



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

ANÁLISIS DEL DISEÑO ACTUAL Y OPTIMIZACIÓN
DE UN REMOLQUE AGRÍCOLA

English tittle:

ANALYSIS OF THE CURRENT DESIGN AND
OPTIMIZATION OF AN AGRICULTURAL TRAILER

Autor

Ignacio Monterrubio Torres

Director

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2016

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^{ña}. Ignacio Monterrubio Torres

con nº de DNI 76974498-F en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado _____, (Título del Trabajo)

ANÁLISIS DEL DISEÑO ACTUAL Y OPTIMIZACIÓN DE UN REMOLQUE AGRÍCOLA

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

Zaragoza, martes 22 de noviembre de 2016

Fdo: Ignacio Monterrubio Torres

ANÁLISIS DEL DISEÑO ACTUAL Y OPTIMIZACIÓN DE UN REMOLQUE AGRÍCOLA

RESUMEN

El presente trabajo final de grado se realiza a petición de un cliente y se centra en el análisis del diseño actual de un remolque agrícola real y su posterior optimización en función de los resultados obtenidos.

Se trata de un proyecto que tendrá como etapa inicial la medición de sus cotas, para posteriormente realizar un modelado 3D del mismo y, finalmente, un cálculo de elementos finitos mediante el software SolidWorks.

El principal objetivo será la determinación del material del remolque y proporcionar una serie de mejoras que aseguren un coeficiente de seguridad adecuado y una solución lo más económica posible al caso planteado.

Se ha elaborado una memoria descriptiva en cuyos capítulos se justifican y explican los pasos seguidos, junto a los resultados obtenidos en dicho proyecto.

En segundo lugar se han adjuntado 4 anexos, en los cuales se explica con mayor detalle la obtención de los resultados definidos a lo largo de la memoria.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	5
CAPÍTULO 2 OBJETO.....	6
CAPÍTULO 3 ALCANCE.....	7
CAPÍTULO 4 CONSIDERACIONES INICIALES.....	8
4.1 Descripción del remolque	
4.2 Condiciones de trabajo	
CAPÍTULO 5 MODELO.....	10
5.1 Modelo inicial	
5.2 Perfiles	
5.3 Materiales	
5.4 Modelo de elementos finitos	
5.5 Ensamblajes	
CAPÍTULO 6 CONDICIONES DE CONTORNO.....	14
CAPÍTULO 7 APLICACIÓN DE CARGAS.....	15
7.1 Acción de la gravedad	
7.2 Fuerza de la carga	
7.3 Casos de carga	
CAPÍTULO 8 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	19
8.1 Resultados de reposo	
8.2 Resumen de resultados	
CAPÍTULO 9 PROCESO DE OPTIMIZACIÓN.....	21
9.1 Elementos modificados	
9.2 Resultados del análisis tras la optimización	
CAPÍTULO 10 CONCLUSIONES.....	28
CAPÍTULO 11 BIBLIOGRAFÍA.....	29
ANEXOS:	
Anexo A Dimensiones básicas del modelo	
Anexo B Análisis del modelo con acero S275JR	
Anexo C Análisis del modelo con acero S355JR	
Anexo D Análisis del modelo con acero S355JR y mejoras estructurales	

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por darme la oportunidad de estudiar y realizar un gran esfuerzo para ello.

A mis compañeros de la carrera, ya que sin ellos no estaría escribiendo esto. Con mención especial a Gonzalo Gainza y Vicente Labarta.

A Javier Barricarte, “el dueño del remolque”. Por su entera disposición y ayuda prestada desinteresadamente con todos los datos que he necesitado.

A Hugo Malón, “el director”. Por su apoyo, comprensión y ayuda con este primer proyecto junto a él. Ahora vamos a por el siguiente TFG.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo surge de las ganas de hacer algo orientado con una de mis grandes pasiones y que a su vez me gustaría que fuera el ámbito profesional al que dedicarme una vez termine esta carrera, la maquinaria agrícola.

La idea de este trabajo surgió a raíz de una petición de un buen amigo, agricultor de profesión, el cual me comentó que su remolque sufría mucho a plena carga. Dicho remolque está sometido al transporte de 10 toneladas de uva y no cabe la opción de adquirir un remolque más grande, ya que le supondría problemas a la hora de maniobrar en sus campos.

Presuntamente el remolque está sometido a sobrecarga, una práctica habitual en este tipo de casos para minimizar el número de viajes y de este modo minimizar los costes de producción. Y digo presuntamente porque no se tiene ficha técnica ni placa de pesos del remolque a analizar, ya que es de considerable antigüedad y fue fabricado por un taller de manera artesana y sin mucha base de cálculo. Al ser el uso del mismo por el interior de una finca privada, el remolque carece de ITV en vigor.

Decidí tomarme esta necesidad como algo serio en lo que poder aplicar mis conocimientos de Ingeniería Mecánica y que acabaría convirtiéndose en mi trabajo fin de grado, que como el título bien indica, ha consistido en tomar medidas, calcular y simular el remolque en las condiciones más extremas de carga, con una dificultad añadida y que ocurre con cierta frecuencia: se nos olvida abrir el portón trasero en la maniobra de descarga. Más tarde, se le propondrán una serie de mejoras, lo más adaptables y sencillas posibles al remolque existente, para que estas no supongan un gran coste.

CAPÍTULO 2

OBJETO

El principal objetivo de este trabajo es el análisis del diseño existente de un remolque agrícola sometido a distintas situaciones de basculación, mediante un estudio numérico basado en el método de elementos finitos (*FEM*) y, en función de los resultados, proponer una serie de mejoras con el fin de asegurar el correcto comportamiento mecánico del vehículo. Se busca que las mejoras estructurales necesarias sean lo más sencillas posibles, con el fin de adaptarlas sin dificultad al remolque existente y a su vez proporcionar una solución económica al problema planteado.

El remolque a tratar es sometido a una carga de 10000 kg y, según el caso planteado, la cual estaría comprometiendo su integridad estructural, por lo tanto la seguridad del mismo y del operario.

Se simularán los diseños del bastidor del chasis (bastidor inferior) y del bastidor de la caja (bastidor superior), para distintos casos de basculación: 0, 10, 20, 30 y 45 grados. –Todas estas simulaciones se llevarán a cabo suponiendo que el portón trasero permanece cerrado.



Figura 1: Foto del remolque objeto de estudio

CAPÍTULO 3

ALCANCE

El alcance de este trabajo es muy concreto y consiste en la mejora del remolque agrícola existente para cumplir los requisitos demandados.

Se desconoce toda información relativa al remolque, así como materiales y pesos autorizados. Por esto, se simularán diferentes casos sobre las dimensiones originales del remolque (tomadas estas sobre el modelo real) hasta encontrar el material del que está construido y, a partir de este, comprobar los coeficientes de seguridad. Una vez obtenidos estos resultados, se realizará una optimización del modelo para conseguir mejorar estos coeficientes.

En resumen, los puntos tratados son los siguientes:

- Toma de datos del remolque agrícola
- Modelado 3D del remolque agrícola mediante SolidWorks.
- Análisis y definición de los casos de carga y condiciones de contorno.
- Cálculo del remolque agrícola mediante el Método de Elementos Finitos.
- Análisis de resultado tras la primera fase de cálculo.
- Análisis de las mejoras a introducir en el remolque agrícola.
- Modelado en 3D de las reformas efectuadas.
- Cálculo mediante el Método de Elementos Finitos del modelo optimizado.

CAPÍTULO 4

CONSIDERACIONES INICIALES

4.1 Descripción del remolque

Se trata de un remolque agrícola para tractor de 2 ejes, el cual está fabricado con perfiles de distintas secciones, de tipo U y circulares. Va provisto de un cilindro hidráulico conectado a una de las tomas hidráulicas del tractor, desde el cual se controla la basculación de la caja. También incluye un sencillo sistema de frenado de las ruedas del eje trasero controlado desde el tractor.

El remolque, de considerable antigüedad, fue adquirido a un fabricante de remolques con poca base de cálculo previa a su fabricación.

Se desconocen los materiales de fabricación, tara del remolque y masa máxima autorizada, ya que carece de ficha técnica.

Se conocen todas las dimensiones y espesores del mismo, ya que fueron tomadas sobre el modelo, las cuales son mostradas en el Anexo A.



Figura 2: Foto del bastidor del remolque.



Figura 3: Bastidor del remolque.

4.2 Condiciones de trabajo

El remolque es sometido, con el fin de minimizar el número de viajes a realizar del campo a su destino, a una sobrecarga, algo muy habitual en este tipo de casos. El peso total de la carga a portar será de 10 toneladas y la carga a transportar será uva.

Debido a la circulación por terrenos accidentados y la necesidad de superar badenes para entrar o salir de los campos, en la posición de basculación 0° o posición de transporte y reposo, se considera un factor de magnificación de carga de 1,3 para valorar y no despreciar estos efectos dinámicos que se dan durante la maniobra de transporte a plena carga.

CAPÍTULO 5

MODELO

5.1 Modelo inicial

Para el estudio del modelo, se tomaron las medidas sobre el remolque real, para luego modelarlo mediante el software SolidWorks.

El bastidor a modelar está formado por perfiles tipo U (hoy en día no normalizados) y circulares, desconociendo los materiales de los mismos.

Se realizó un diseño con la operación "Lámina" para reproducir todos estos perfiles y, finalmente, se unieron todos los componentes en un ensamblaje.

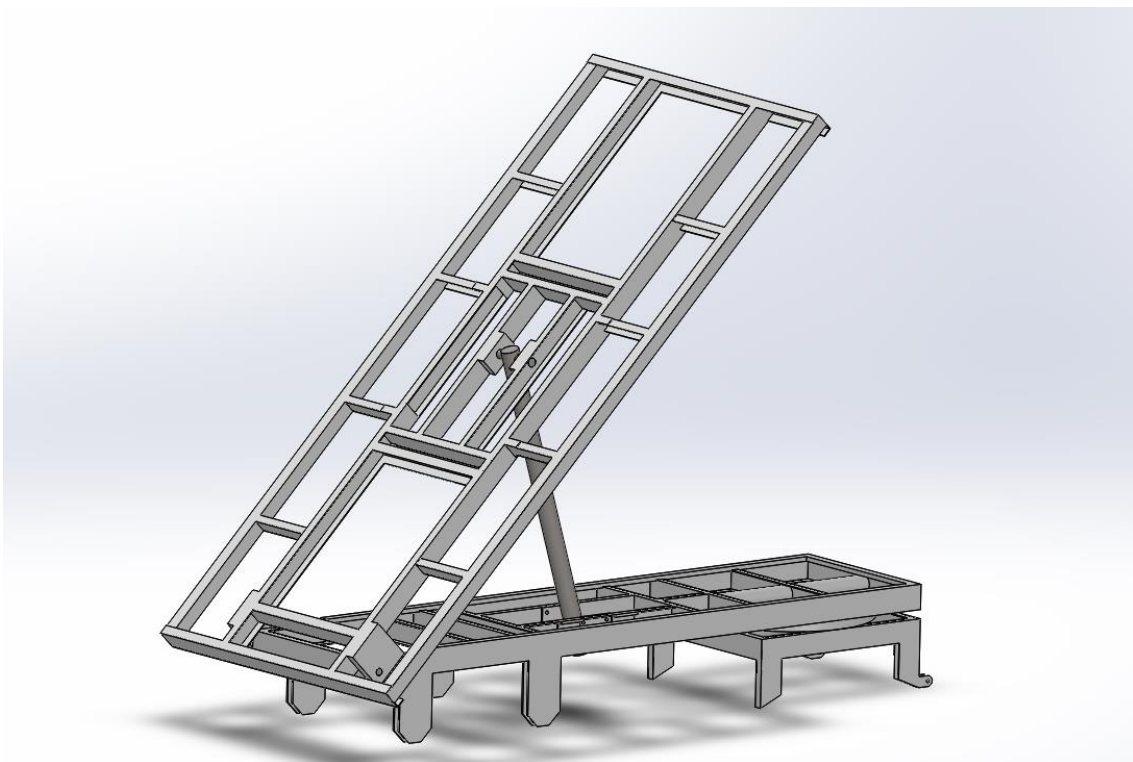


Figura 4: Modelo realizado en SolidWorks.

5.2 Perfiles

Los perfiles utilizados en la construcción de los chasis son los siguientes:

TIPO	DIMENSIONES (mm)	ESPESOR (mm)
U	120x55	5
U	120x45	5
U	80x45	5
Cuadrado	80x80	5
Circular	∅ 100	5

Tabla 1: Perfiles utilizados

5.3 Materiales

En las simulaciones se han utilizado los dos materiales descritos a continuación, siendo ambos aceros. Debido al desconocimiento del material original, se han realizado en primer lugar cálculos con el acero S275JR (común en este tipo de vehículos) y, al no cumplir los resultados esperados, se cambió a un acero S355JR de mayor límite elástico.

Se considera que todo el modelo está construido del mismo material, exceptuando cilindro, tornillos y bulones que se supone que no son parte de la estructura resistente del vehículo, y por tanto no es la base de este estudio.

Acero S 275 JR		
Propiedad	Valor	Unidades
Modulo elástico	210000	MPa
Coefficiente de Poisson	0.28	---
Densidad de masa	7800	Kg/m ³
Límite de tracción	410	MPa
Límite elástico	275	MPa

Tabla 2: Propiedades del acero S275JR

Acero S 355 JR		
Propiedad	Valor	Unidades
Modulo elástico	210000	MPa
Coefficiente de Poisson	0.28	---
Densidad de masa	7850	Kg/m ³
Límite de tracción	595	MPa
Límite elástico	355	MPa

Tabla 3: Propiedades del acero S355JR

5.4 Modelo de elementos finitos

Para el cálculo de Elementos Finitos se ha utilizado el mismo software que para el diseño 3D, SolidWorks 2015 junto con su módulo Simulation.

Se ha utilizado una malla con elementos tetraédricos con un tamaño de elemento lo más reducido posible (dentro de las limitaciones del módulo de mallado del software). De esta manera se obtiene un afinamiento de la malla en las zonas más críticas del modelo y, así, se consigue una buena convergencia en los resultados.

Los parámetros de la malla generada son los siguientes:

- Malla estándar
- 53 mm de tamaño máximo del elemento
- 2 mm de tamaño mínimo del elemento
- Se han generado 77475 nodos y 37819 elementos

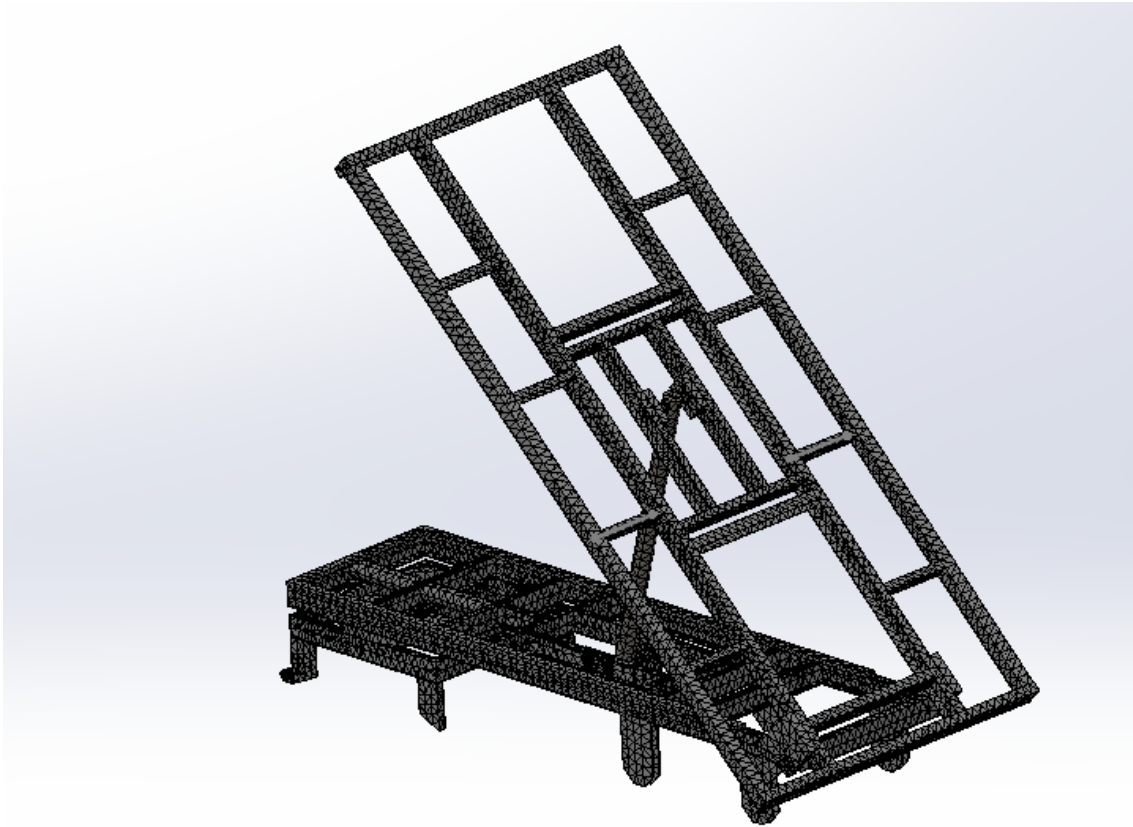


Figura 5: Captura del ensamblaje mallado.

5.5 Ensamblajes

A lo largo del desarrollo de todo el modelo se han creado uniones rígidas, es decir, que no permiten el desplazamiento relativo entre los componentes en las zonas de unión, simulando una unión soldada, tal y como es el bastidor real. Estas uniones se han creado con la opción “fusionar resultados” del software utilizado, que realiza la unión de ambos cuerpos como si de uno solo se tratase.

El bastidor fue creado en dos partes diferenciadas, bastidor superior y bastidor inferior. Las uniones entre ambos se realizan a través de los bulones y de una barra rígida que simula la acción del cilindro. Estas uniones sí que permiten el giro.

CAPÍTULO 6

CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de contorno aplicadas sobre el bastidor a la hora de simular han sido los empotramientos de las bases de todos los soportes de las ballestas, con la intención de dar una solución más restrictiva al modelo y no entrar en el cálculo de las ballestas, ya que no es objeto de nuestro estudio. En la siguiente figura se visualizan estas condiciones de contorno:

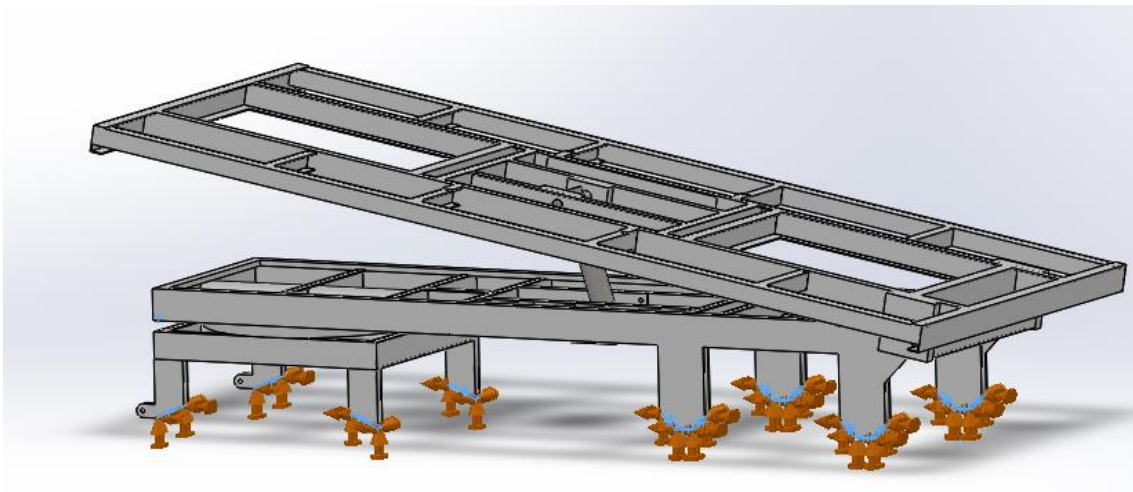


Figura 6: Condiciones de contorno.

CAPÍTULO 7

APLICACIÓN DE CARGAS

En las distintas condiciones a estudiar del modelo, que detallaremos a continuación en los casos de carga, siempre se considerarán 2 cargas fijas: la fuerza de la gravedad y la fuerza que ejerce la carga en la caja del remolque.

7.1 Acción de la gravedad

Se incluyó la acción de la gravedad como una de las cargas externas que actúan sobre el modelo. De este modo se considera el peso de la estructura como una carga aplicada sobre el modelo. El peso de la estructura diseñada es de 877 kg.

Esta carga se aplicará sobre el eje global "Y". Queda representada por una flecha roja en la Figura 7, mostrada a continuación. Su valor numérico es de $9,81 \text{ m/s}^2$.

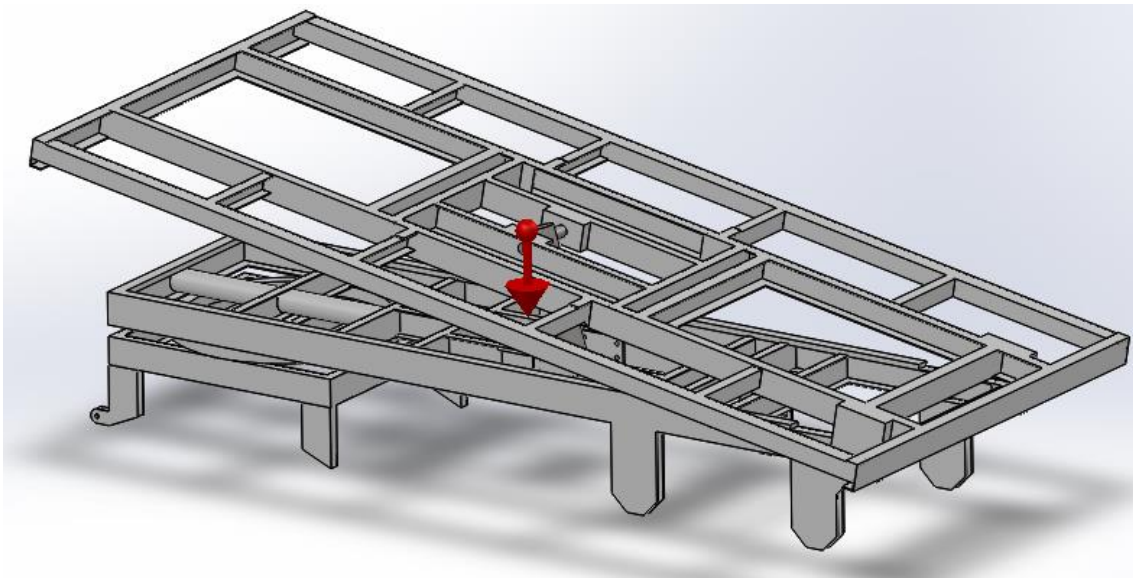


Figura 7: Representación de la fuerza de la gravedad.

7.2 Fuerza de la carga

La fuerza de la carga sobre la estructura del modelo se aplicará repartida en toda la superficie del bastidor superior, como si de una presión se tratase.

La carga a aplicar será de 10.000 kg, siempre en dirección del eje global "Y", como se muestra en la figura a continuación.

Esta fuerza se reparte de forma uniforme en el modelo en reposo, no así en los modelos con basculación, ya que simularemos la condición de que el portón trasero permanece cerrado, por lo que se producirá un desplazamiento del volumen de carga sobre la superficie del bastidor. En el siguiente apartado, se explicará cómo se ha distribuido de forma no uniforme esta carga para los diferentes casos de basculación del remolque.

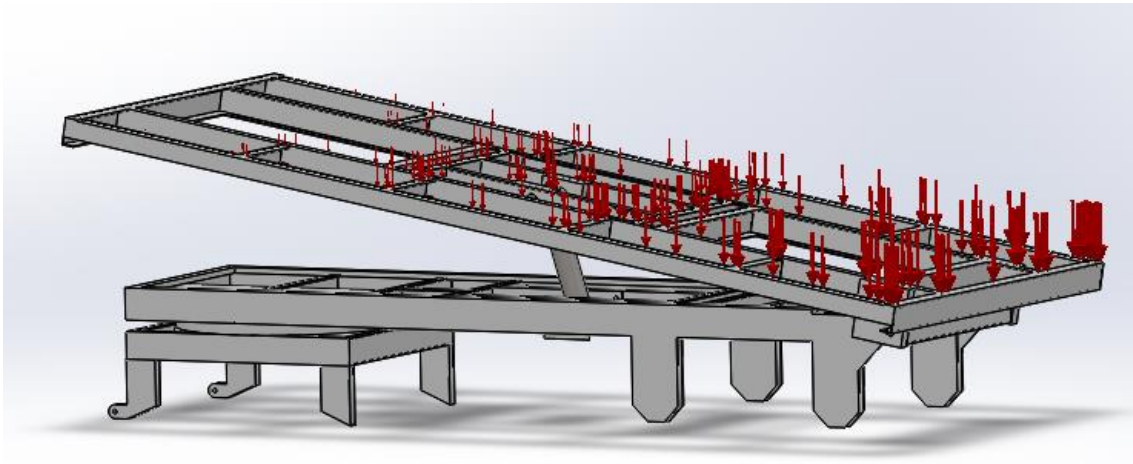


Figura 8: Distribución de cargas sobre el bastidor superior.

7.3 Casos de carga

A continuación, se van a explicar los distintos casos de carga para los que se ha realizado la simulación del modelo en función de la basculación de la caja. En todos los casos se supondrá que el bastidor está sometido a la misma fuerza, ya que como se ha comentado anteriormente, la puerta del remolque no se abrirá al bascular, por lo que no se producirá descarga.

Se desconoce la Tara del remolque y la carga útil, por lo que en función de los modelos realizados con las medidas reales y las distintas pruebas de materiales simularemos las opciones posibles.

7.3.1 Reposo

En este primer caso de carga consideraremos la carga de 10000kg uniformemente distribuida a lo largo de los travesaños del bastidor superior.

Se considerará un factor de multiplicación de 1,3 sobre el valor de la fuerza. Este factor se aplica para tener en cuenta los efectos dinámicos a la hora de transportar la carga.

Por lo tanto la fuerza resultante a repartir sobre la superficie del bastidor es 127.530N.

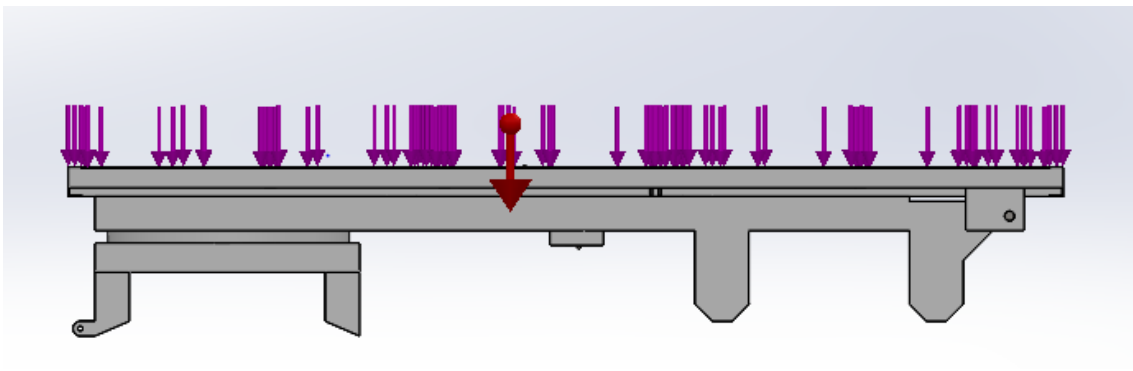


Figura 9: Representación de las fuerzas aplicadas en reposo.

