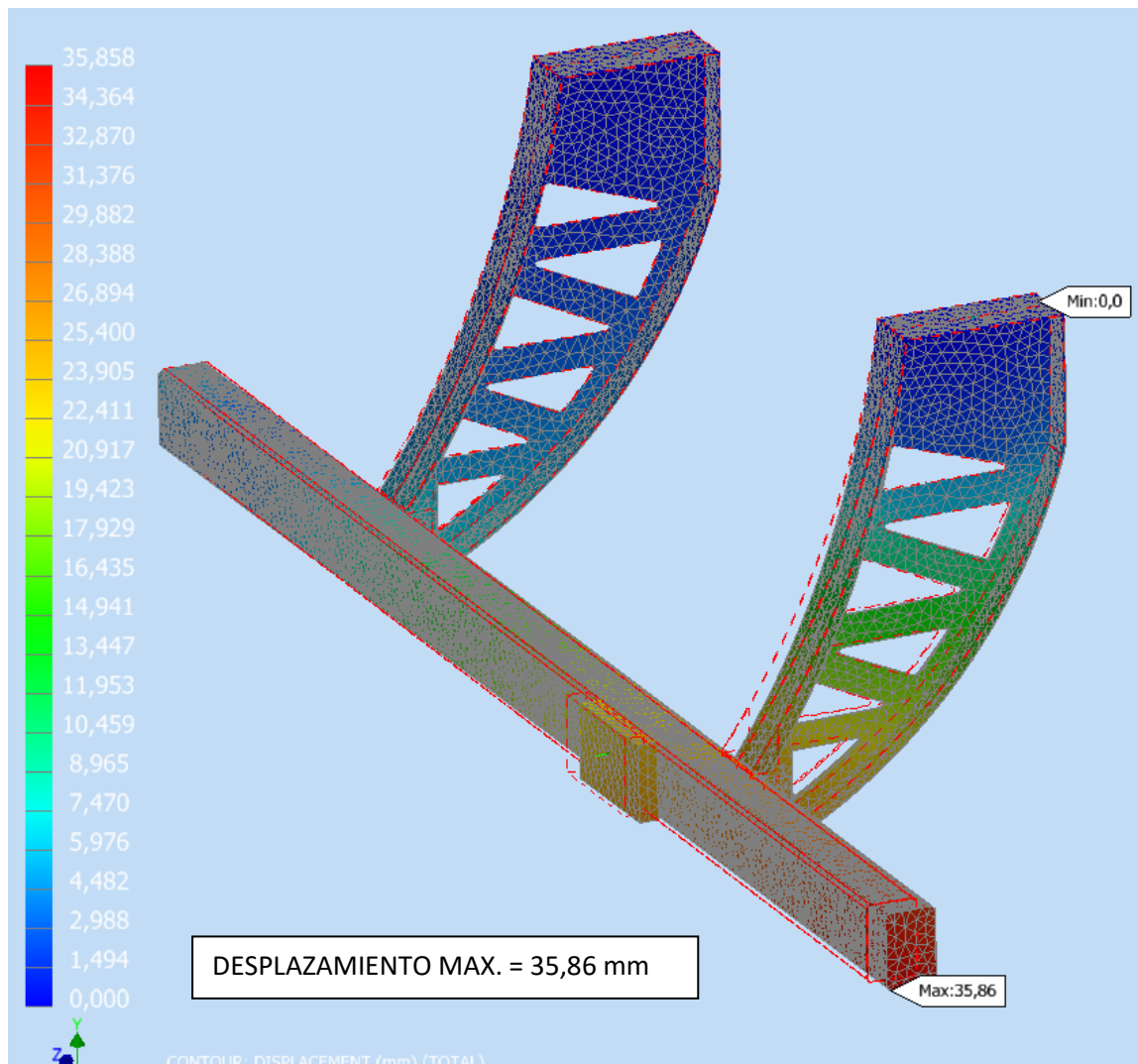


Imagen 47: Ensayo desplazamiento diseño definitivo + PUR P2

Gracias al aumento de rigidez del travesaño hemos reducido en más de la mitad el desplazamiento máximo. Esta vez el desplazamiento máximo aparecerá en el extremo del travesaño en vez de en la zona de la carga como en el caso sin espuma PUR.



### 3.5.2 Ensayo carga P1

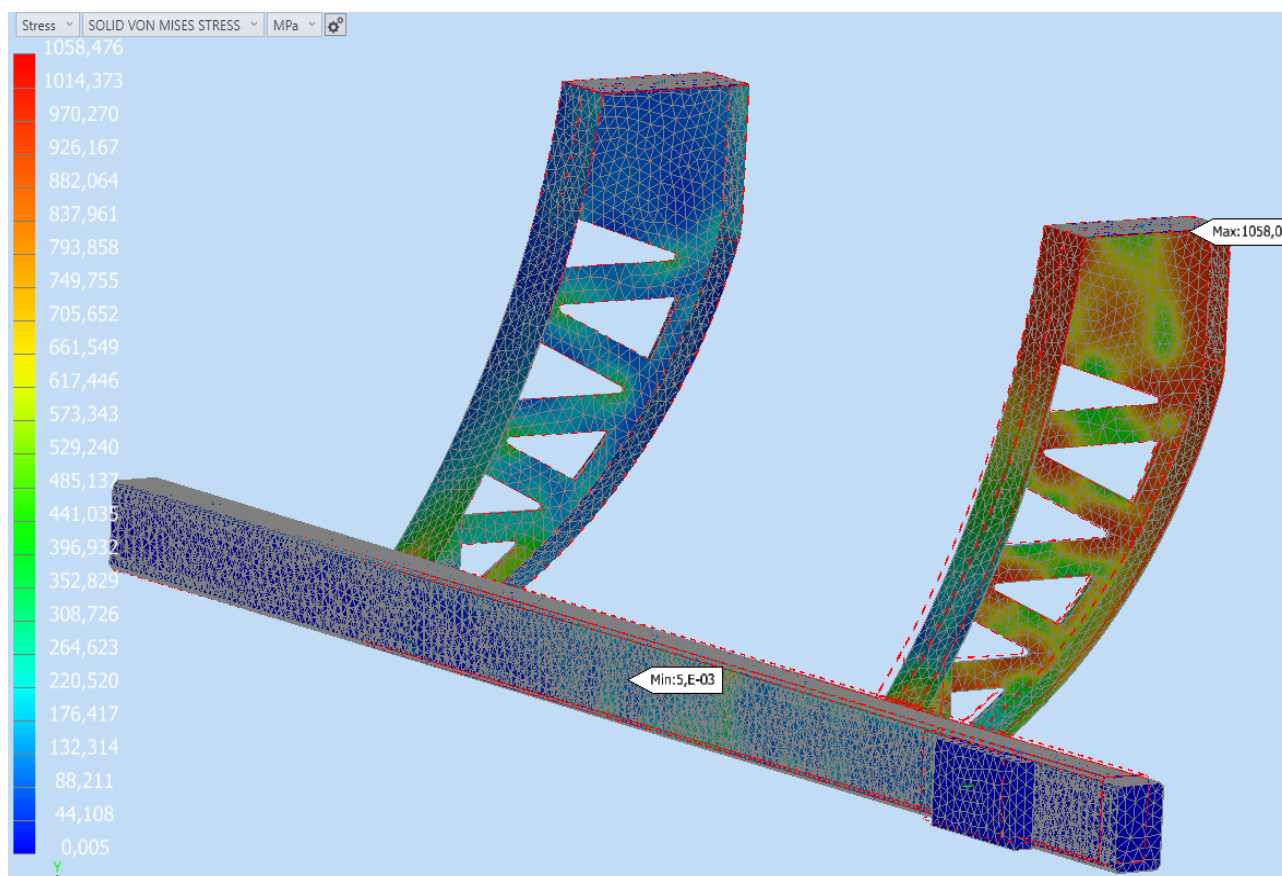


Imagen 48: Ensayo Tensión Equivalente de Von Misses diseño definitivo + PUR P1

| ELEMENTO          | TENSION EQ. VON MISSES MAX (P1) |
|-------------------|---------------------------------|
| SOPORTE SUPERIOR  | 309,1 MPa                       |
| ALMA              | 984,8 MPa                       |
| PLETINA DELANTERA | 1017 MPa                        |
| PLETINA TRASERA   | 1058,2 MPa                      |
| SOPORTE FRONTAL   | 221,7 MPa                       |
| SOPORTE AGUJEROS  | 891,5 MPa                       |
| ANGULO SUJECCION  | 526,5 MPa                       |
| TRAVESAÑO         | 800,7 MPa                       |
| PUR               | 0,05782 MPa                     |

Tabla 18: Tensión equivalente Von misses diseño definitivo + PUR P2

En estos resultados (*tabla 18*) para el caso P1 podemos ver que las tensiones máximas en cada componente también se reducen frente al dispositivo sin PUR, además podemos observar que, incluso estando la carga en uno de los extremos del travesaño, el soporte del lado contrario absorbe parte de la tensión.

