



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

Análisis y optimización de un apero agrícola para la
recolección de aceitunas

English tittle:

Analysis and optimization of an agricultural implement for
olives harvest

Memoria

Autor/es

David Gimeno Lafuente

Director/es

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2019

RESUMEN

El presente trabajo fin de grado trata sobre el estudio del diseño actual de un apero de recolección de aceitunas y de las mejoras necesarias a aplicar para optimizarlo. Para ello, se toma como objeto de estudio las dimensiones del modelo real y una vez se hayan obtenido se generará las diferentes piezas que componen el apero en el programa de diseño 3D, SolidWorks. Seguidamente, se realizará el ensamblaje de los componentes aplicando las condiciones geométricas necesarias para crear el modelo del apero. Posteriormente, se crearán los posibles casos de inclinación acordados de la máquina, sus condiciones de contorno y casos de carga para cada uno. A continuación, se producirán tantos estudios estáticos de simulación como posibles casos de inclinación hay y para cada uno de ellos se definirá el material empleado, el tipo de conexión entre componentes, los puntos de sujeción, las cargas aplicadas y el mallado del ensamblaje con elementos tipo SHELL para crear el modelo de elementos finitos, que se explicará más adelante con una mayor precisión en que consiste, y finalmente realizar el cálculo. Todo esto se desarrollará en el mismo Software, SolidWorks. Analizando los resultados obtenidos de los diferentes estudios, se aplicarán las mejoras a nivel de material y estructural que se crean necesarias para optimizar el diseño actual de la manera más sencilla posible. Con las modificaciones aplicadas, se calculará nuevamente y se decidirá cuál es el cambio más oportuno de los estudiados anteriormente.

ÍNDICE

1. INTRODUCCION.....	6
2. OBJETO	8
3. ALCANCE	9
4. PARAGUAS DE RECOLECCIÓN DE ACEITUNAS A ANALIZAR	10
4.1 Descripción de la estructura actual.....	10
4.2 Condiciones de trabajo	12
5. MODELO NUMÉRICO.....	13
5.1 Modelo inicial.....	13
5.2 Componentes utilizados.....	14
FUENTE: Elaboración propia	18
5.3 Materiales	18
5.4 Modelo de elementos finitos	19
5.4.1 <i>Parámetros de ensamblaje</i>	21
5.4.2 <i>Condiciones de contorno</i>	21
5.4.3 <i>Aplicación de cargas</i>	22
6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	25
6.1 Análisis de resultados modelo inicial	26
6.1.1 <i>Análisis de resultados modelo inicial en el acero S235JR</i>	26
6.1.2 <i>Análisis de resultados modelo inicial en el acero S275JR</i>	30
6.2. Análisis del modelo optimizado	34
6.2.1 <i>Modificaciones aplicadas al modelo inicial</i>	34
6.2.2. <i>Análisis resultados del modelo optimizado con un acero S275JR</i>	37
6.2.3 <i>Análisis resultados del modelo optimizado con un acero S355JR</i>	41
7. CONCLUSIONES.....	43
8. BIBLIOGRAFÍA	46
9. ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medidas de las secciones de los perfiles	18
Tabla 2. Propiedades acero S235JR	19
Tabla 3. Propiedades acero S275JR	19
Tabla 4. Parámetros de la malla aplicada	20
Tabla 5. Valores del coeficiente de reparto dependiendo de la inclinación	25
Tabla 6. Resultados para el estudio del acero S235JR del modelo inicial	28
Tabla 7. Resultados para el estudio del acero S275JR del modelo inicial	31
Tabla 8. Resultados para el estudio del acero S275JR del modelo optimizado	39
Tabla 9. Propiedades del acero S355JR	41
Tabla 10. Resultados para el estudio del acero S355JR del modelo optimizado	42