7.3.2 Basculación

En los casos distintos casos de basculación los 10000kg de carga se encuentran repartidos de forma no uniforme a lo largo de la superficie del bastidor superior. De esta forma, en el extremo elevado la fuerza aplicada es 0 y va creciendo de forma lineal en función de la altura hasta el extremo inferior, logrando que la resultante de fuerzas en el eje global “y” sea 98100N (10000kg * 9.81m/s²).

$$\text{Fuerza} = \text{“Coef”} * \text{“altura Y”}$$

La altura “y” se coge como referencia de un sistema de coordenadas local creado, como se muestra a continuación y que nos permitía realizar el reparto de la carga con mayor exactitud.

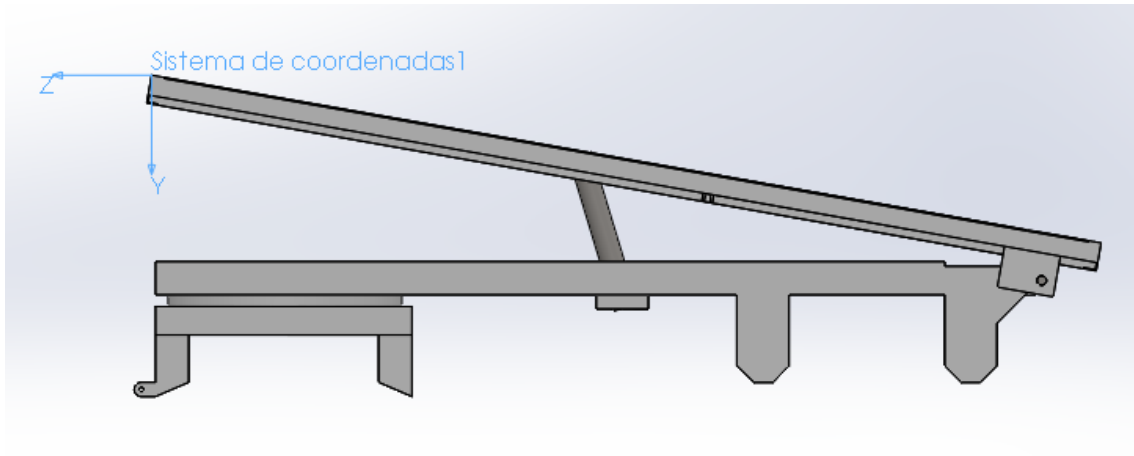


Figura 10: Representación del sistema de coordenadas auxiliar.

La tabla que se muestra a continuación recoge los distintos coeficientes de la ecuación lineal de distribución no uniforme de la fuerza calculados para los diferentes casos de basculación.

Basculación (en grados)	Coefficiente de reparto
10	0,0001616
20	0,00008230
30	0,00005635
45	0,00003990

CAPÍTULO 8

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se van a detallar los resultados de las simulaciones realizadas para los diferentes casos de carga expuestos anteriormente. Inicialmente se simularon estos casos de carga con unos bastidores de acero S275JR.

Se muestran los resultados del reparto de tensiones y coeficientes de seguridad recogidos en una tabla al final del presente capítulo. Se pretende mejorar aquellas zonas que no cumplan con un coeficiente de seguridad cercano o superior a 2.

Entre los valores de tensión obtenidos se pueden encontrar valores muy elevados, los cuales son irreales, ya que sería imposible que el material alcanzase este nivel de tensión sin romperse antes. Estos valores se deben a que se ha realizado un cálculo elástico-lineal del modelo, sin la inclusión de la curva plástica. Esta discretización es realizada a modo de simplificación ya que es suficiente para determinar si el modelo cumpliría el coeficiente de seguridad buscado según su límite elástico y no si la tensión a la que está sometido es inferior al límite de rotura. En caso de realizar un estudio con la curva completa del material (elástica y plástica), se podrían obtener las deformaciones plásticas (permanentes) que ocurren en el modelo antes de su rotura. Por el mismo motivo, no se mostrarán en esta memoria los valores de desplazamientos, ya que también resultarían irreales al ir en función de las deformaciones.

Al no superar con éxito las pruebas en reposo, en la memoria no se explica con detalle los ensayos con los distintos grados de basculación, los cuales si quedan recogidos en el Anexo B.

8.1 Resultados de Reposo o 0 grados

8.1.1 Tensión de Von Mises

En la figura se muestra el reparto de tensiones obtenido tras la simulación, siendo las de color rojo las zonas con mayor afectación tensional y disminuyendo en una escala de verdes hasta el color azul como las zonas menos afectadas.

Como se puede observar, el valor máximo que nos indica la tensión resultante de Von Mises es de 312 MPa. Como se ha explicado anteriormente, se trata de un valor irreal, pero sirve de referencia para la interpretación del modelo y saber que éste no cumpliría las especificaciones.

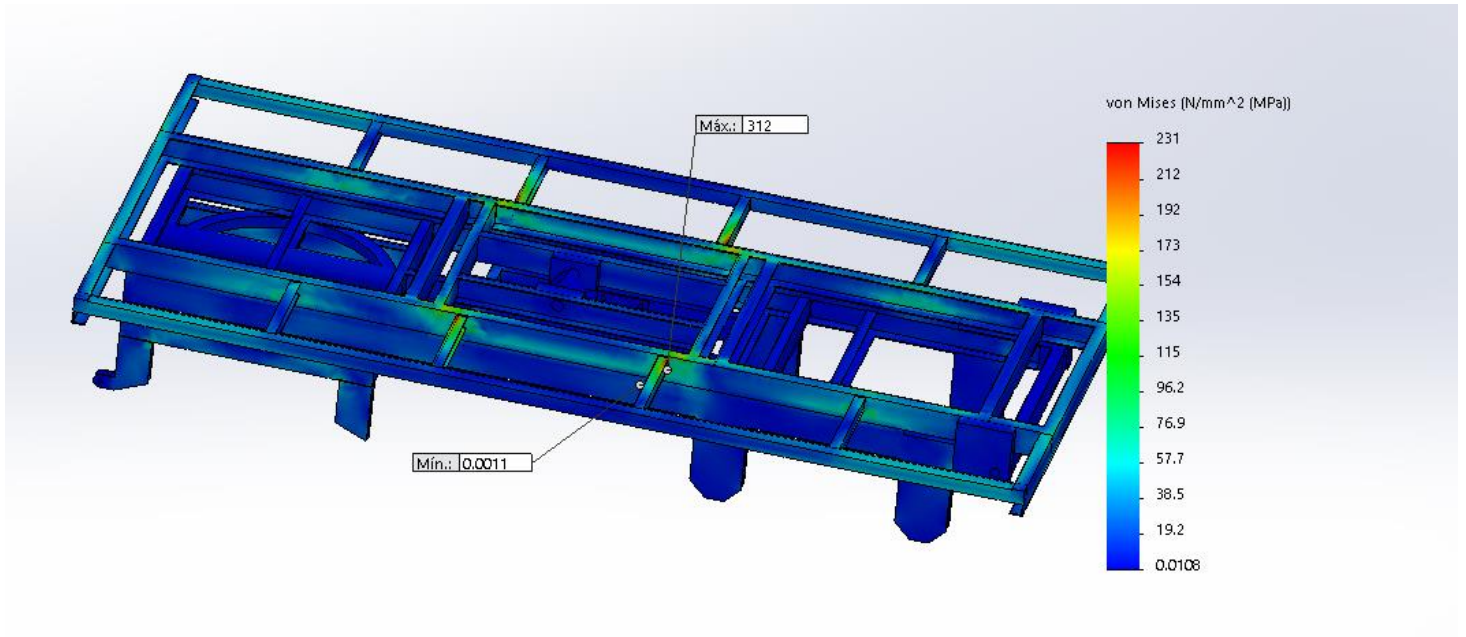


Figura 11: Distribución de tensiones en el modelo.

8.2 Resumen de resultados

A continuación se recogen en una tabla los valores máximos de tensión de Von Mises y los coeficientes de seguridad en función del límite elástico para las diferentes hipótesis a las que se somete el modelo.

CASO	MATERIAL	LIMITE ELASTICO	V.MISES MAX	COEF DE SEGURIDAD	CUMPLE REQUISITO
0°	S275JR	275 MPa	312	0.883	NO
10°			291	0.944	NO
20°			293	0.939	NO
30°			267	1.03	NO
45°			249	1.11	NO

Tabla 4: Resultados de la simulación con acero S275JR.

CAPÍTULO 9

PROCESO DE OPTIMIZACIÓN

Tras el análisis mostrado anteriormente, se puede observar que falta mucho para soportar la carga a la que es sometido el remolque en la realidad, y mucho más para lograr un coeficiente de seguridad próximo a 2 (meta a alcanzar mediante este proyecto para dotar al remolque de cierta seguridad).

Por lo tanto, se tomó la decisión de que el acero de construcción del remolque es el S355JR y se repitieron los análisis (tal y como se detalla en el Anexo C) obteniendo unos resultados más realistas y por debajo del límite elástico del material, lo cual no generaría deformaciones permanentes en la estructura.

Sobre estos resultados se realizarán pequeñas modificaciones estructurales sobre las partes del bastidor que más sufren para lograr el objetivo de un coeficiente de seguridad de 2.

Todas las modificaciones son realizadas a ambos lados del modelo, al tratarse de un bastidor simétrico. Estas modificaciones se detallan a continuación.

El análisis completo del modelo final construido en acero S355JR e incluyendo todas las modificaciones estructurales realizadas para de este modo cumplir con nuestros objetivos se detalla en el Anexo D.

9.1 Elementos modificados

9.1.1 Travesaños interiores (Bastidor superior)

Son los travesaños más solicitados del modelo y por lo tanto se procede a cerrar el lado abierto de estos para dotarlos de mayor inercia y rigidez. Se añaden unas tapas soldadas para cerrar el perfil, creando un tubo de perfil cuadrado.

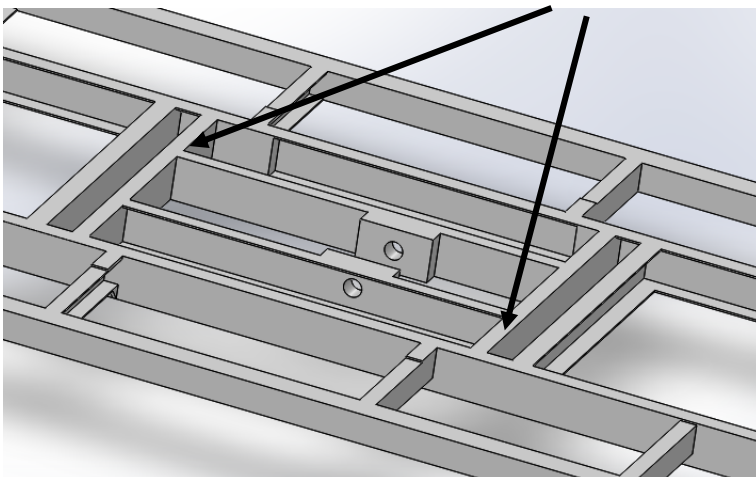


Figura 12: Localización de los travesaños a mejorar.

9.1.2 Largueros interiores (Bastidor superior)

Las uniones con los travesaños era una de las zonas que más comprometía la resistencia del modelo, por lo que se toma la determinación de cerrar las 4 esquinas parcialmente.

En las esquinas superiores se coloca un trozo de chapa de 60mm de longitud y 5mm de espesor soldado cerrando el perfil.

En las esquinas inferiores será necesario cerrar una longitud algo mayor de perfil (150mm) igualmente con una chapa de 5mm y colocando una tapa para evitar el cúmulo de suciedad en el interior del perfil.

Ambos cerramientos se detallan en las figuras mostradas a continuación:

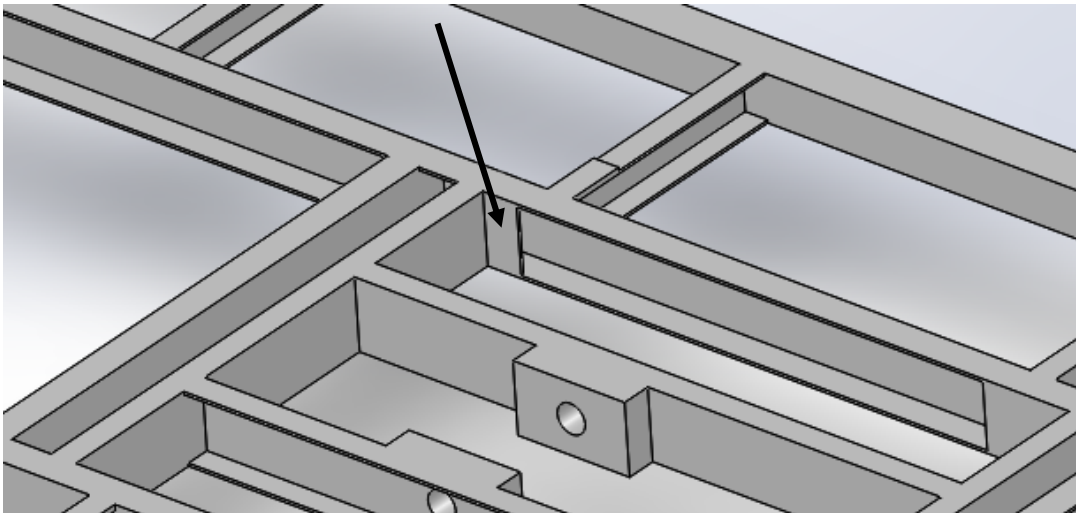


Figura 13: Localización de los refuerzos aplicados en las esquinas superiores.

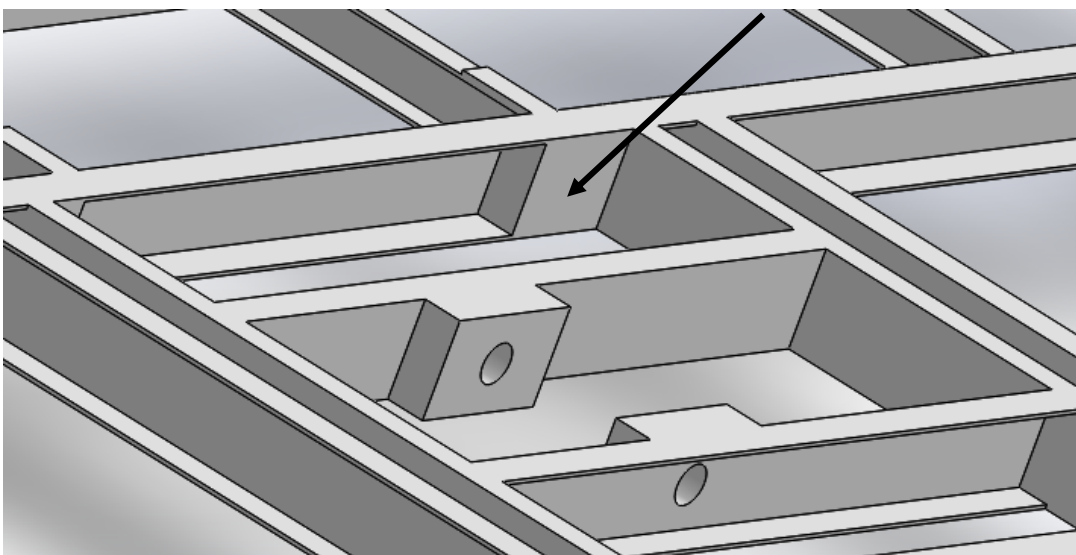


Figura 14: Localización de los refuerzos aplicados en las esquinas inferiores.

9.1.3 Travesaños exteriores (Bastidor superior)

En los dos travesaños exteriores mostrados en la imagen, correspondientes a los dos que están más cerca del centro, también se producen grandes esfuerzos que comprometen el coeficiente de seguridad deseado.

Se añaden los refuerzos detallados que corresponden con una pletina de 5mm de espesor y 100mm de longitud soldada en la parte superior de los 4 travesaños y los 2 travesaños inferiores la soldadura de 2 chapas triangulares de 5mm a modo de cuña por la parte inferior de los mismos.

Los refuerzos nombrados se detallan en las figuras mostradas a continuación:

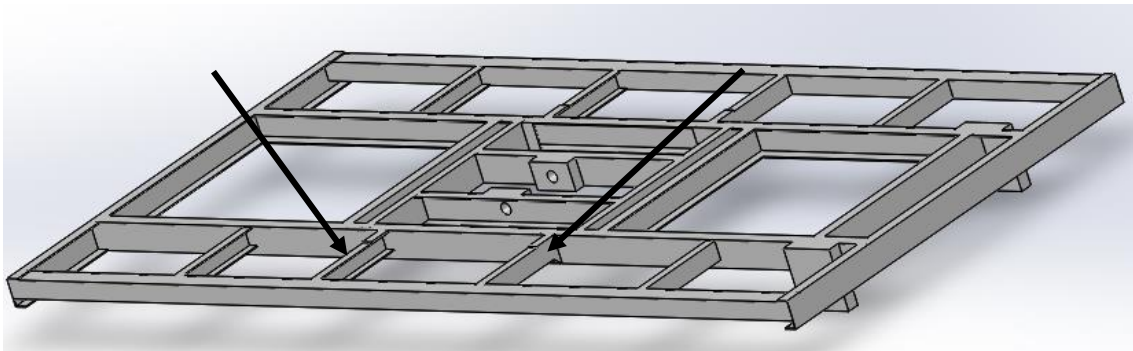


Figura 15: Travesaños exteriores reforzados

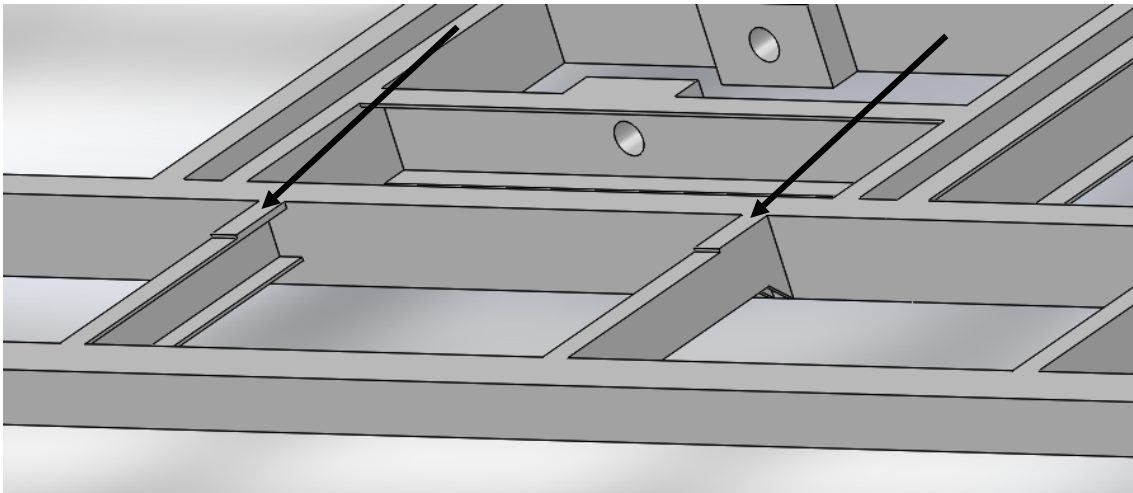


Figura 16: Pletinas de refuerzo en los travesaños exteriores.

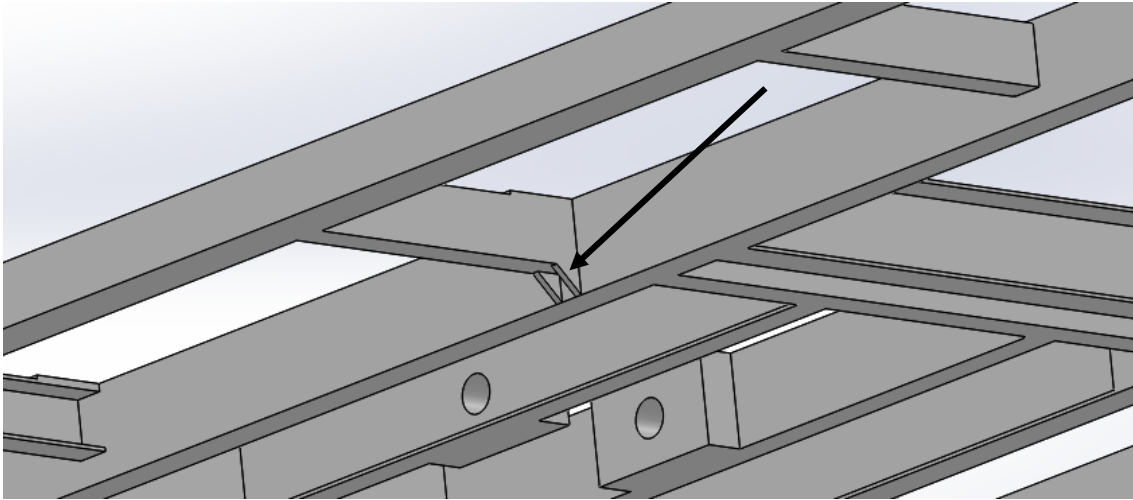


Figura 17: Cuñas de refuerzo en el travesaño exterior.

9.1.4 Largueros interiores soporte cilindro (Bastidor inferior)

Cercano a la zona donde se sustenta el soporte del cilindro se producen las mayores tensiones del bastidor inferior, teniendo que reforzar estas de forma contundente a ambos lados del soporte, introduciendo un refuerzo interior sobre todo el perfil como se detalla en la figura.

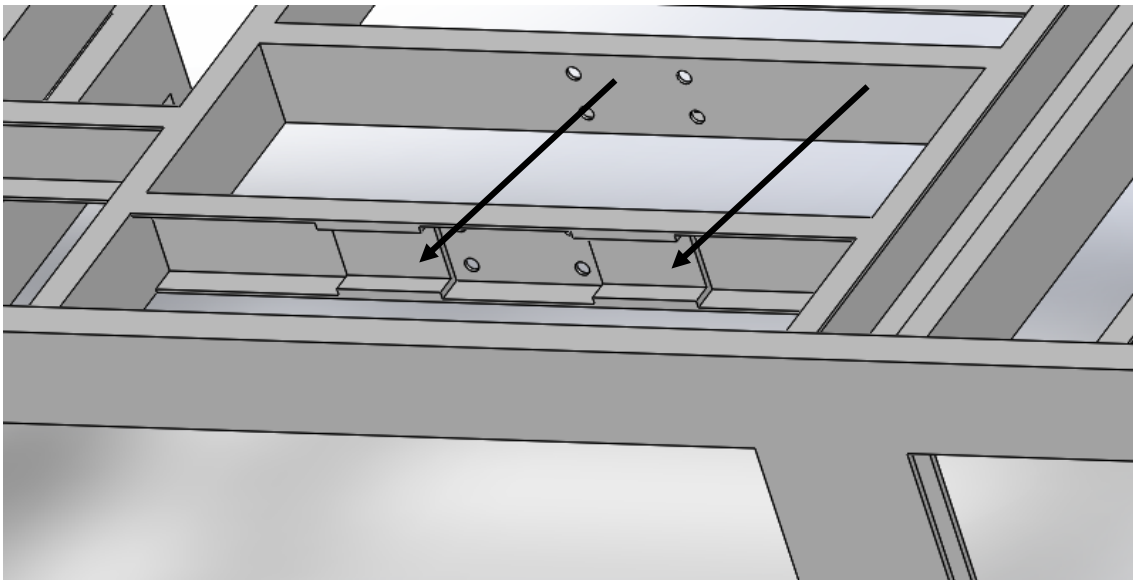


Figura 18: Refuerzos en los largueros interiores.

9.1.5 Soporte posterior de las ballestas del eje trasero (Bastidor inferior)

Se añaden dos refuerzos en forma de cuña para aliviar las tensiones producidas en la unión con los largueros.

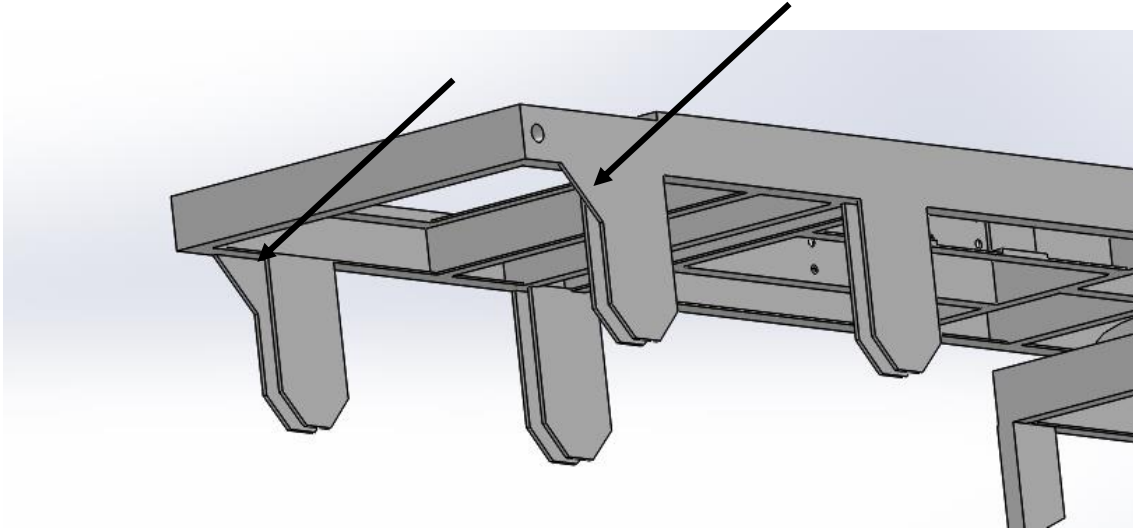


Figura 19: Refuerzos en los soportes posteriores.

9.2 Resultados del análisis tras la optimización

Tras los procesos de optimización estructural detallados en el apartado anterior y el cambio del material de la estructura por el acero S355JR se han obtenido los resultados esperados para el remolque en los nuevos análisis realizados, que se pueden observar y quedan explicados con todo detalle en el Anexo D.

En las siguientes figuras se recoge y ejemplifica lo dicho, mostrando para distintos niveles de basculación la nueva distribución de tensiones, observándose el predominio de colores azules, lo que indica el bajo nivel de tensión a la que se somete la estructura en función del nuevo límite elástico.

Al final de este apartado se incluye una tabla que recoge todos los valores obtenidos en este estudio.