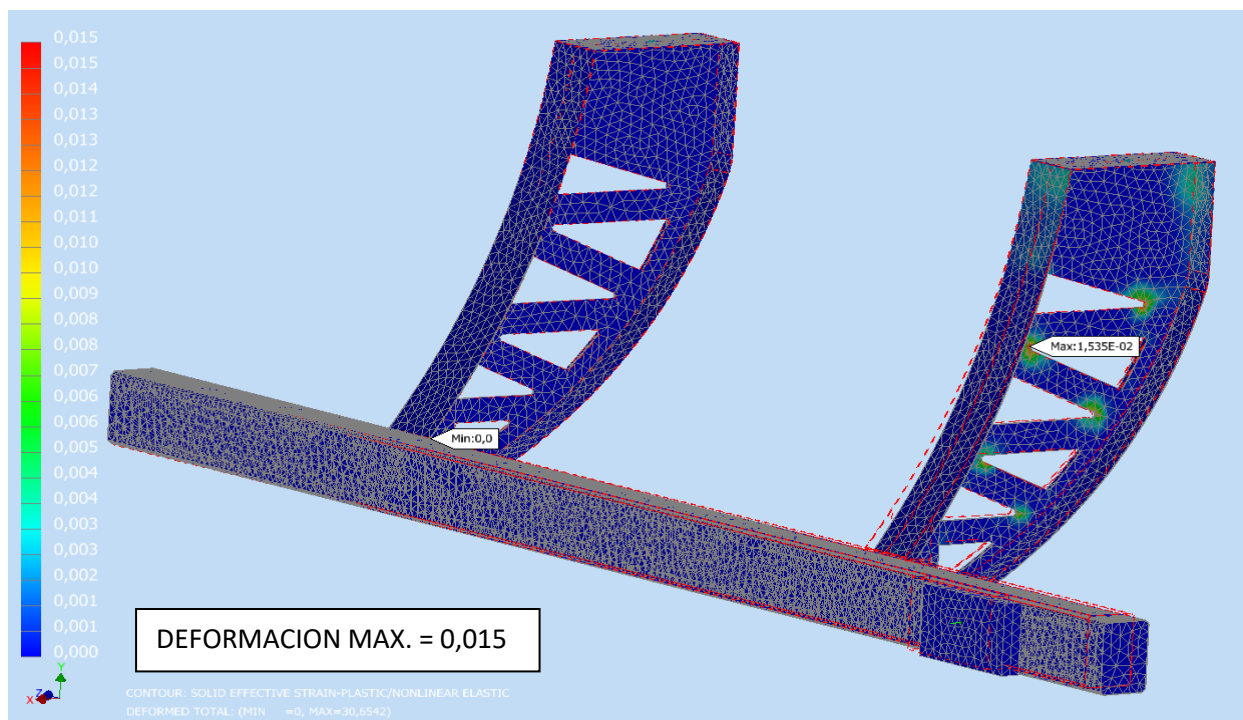


Imagen 49: Ensayo deformación diseño definitivo + PUR P2

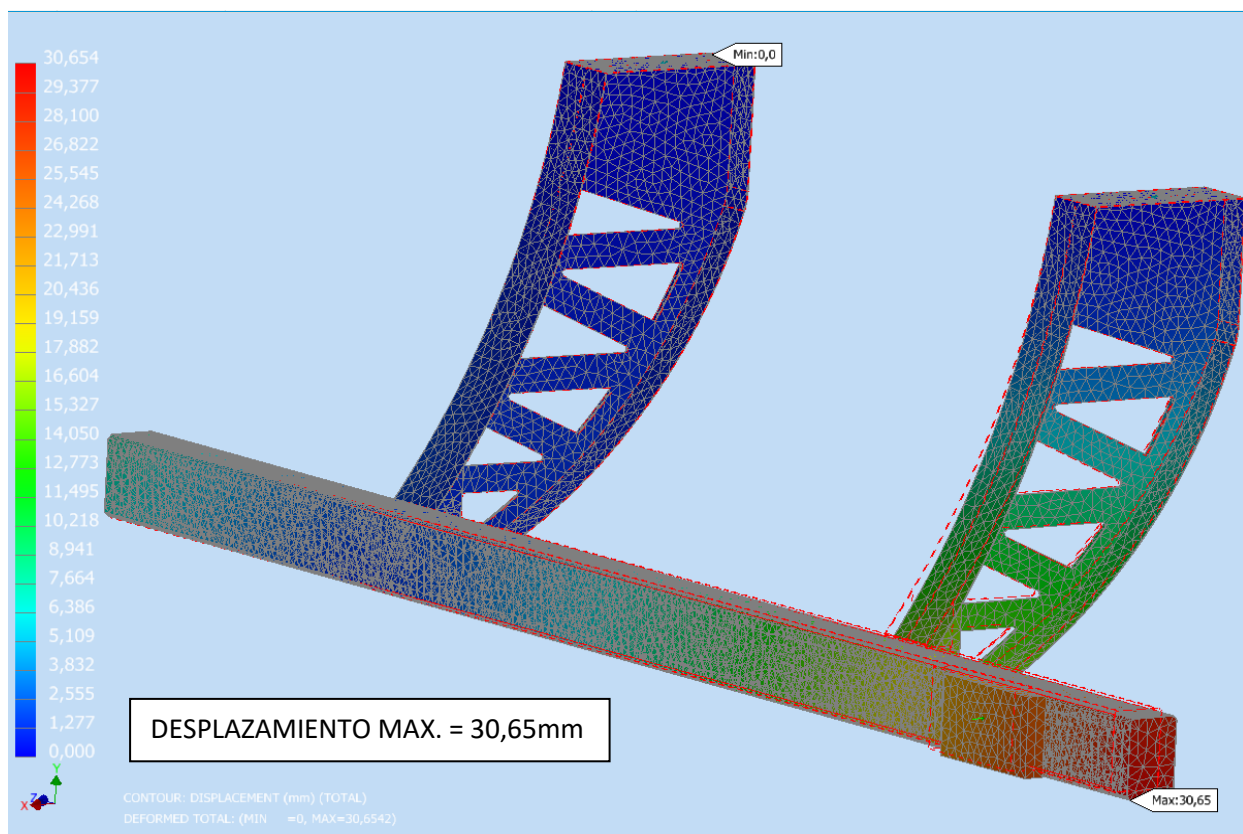
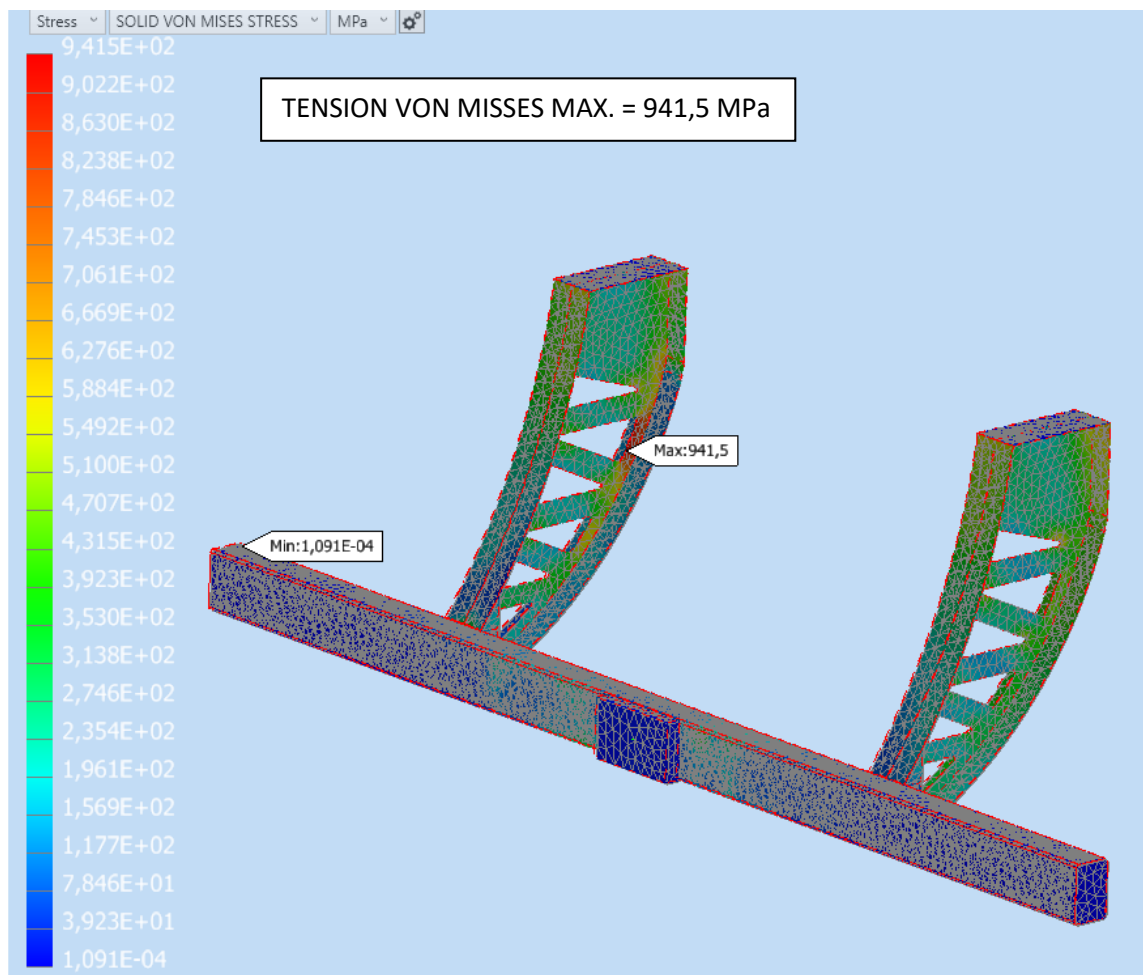