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Apero realizando la recolección del fruto	7
Ilustración 2 Zona de descarga del apero	8
Ilustración 3. Apero de recolección de aceitunas	10
Ilustración 4. Pinza hidráulica	11
Ilustración 5. Modelo inicial en 3D	12
Ilustración 6. Modelo inicial en 3D	13
Ilustración 7. Medidas principales del apero	14
Ilustración 8. Localización de los perfiles en el modelo. Frontal delantero	15
Ilustración 9. Localización de los perfiles en el modelo. Perfil	15
Ilustración 10. Localización de los perfiles en el modelo. Frontal posterior.....	16
Ilustración 11. Localización de los perfiles en el modelo. Planta	16
Ilustración 12. Imagen del componente con perfil circular	17
Ilustración 13. Modelo con la malla aplicada.....	20
Ilustración 14. Imagen de la estructura con solo perfiles y con solo chapa respectivamente	21
Ilustración 15. Localización del empotramiento aplicado al modelo 3D	22
Ilustración 16. Fuerza de la gravedad aplicada al modelo.....	23
Ilustración 17. Representación del efecto de la carga transportada.....	24
Ilustración 18. Imagen del apero con inclinación respecto a la horizontal.....	25

Ilustración 19. Distribución de tensiones en el estudio del acero S235JR. En reposo ...	27
Ilustración 20. Distribución de desplazamientos en el estudio del acero S235JR. En reposo	27
Ilustración 21. Distribución de tensiones en la parte frontal trasera. Acero S235JR en reposo	29
Ilustración 22. Coeficiente de seguridad mínimo en el estudio del acero S235JR en reposo	29
Ilustración 23. Zonas con coeficiente de seguridad menor a 3 en reposo	30
Ilustración 24. Distribución de tensiones en el estudio del acero S275JR. En reposo ...	32
Ilustración 25. Distribución de los desplazamientos en el estudio del acero S275JR. En reposo	32
Ilustración 26. Coeficiente de seguridad mínimo en el estudio del acero S275JR. En reposo	33
Ilustración 27. Imagen descriptiva de la primera modificación estructural	34
Ilustración 28. Imagen descriptiva de la segunda modificación estructural.....	35
Ilustración 29. Concentrado de tensión de la pieza inicial	35
Ilustración 30. Imagen descriptiva de la tercera modificación estructural	36
Ilustración 31. Ejemplo de pletina utilizada en la tercera modificación estructural.....	36
Ilustración 32. Distribución de tensiones en el estudio del acero S275JR. Modelo optimizado en reposo.....	37
Ilustración 33. Distribución de los desplazamientos en el estudio del acero S275JR. Modelo optimizado en reposo	38
Ilustración 34. Distribución de tensiones en el estudio del acero S275JR con inclinación de 45°. Modelo optimizado.....	38
Ilustración 35. Distribución de los desplazamientos en el estudio del acero S275JR con inclinación de 45°. Modelo optimizado.....	39
Ilustración 36. Coeficiente de seguridad mínimo en el estudio del acero S275JR. Modelo optimizado.....	40
Ilustración 37. Coeficiente de seguridad mínimo en el estudio del acero S355JR. Modelo optimizado.....	43

1. INTRODUCCION

Este trabajo fin de grado estudia el modelo actual de un apero de recolección de aceitunas. Al plantearnos el estudio del análisis y optimización de una máquina, he decidido optar por un apero agrícola ya que he estado siempre muy ligado a la agricultura, al pertenecer a una familia de agricultores, teniendo presente en todo momento dicha maquinaria y despertando mi curiosidad por saber cómo funciona. Además, he querido analizar un apero de recolección de aceitunas por la gran tradición histórica en la producción de aceite de oliva que tiene mi pueblo, Belchite, perteneciente a la provincia de Zaragoza. Belchite cuenta con 700 hectáreas de superficie dedicadas a la producción de aceitunas, convirtiéndolo en el mayor bosque de olivos de Aragón.

El modelo a estudiar trata de una máquina con una antigüedad de entre 15 a 20 años. Este tipo de aperos se diseñaron para llevar a cabo la tarea de la recolección de frutos, en concreto para este caso, de la recolección de la aceituna. La innovación de este apero supuso diversas mejoras con respecto a métodos más antiguos, como conseguir una reducción considerable del tiempo de trabajo, desde que se recolecta la aceituna hasta que se procesa para la obtención del aceite. Esta reducción de tiempo unida a la menor manipulación de la materia prima comparado con métodos más manuales provoca un aumento de la calidad del fruto. Por tanto, estas mejoras en la recolección de aceitunas permiten una producción de aceite de oliva clasificado como virgen extra, aportándole un valor añadido a la materia prima.