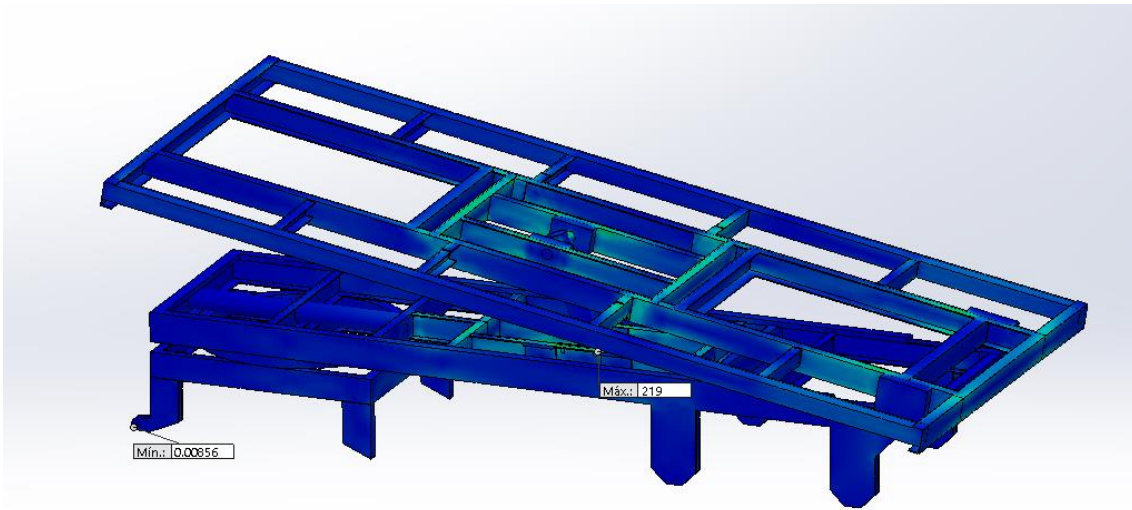


Figura 20: Distribución de tensiones para una basculación de 10°

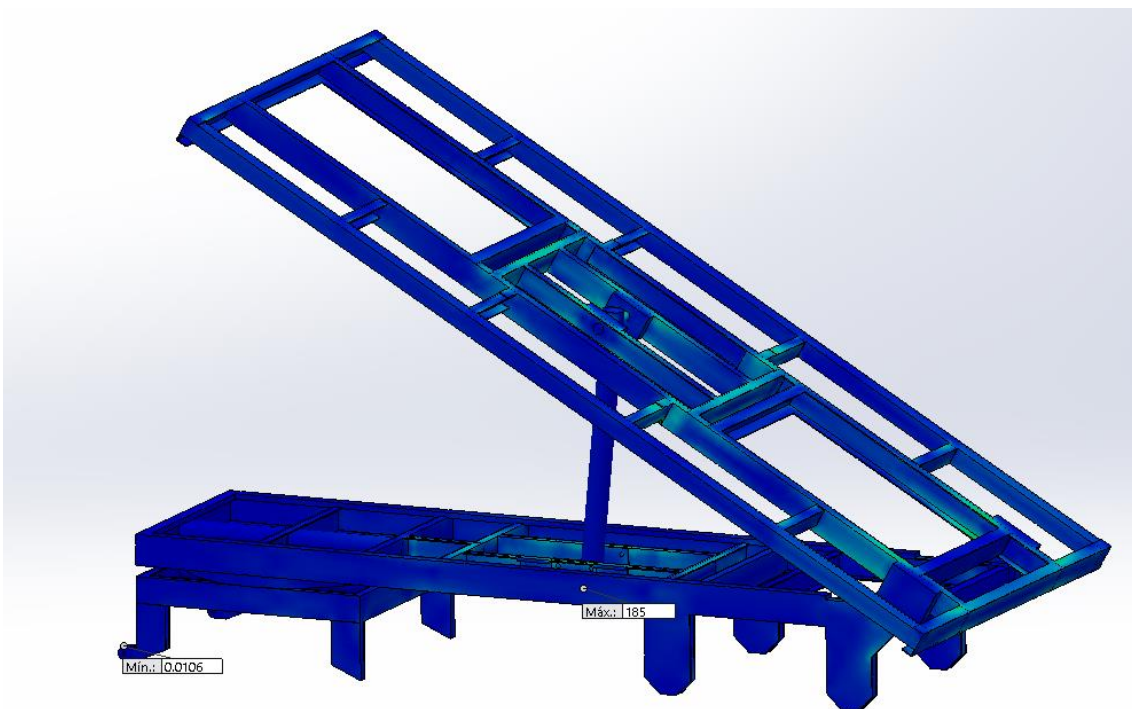


Figura 21: Distribución de tensiones para una basculación de 30°

9.2.1 Tabla de resultados del modelo optimizado

La siguiente tabla recoge los resultados obtenidos de Tensiones de Von Mises y coeficientes de seguridad logrados para las diferentes hipótesis de cálculo del modelo con las reformas estructurales aplicadas y el cambio de material.

CASO	MATERIAL	LIMITE ELASTICO	V.MISES MAX	COEF DE SEGURIDAD	CUMPLE LA HIPOTESIS
0°	S355JR	355 Mpa	187MPa	1.9	SI
10°			187Mpa	1.9	SI
20°			169Mpa	2.1	SI
30°			169Mpa	2.1	SI
45°			182Mpa	1.95	SI

Tabla 5: Resultados de la simulación con acero S355JR.

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas a partir de este estudio realizado sobre la estructura de los bastidores del remolque agrícola objeto de este estudio son las que se explican a continuación:

Ante la solicitud por parte del cliente de analizar la seguridad de su remolque agrícola y dado el desconocimiento acerca del material de la estructura y cualquier dato relativo al mismo que no fueran las medidas tomadas sobre él (debido a su antigüedad y que carecía de ficha técnica), se marcó un orden de trabajo que nos permitiera en primer lugar conocer el material y como estaba hecha la estructura del remolque, para posteriormente centrarnos en realizar las modificaciones que fueran necesarias sobre el chasis para otorgarle la seguridad solicitada.

Se realizaron diversos análisis sobre la estructura de los bastidores con el acero S275JR, con el fin de determinar el material de construcción. Con los bajos coeficientes de seguridad obtenidos con él, se llega a la conclusión de que el material utilizado en la fabricación del modelo es un acero más resistente. Por lo tanto, se simuló de nuevo todo el modelo con un acero S355JR obteniendo unos resultados que posiblemente sean más acordes con la realidad actual. Estos resultados son unas tensiones generadas en la estructura de menor valor pero sin apenas tener un coeficiente de seguridad de margen, por lo que estarían al límite de su capacidad, algo que se ajusta a la realidad descrita por el dueño del remolque, ya que este soportaba la carga, pero con dudosa seguridad, ya que daba signos de estar al límite de su capacidad.

Ante este hecho se diseñaron y añadieron modificaciones estructurales de sencilla implantación con el fin de asegurar la estructura y conseguir un coeficiente de seguridad en torno a 2.

Por lo tanto, y para finalizar este estudio, se llega a la conclusión de haber logrado el objeto de este proyecto. Se ha determinado el material del remolque analizado y añadido una serie de mejoras estructurales para dotarlo de mayor seguridad, consiguiéndolo de manera sencilla y económica.

CAPÍTULO 11

BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía empleada ha sido de manera global para la obtención de diferentes parámetros o soluciones a problemas que han ido surgiendo a lo largo de la realización del presente trabajo fin de grado. La bibliografía empleada de manera puntual es la siguiente:

- Catálogo METALASA. Propiedades de los aceros.
- www.ingemecanica.com
- www.mapama.gob.es. Página web del ministerio de agricultura.
- Casos de carga y condiciones de contorno. Remolques y semirremolques Leciñena.
- Base de datos SolidWorks.
- Tutoriales SolidWorks.
- Apuntes de la asignatura Criterios de diseño de máquinas.



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

**ANÁLISIS DEL DISEÑO ACTUAL Y OPTIMIZACIÓN
DE UN REMOLQUE AGRÍCOLA**

ANEXO A

DIMENSIONES BÁSICAS DEL MODELO

Autor

Ignacio Monterrubio Torres

Director

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2016

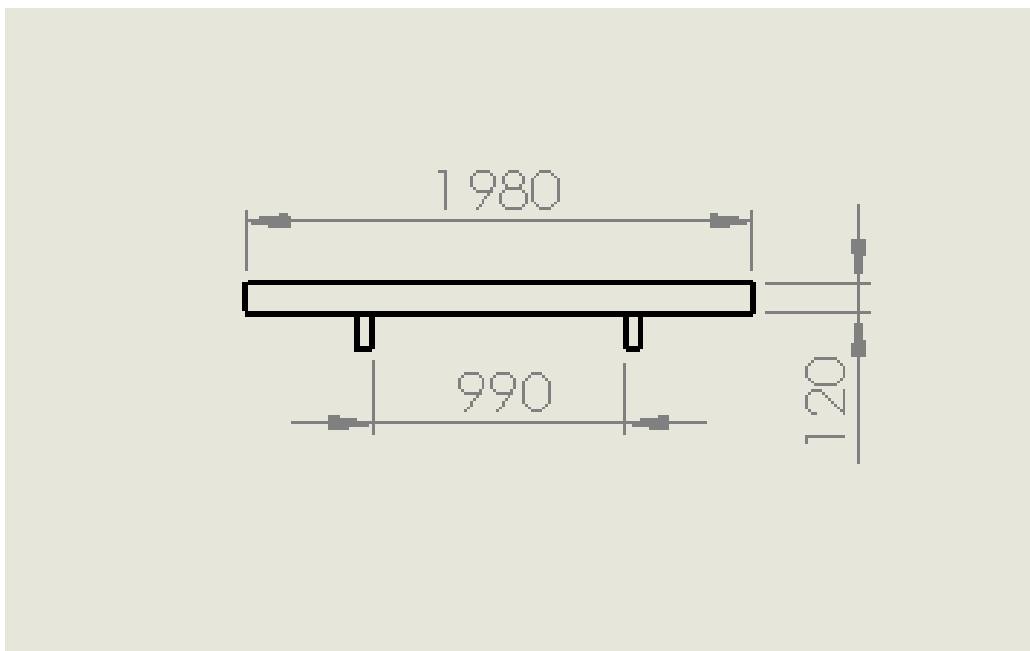
En el presente anexo se van a detallar las cotas básicas tomadas sobre el remolque.

Este es el primer punto llevado a cabo en la ejecución de este proyecto, para ello me desplazé hasta Azagra (Navarra), lugar donde se encuentra el remolque para realizar todas las mediciones necesarias sobre el mismo para lograr acotar el modelo y posteriormente poder reproducirlo en el software de modelado 3D SolidWorks.

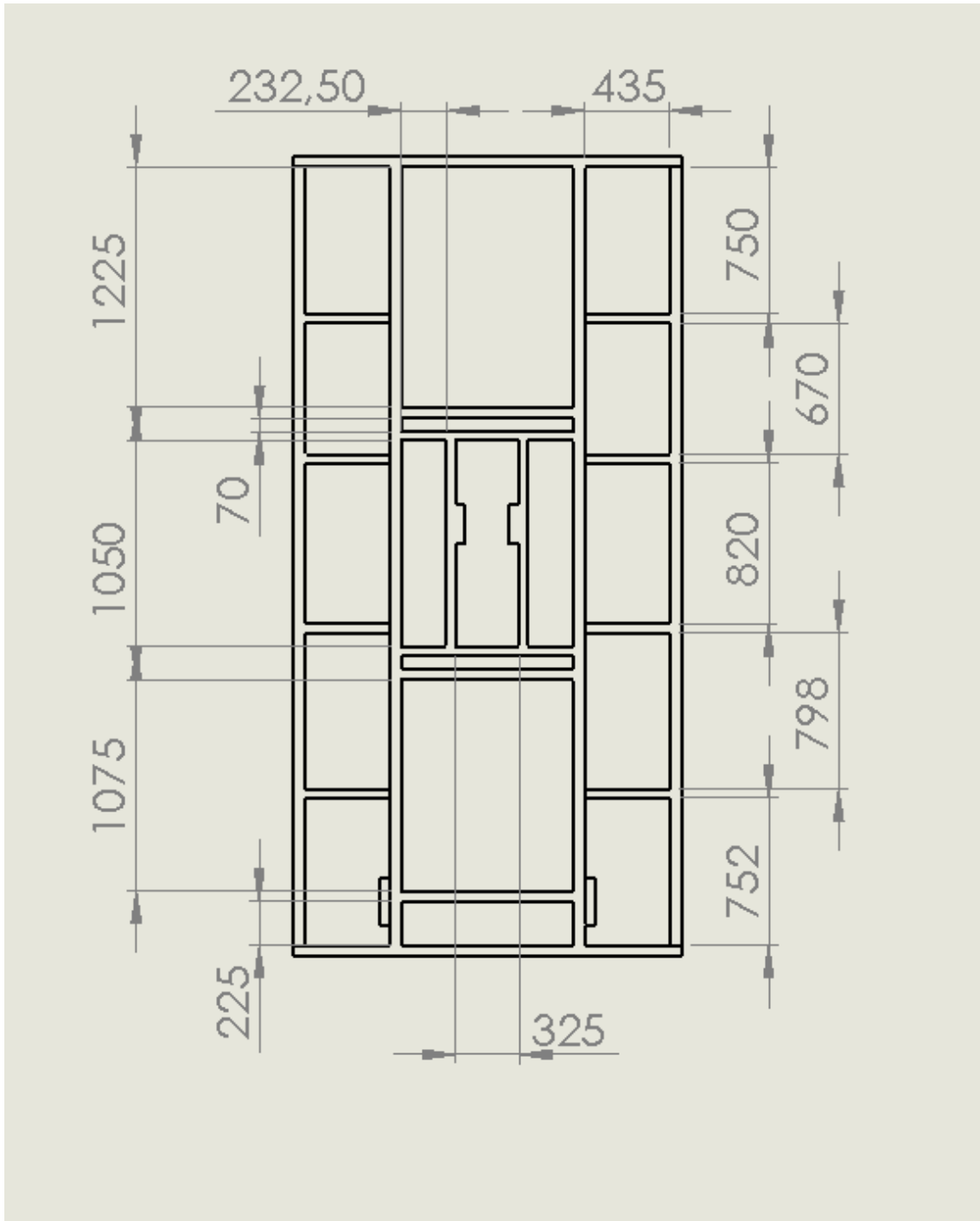
En las figuras a continuación mostradas se reflejan las cotas básicas del modelo.

Bastidor superior

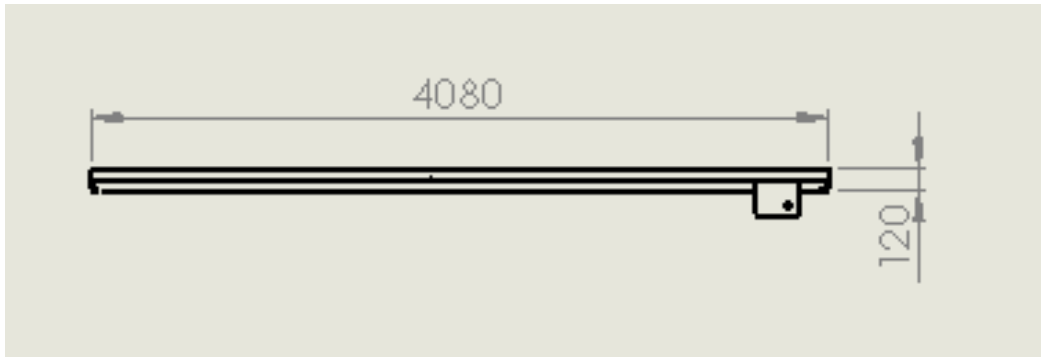
- Alzado



- Planta

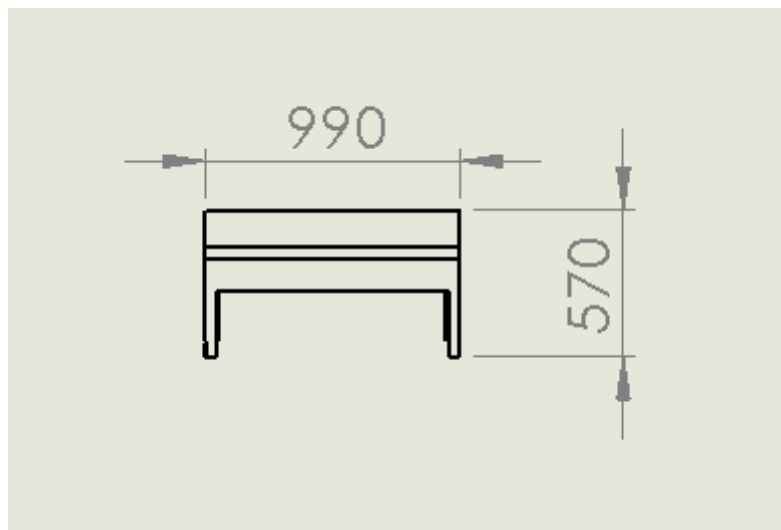


- Perfil

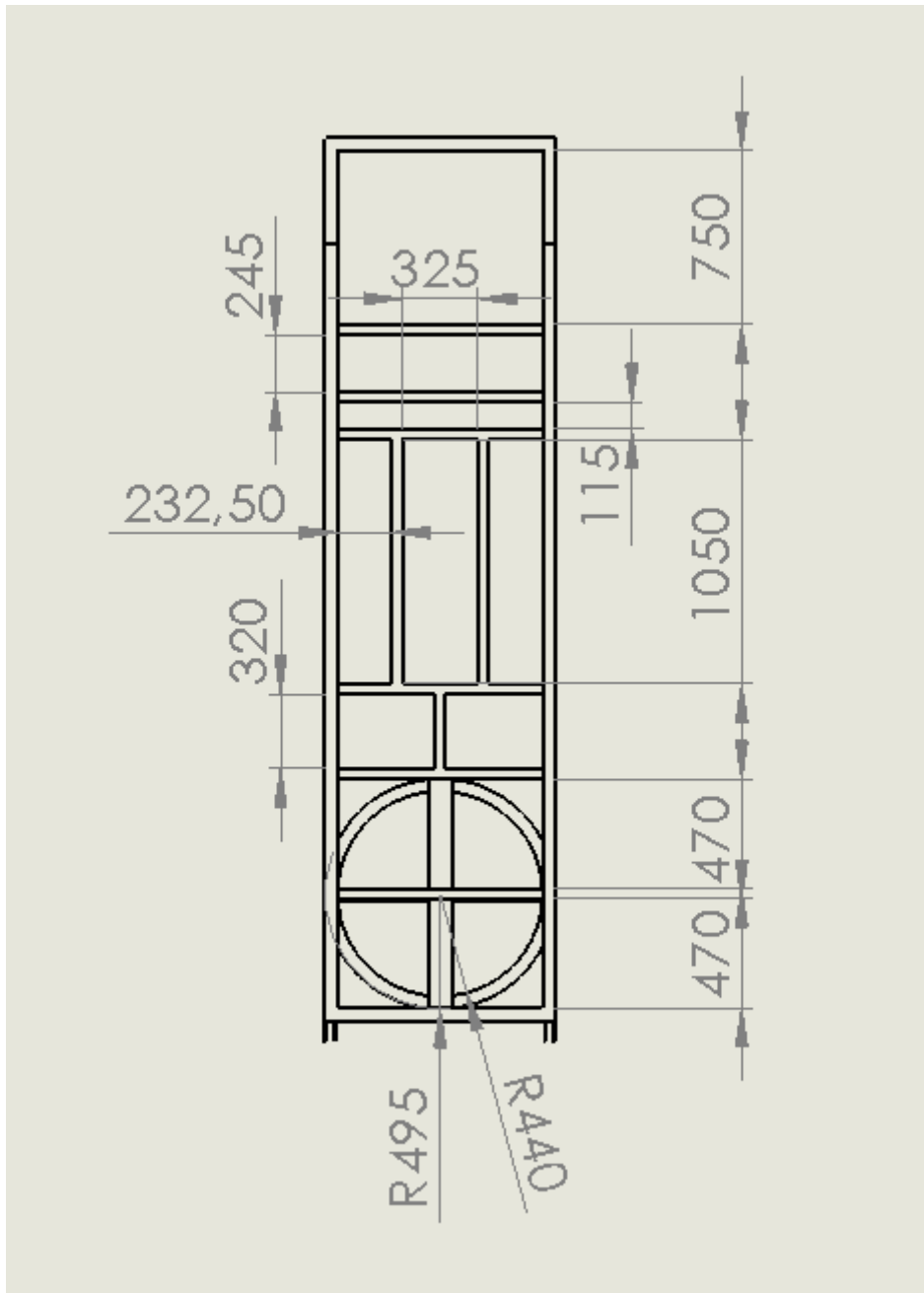


Bastidor inferior

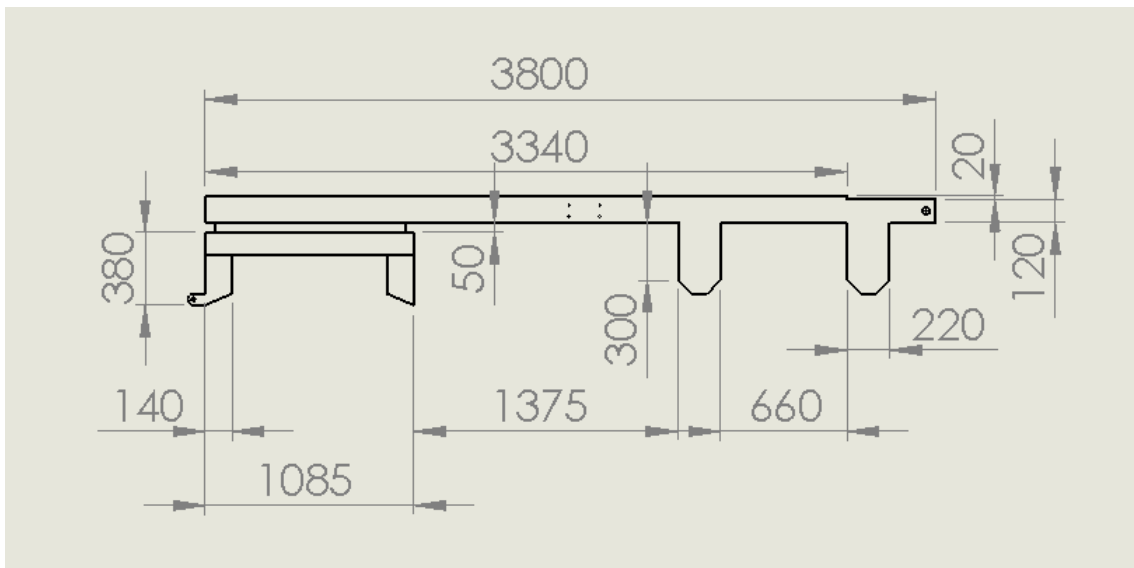
- Alzado



- Planta



- Perfil





Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

**ANÁLISIS DEL DISEÑO ACTUAL Y OPTIMIZACIÓN
DE UN REMOLQUE AGRÍCOLA**

ANEXO B

ANÁLISIS DEL MODELO CON ACERO S275JR

Autor

Ignacio Monterrubio Torres

Director

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2016

En el presente anexo se van a detallar todos los resultados obtenidos para la simulación por elementos finitos (MEF) del modelo objeto de estudio construido en acero S275JR y sin aplicar ningún tipo de refuerzo estructural.

Esta es la primera simulación realizada y que servirá de base al estudio. Nos ayudará a determinar si el material es correcto y las zonas más solicitadas.

Se detallan a continuación los resultados para las distintas hipótesis simuladas.