Imagen 50: Ensayo deformación diseño definitivo + PUR P2

En cuanto al desplazamiento (*imagen 50*) la espuma PUR ha conseguido que se Reduzca en casi un tercio, esto es debido a la mayor rigidez del travesaño y por tanto menor flexión en el extremo de este.

### 3.5.3 Ensayo carga P3

Al igual que sucede con el caso de las cargas P1 y P2 en la carga P3 vemos en los resultados obtenidos en las *imágenes 51, 52 y 53* que el uso de la espuma PUR mejora los resultados obtenidos frente al caso P3 sin espuma PUR.



*Imagen 51: Ensayo Tensión equivalente Von Misses diseño definitivo + PUR P3*

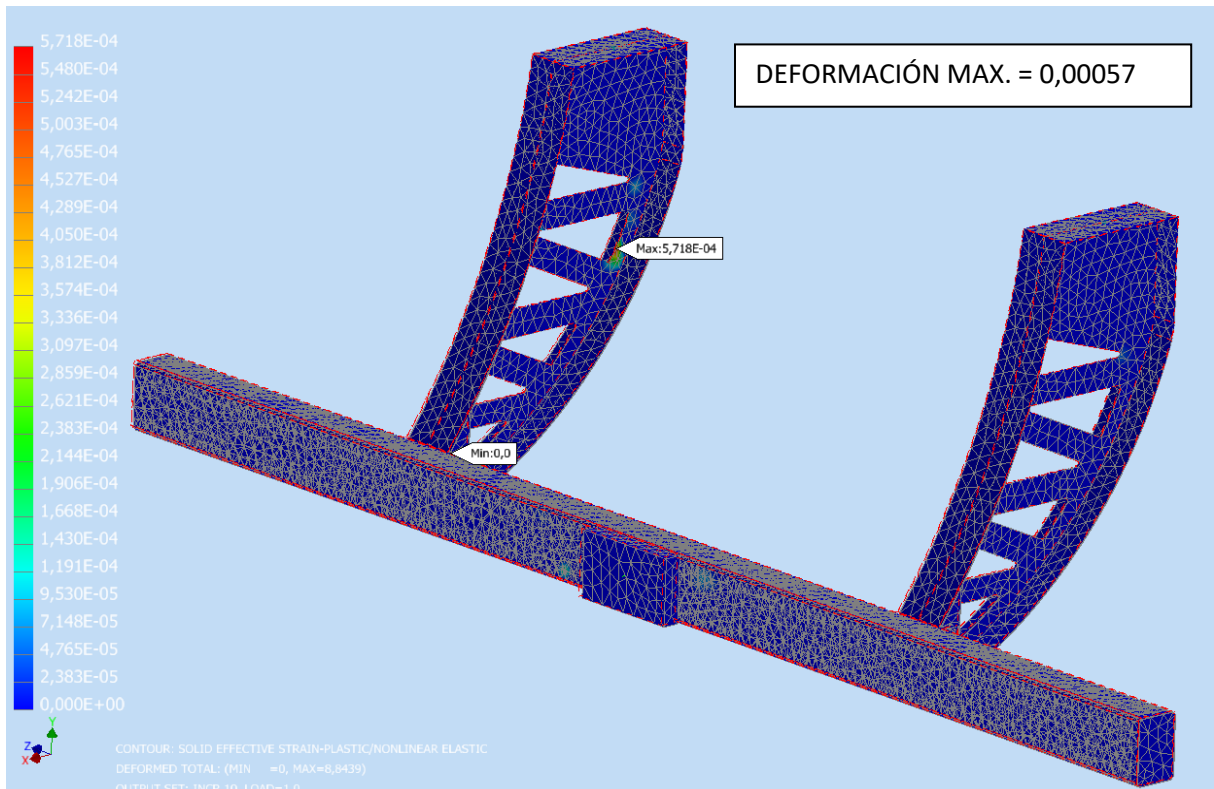


Imagen 52: Ensayo deformación diseño definitivo + PUR P3

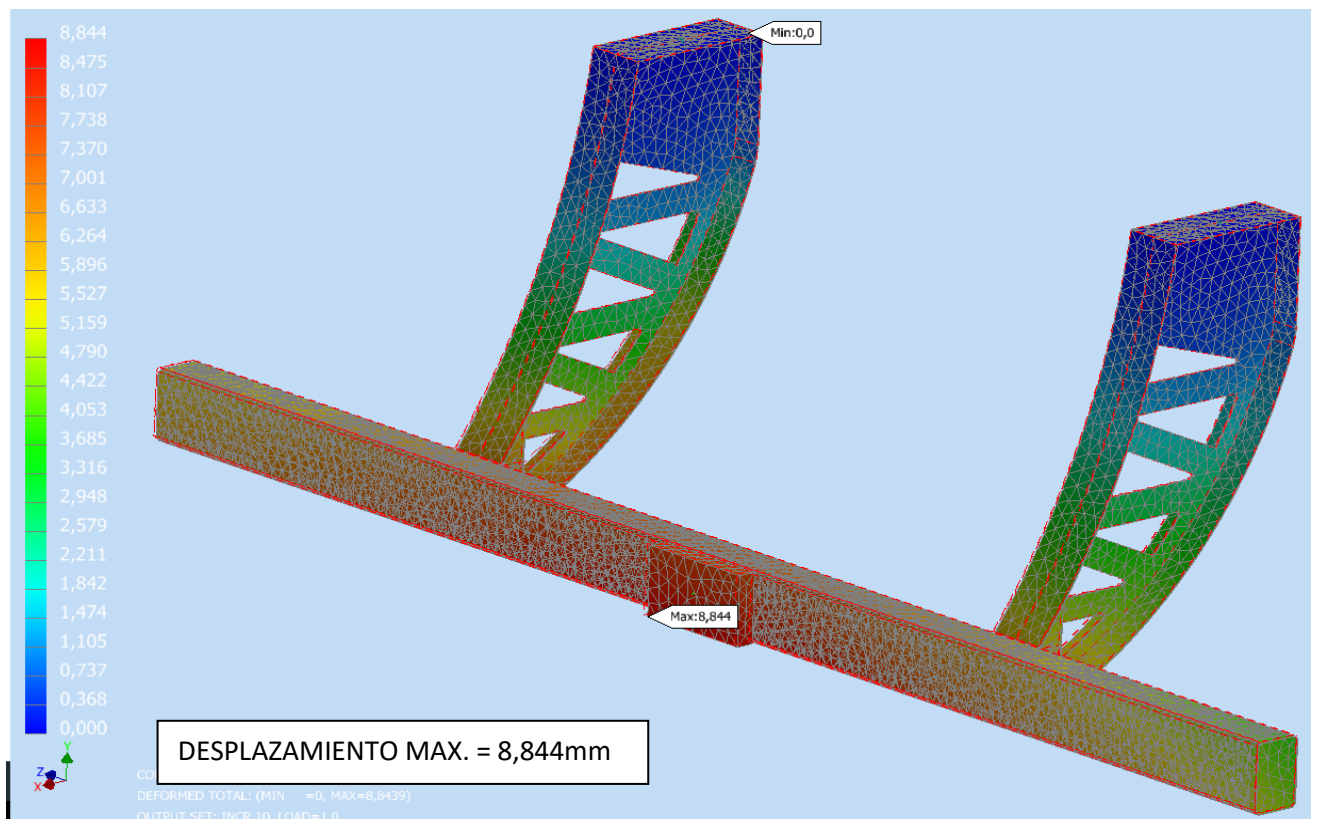


Imagen 53: Ensayo desplazamiento máximo diseño definitivo + PUR P3



### 3.5.4 Ensayo pandeo P2

Por último, a pesar de que los resultados es de esperar que sean favorables vistos los resultados anteriores, realizaremos el ensayo de pandeo para el caso con espuma PUR.