La máquina está básicamente formada por tres zonas diferenciadas, donde una es la pinza hidráulica que agarra y genera la vibración para hacer desprender el fruto del árbol. La segunda, la estructura a la que se va a dedicar el estudio de este trabajo fin de grado, que almacena la materia prima y la transporta para su posterior descarga en otro medio de transporte. Y, por último, el paraguas que envuelve el árbol en la tarea de recolección, que su función es la acumular todo el fruto que sale del alcance del modelo estudiado en este trabajo. La siguiente imagen representa la tarea de recolección.

Ilustración 1 Apero realizando la recolección del fruto



FUENTE: Elaboración propia

El proceso de recolección del fruto, con este tipo de aperos, empieza realizando las maniobras necesarias para conseguir que el tronco del olivo quede colocado en el centro de la estructura que almacena la aceituna. Una vez esté correctamente situada la máquina con respecto al olivo, se pasa al siguiente punto, que consiste en realizar el amarre del tronco con la pinza hidráulica. Seguidamente, se despliegan los brazos fijados a una tela que envuelve completamente el árbol y se hace vibrar el olivo. Con esta serie de sacudidas se desprende el fruto, quedando almacenado en la estructura que se va a estudiar en este trabajo.

Otra de las posibles tareas a llevar a cabo con este apero es la descarga del fruto, que se realiza a través de una compuerta que se encuentra en el fondo de la máquina (se puede observar en la ilustración 1). Esto implica que para realizar esta acción el modelo debe someterse a cierta inclinación, con respecto a la posición horizontal. Además, provoca que la carga transportada no se distribuya de manera uniforme.

Ilustración 2 Zona de descarga del apero



FUENTE: Elaboración propia

Como se ha comentado anteriormente, este apero tiene una antigüedad de entre 15 a 20 años y es por ello por lo que se desea conocer las condiciones actuales del diseño de la máquina. De esta manera podremos verificar si el apero cumple con unas condiciones mínimas, necesarias para desempeñar las distintas situaciones a las que puede estar sometido en una operativa de trabajo habitual.

Con la información que obtengamos del análisis del apero, se pretende comprobar el modelo actual y estudiar si sería necesario aplicar alguna mejora. En el caso de tener que aplicar mejoras al diseño actual, se intentará que éstas sean concretas, sencillas y rápidas de implementar.

2. OBJETO

Se trata de analizar el diseño actual de un paraguas de recolección de aceitunas, fabricada con dos tipos de aceros estructurales, como son S275JR y S235JR aplicando las diferentes situaciones de carga, debido a la inclinación que puede sufrir en el proceso de la descarga de fruto o por un movimiento necesario a la hora de maniobrar.

Aplicando las condiciones de contorno necesarias, se estudiarán los resultados para los distintos tipos de acero, valorando que puntos serían necesarios optimizar, además, tienen que ser mejoras sencillas que puedan efectuarse sin ningún tipo de gran modificación en la propia estructura, ahorrando en tiempo y dinero.

En definitiva, el objetivo principal de este estudio es obtener la situación actual de trabajo del apero y en base a la información obtenida, decidir qué solución sería la más adecuada para que cumpla de la manera más eficiente y sencilla posible, para poder aplicar fácilmente los cambios en el modelo real. Con los resultados obtenidos de los estudios realizados, se escogerá la opción que se crea más conveniente, además de una vez realizadas las modificaciones, se comparará el diseño actual con apero actuales que desempeñen la misma función.

3. ALCANCE

El alcance de este trabajo es analizar la estructura existente con diferentes condiciones de inclinación simulando el proceso de descarga, pero siempre con la misma masa, para poder analizar los resultados y aplicar las optimizaciones necesarias dependiendo de los datos obtenidos.

Como no se tiene conocimiento exacto de los materiales que se emplearon para su confección, se han decidido aplicar dos casuísticas relacionadas con el modelo inicial. Estas dos suposiciones consisten en dos tipos de aceros estructurales comunes, como son el S275JR y S235JR.

Se realizará la medición del modelo real actual in situ, trasladando estas mediciones a planos 2D. Una vez se han obtenido todos los datos necesarios, se pasa a configurar el modelaje en 3D.