Reposo

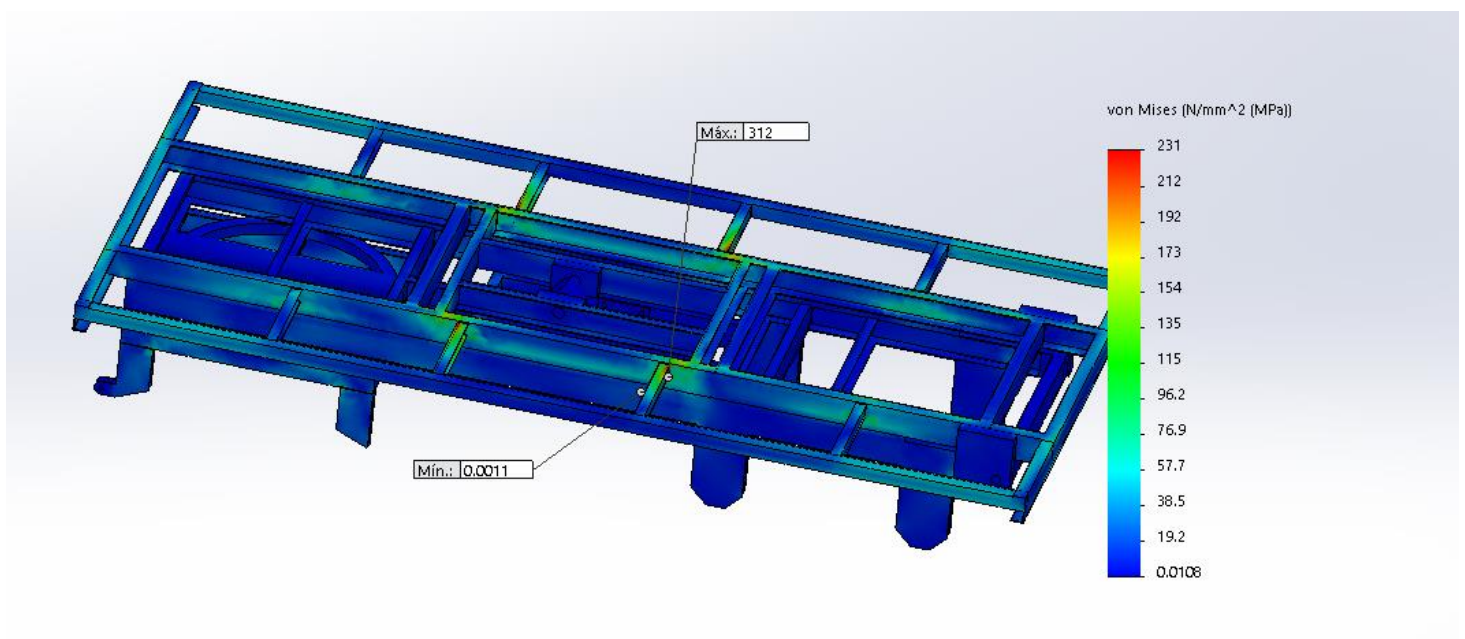


Figura 1: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 0°

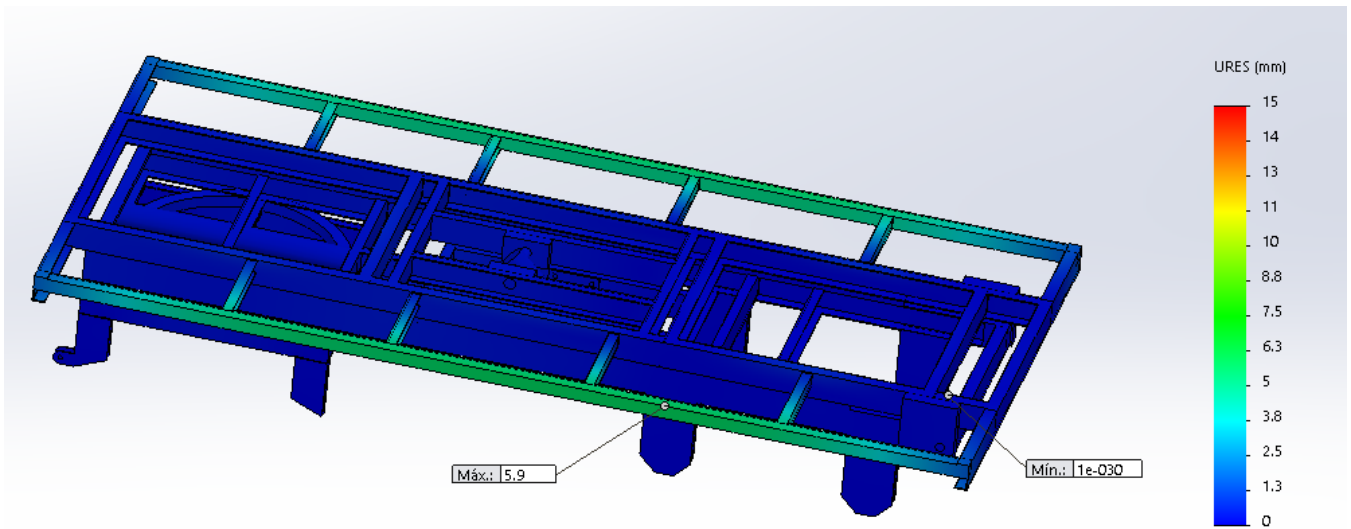


Figura 2: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 0°

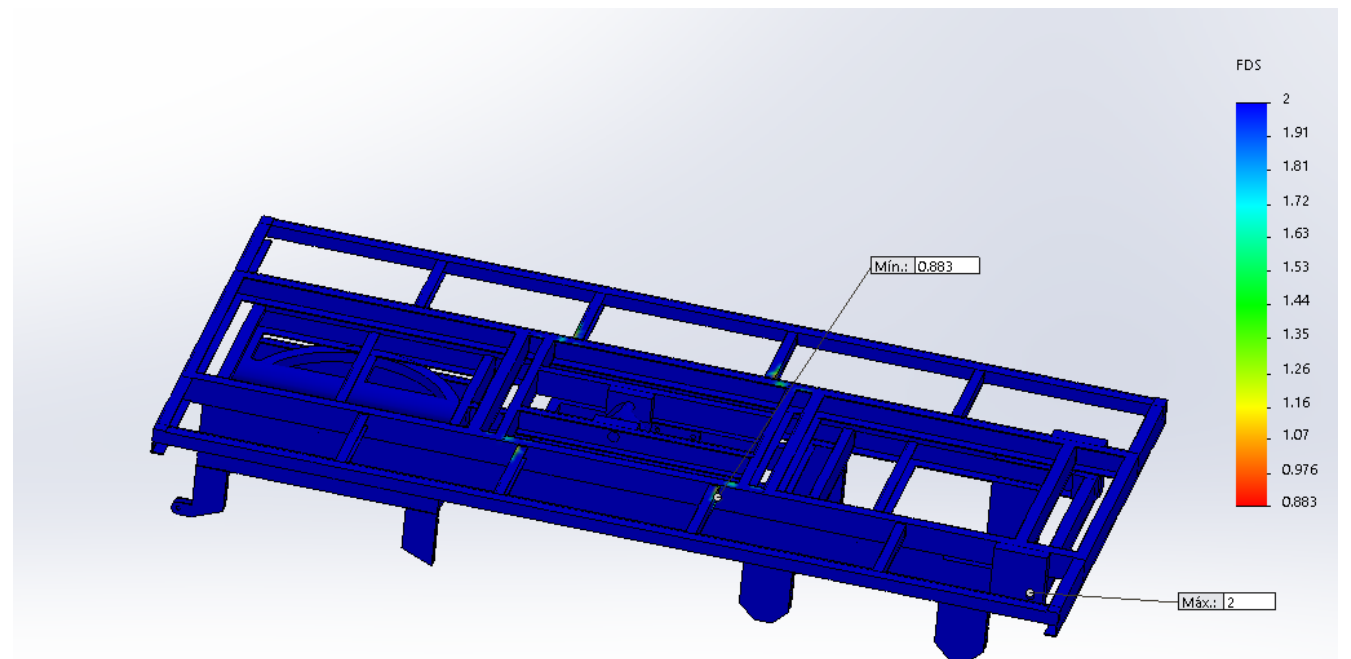


Figura 3: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 0°

Basculación 10°

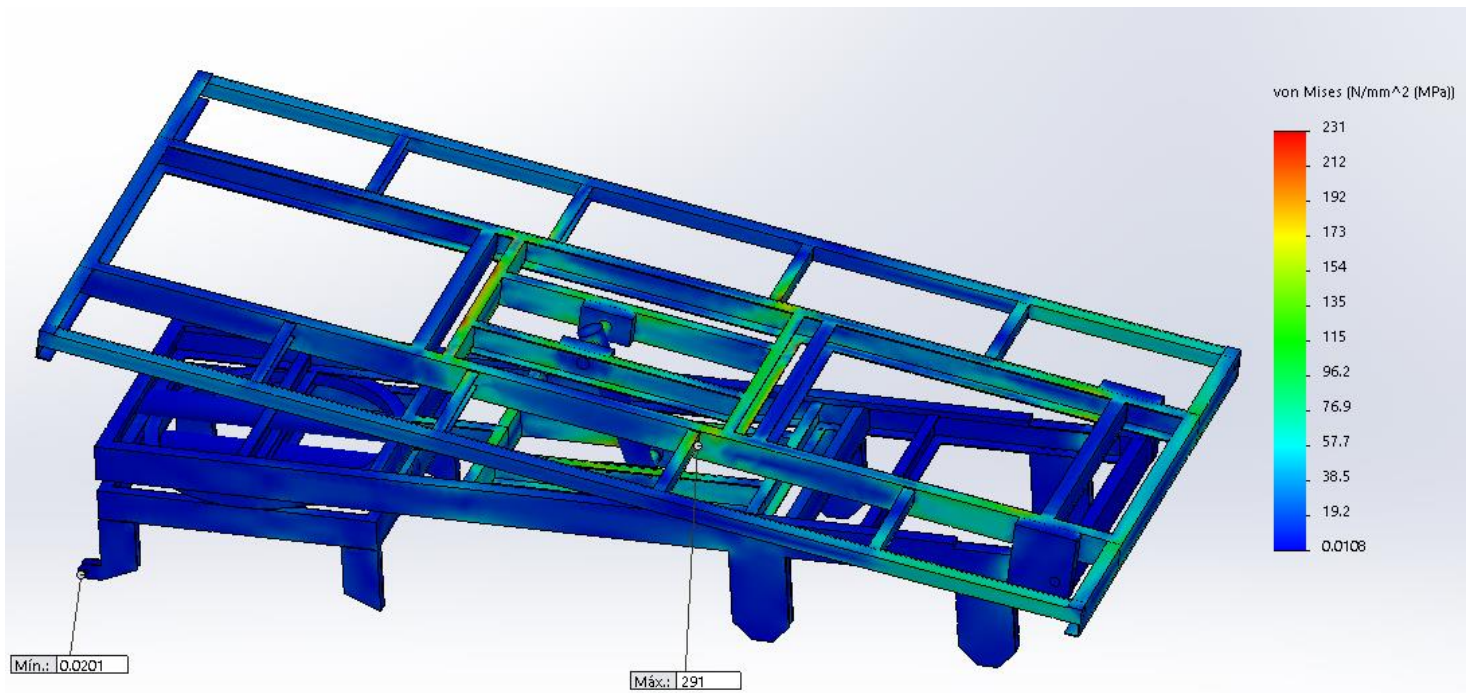


Figura 4: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 10°

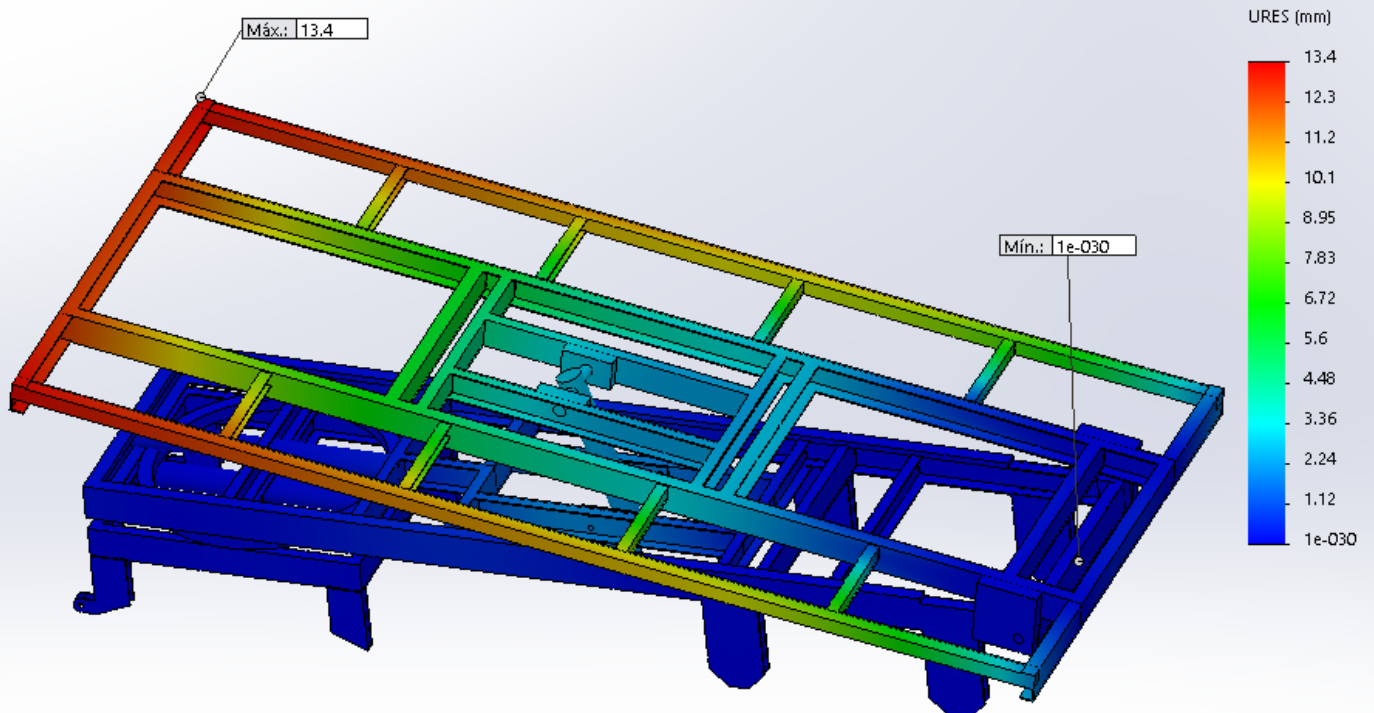


Figura 5: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 10°

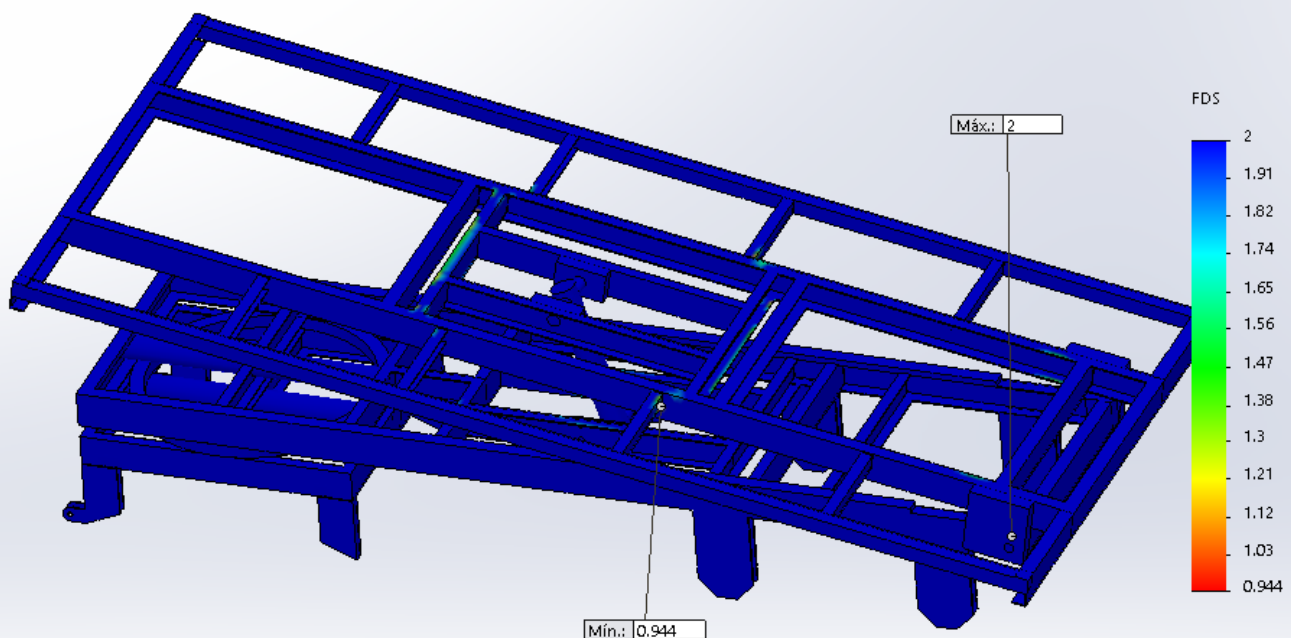


Figura 6: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 10°

Basculación 20°

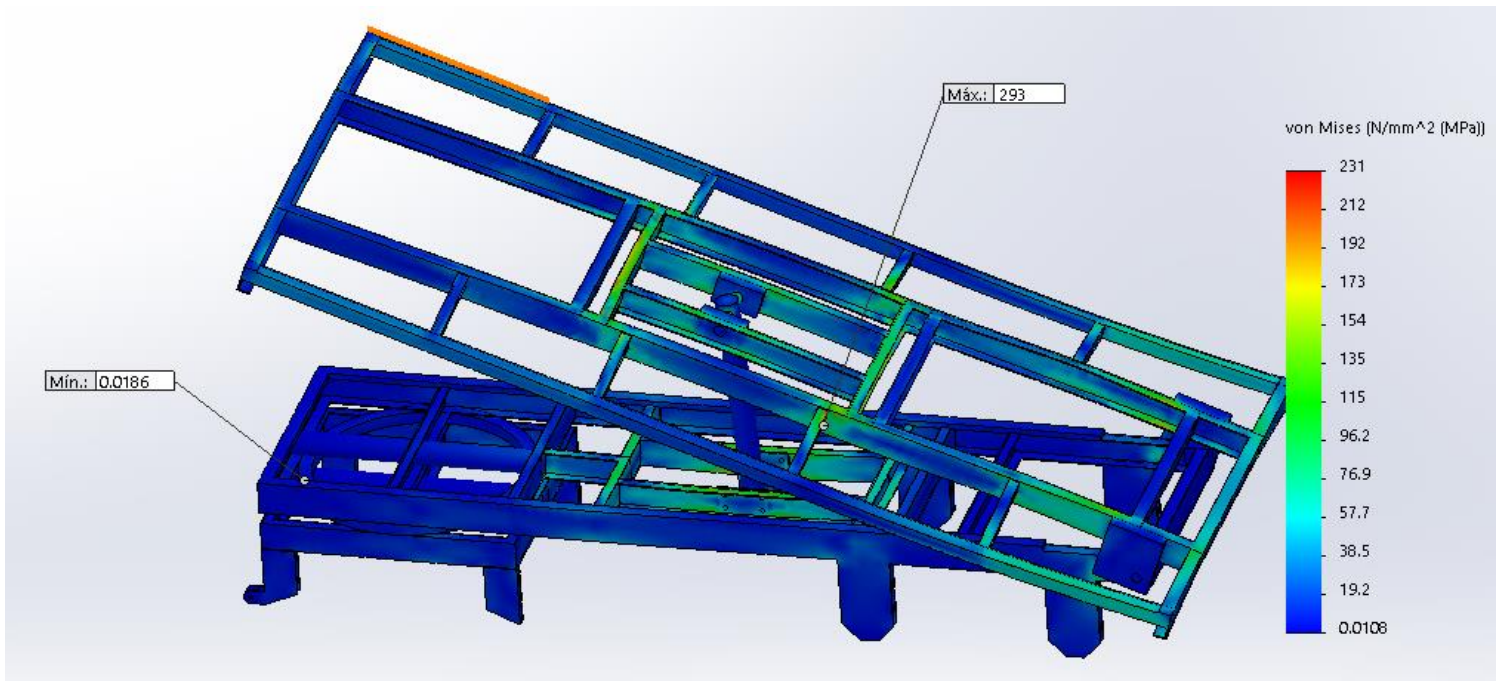


Figura 7: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 20°

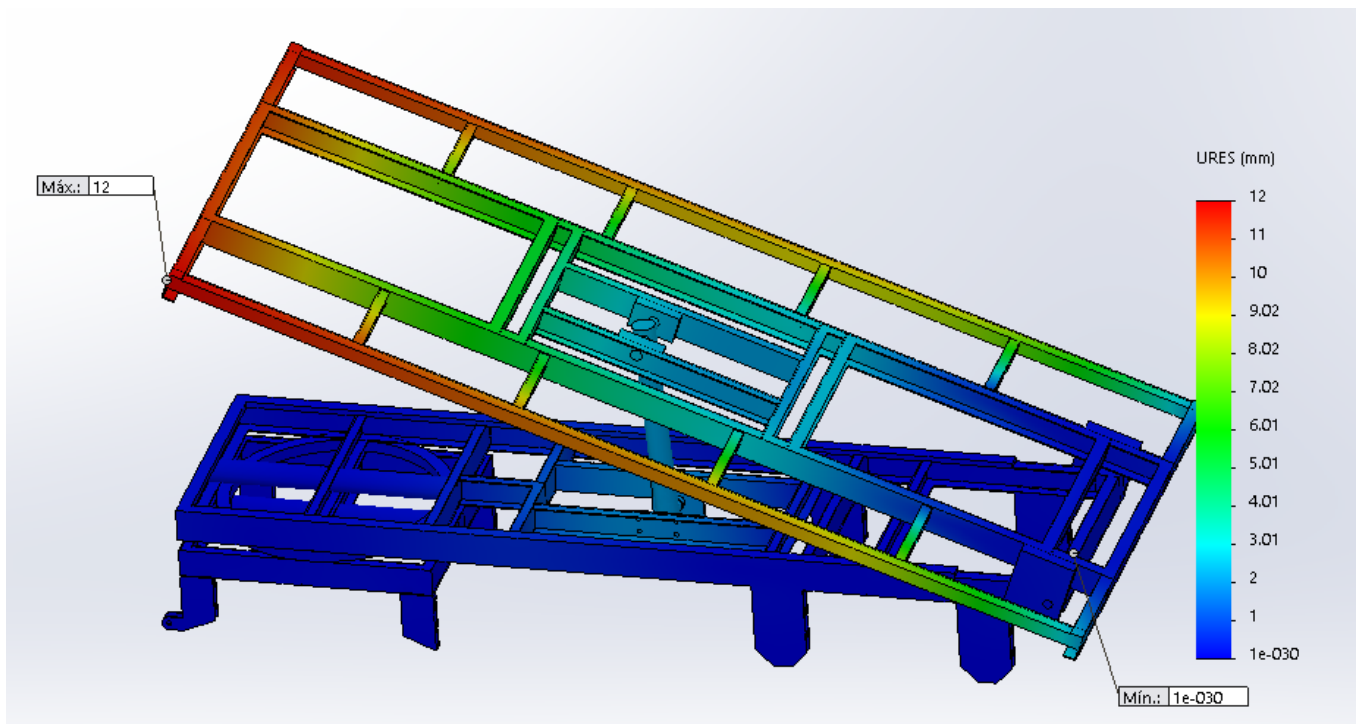


Figura 8: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 20°

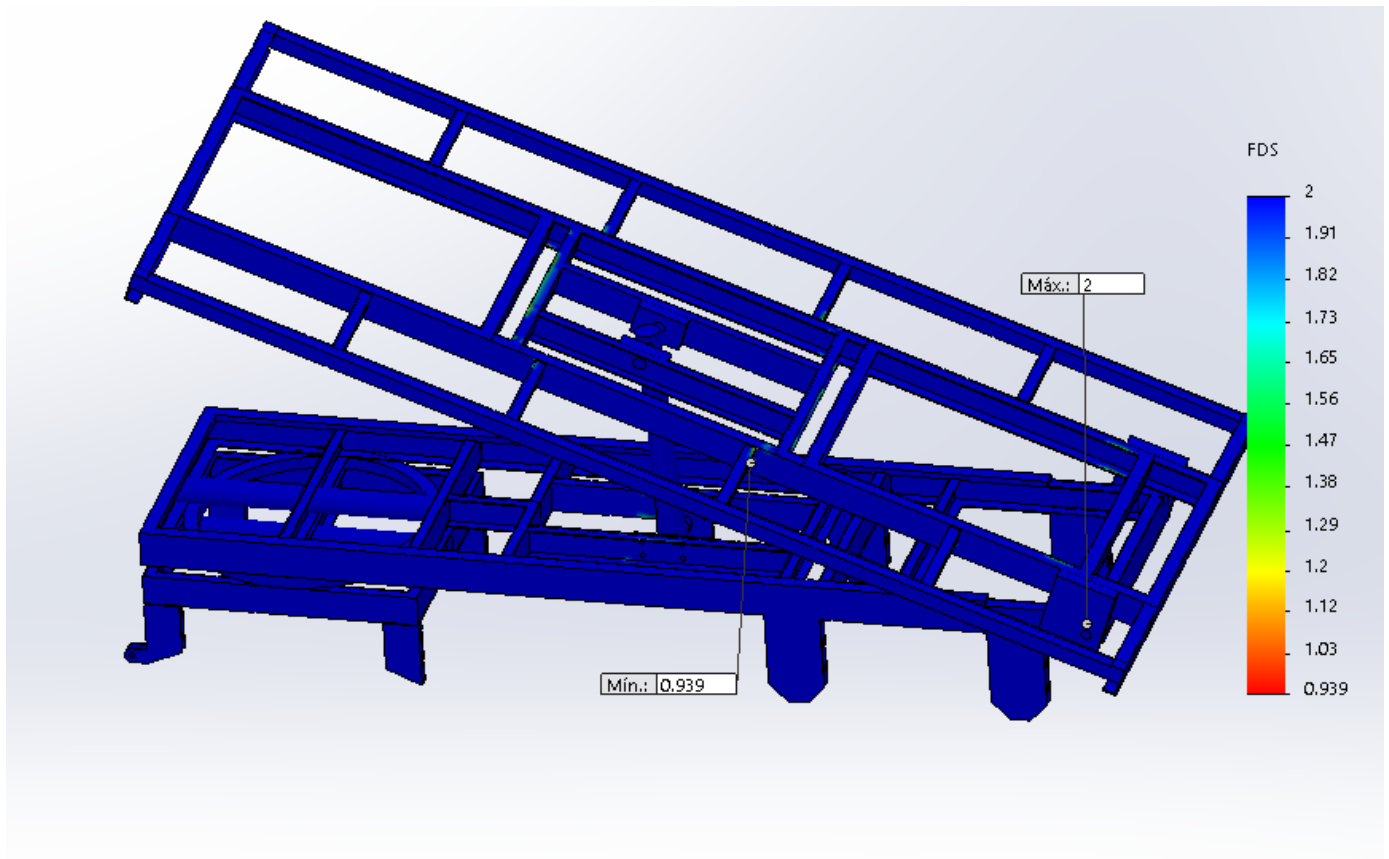


Figura 9: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 20°

Basculación 30°

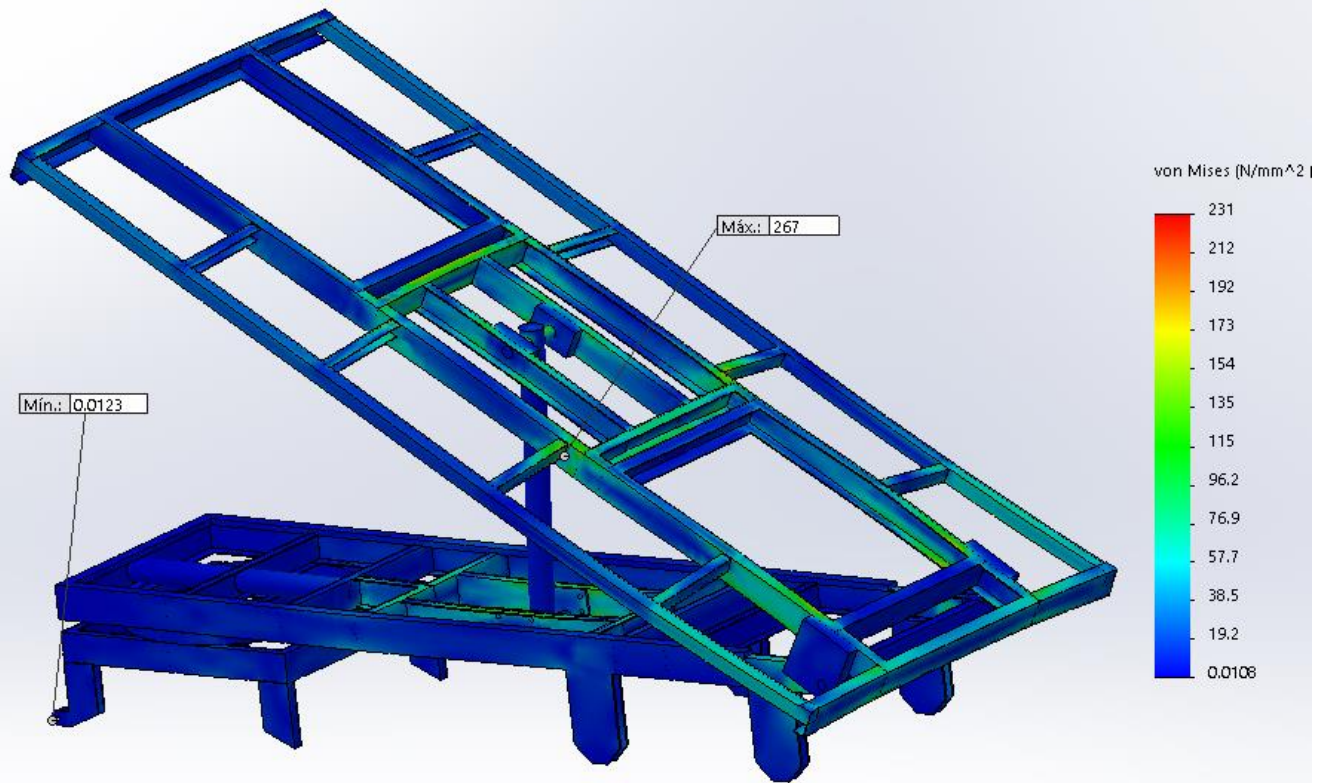


Figura 10: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 30°

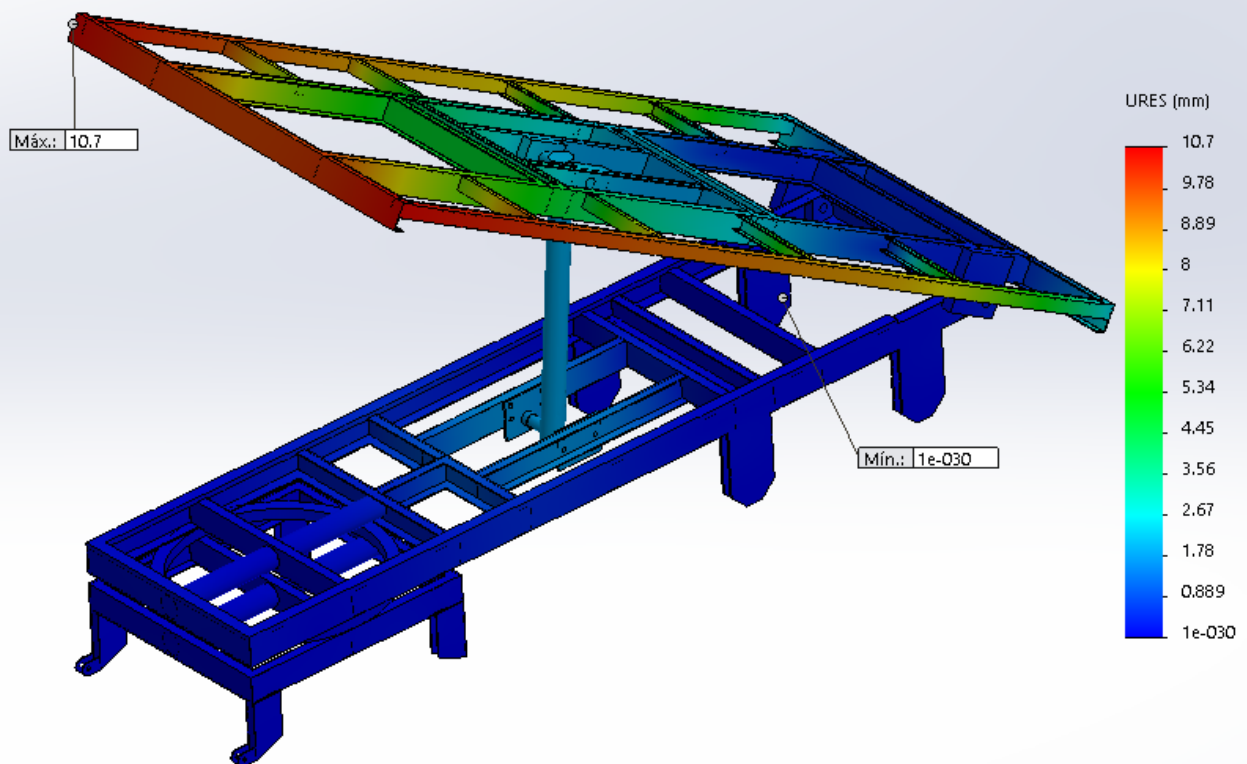


Figura 11: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 30°

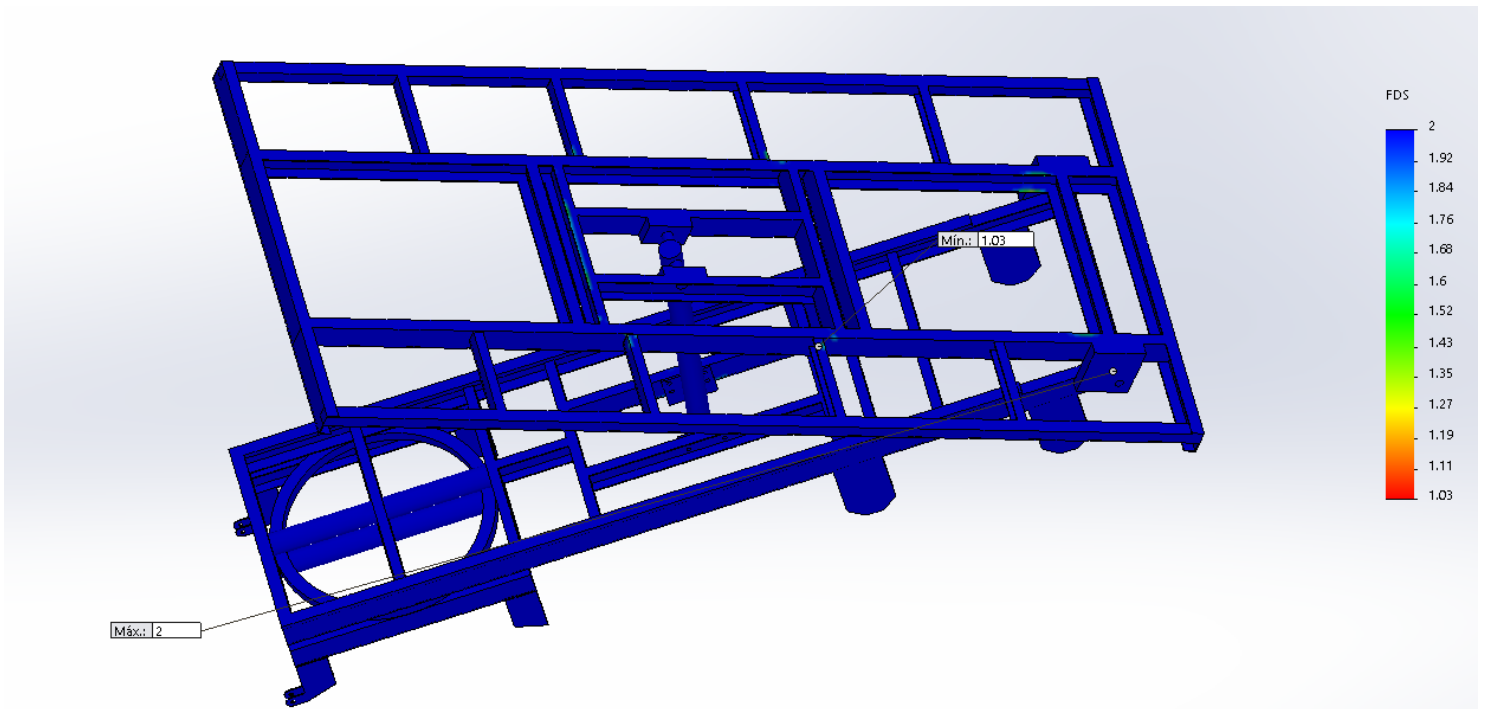


Figura 12: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 30°

Basculación 45°

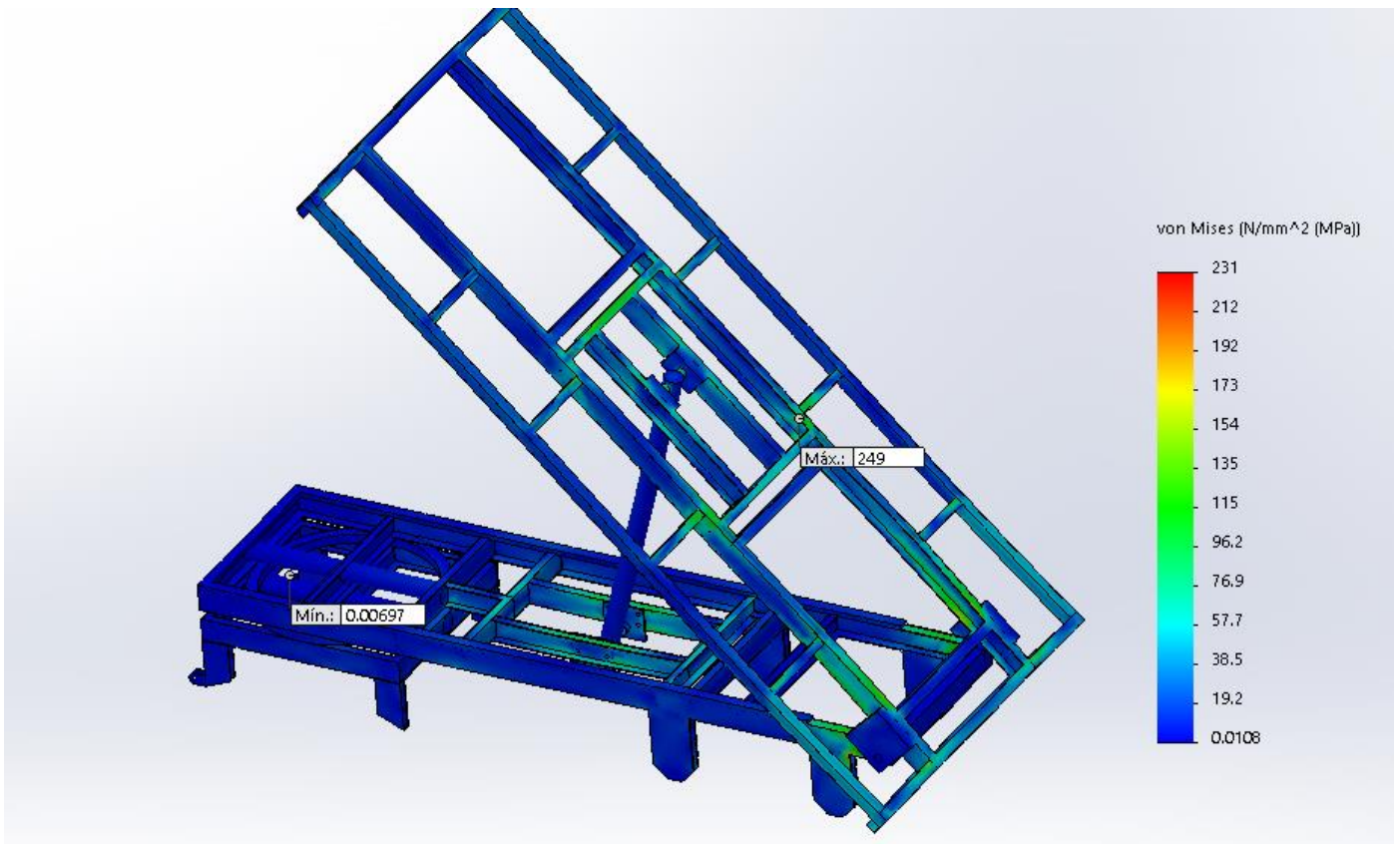


Figura 13: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 45°

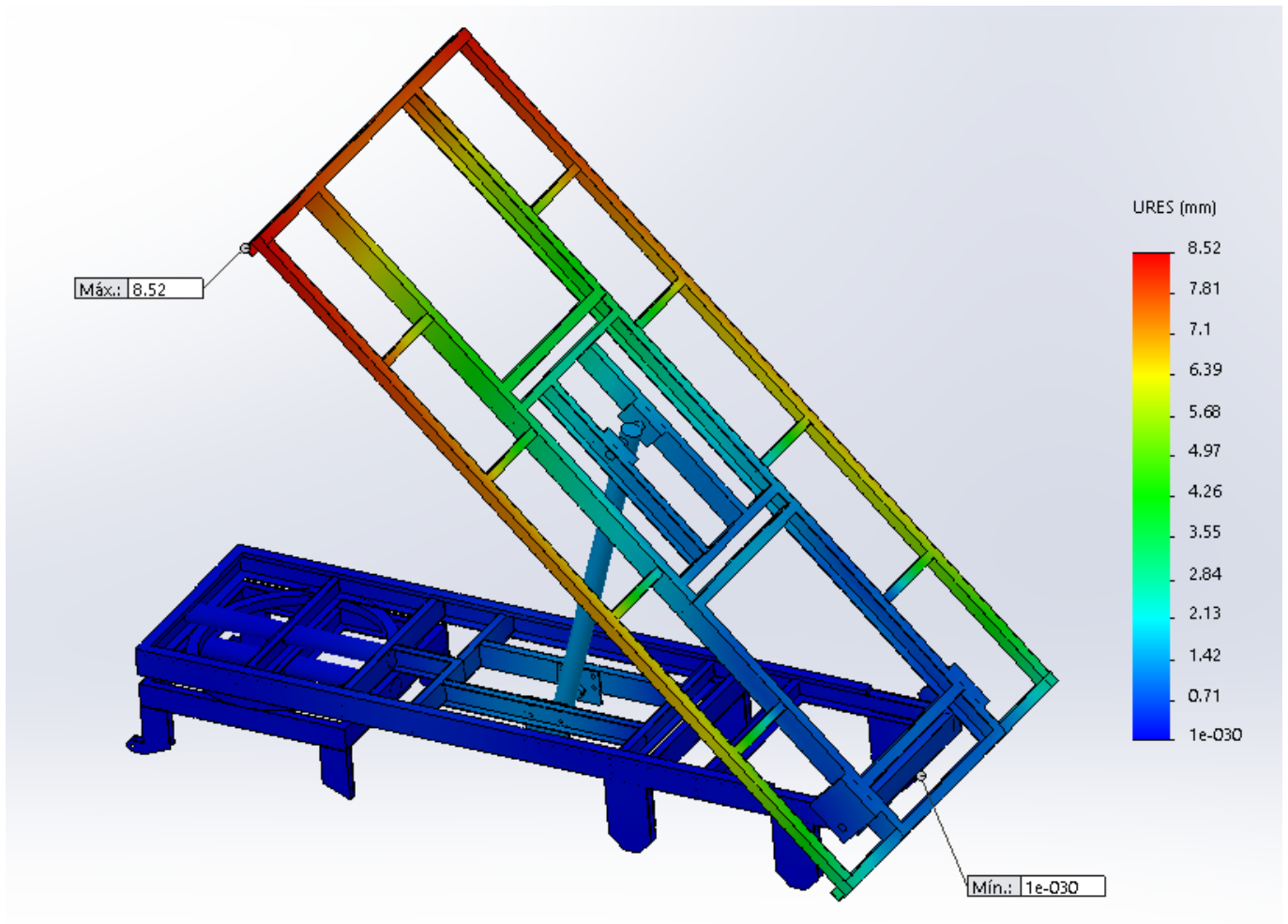


Figura 14: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 45°

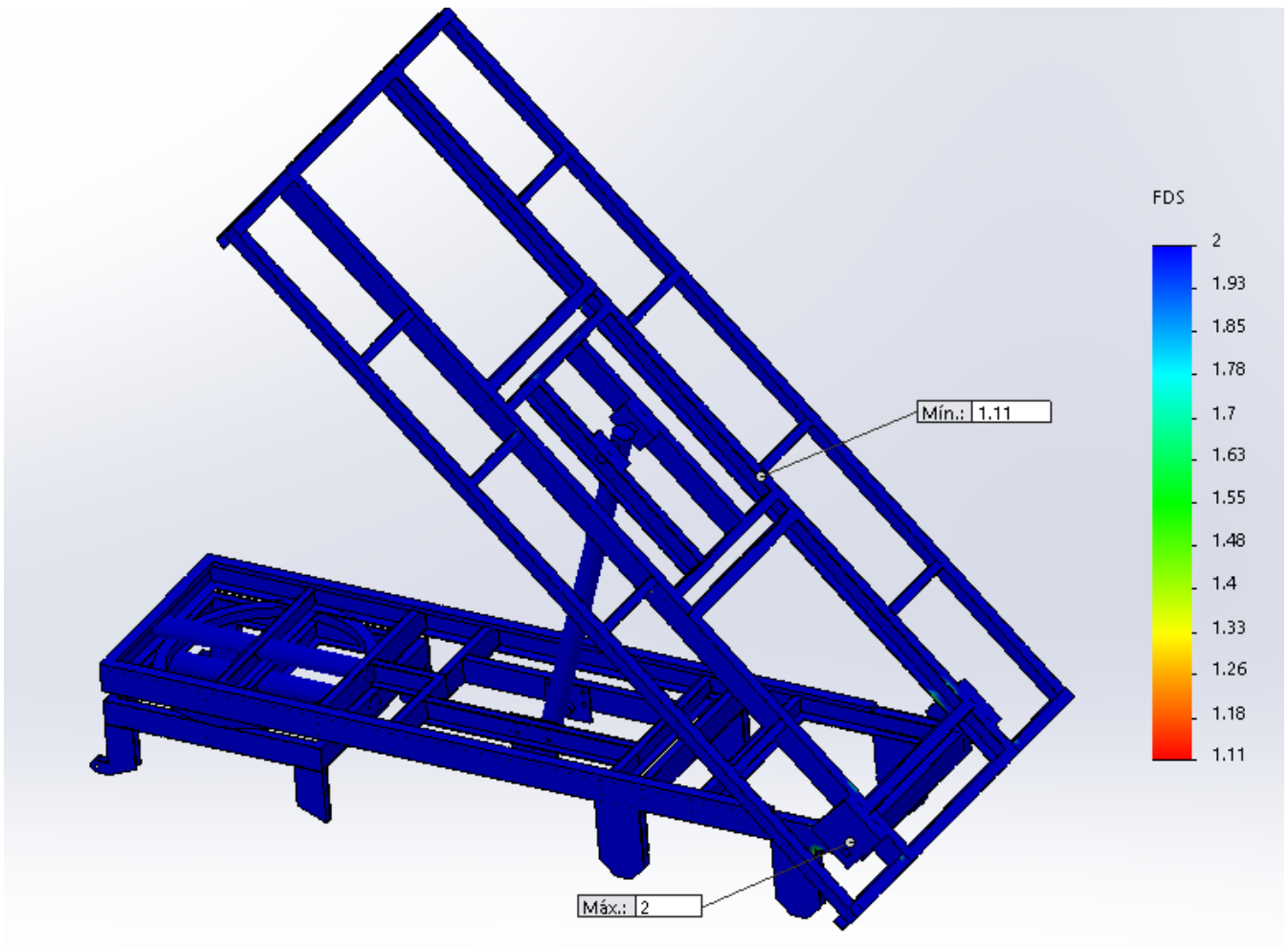


Figura 15: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 45°

RESULTADOS

MODELO	TENSIÓN DE VON MISES		DESPLAZAMIENTO MÁX	COEF. SEG. MÍN
	V.M. MÁX	V.M. MIN		
0°	312MPa	0.01MPa	5.9mm	0.883
10°	291MPa	0.02MPa	13.4mm	0.94
20°	293MPa	0.02MPa	12mm	0.94
30°	267MPa	0.01MPa	10.7mm	1
45°	249MPa	0.01MPa	8.52mm	1.11

Tabla 1: Resumen de resultados obtenidos en la simulación con acero S275JR.