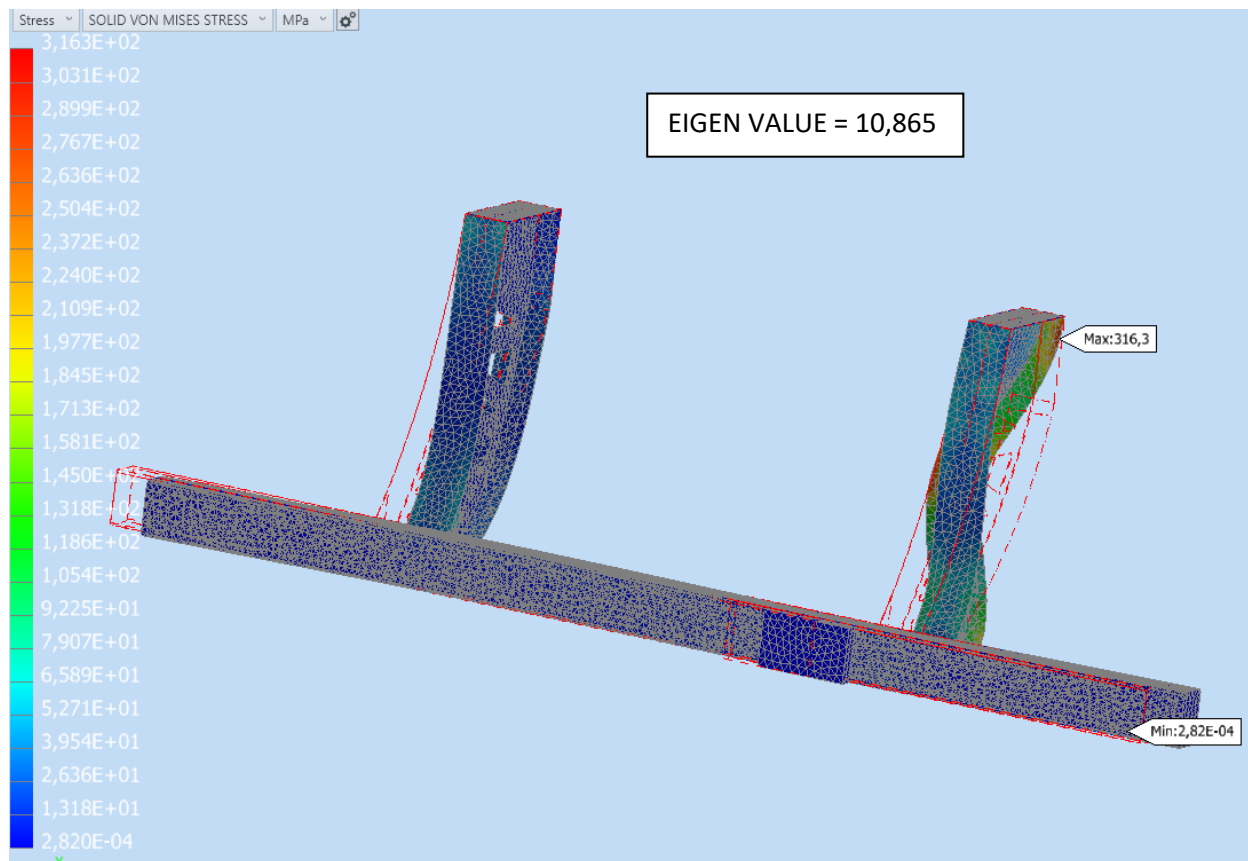


Imagen 54: Pandeo caso 1 PUR

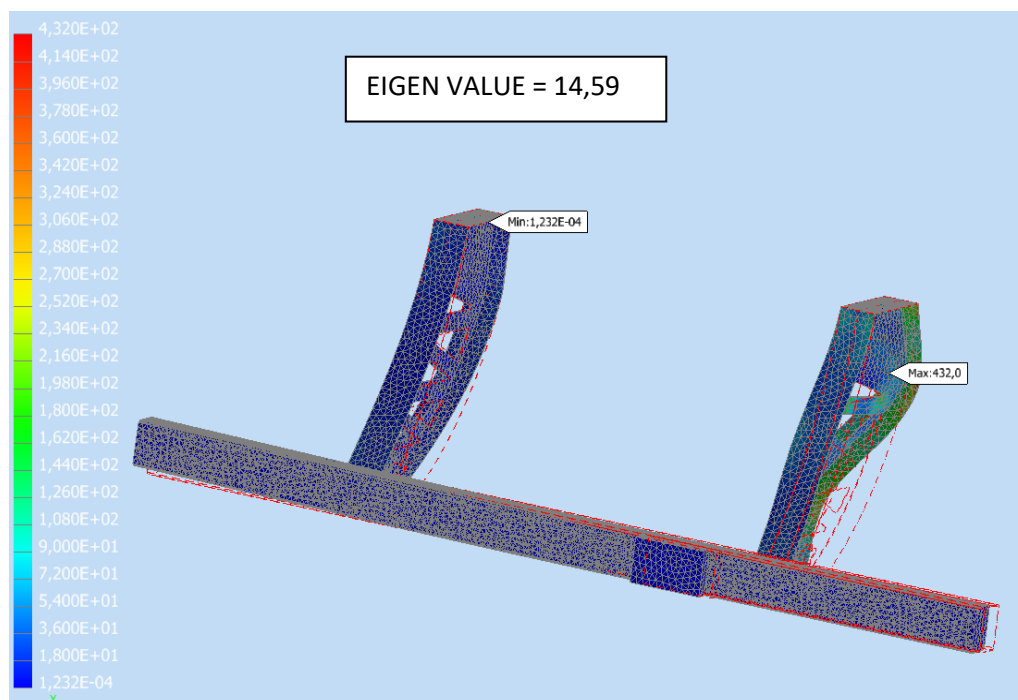


Imagen 55: Pandeo caso 2 PUR

En el caso del pandeo también mejoran los resultados, aumentando el factor de pandeo respecto a la simulación sin PUR, esto se debe por un lado a que ha aumentado la rigidez del travesaño y por ende es más complicado que este pandee, por otro lado, al aumentar la rigidez del travesaño hace que las tensiones estén más distribuidas entre todos los componentes.

### 3.5.5 Conclusión ensayo mejora con espuma PUR

Tras los ensayos mostrados con la espuma PUR podemos afirmar que es una muy buena manera de conseguir mejorar las propiedades de las estructuras proporcionándoles una mejora de inercia y una mayor rigidez. Todo esto con un aumento de peso ínfimo en comparación con materiales metálicos.