Con el modelo realizado en 3D, se pasará a dar las condiciones de contorno y las cargas a las que está sometida la estructura.

Posteriormente, se calcularán con los diferentes casos de inclinación, analizando los resultados y con la información obtenida, aplicar las mejoras necesarias para poder cumplir de manera eficiente.

4. PARAGUAS DE RECOLECCIÓN DE ACEITUNAS A ANALIZAR

4.1 Descripción de la estructura actual

Esta máquina está diseñada para la recolección del fruto y su funcionamiento es el siguiente. En primer lugar, se realizan con el tractor al que está anclado el apero, las maniobras necesarias para introducir la estructura de manera que el tronco del árbol quede en el centro del abanico. Después de que se haya colocado correctamente, se realiza la apertura del abanico que envuelve el árbol con una tela en forma de embudo, para acumular el fruto que sale del alcance del habitáculo del modelo. Acto seguido, la pinza hidráulica que se dirige mediante un panel de control desde el tractor, se posiciona y se cierra para amarrar el tronco haciéndolo vibrar hasta que todas las aceitunas se han depositado en el apero. Finalmente, se abre la pinza y se cierra el abanico para continuar con el siguiente árbol a tratar.

Las siguientes imágenes muestran el modelo real.

Ilustración 3. Apero de recolección de aceitunas



FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 4. Pinza hidráulica



FUENTE: Elaboración propia

El modelo real se compone de una estructura basada en perfiles cuadrados y rectangulares cerrados, con un espesor de 3 mm. Estos perfiles componen el chasis del apero, que sobre él se ensambla la chapa para conformar un habitáculo donde se deposita la carga.

En el lateral se encuentran los perfiles circulares, que conforman el esqueleto sobre el que se anclan las lonas que acumulan el fruto en el proceso de recolección y lo depositan en la zona de almacenaje que es la estructura que se está estudiando en este trabajo.

La forma de unión con el tractor, el cual soporta la carga y se encarga de trasladar y elevar la máquina, es mediante cuatro bulones, formando el ensamblaje del apero con la estructura portante que está anclada al tractor.

Ilustración 5. Modelo inicial en 3D



FUENTE: Elaboración propia

Se desconocen el material con el que se han fabricado todos los perfiles y chapas, además de la máxima carga autorizada.

Las medidas se tomaron directamente del modelo real, registrándose todas ellas en el Anexo 1: Medidas del modelo inicial.

4.2 Condiciones de trabajo

En general, la maquinaria agrícola suele estar sometida a altos esfuerzos. En este caso, también soporta una gran carga ya que para optimizar el tiempo de trabajo se intentan realizar las mínimas operaciones de descarga posibles, esto implica un aumento del peso a soportar por el modelo en cada uno de estos viajes.

Además, se trabajan con distintas inclinaciones durante el proceso de descarga, provocando que la carga no esté siempre en la misma posición, variando la zona de actuación de estas fuerzas. Por esta razón, se realizan diferentes casos, analizando cuál de todos ellos es el más desfavorable y provoca una mayor sollicitación al diseño actual.

En cuanto a las cargas soportadas por el apero, consideramos como principal carga, la masa del fruto, cuyo máximo peso posible de carga es de 500 kg. En el estudio se

considerará un factor de magnificación de carga de 1.2, para compensar los efectos dinámicos que puede suponer los movimientos bruscos debido a la circulación por terrenos irregulares. Aplicando finalmente una masa de 600 kg de aceituna. Por otra parte, se va a añadir también el efecto de la gravedad a este estudio, esto implica tener en cuenta el efecto del peso propio de la estructura.