Como se puede observar en los resultados recogidos en la tabla y en las imágenes capturadas de las simulaciones el modelo que más sufre bajo la hipótesis de cálculo con el acero S275JR, es el simulado en situación de reposo o basculación 0°, será el que marque el coeficiente de seguridad más bajo.

En el resto de simulaciones ya empiezan a salir valores de tensión más cercanos a los esperados, dejando notar ya zonas de concentración de tensiones que serán objeto de refuerzo en apartados posteriores.

El valor máximo de tensión que se ha recopilado es de 312MPa, valor muy superior al límite elástico del material y que resultaría imposible alcanzar en una simulación real. Este hecho se debe a que se no se ha considerado la curva plástica del material, sino simplemente se ha seguido una progresión elástico-lineal del modelo con el fin de simplificar los cálculos al resultar esta suficiente para obtener los resultados requeridos. Esto hace que los resultados obtenidos para las deformaciones en este caso tampoco resulten válidos.

Cabe notar en estos resultados que el modelo no cumple las especificaciones y le falta mucho para lograrlo con un coeficiente de seguridad en torno a 2, objetivo marcado.

De estos resultados se tomó la decisión de simular el modelo con un nuevo material para la estructura, siendo imposible la utilización del acero ensayado ya que no soportaría las tensiones a la que es sometido.



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

**ANÁLISIS DEL DISEÑO ACTUAL Y OPTIMIZACIÓN
DE UN REMOLQUE AGRÍCOLA**

ANEXO C

ANÁLISIS DEL MODELO CON ACERO S355JR

Autor

Ignacio Monterrubio Torres

Director

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2016

En el presente anexo se van a detallar todos los resultados obtenidos para la simulación por elementos finitos (MEF) del modelo objeto de estudio construido en acero S355JR y sin aplicar ningún tipo de refuerzo estructural.

Se trata de la segunda simulación realizada y que servirá para comprobar las zonas más solicitadas que serán objeto de refuerzos estructurales.

Se detallan a continuación los resultados para las distintas hipótesis simuladas.