En este caso con solo un incremento de 1,6 Kg de peso (*Tabla 3*) hemos conseguido que nuestro sistema de protección trasera antiempotramiento pase de estar en su límite de rotura y aparición de grietas a soportar sin problema todas las condiciones que nos requiere la normativa, mejorando en todos los aspectos de tensiones y deformaciones, además reducimos a la mitad el desplazamiento máximo del sistema de protección trasera antiempotramiento.

## 4. CONCLUSIÓN GENERAL

Aquí se recogen las conclusiones más importantes que se pueden sacar del desarrollo de este Trabajo Fin de Grado que han permitido cubrir los objetivos propuestos:

- \* Diseñar un sistema de protección antiempotramiento que cumpla los requisitos geométricos indicados en el reglamento UNECE Nº 58
  
- \* Simular con distintos materiales el comportamiento del sistema de protección antiempotramiento para mejorar su resistencia y rigidez a la vez que minimizar el peso ante las situaciones de ensayo recogidas en el reglamento UNECE Nº 58.
  
- \* Simular la influencia en los resultados del empleo de espumas de PUR como relleno en los perfiles empleados en el sistema.

### 4.1 Conclusiones

Tras la realización de este trabajo fin de grado hemos llegado a la conclusión de que para poder obtener un dispositivo que cumpla con los requisitos y que tenga poco peso deberemos usar aceros especiales de alta resistencia, en este caso los aceros Strenx 960 cumplen a la perfección esta premisa, logrando que con espesores de entre 0,7 y 2 mm seamos capaces de cumplir los requisitos de ensayo recogidos en el reglamento UNECE Nº 58.

Por otro lado, el empleo de espumas de tipo PUR en perfiles les confiere rigidez y mejora sus propiedades sin comprometer su peso.

| Diseño                  | Material   | Tensión máxima (MPa) | Deformación máxima [0/1] | Desplazamiento máximo (mm) | Peso Total (kg) |
|-------------------------|--|----------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|
| Diseño preliminar 1     | S355J2   | 470                  | ROTURA                   | ROTURA                     | 119             |
| Diseño preliminar 2     | Strenx 960 PLUS                                  | 994,3                | 0,021                    | 28,77                      | 27,28           |
| Diseño definitivo       | Strenx 960 PLUS<br>Strenx 960 Cr                 | 1300                 | 0,032                    | 74,28                      | 14,99           |
| Diseño definitivo + PUR | Strenx 960 PLUS<br>Strenx 960 Cr<br>PUR 70 kg/m3 | 1115                 | 0,0279                   | 35,86                      | 16,59           |

Tabla 19: Resumen resultados diseños P2

En la tabla 19 podemos apreciar el resumen del estudio realizado en este trabajo fin de carrera el cual es:

1. Usar materia S355J2 no es una buena opción para conseguir un dispositivo resistente con bajo peso, tiene un límite de rotura bajo en comparación con los aceros Strenx, por tanto, no es una buena elección para conseguir una estructura con una buena relación resistencia-peso, ya que necesitas grandes espesores para conseguir una estructura que cumpla la normativa UNECE N°58.
2. El uso de aceros materiales Strenx supone una mejora considerable, como se puede observar en la tabla en cuanto comenzamos a usar este material (diseño preliminar 2) conseguimos obtener una estructura capaz de soportar tensiones cercanas a 1300 Mpa, a la vez que reducíamos entre una cuarta o quinta parte el peso del dispositivo fabricado con S355J2.
3. El uso de espuma tipo PUR es una muy buena opción para mejorar las propiedades de los perfiles, como observamos en el aumento del peso del diseño al añadirle espuma PUR, este tipo de material tiene un peso ínfimo en comparación con los aceros, solo aumenta 1,6Kg y consigue mejorar los resultados del ensayo con una ganancia muy alta con relación a su peso, reduce la tensión límite 185 MPa y el desplazamiento se reduce aproximadamente a la mitad.



## 4.2 Líneas futuras

Este trabajo puede servir de partida para el estudio de uso de espumas PUR en perfiles metálicos, en estudiar como los distintos tipos de densidades de espuma tipo PUR puede mejorar las propiedades de resistencia y rigidez de los perfiles metálicos.

En esta misma línea se podría estudiar si económicamente merece la pena el uso de este tipo de espumas en perfiles o por contrario solo serían útiles en caso de priorizar el peso frente al coste económico.

Para poder verificar que este sistema de protección antiempotramiento concuerda con los resultados obtenidos en la simulación de los ensayos sería necesario realizar un ensayo con un prototipo de este diseño, con las mismas dimensiones y materiales utilizados en las simulaciones de este trabajo.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia Estatal. (abril de 1979). *agencia estatal* . Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1979-80155>
2. ANCOSEV. (OCTUBRE de 2015). *ASOCIACION DE CONSUMIDORES POR LA SEGURIDAD VIAL*. Obtenido de <https://www.ancosev.org/paragolpes-traseros-en-camiones-ii/>
3. Asociación de la industria Poliuretano Rígido. (abril de 2019). *Epuma rígida de poliuretano: ¿que es?* Obtenido de <https://aislaconpoliuretano.com/espuma-rigida-poliuretano/>
4. AUSA. (1 de 12 de 2020). *AUSA SPECIAL STEELS*. Obtenido de <http://www.ausasteel.com/wp-content/uploads/2015/05/Acero-carbono-S355J2-AUSA.pdf>
5. DGT. (2019). *Anuario Estadístico de Accidentes 2018*. Obtenido de <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/anuario-estadistico-de-accidentes/Anuario-Estadistico-de-Accidentes-2018.pdf>
6. G.Caprino, R. I. (1989). *SANDWICH STRUCTURES*. En R. I. G.Caprino. ITALY.
7. ITV Tres Aguas. (febrero de 2020). *itvtresaguas*. Obtenido de <https://www.itvtresaguas.es/conoce-la-clasificacion-de-los-tipos-de-vehiculos-en-espana/>
8. LECIÑENA TRAILER. (2019). *LECIÑENA TRAILER*. Obtenido de <https://www.lecinena.com/productos/lonas-fijas/>
9. *Reglamento nº 58 de la comisión económica europea*. (Febrero de 2019). Obtenido de <https://www.boe.es/doue/2019/049/L00001-00023.pdf>
10. *Reglamento nº58 de la comisión oficial económica europea*. (Febrero de 2019). Obtenido de <https://www.boe.es/doue/2019/049/L00001-00023.pdf>
11. SSAB PRODUCTOS. (2020). *Strenx 960 PLUS(2020)*. Obtenido de [https://www.ssab.es/products/brands/strenx/products/strenx-960-plus?accordion=order\\_and\\_delivery](https://www.ssab.es/products/brands/strenx/products/strenx-960-plus?accordion=order_and_delivery)
12. SSAB PRODUCTOS. (2020). *Strenx960Cr*. Obtenido de <https://www.ssab.es/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=F1FC92B09C5F4B308C4A3CA31893517E&language=es-ES>
13. Tapia, M. (2012). *SEMANTIC SCHOLAR*. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/Sensibilidad-y-seguridad-de-estructuras-de-hormigC3%B3n-Tapia-Antonio/8bf68a842defe2385c35fa19a1b225c03461ebd7>

# ANEXOS

## 6. ANEXOS

### 6.1 Anexo 1: Análisis de accidentes con camiones de gran tonelaje

Según las estadísticas de un total de 3,163 personas que murieron en choques durante el 2009 donde se involucraban camiones el 70% eran ocupantes de vehículos. Asimismo, la NHTSA estima que las colisiones de autos por debajo de la parte trasera de remolques o camiones matan alrededor de 400 personas y hieren a más de 5,000 cada año en EUA. Sin embargo, lo más destacable de esto es que los vehículos actuales, los cuales están diseñados para desempeñarse en choques frontales no lo están para el tipo de escenario antes descrito.

| TIPO ACCIDENTE | ACCIDENTES CON VICTIMAS | ACCIDENTES MORTALES | Total      |                        |                           |
|----------------|-------------------------|---------------------|------------|------------------------|---------------------------|
|                |                         |                     | FALLECIDOS | HERIDOS HOSPITALIZADOS | HERIDOS NO HOSPITALIZADOS |
| Por alcance    | 19.335                  | 104                 | 110        | 809                    | 28.553                    |

*Tabla - Accidentes con víctimas, en función del tipo de accidente. Año 2018 (DGT, 2019)*



*Imagen 56: Accidente por alcance (ANCOSEV, 2015)*

Un accidente por alcance a grandes velocidades puede convertirse en un accidente de gran gravedad, esto se debe a que si el sistema de protección que debería amortiguar el golpe del vehículo colapsa el vehículo acabara muy probablemente bajo el chasis del camión. En caso de acabar el vehículo bajo el chasis del camión es muy probable que se produzcan lesiones importantes o incluso mortales, ya que estas lesiones seguramente se producirán en zonas de vitales del cuerpo humano como podemos observar en la imagen inferior.