5. MODELO NUMÉRICO

5.1 Modelo inicial

Las medidas del diseño actual se han tomado directamente del modelo real y una vez registrados todos los datos necesarios, se realiza un diseño 3D desarrollado en el programa SolidWorks, el cual se muestra en la ilustración 6:

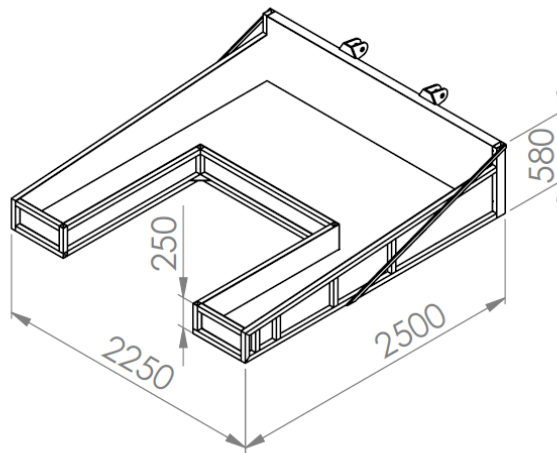
Ilustración 6. Modelo inicial en 3D



FUENTE: Elaboración propia

La siguiente imagen resume las medidas principales del apero:

Ilustración 7. Medidas principales del apero



FUENTE: Elaboración propia

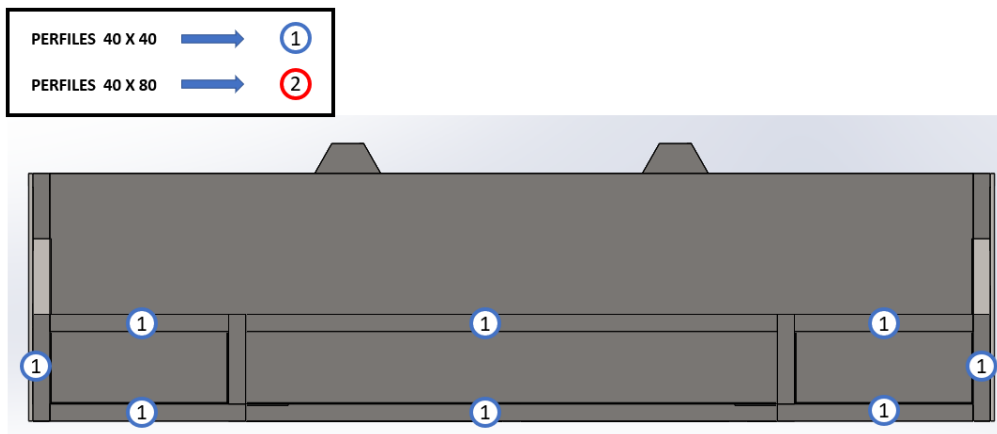
Los componentes estructurales empleados están formados por perfiles comerciales siendo estos cuadrados, rectangulares y circulares, todos ellos de 3 mm de espesor, con la excepción del sistema de enganche en el cual se han utilizado chapas con un espesor de 10 mm. Una descripción detallada de los perfiles empleados se muestra en el siguiente apartado.

El proceso que seguir, una vez obtenidas las mediciones de los componentes, es diseñar por separado cada uno de éstos y realizar el ensamblaje final que conforma el modelo real.

5.2 Componentes utilizados

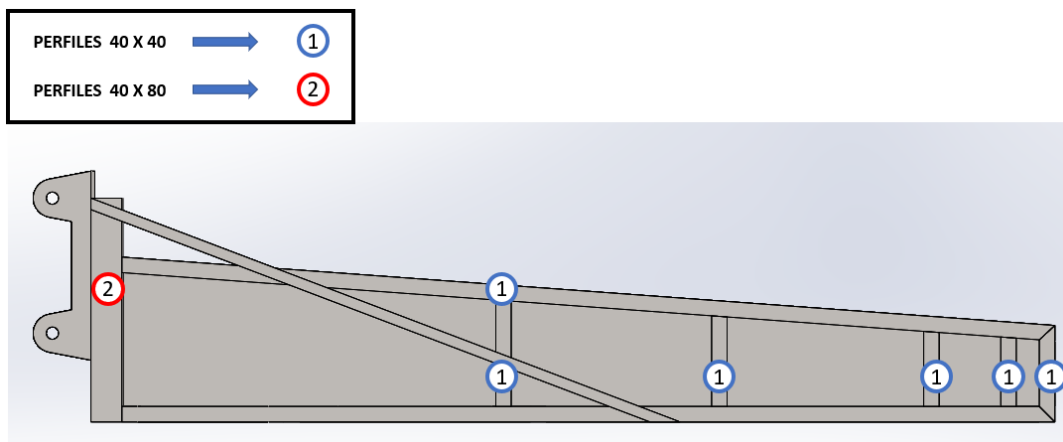
Los componentes básicos que componen el esqueleto de la estructura estudiada se basan en perfiles de sección cuadrada de 40 x 40 mm, 80 x 80 mm y sección rectangular de 40 x 80 mm, todos ellos de 3 mm de espesor. Las siguientes imágenes muestran donde están aplicadas cada una de estas secciones.