Reposo

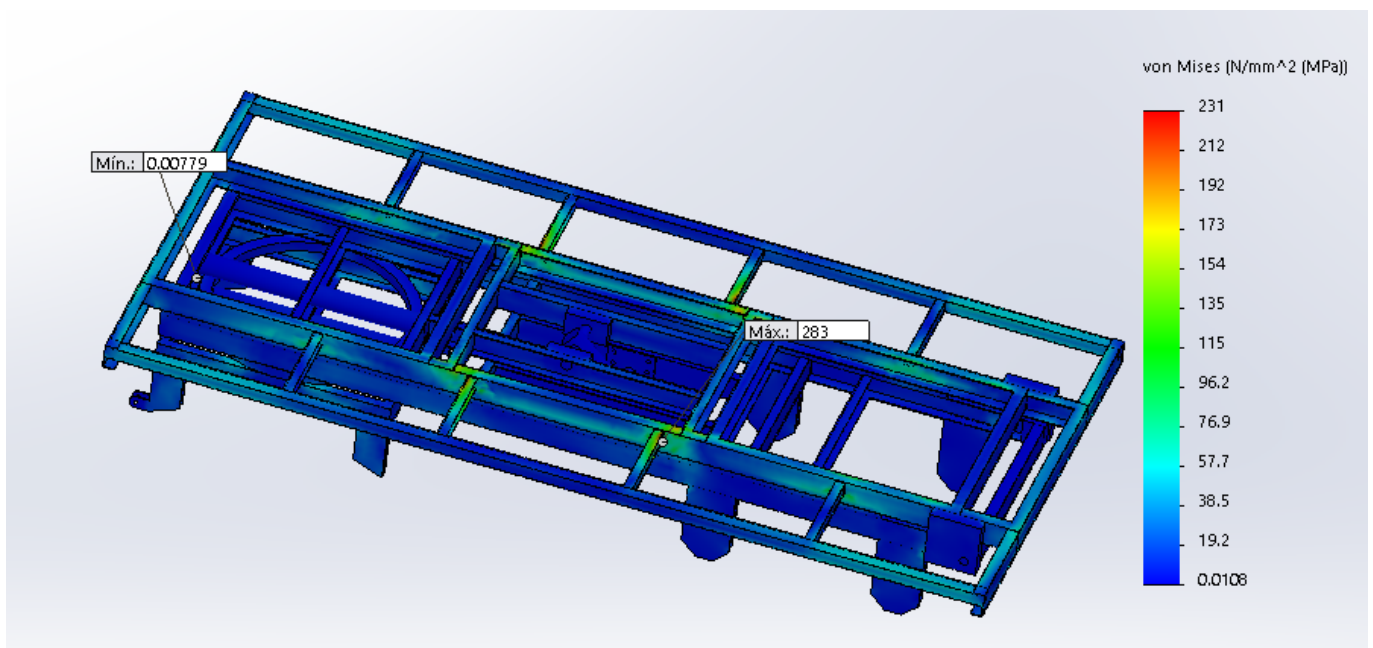


Figura 1: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 0°

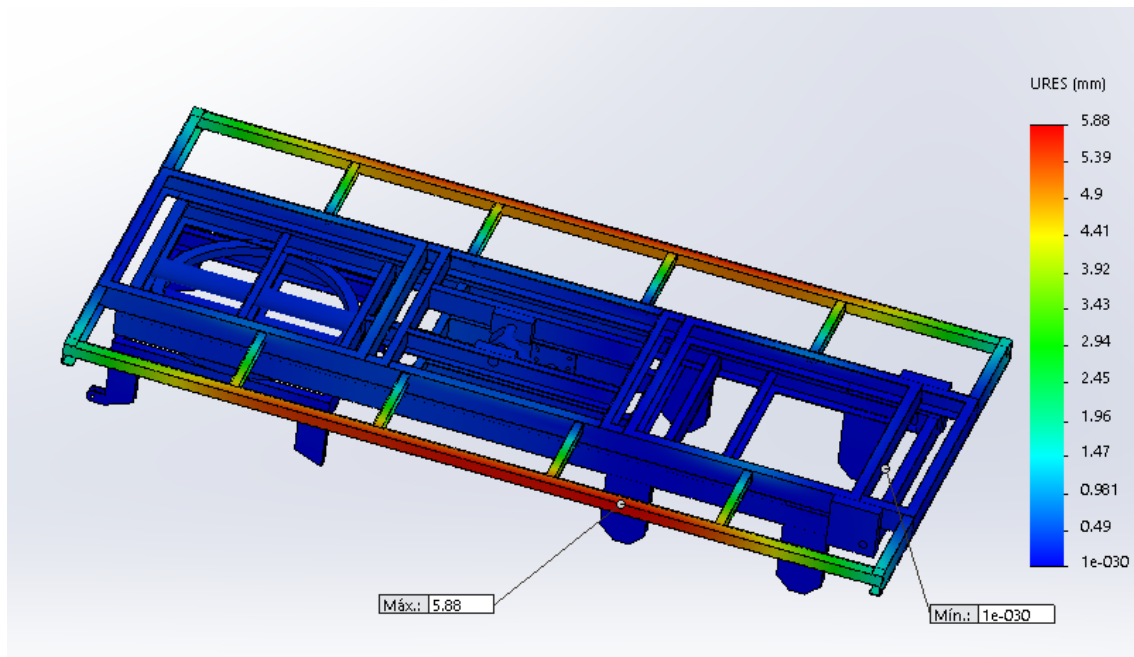


Figura 2: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 0°

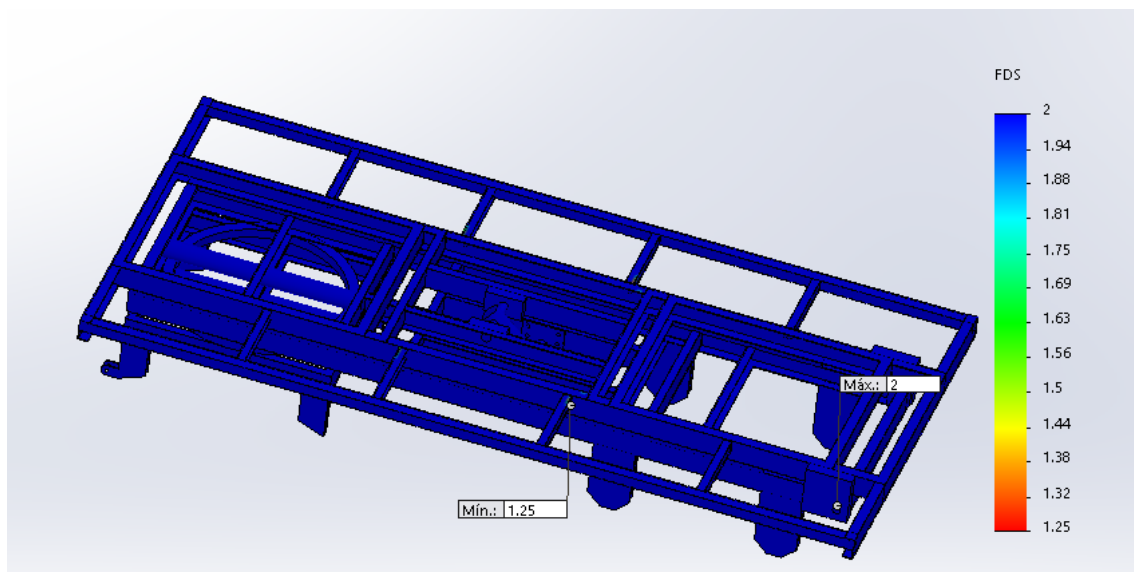


Figura 3: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 0°

Basculación 10°

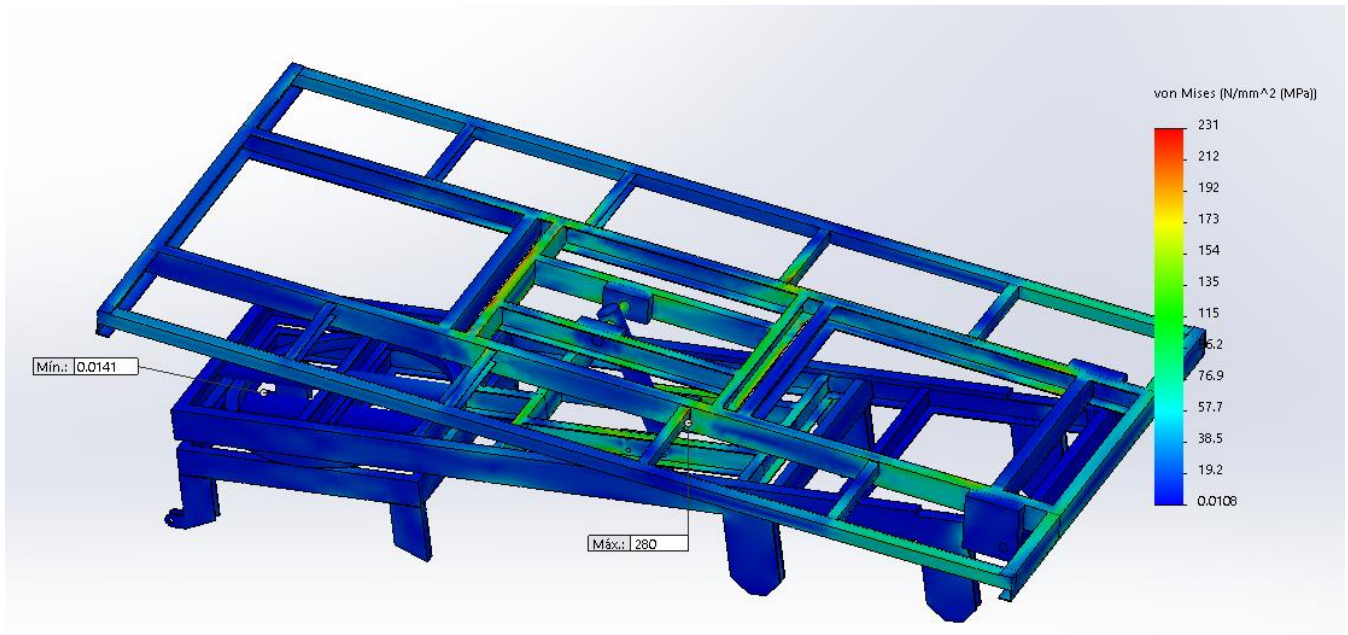


Figura 4: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 10°

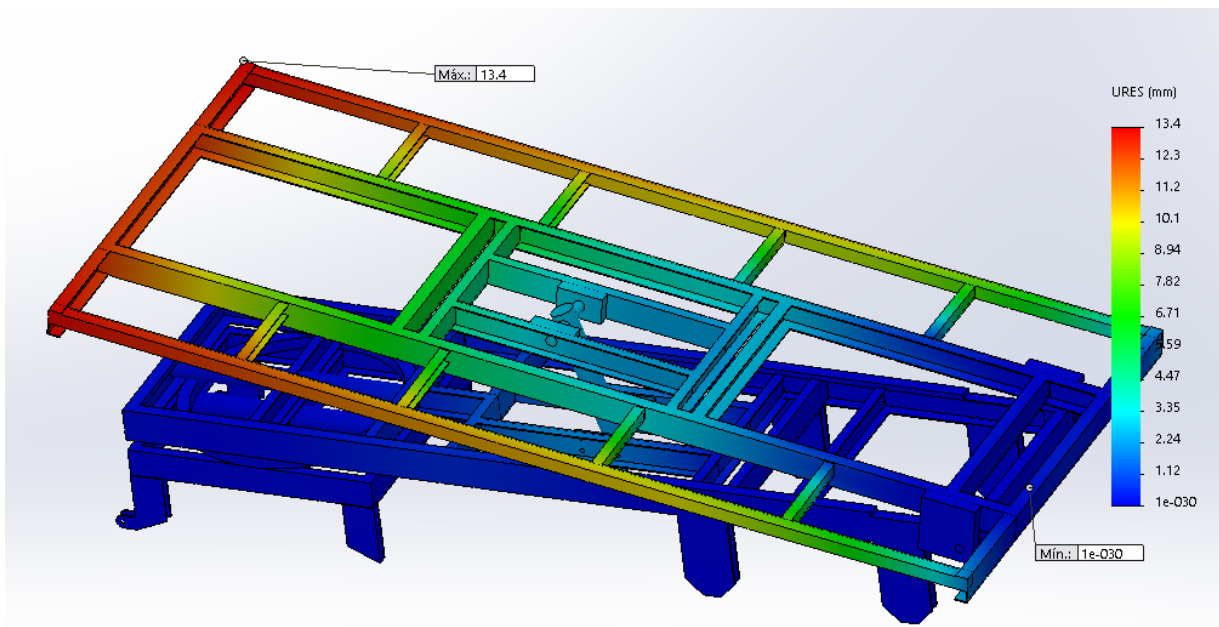


Figura 5: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 10°

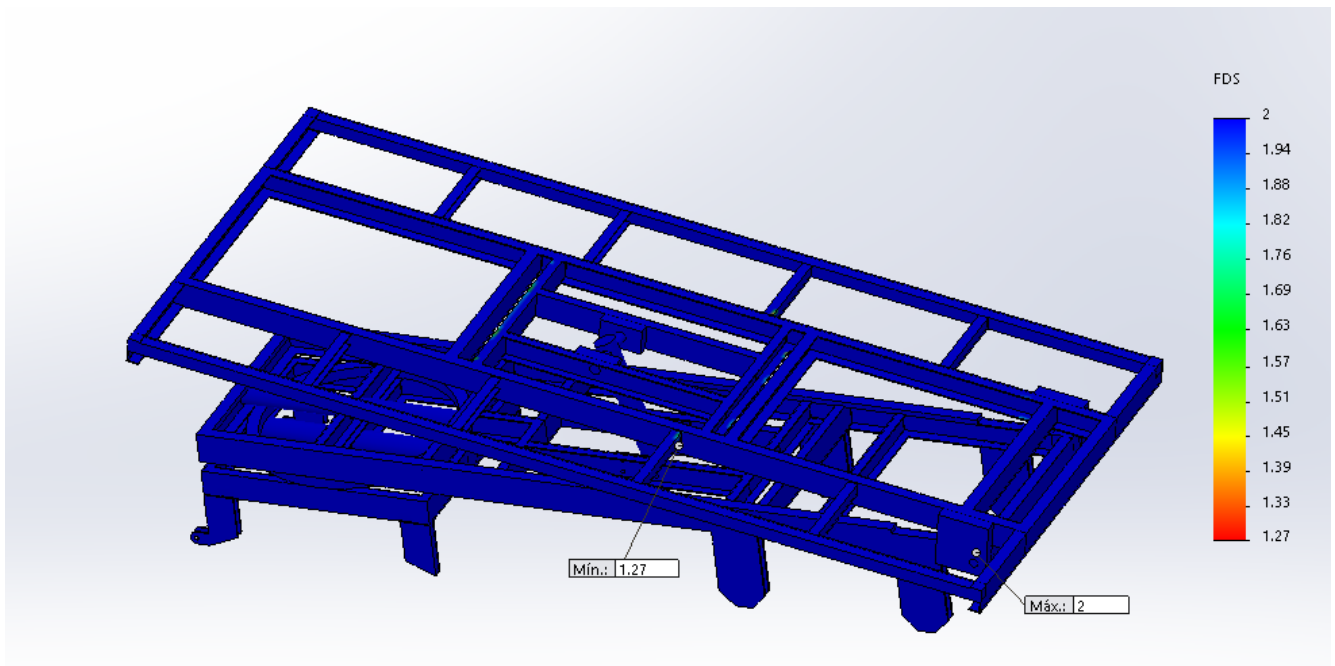


Figura 6: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 10°

Basculación 20°

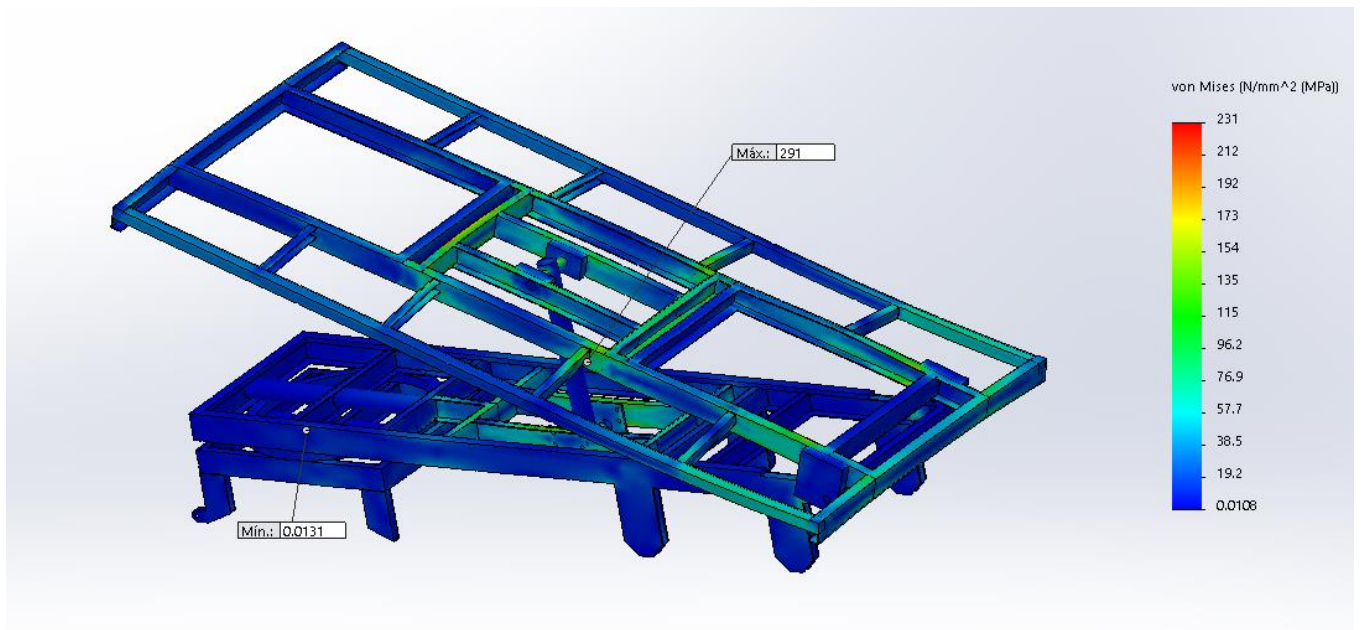


Figura 7: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 20°

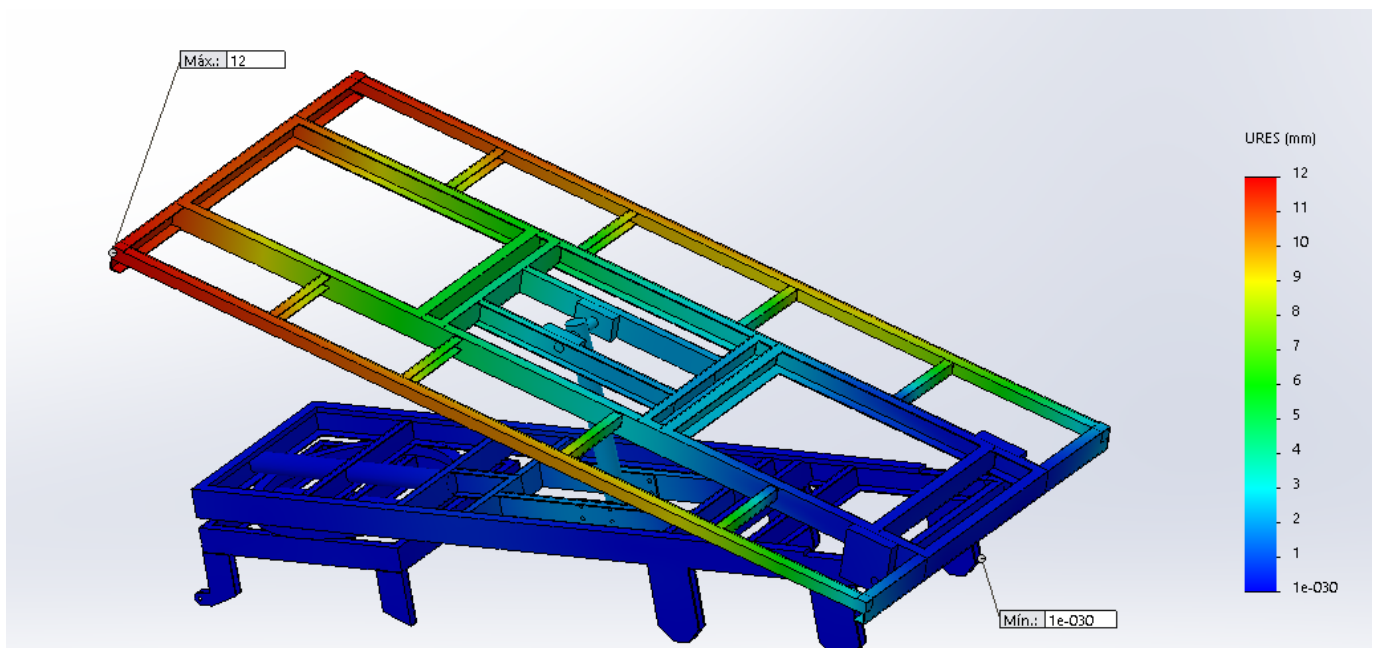


Figura 8: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 20°

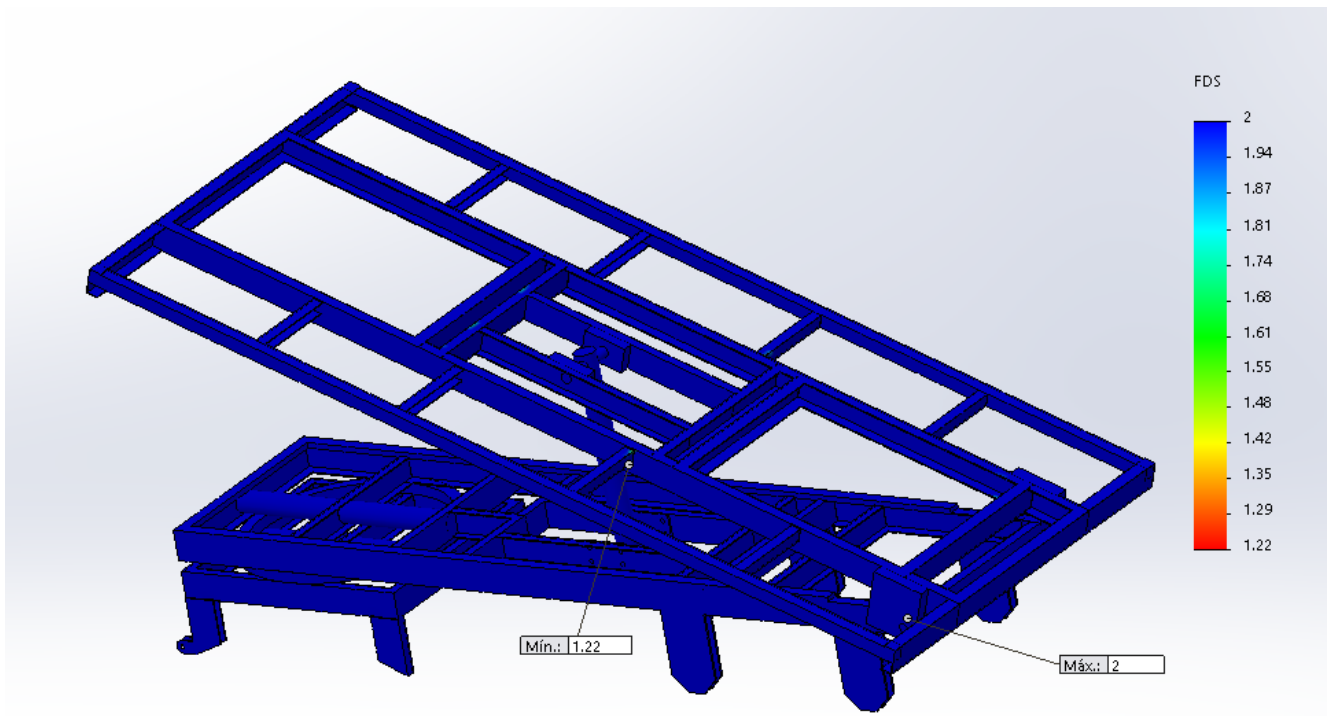


Figura 9: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 20°

Basculación 30°

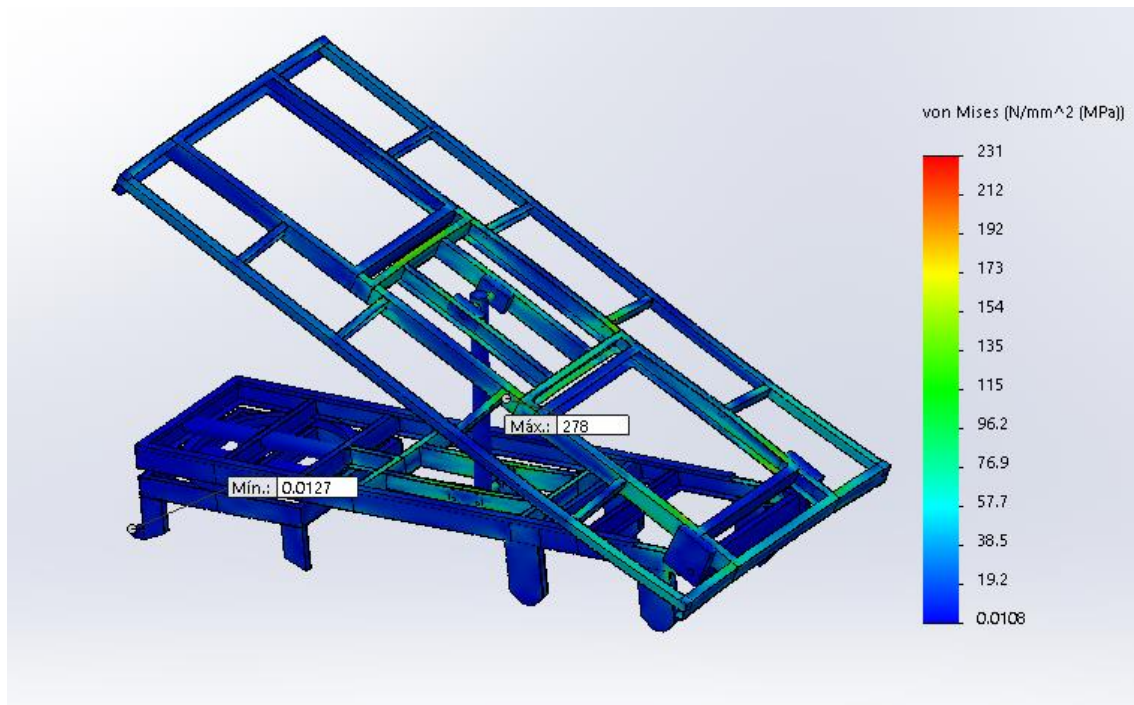


Figura 10: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 30°

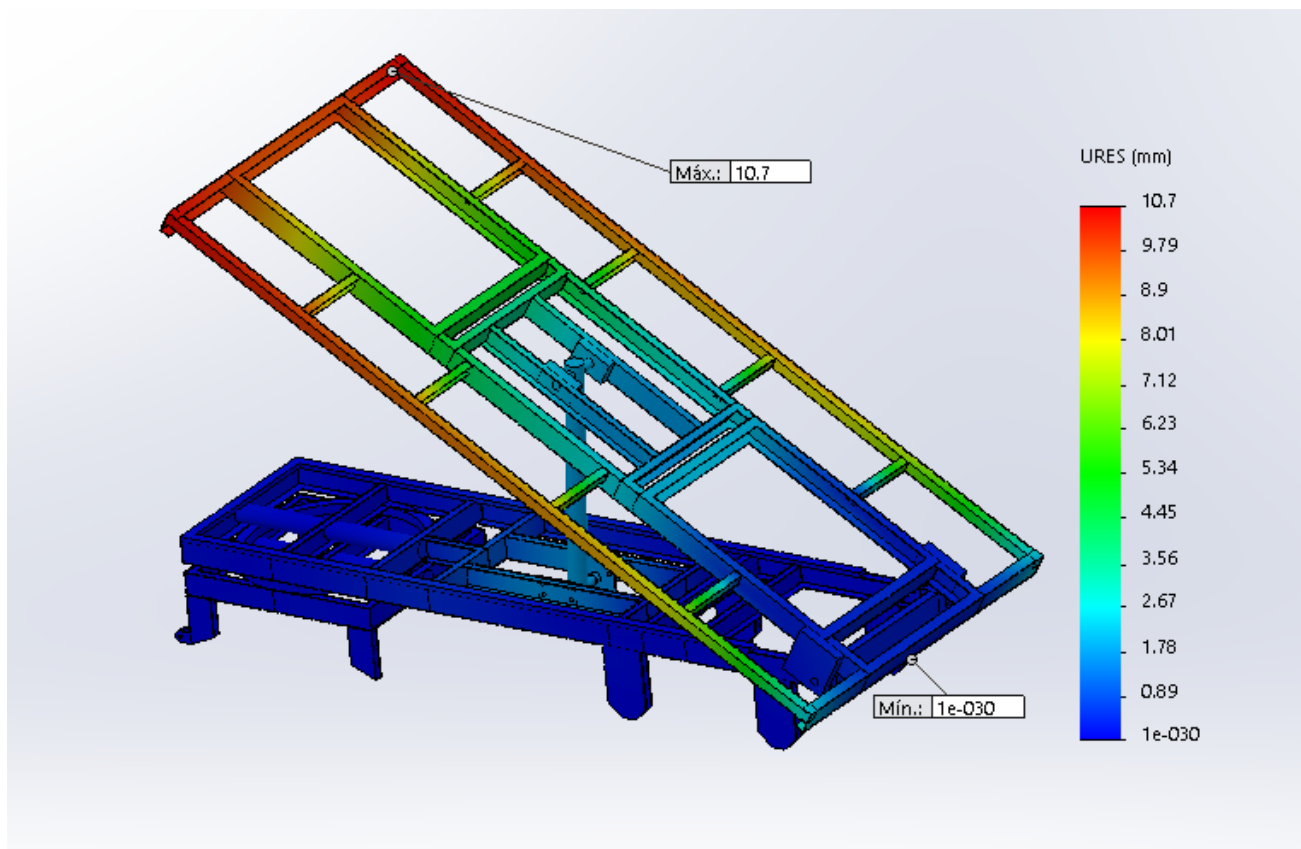


Figura 11: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 30°

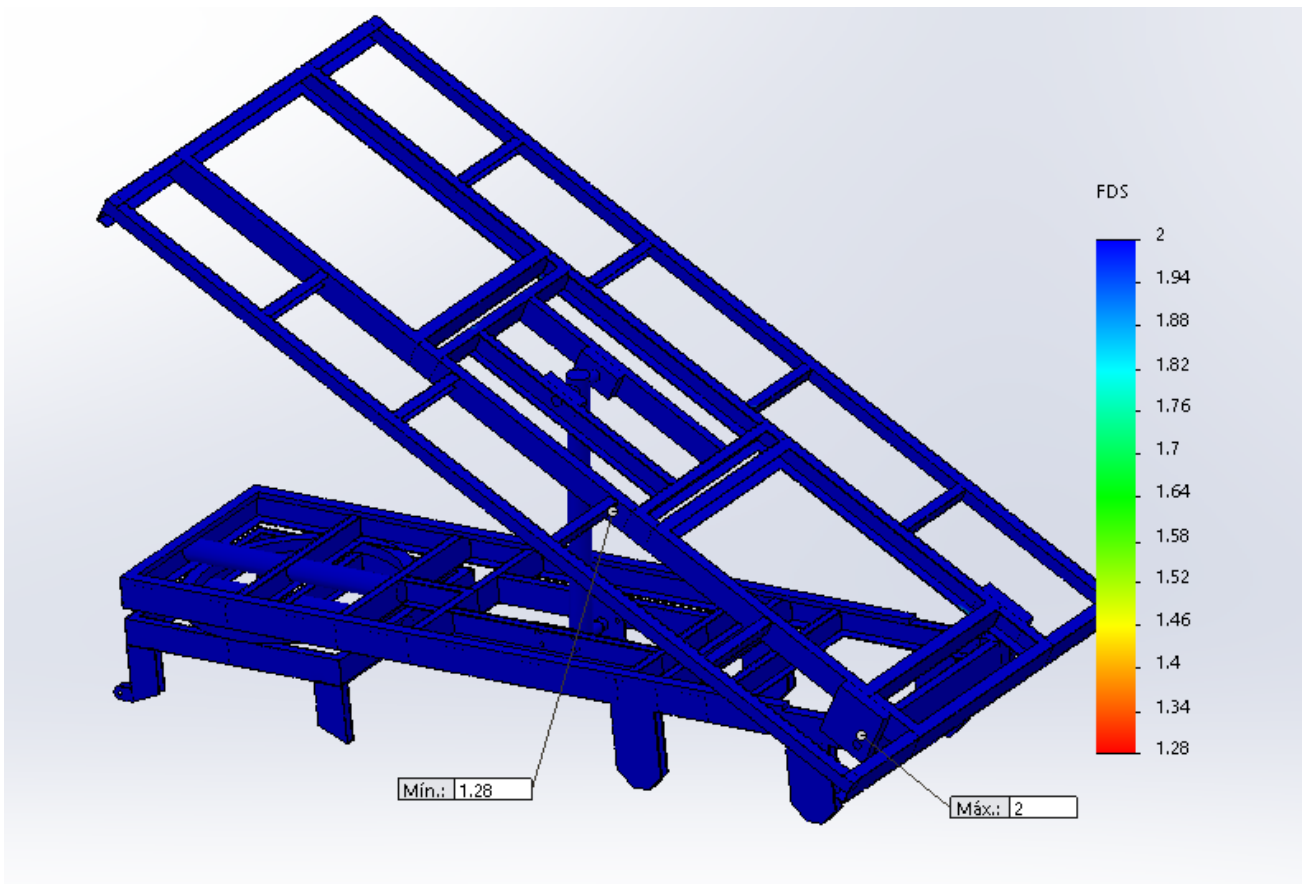


Figura 12: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 30°

Basculación 45°

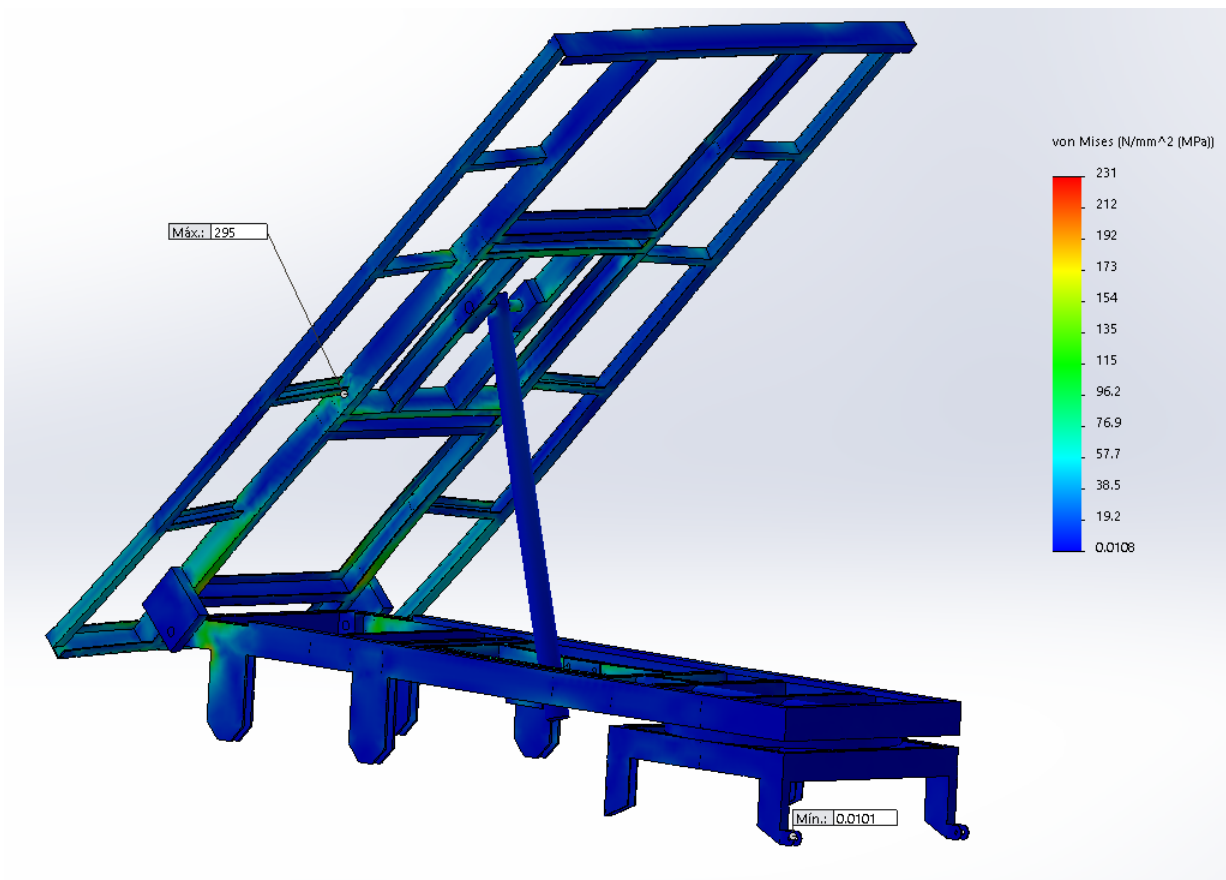


Figura 13: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 45°

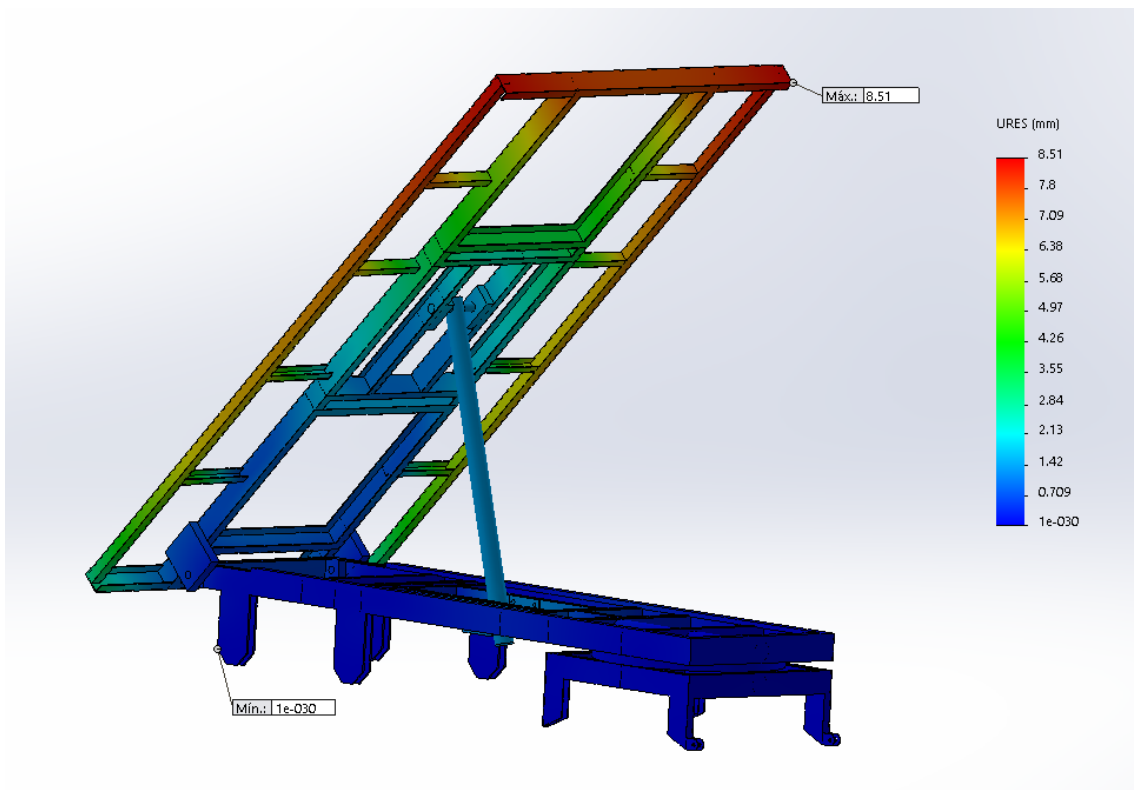


Figura 14: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 45°

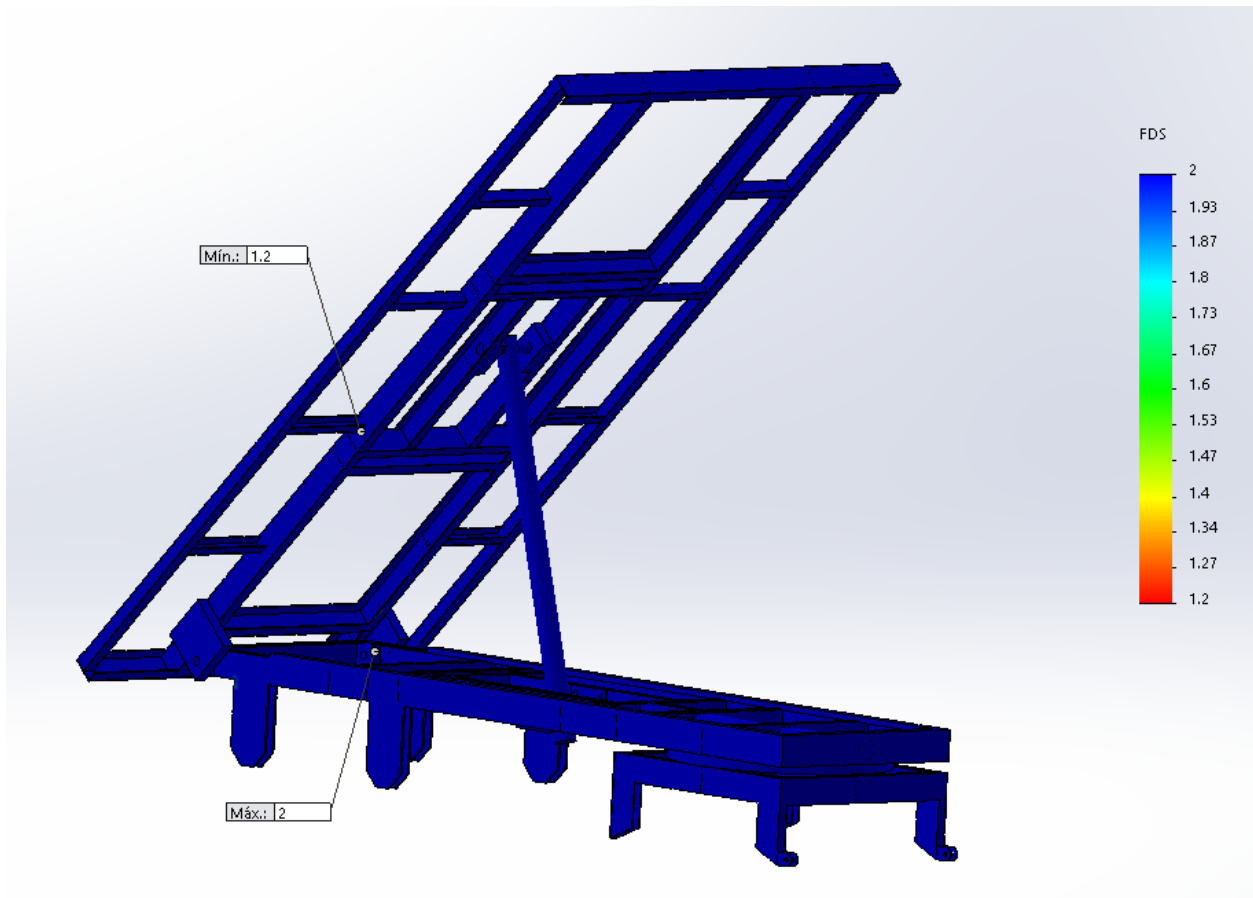


Figura 15: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 45°

RESULTADOS

MODELO	TENSIÓN DE VON MISES		DESPLAZAMIENTO MÁX	COEF. SEG. MÍN
	V.M. MÁX	V.M. MIN		
0°	283MPa	0.007MPa	5.88mm	1.25
10°	280MPa	0.01MPa	13.4mm	1.27
20°	291MPa	0.01MPa	12mm	1.22
30°	278MPa	0.01MPa	10.7mm	1.28
45°	295MPa	0.01MPa	8.5mm	1.2