*Imagen 57: Crash test por alcance (ANCOSEV, 2015)*

## 6.2 Anexo 2: Categorías de vehículos

Para distinguir los tipos de vehículos en nuestro país existe una clasificación que está enfocada a distinguir la funcionalidad, la masa y qué cargas puede transportar entre otros factores:

### CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

Para interpretar las "Especificaciones Generales" de algunos capítulos se puede utilizar la siguiente tabla:

#### TABLA DE CLASIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS

(Categorías: Por masa máxima se entenderá la masa máxima en carga técnicamente admisible)  
Según Directiva 2007/46/CE, 2002/24/CE, 2003/37/CE o en el Real Decreto 750/2010.

| CATEGORÍA<br>POR CRITERIOS<br>DE<br>HOMOLOGACIÓN   | DESCRIPCIÓN  | CLASIFICACIÓN<br>POR CRITERIOS<br>DE<br>CONSTRUCCIÓN<br>ANEXO II R.G.V. |
|--|--|---|
| <b>Categoría M</b>   | <b>Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de personas y su equipaje</b> (Reglamento UE 678/2011)   |   |
| Categoría M <sub>1</sub>   | Vehículos de la categoría M que tengan, como máximo, ocho plazas de asiento además de la del conductor. No dispondrán de ningún espacio para viajeros de pie. El número de plazas podrá limitarse a una (es decir la del conductor).   | 10  |
| Categoría M <sub>2</sub>   | Vehículos de la categoría M que tengan más de ocho plazas de asiento además de la del conductor y cuya masa máxima no sea superior a 5 toneladas.<br>Los vehículos pertenecientes a la categoría M <sub>2</sub> podrán tener, además de las plazas de asiento, espacio para viajeros de pie. | 11, 12, 13, 14  |
| Categoría M <sub>3</sub>   | Vehículos de la categoría M que tengan más de ocho plazas de asiento además de la del conductor y cuya masa máxima sea superior a 5 toneladas.<br>Los vehículos pertenecientes a la categoría M <sub>3</sub> podrán tener espacio para viajeros de pie.                                      | 12, 13, 14, 16  |
| <b>Categoría N</b>   | <b>Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de mercancías.</b>   |   |
| Categoría N <sub>1</sub>   | Vehículos de la categoría N cuya masa máxima no sea superior a 3,5 toneladas.  | 20, 23, 24  |
| Categoría N <sub>2</sub>   | Vehículos de la categoría N cuya masa máxima sea superior a 3,5 toneladas pero no a 12 toneladas.  | 21, 23, 25  |
| Categoría N <sub>3</sub>   | Vehículos de la categoría N cuya masa máxima sea superior a 12 toneladas.  | 22, 23, 26  |
| <b>Categoría O</b>   | <b>Remolques concebidos y fabricados para el transporte de mercancías o de personas, así como para alojar personas.</b>  |   |
| Categoría O <sub>1</sub>   | Vehículos de la categoría O cuya masa máxima no sea superior a 0,75 toneladas.   |   |
|  <div> <div>MINISTERIO DE INDUSTRIA,<br/>ENERGIA Y TURISMO</div> <div> REVISIÓN: 7ª<br/>Fecha: Enero 2012 </div> <div> PREÁMBULO<br/>Página 4 de 12 </div> </div> |  |   |

Imagen 58: Clasificación categoría de vehículos (ITV Tres Aguas, 2020)



| CATEGORÍA<br>POR CRITERIOS<br>DE<br>HOMOLOGACIÓN | DESCRIPCIÓN   | CLASIFICACIÓN<br>POR CRITERIOS<br>DE<br>CONSTRUCCIÓN<br>ANEXO II R.G.V. |
|--|---|---|
|  |   | 40  |
| Categoría O <sub>2</sub>                         | Vehículos de la categoría O cuya masa máxima sea superior a 0,75 toneladas, pero no a 3,5 toneladas.  | 41  |
| Categoría O <sub>3</sub>                         | Vehículos de la categoría O cuya masa máxima sea superior a 3,5 toneladas, pero no a 10 toneladas.  | 42  |
| Categoría O <sub>4</sub>                         | Vehículos de la categoría O cuya masa máxima sea superior a 10 toneladas.   | 43  |
| <b>Categoría L</b>                               | <b>Vehículos a motor con menos de cuatro ruedas</b><br>(Resolución de conjunto R.E.3.)  |   |
| Categoría L <sub>1</sub>                         | Vehículos de dos ruedas de cilindrada $\leq 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico) y velocidad máxima $\leq 50 \text{ km/h}$ .   | 03  |
| Categoría L <sub>2</sub>                         | Vehículos de tres ruedas de cilindrada $\leq 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico) y velocidad máxima $\leq 50 \text{ km/h}$ .  | 03, 05  |
| Categoría L <sub>3</sub>                         | Vehículos de dos ruedas de cilindrada $> 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico) o velocidad máxima $> 50 \text{ km/h}$ .   | 04  |
| Categoría L <sub>4</sub>                         | Vehículos de tres ruedas asimétricas, con respecto al eje medio longitudinal del vehículo, de cilindrada $> 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico) o velocidad máxima $> 50 \text{ km/h}$ .  | 04  |
| Categoría L <sub>5</sub>                         | Vehículos de tres ruedas simétricas, con respecto al eje medio longitudinal del vehículo, de cilindrada $> 50 \text{ cm}^3$ (en caso de motor térmico) o velocidad máxima $> 50 \text{ km/h}$ .   | 05, 06  |
| <b>Categoría L</b>                               | <b>Vehículos de motor de dos o tres ruedas, gemelas o no, y cuadriciclos, destinados a circular por carretera, así como sus componentes o unidades técnicas</b><br>(Directiva 2002/24/CE: fecha de aplicación para nuevos tipos el 09/11/2003 y para nueva matrícula el 09/11/2004.)  |   |
| Categoría L1e                                    | <b>Ciclomotores:</b> vehículos de dos ruedas con una velocidad máxima por construcción no superior a 45 km/h, de cilindrada inferior a igual a 50 cm <sup>3</sup> (combustión interna) o potencia continua nominal máxima inferior o igual a 4 kW (motores eléctricos).   | 03  |
| Categoría L2e                                    | Vehículos de tres ruedas con una velocidad máxima por construcción no superior a 45 km/h, de cilindrada inferior a igual a 50 cm <sup>3</sup> (motores de encendido por chispa positiva) o potencia máxima inferior o igual a 4 kW (demás motores de combustión interna o motores eléctricos).  | 03, 05  |
| Categoría L3e                                    | <b>Motocicletas:</b> Vehículos de dos ruedas sin sidecar con un motor de cilindrada superior a 50 cm <sup>3</sup> y/o con una velocidad máxima por construcción superior a 45 km/h.   | 04  |
| Categoría L4e                                    | Vehículos de dos ruedas con sidecar con un motor de cilindrada superior a 50 cm <sup>3</sup> y/o con una velocidad máxima por construcción superior a 45 km/h.  | 04  |
| Categoría L5e                                    | Vehículos de tres ruedas simétricas con un motor de cilindrada superior a 50 cm <sup>3</sup> y/o con una velocidad máxima por construcción superior a 45 km/h.  | 05, 06  |
| Categoría L6e                                    | Cuadriciclos ligeros cuya masa en vacío sea inferior o igual a 350 kg., no incluida la masa de las baterías para los vehículos eléctricos, cuya velocidad máxima por construcción sea inferior o igual a 45 km/h, de cilindrada inferior a igual a 50 cm <sup>3</sup> (motores de encendido por chispa positiva) o potencia máxima inferior o igual a 4 kW. (demás motores de combustión interna o motores eléctricos). | 03  |
| Categoría L7e                                    | Cuadriciclos cuya masa en vacío sea inferior o igual a 400 kg. (550 kg. para vehículos destinados al transporte de mercancías), no incluida la masa de las baterías para los vehículos eléctricos, y potencia máxima  | 06  |


|   |   |                   |                |
|---|---|-------------------|----------------|
|  | MINISTERIO DE INDUSTRIA,<br>ENERGIA Y TURISMO | REVISIÓN: 7ª      | PREÁMBULO      |
|   |   | Fecha: Enero 2012 | Página 5 de 12 |

Imagen 59: Clasificación categoría de vehículos (ITV Tres Aguas, 2020)

## 6.3 Anexo 3: Materiales

S355J2:

El grado de acero S355J2 es un estándar europeo para acero estructural laminado en caliente. El acero S355J2 pertenece a la tabla de Aceros estructurales no aleados (EN10025-2:2004). Se emplea para piezas de resistencia media-alta, buena tenacidad, fácil conformado y soldable. Generalmente, es utilizado para elementos de máquinas que exijan poca responsabilidad: vagones de ferrocarril, volquetes, grúas, remolques, puentes, construcción naval...