Ilustración 8. Localización de los perfiles en el modelo. Frontal delantero



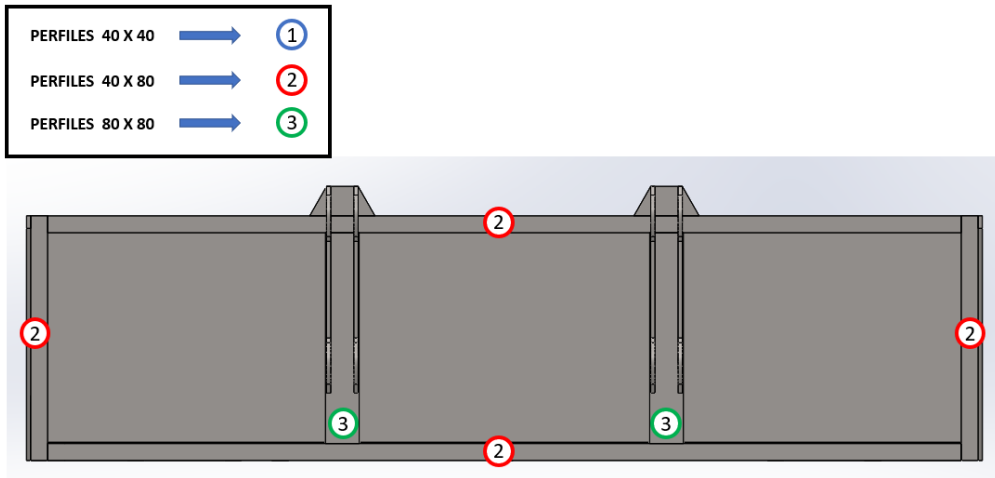
FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 9. Localización de los perfiles en el modelo. Perfil



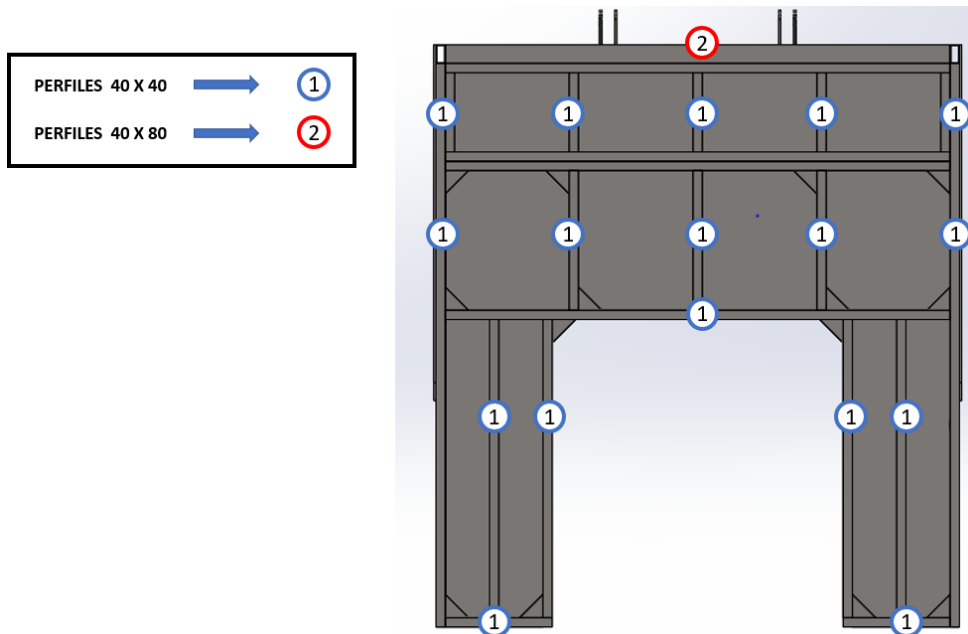
FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 10. Localización de los perfiles en el modelo. Frontal posterior