Tabla 1: Resumen de resultados obtenidos en la simulación con acero S275JR.

Como se puede observar en los resultados recogidos en la tabla y en las imágenes capturadas de las simulaciones el modelo que más sufre bajo la hipótesis de cálculo con el acero S355JR, es el simulado en situación de basculación 20°, será el que marque el coeficiente de seguridad más bajo.

En el resto de simulaciones los valores de tensión se acercan aún más a los esperados, dejando notar las mismas zonas de concentración de tensiones máximas que con el acero S275JR.

El valor máximo de tensión que se ha recopilado es de 291MPa, igual que en el estudio con el material anterior, el valor superior al límite elástico del material y que resultaría imposible alcanzar en una simulación real.

Cabe notar en estos resultados que de nuevo el modelo no cumple las especificaciones y le sigue faltando mucho para lograrlo con un coeficiente de seguridad en torno a 2, objetivo marcado.

De estos resultados se tomaron las decisiones oportunas para simular el modelo con una serie de mejoras estructurales propuestas.



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

**ANÁLISIS DEL DISEÑO ACTUAL Y OPTIMIZACIÓN
DE UN REMOLQUE AGRÍCOLA**

ANEXO D

**ANÁLISIS DEL MODELO CON ACERO S₃₅₅JR Y
MEJORAS ESTRUCTURALES**

Autor

Ignacio Monterrubio Torres

Director

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2016

En este último anexo se van a detallar todos los resultados obtenidos para la simulación por elementos finitos (MEF) del modelo objeto de estudio construido en acero S355JR con una serie de refuerzos estructurales aplicados. Dicho refuerzos se han detallado en la memoria del proyecto, en este anexo se muestran únicamente los resultados de las simulaciones.

Se trata de la tercera simulación realizada cuyo fin será comprobar que las reformas estructurales han logrado su objetivo.

Se detallan a continuación los resultados para las distintas hipótesis simuladas.