### S355J2



#### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Propiedades mecánicas a temperatura ambiente en el estado normalizado. (+N)

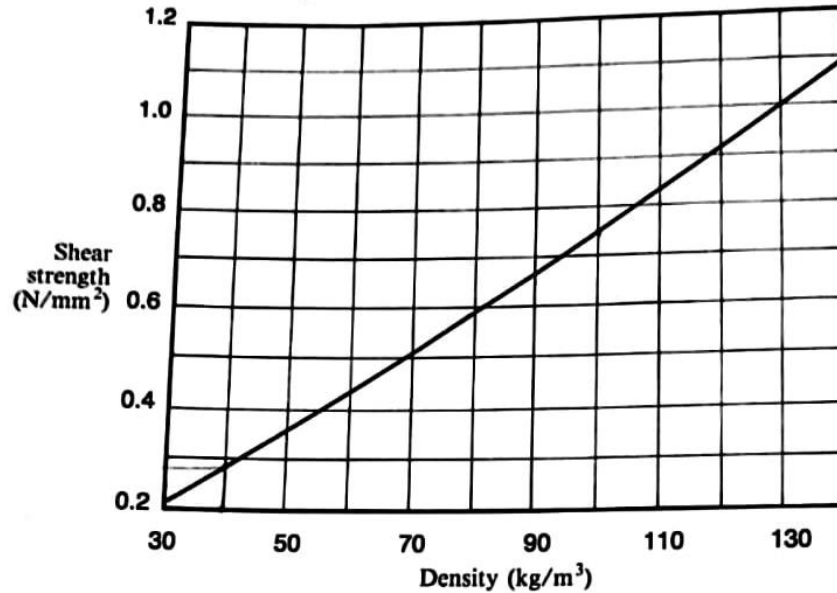
| Dimensiones |           | Re<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Rm<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      | A<br>(%) | KV MIN.<br>(-20 ° C) | DUREZA<br>ORIENTATIVA |
|-------------|-----------|----------------------------|----------------------------|------|----------|----------------------|-----------------------|
| mm.         |           | min.                       | min.                       | máx. | min.     | J                    | HB                    |
| ≥ 3         | ≤ 16      | 355                        | 470                        | 630  | 22       | 27                   | 146-187               |
| > 16        | ≤ 40      | 345                        | 470                        | 630  | 22       | 27                   | 146-187               |
| > 40        | ≤ 63      | 335                        | 470                        | 630  | 21       | 27                   | 146-187               |
| > 63        | ≤ 80      | 325                        | 470                        | 630  | 20       | 27                   | 146-187               |
| > 80        | ≤ 100     | 315                        | 470                        | 630  | 20       | 27                   | 146-187               |
| > 100       | ≤ 150     | 295                        | 450                        | 600  | 18       | 27                   | 143-179               |
| > 150       | ≤ 200     | 285                        | 450                        | 600  | 17       | 27                   | 143-179               |
| > 200       | ≤ 250     | 275                        | 450                        | 600  | 17       | 27                   | 143-179               |
| > 250       | ≤ 400     | 265                        | 450                        | 600  | -        | 27                   | 143-179               |
| > 400       | CONSULTAR |                            |                            |      |          |                      |                       |

Imagen 60: Características S355J2 (AUSA, 2020)

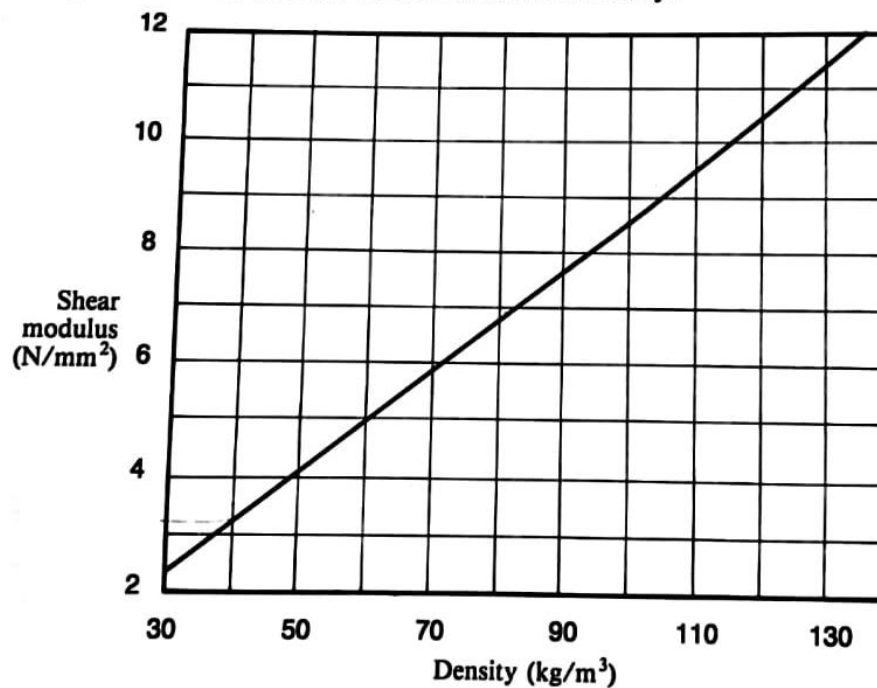
Espuma PUR:

La Espuma de Poliuretano utilizada para el aislamiento térmico es un material ligero y de baja densidad, compuesto por celdas cerradas (>90%). Este producto, combinado con otros materiales, resulta muy efectivo para disminuir la transmisión de sonidos y para amortiguar vibraciones y eliminar resonancias.

**Fig. 1.4.2-3 Shear strength of PUR foam versus density.**



**Fig. 1.4.2-4 Shear modulus of PUR foam versus density.**



*Imagen 61: Características espuma PUR (G.Capriano, 1989)*



## STRENX 960 PLUS:



Data sheet 2016es Strenx® 960 Plus 2019-04-17

### Strenx® 960 Plus

#### Descripción general del producto

Strenx® 960 es un acero estructural que garantiza un límite elástico mínimo de hasta 960 MPa.

Strenx® 960 Plus cumple con los requisitos de la norma EN 10 025-6 para la calidad S960QL. Entre sus aplicaciones más habituales se incluyen las estructuras de carga.

Algunas de sus ventajas son:

- Chapa de consistencia excepcional con tolerancias estrechas garantizadas.
- Alta resistencia frente a impactos, lo que proporciona una resistencia óptima frente a las fracturas
- Excelentes cualidades de plegado y calidad de superficie
- Soldabilidad con excelente resistencia y dureza en la zona afectada por el calor (HAZ)

#### Intervalo de dimensiones

Strenx® 960 Plus está disponible en placas cortadas a medida con espesores de 2.0 - 8.0 mm. Strenx® 960 Plus está disponible en anchos de hasta 1600 mm y longitudes de hasta 16 000 metros dependiendo del espesor. Para más información sobre dimensiones, póngase en contacto con su representante de ventas.

#### Propiedades mecánicas

| Espesor (mm) | Límite de elasticidad ReH <sup>1)</sup> (min MPa) | Tensión de rotura R <sub>m</sub> (MPa) | Elongación A <sub>5</sub> (min %) | Elongation A80 (min %) | Radio mínimo de plegado interior para un plegado de 90°. |
|--------------|---|--|-----------------------------------|------------------------|--|
| 2.0 - 2.9    | 960   | 980 - 1150                             | -                                 | 7                      | 3.5 x t  |
| 3.0 - 8.0    | 960   | 980 - 1150                             | 10                                | -                      | 3.5 x t  |

Las propiedades mecánicas se prueban tanto en dirección longitudinal como transversal.

<sup>1)</sup> Si R<sub>eH</sub> no es aplicable, se usa R<sub>e0.2</sub>

#### Propiedades de impacto

| Dirección de prueba | Min, energía de impacto, Charpy V probetas 10x10 mm |
|---------------------|---|
| Longitudinal        | 30 J/ -40°C   |
| Transverse          | 27 J/ -40°C   |

Ensayo de impacto de conformidad con EN ISO 148-1 realizada en espesores ≥ 6 mm. Para espesores de entre 6 - 8 mm, se usan probetas de Charpy V. El valor mínimo especificado es en ese caso proporcional al área transversal de la probeta (muestra) en comparación con una probeta de tamaño estándar (10 x 10 mm).

#### Composición química (análisis de colada)

| C (max %) | Si (max %) | Mn (max %) | P (max %) | S (max %) | Al Tot (min %) |
|-----------|------------|------------|-----------|-----------|----------------|
| 0.18      | 0.50       | 1.70       | 0.020     | 0.010     | 0.018          |

El acero es de grano refinado. <sup>\*)</sup> Sustancias de aleación intencionadas.

#### Contenido en carbono equivalente CET (CEV)

| Espesor (mm)    | 2.0 - 8.0   |
|-----------------|-------------|
| CET(CEV) típico | 0.34 (0.50) |

Imagen 62: Características Strenx 960 PLUS (SSAB PRODUCTOS, 2020)

STRENX 960 Cr:

## Strenx® 960 CR

SE USA PARA

DIMENSIONES

NORMAS

FICHA TÉCNICA

Estructural

T: 0.7 - 2.1 mm  
W: Hasta 1500 mm  
L: Hasta 8500 mm

EN 10131



Español (España) ▼

### Propiedades mecánicas

### Propiedades mecánicas

Límite de elasticidad  $R_{p0.2}$   
(min MPa)

Tensión de rotura  $R_m$   
(MPa)

Elongación  $A_{80}$   
(min %)

Radio de plegado interior mínimo  
para un plegado de 90°<sup>1)</sup>

960

1200 - 1400

3

3.5 x t

Las propiedades mecánicas se ensayan en sentido longitudinal.

Las propiedades mecánicas se garantizan en estado de bobina.

<sup>1)</sup> Tanto en sentido longitudinal como transversal

Imagen 64: Características Strenx 960 Cr (SSAB PRODUCTOS, 2020)

## 6.4 Anexo 4: Nastran Inventor (simulación mecánica)

Nastran In-CAD es un poderoso software de simulación integrado dentro de Autodesk Inventor (también dentro de Solidworks) que le permite optimizar y predecir el comportamiento de sus diseños y/o productos de una manera rápida, precisa y flexible antes de fabricarlos. De esta forma, se minimiza la necesidad de fabricar costosos prototipos físicos y logrando productos innovadores en menos tiempo. Su principal ventaja es el poder y confiabilidad del software y la facilidad de uso, dado que al estar integrada dentro del software CAD (Inventor o Solidworks) no tenemos que aprender a usar otra interfaz, ni tenemos que importar o exportar archivos.

Análisis por elementos finitos o FEA, de acuerdo a sus siglas en inglés, es una herramienta que permite entender el comportamiento y el entorno de los proyectos de manufactura que estemos llevando a cabo, por medio de una simulación. Comúnmente esta herramienta era usada por profesionales con un alto nivel de conocimiento y que contaran con posgrados en el

tema, pero, en la actualidad, con herramientas como Nastran In-CAD esto tiende a cambiar debido a la simplicidad y a las ayudas que presenta.

Nastran In-CAD se integra en soluciones tan comunes como Autodesk Inventor o Solidworks y permite evaluar comportamientos térmicos y mecánicos en materiales lineales, como los metales y no-lineales como los plásticos. Con significativas ayudas y mejoras en temas de mallado, tipos de contactos y post-procesamiento permite que la herramienta pueda ser correctamente aplicada por una gran cantidad de profesionales. Esto con la intención de que se validen los prototipos digitales en etapas tempranas lo cual implica mejoras y optimizaciones del producto a un bajo costo de operación.

## 6.5 Anexo 5: Criterios de diseño que exige la norma aplicable R58.

- NUESTRA CATEGORIA DE VEHICULO:

Las categorías de los vehículos se definen con arreglo a la clasificación siguiente, según Directiva 70/156/CEE y 92/61/CEE ó el Real Decreto 2140/85, la categoría concreta a la que nuestra estructura va a pertenecer es:

- Categoría O Remolques (incluidos los semirremolques). (Directiva 70/156/CEE)
- Categoría O4 Remolques con una masa máxima superior a 10 toneladas.

Según el punto 25 de la norma UN Regulation No.58 los requisitos para nuestra RUP en la categoría anteriormente mencionada son:

25.1 Para vehículos de las categorías O4, la distancia al suelo con respecto a la parte inferior de la RUP, incluso cuando el vehículo esté descargado, no deberá exceder:

- 450 mm para vehículos de motor y remolques con hidroneumático, suspensión hidráulica o neumática o un dispositivo para nivelación automática de acuerdo con la carga. En cualquier caso, un ángulo de salida de hasta 8 ° según ISO 612: 1978 con una distancia al suelo máxima de 550 mm será se considera que cumple los requisitos

25.3 Para RUP de vehículos de la categoría O4, sin ningún sistema de elevación de plataforma y sin estar diseñado como un remolque basculante, la distancia horizontal máxima entre la parte trasera del dispositivo y el punto más exterior en la extremidad trasera del vehículo, la distancia horizontal máxima se reduce a 200 mm antes y a 300 mm durante la prueba cuando se aplican las fuerzas de prueba, medidos en la parte trasera del travesaño.

Antes de la prueba la distancia horizontal máxima permitida en el elemento transversal de un RUPD será de 100 mm entre la parte posterior del elemento transversal, medido en el punto

más adelantado y la parte posterior del elemento transversal medido en el punto más retrasado, medido en el plano longitudinal del vehículo.

25.4 El ancho de la RUP no deberá exceder en ningún momento el ancho del eje trasero medido en los puntos más exteriores de las ruedas, excluyendo el abultamiento de neumáticos cerca del suelo, ni el RUP podrá ser 100 mm más corto a cada lado.

25.5. El travesaño debe tener una altura de sección de al menos 120 mm. Las extremidades laterales del travesaño no deben doblarse hacia atrás ni tener un borde exterior afilado, esta condición se cumple cuando las extremidades laterales del RUP están redondeadas en el exterior y tienen un radio de curvatura de no menos de 2.5 mm.

25.7. El RUP debe ofrecer una resistencia adecuada a las fuerzas aplicadas paralelas al eje longitudinal del vehículo y estar conectado, cuando está en la posición de servicio, con los miembros laterales del chasis o lo que sea que los reemplace. Este requisito se cumplirá si se demuestra que tanto, durante como después de la aplicación de las fuerzas, la distancia horizontal entre la parte trasera de la RUP y el punto más hacia atrás en la extremidad trasera del vehículo, incluido cualquier sistema de elevación de la plataforma, no exceda los 400 mm en ninguno de los puntos donde las fuerzas de prueba se aplican. Al medir esta distancia, se excluirá cualquier parte del vehículo que esté a más de 2 m del suelo cuando el vehículo esté sin carga.

Después de aplicar las fuerzas de prueba para vehículos de las O4, la distancia al suelo máxima del dispositivo de protección, incluso cuando el vehículo esté sin carga, no deberá en ningún momento exceda en más de 60 mm el valor antes de la prueba. Para vehículos con un ángulo de salida de hasta 8 °, la distancia al suelo máxima no debe superar los 600 mm<sup>2</sup>.

25.8. No se requerirá una prueba práctica cuando pueda demostrarse mediante cálculo que se cumplen los requisitos. Cuando se realiza una prueba práctica, el dispositivo debe conectarse a los miembros laterales del chasis del vehículo o a una parte significativa de estos u otros miembros estructurales.