Reposo

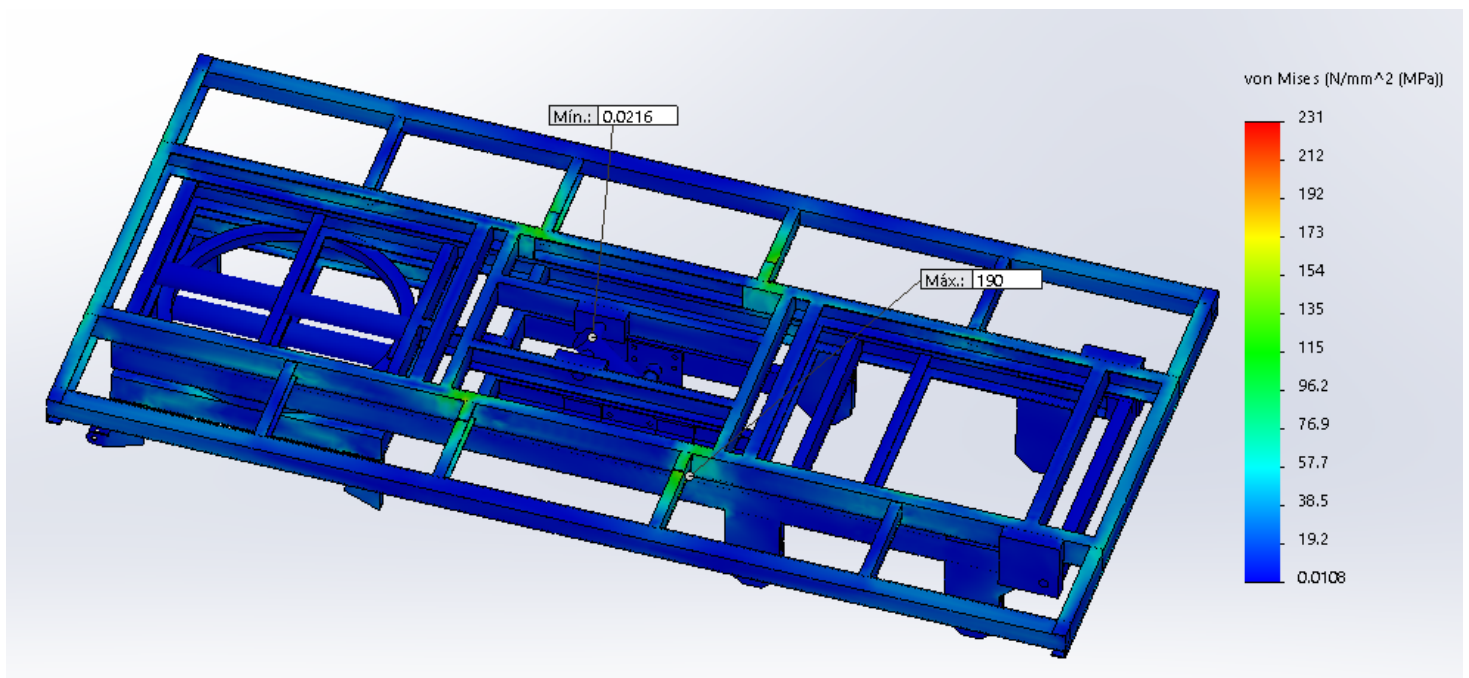


Figura 1: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 0°

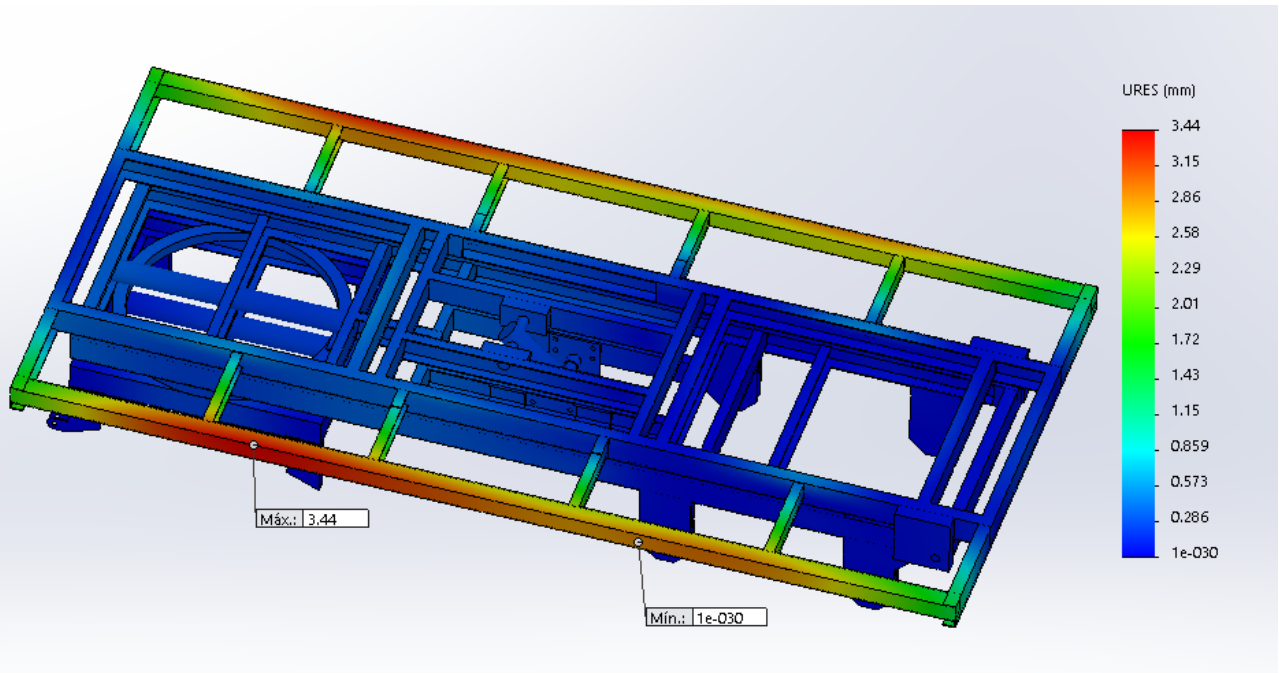


Figura 2: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 0°

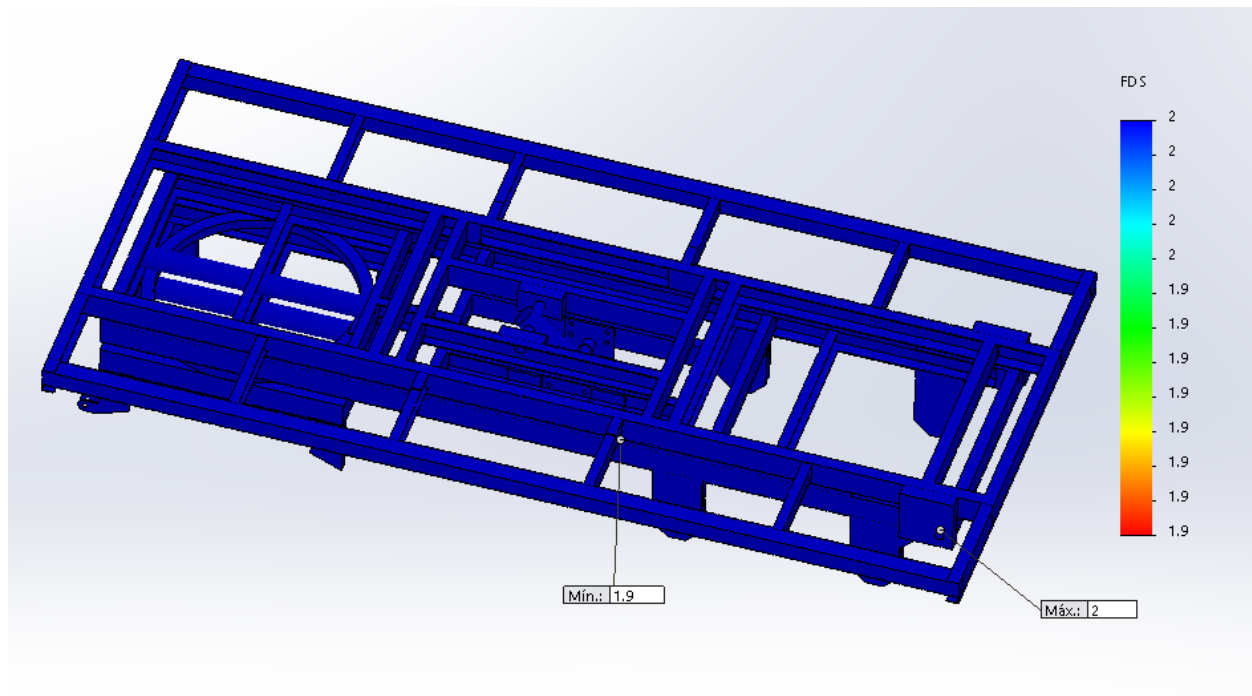


Figura 3: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 0°

Basculación 10°

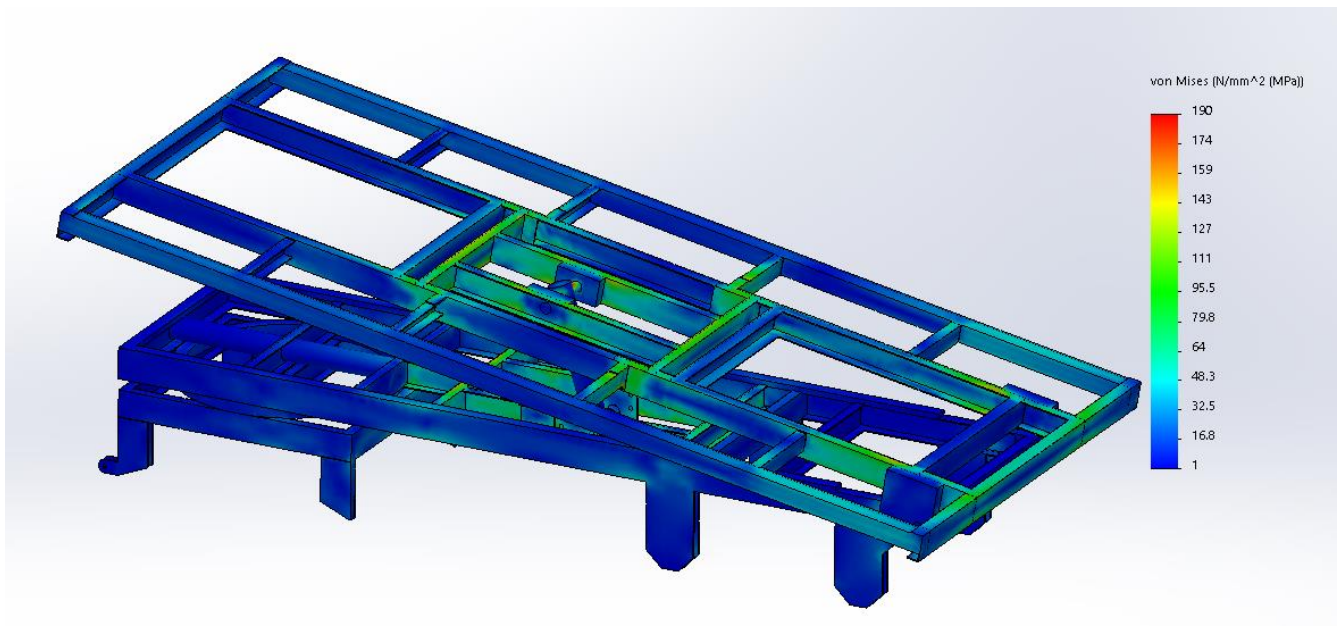


Figura 4: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 10°

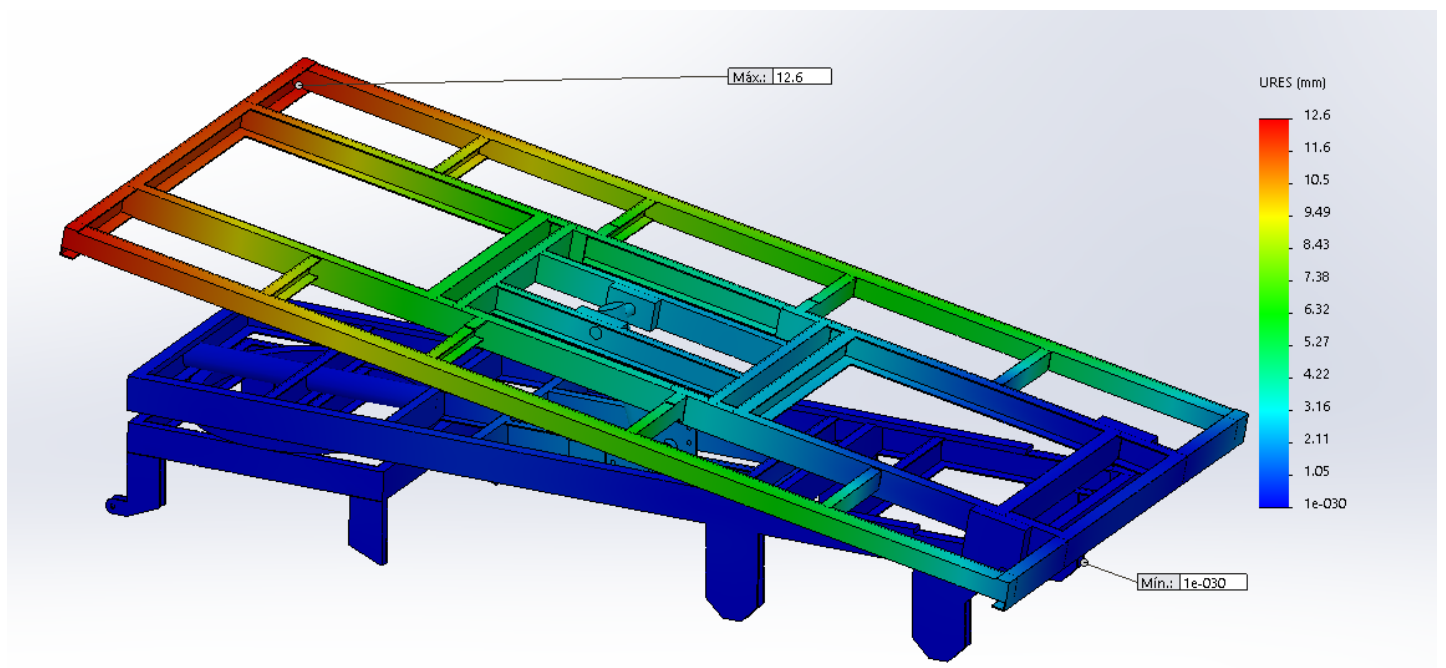


Figura 5: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 10°

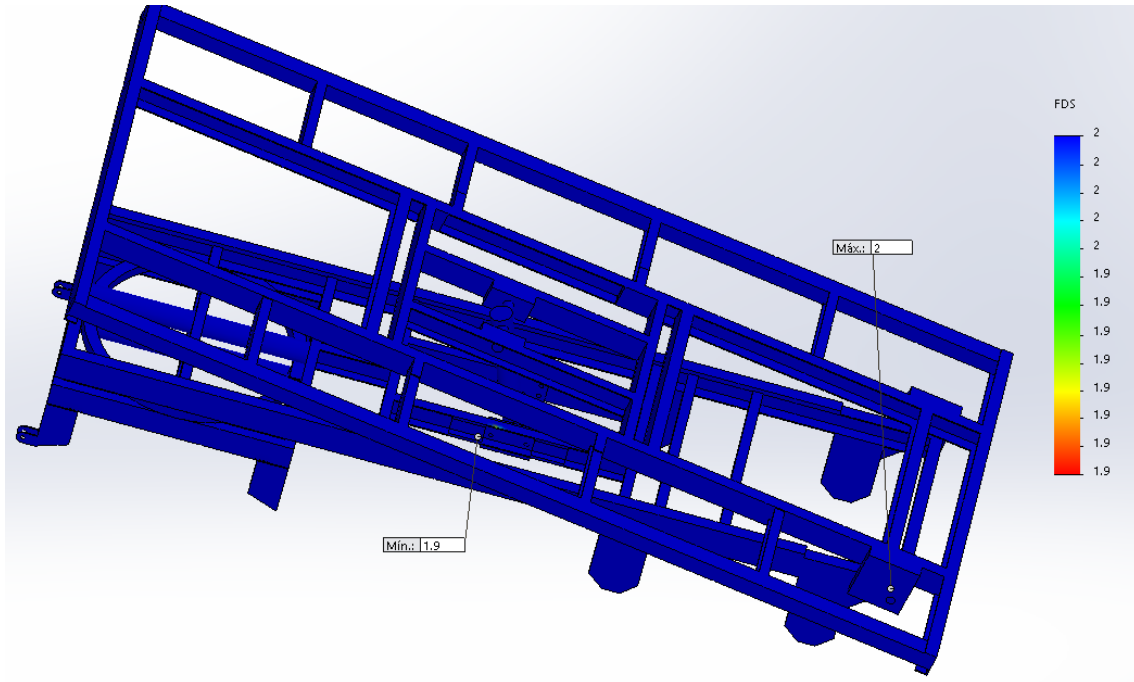


Figura 6: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 10°

Basculación 20°

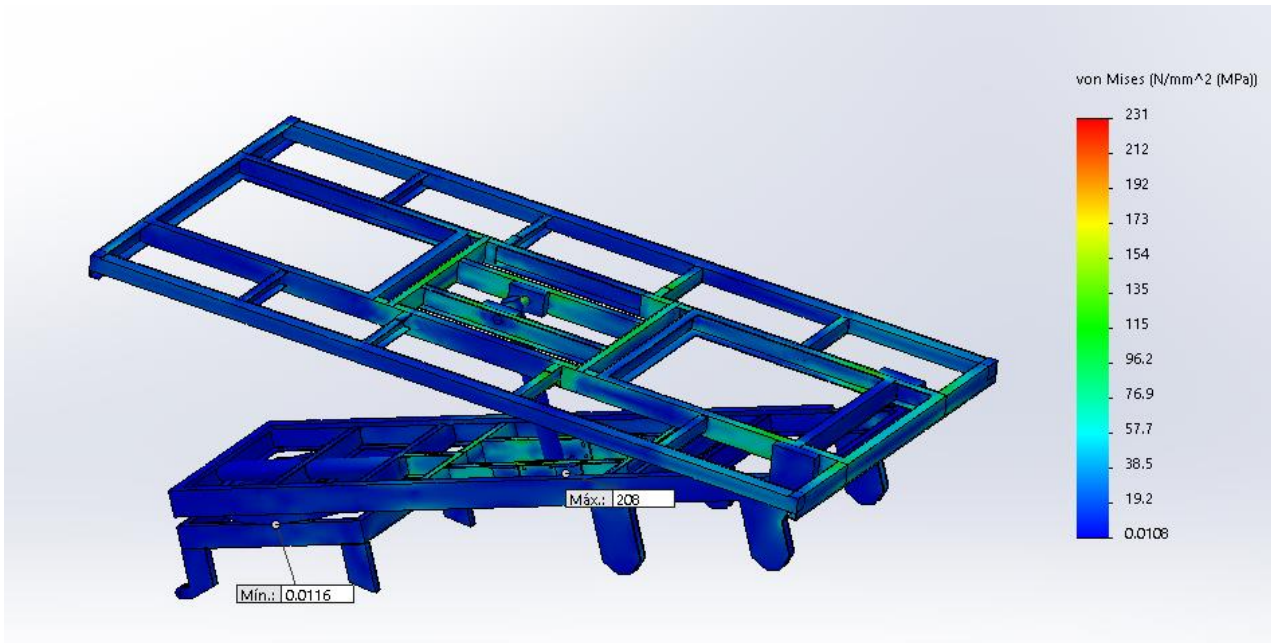


Figura 7: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 20°

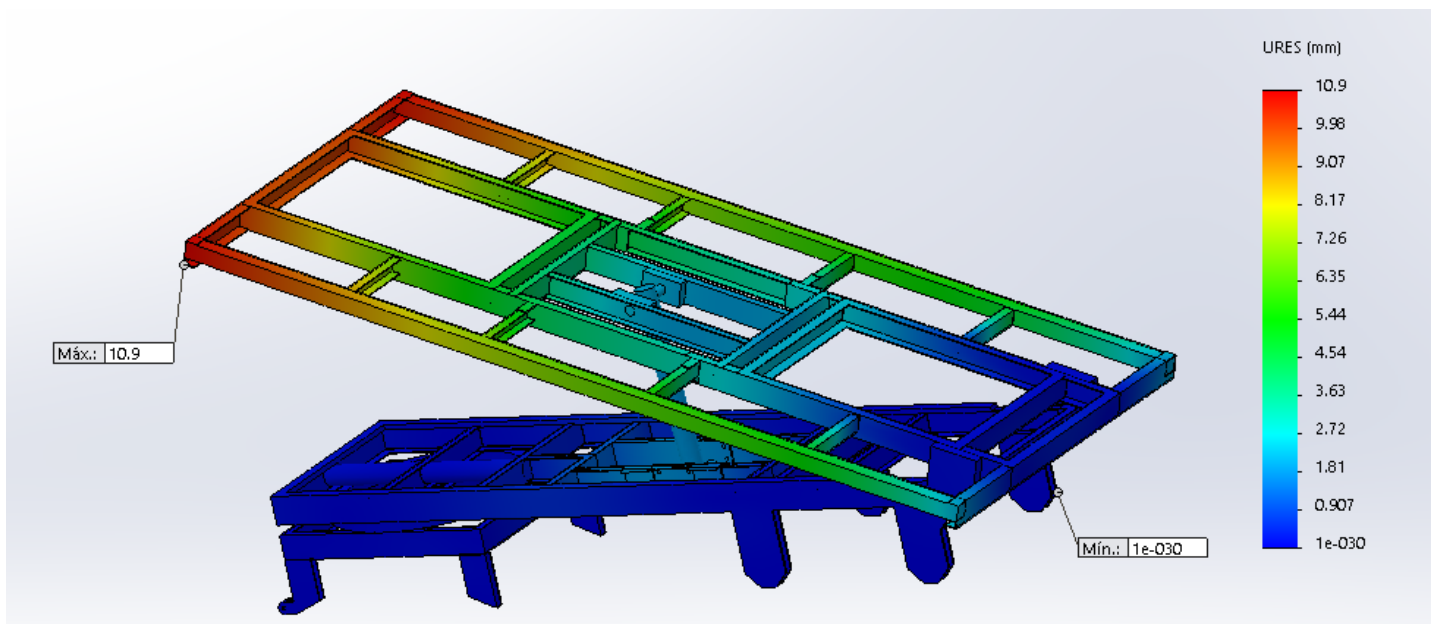


Figura 8: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 20°

Basculación 30°

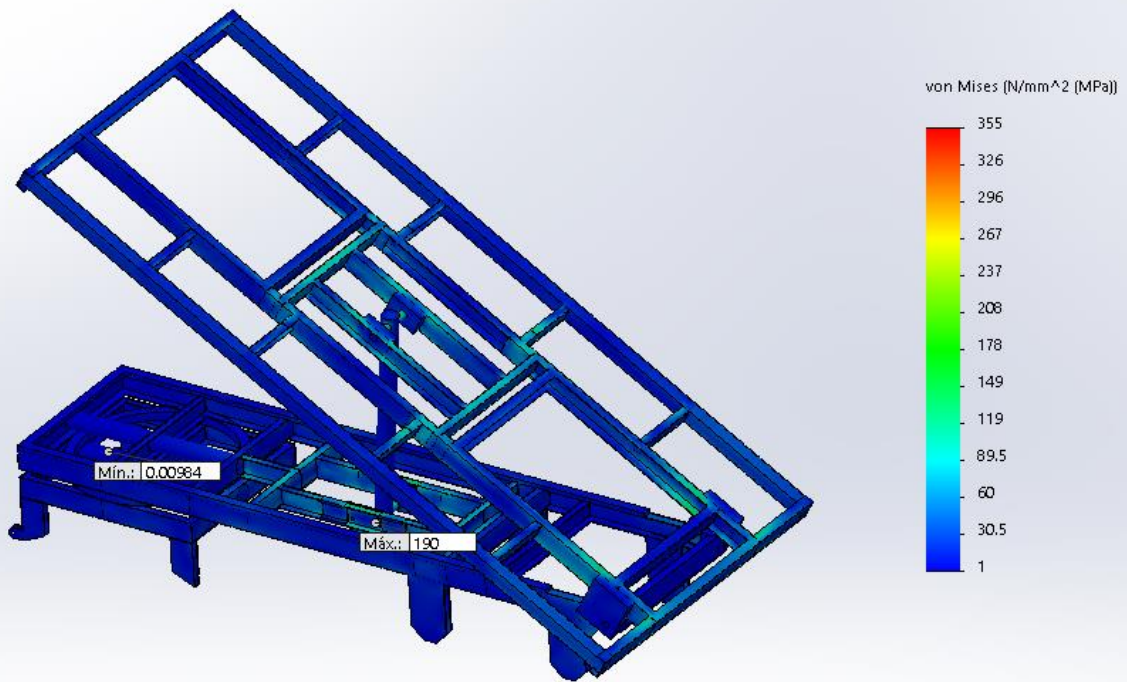


Figura 10: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 30°

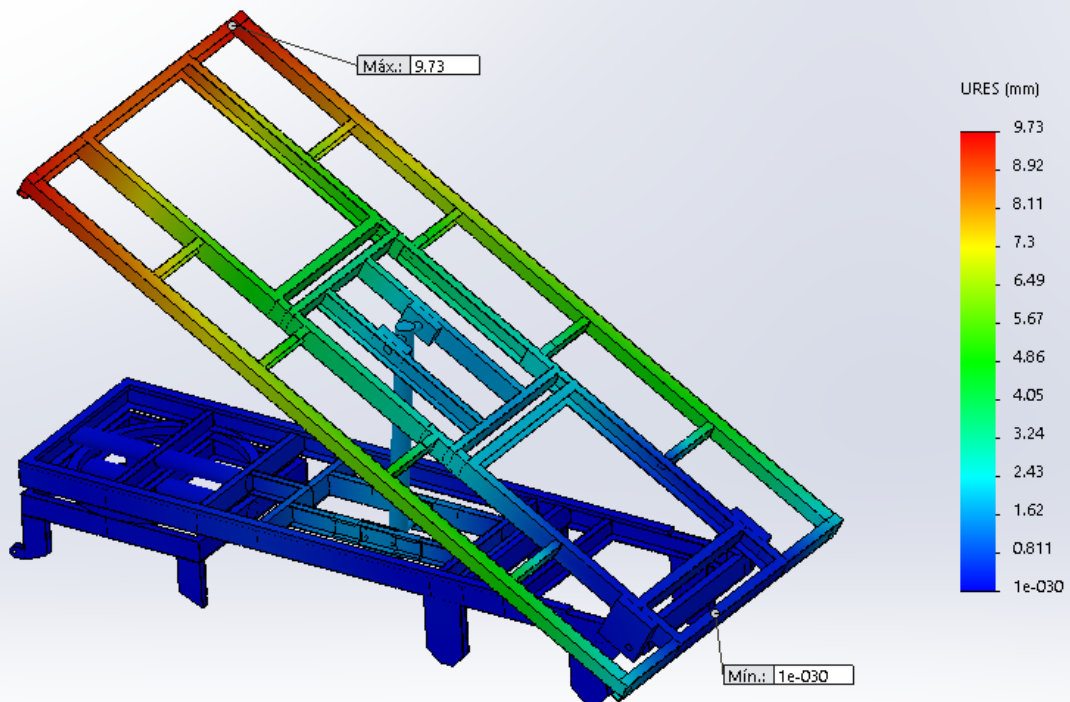


Figura 11: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 30°

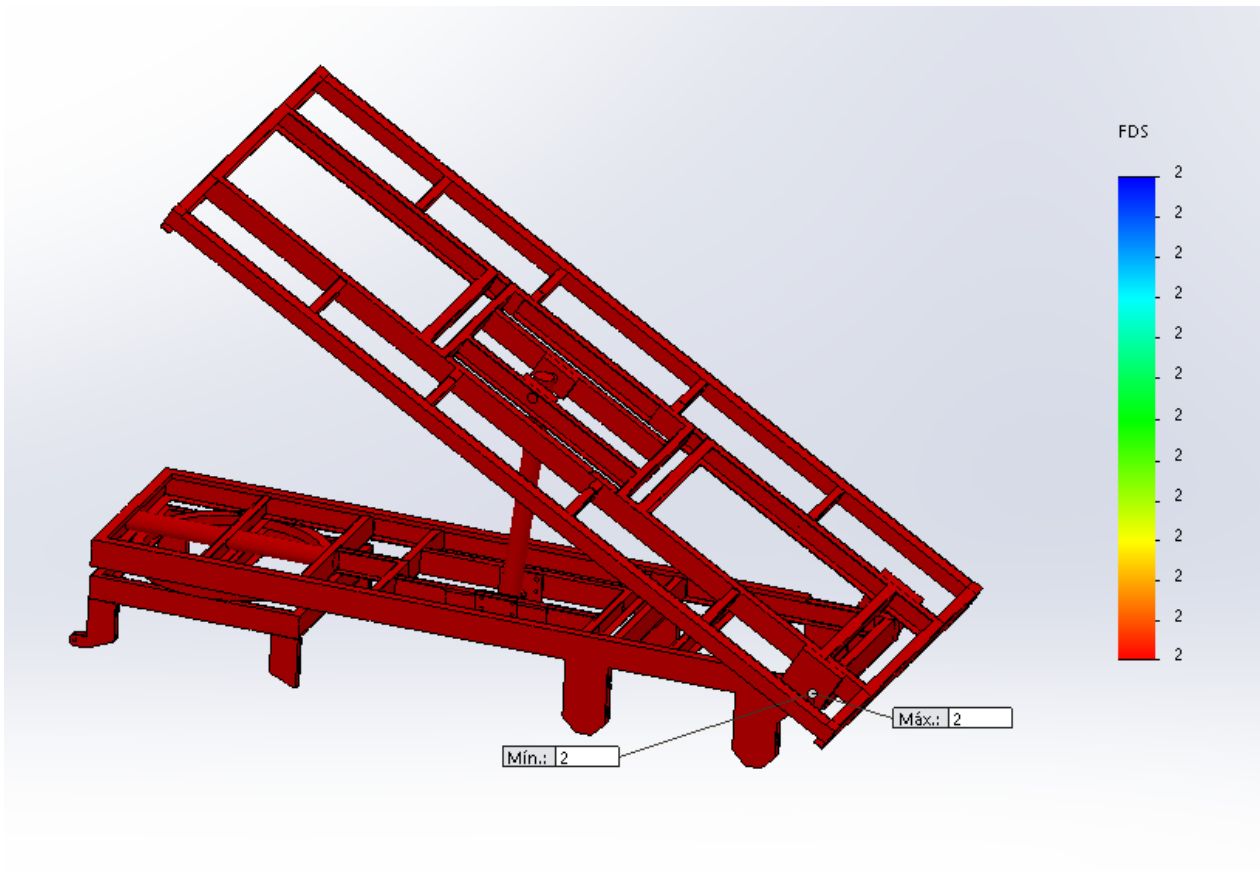


Figura 12: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 30°

Basculación 45°

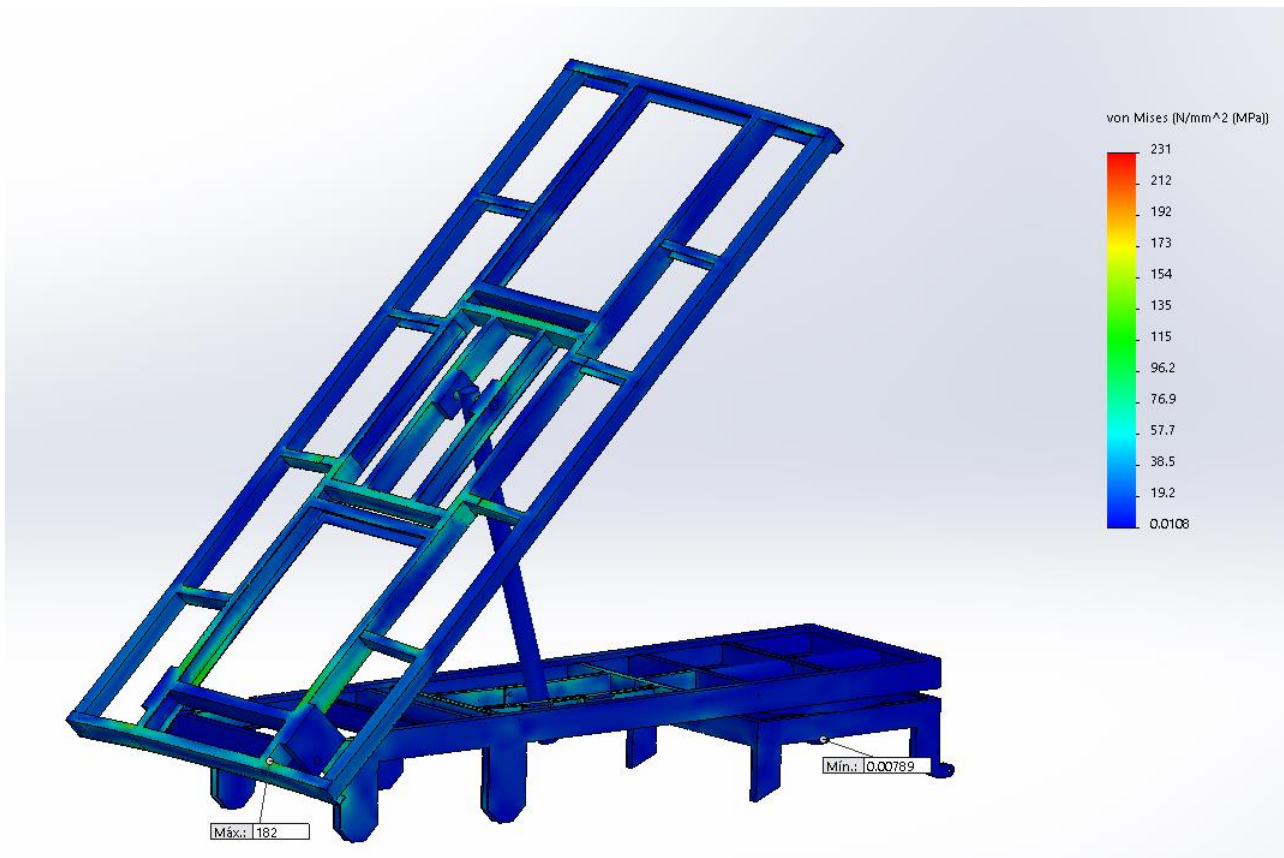


Figura 13: Reparto de tensiones de Von Mises para el modelo basculado 45°

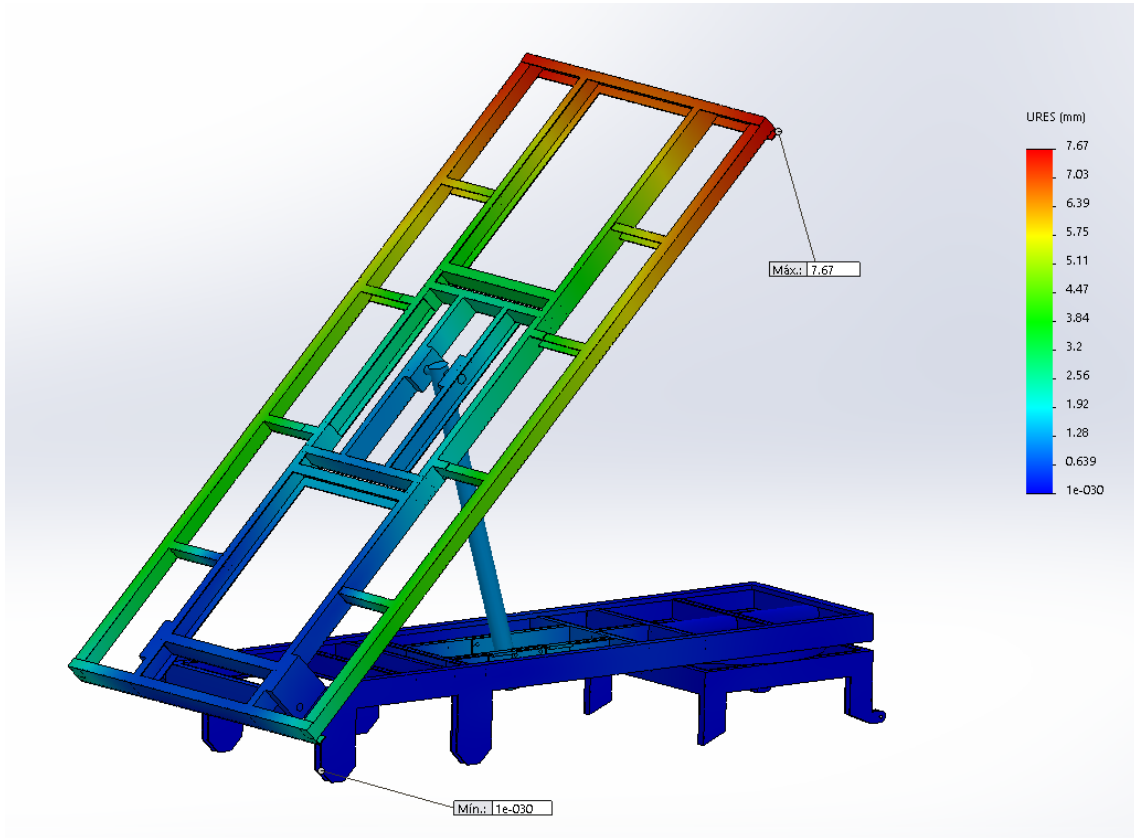


Figura 14: Reparto de desplazamientos para el modelo basculado 45°

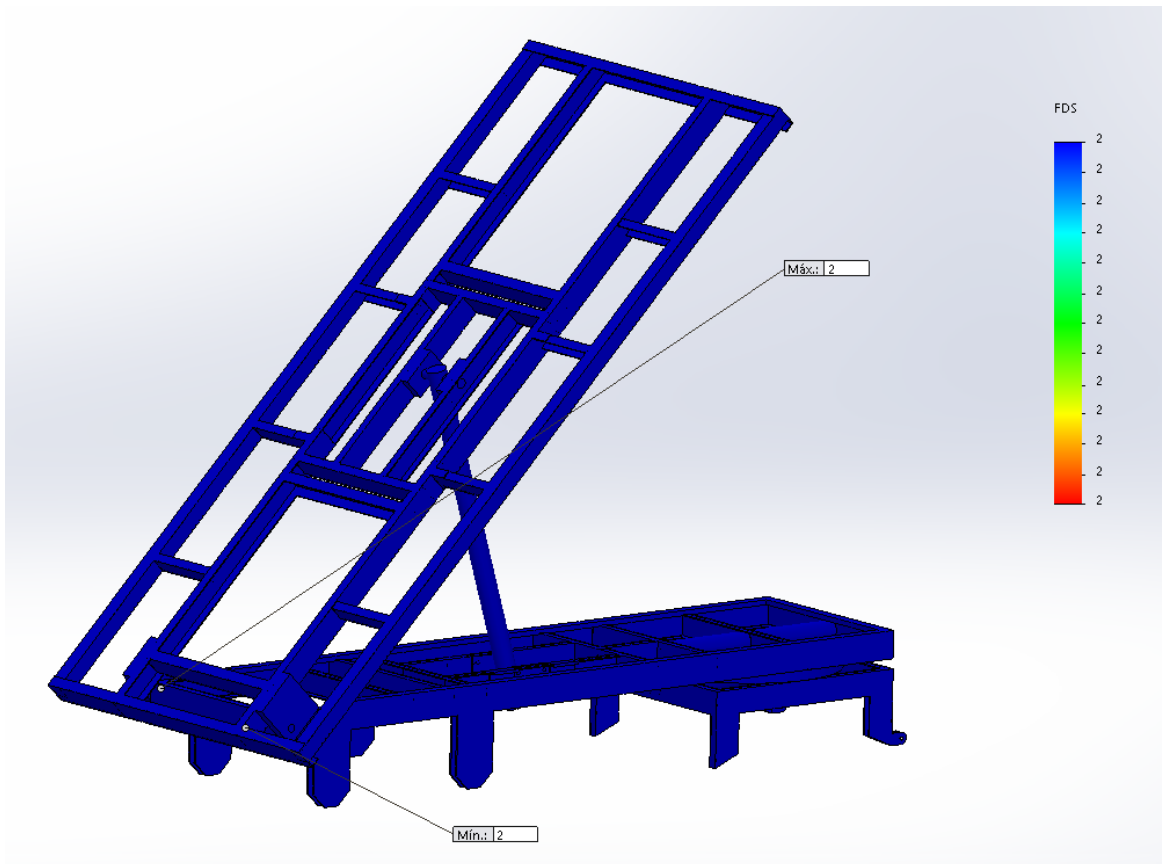


Figura 15: Reparto de coeficientes de seguridad para el modelo basculado 45°

RESULTADOS

MODELO	TENSIÓN DE VON MISES		DESPLAZAMIENTO MÁX	COEF. SEG. MÍN
	V.M. MÁX	V.M. MIN		
0°	190MPa	0.02MPa	3.44mm	1.9
10°	187MPa	0.02MPa	12.6mm	1.9
20°	169MPa	0.01MPa	10.9mm	2
30°	190MPa	0.01MPa	9.7mm	2
45°	182MPa	0.01MPa	7.67mm	2

Tabla 1: Resumen de resultados obtenidos en la simulación con acero S275JR.

Como se puede observar en los resultados recogidos en la tabla y en las imágenes capturadas de las simulaciones el modelo hemos obtenido los valores deseados para el modelo. Cumpliendo todos ellos el objetivo marcado de coeficiente de seguridad cercano a 2.

El valor máximo de tensión que se ha recopilado es de 190MPa. En esta ocasión sí que se trata de un valor real, por lo que también son válidos los resultados obtenidos en deformaciones.

Con estos resultados se tomó la decisión de implantar las modificaciones propuestas al modelo real, con el fin de dar solución al problema planteado.