FUENTE: Elaboración propia

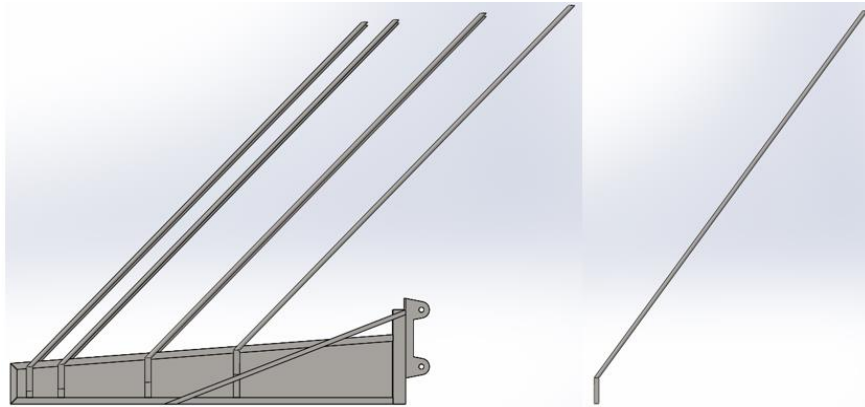
Ilustración 11. Localización de los perfiles en el modelo. Planta



FUENTE: Elaboración propia

Por otro lado, se encuentran los perfiles de sección circular de 40 mm de diámetro que componen los brazos del abanico que conforman el paraguas de tela que rodea el árbol.

Ilustración 12. Imagen del componente con perfil circular



FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, está la chapa que cierra el fondo y las paredes del apero que retiene el fruto acumulado, con una medida de 3 mm de espesor. Mientras que, para generar la zona del enganche, que transmite los esfuerzos a la estructura portante del tractor, se optó a la hora de fabricarlo, por una chapa de 10 mm de espesor.

A continuación, se hace un resumen de los componentes que se han utilizado para construir el modelo real:

Tabla 1. Medidas de las secciones de los perfiles

Elementos	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)
Perfiles sección cuadrada	40 x 40	3
Perfiles sección cuadrada	80 x 80	3
Perfiles sección rectangular	40 x 80	3
Perfiles sección circular	EXT(Ø40)	3
Pletina triangular	10 x 10	3
Chapa	-	3
Zona de enganche	-	10

FUENTE: Elaboración propia

5.3 Materiales

Para el estudio del modelo, debido al desconocimiento del material utilizado en la estructura, se han hecho dos suposiciones de los aceros empleados.

Por un lado, un acero estructural S235JR y como segundo material a estudiar, un acero S275JR. Son los aceros estructurales más comunes usados para este tipo de estructuras.

Además, se considera que todas las piezas que conforman el modelo están compuestas por el mismo acero.

Las propiedades utilizadas en el cálculo de cada uno de estos aceros han sido:

Tabla 2. Propiedades acero S235JR

Acero S235JR		
Propiedades	Valor	Unidades
Modulo elástico	210000	MPa
Coefficiente de poisson	0.3	-
Densidad de masa	7850	Kg/m ³
Límite tracción	360	MPa
Limite elástico	235	MPa

FUENTE: <http://prontuarios.info/materiales/acero>

Tabla 3. Propiedades acero S275JR

Acero S275JR		
Propiedades	Valor	Unidades
Modulo elástico	210000	MPa
Coefficiente de poisson	0.3	-
Densidad de masa	7850	Kg/m ³
Límite tracción	430	MPa

FUENTE: <http://prontuarios.info/materiales/acero>

5.4 Modelo de elementos finitos

Un punto importante de este trabajo ha sido el empleo de un modelo de elementos finitos para realizar el cálculo. A continuación, se explica brevemente en que consiste. “Método que empezó a mediados de los años cincuenta, centrándose en la obtención de una solución aproximada. Surgió de la necesidad en sectores como la aeronáutica de obtener datos que fueran lo más cercanos a la realidad” (Begoña Calvo, Miguel A. Martínez, Estefanía Peña. 2017)

El análisis por elementos finitos consiste en una discretización del conjunto en subdominios, formando una malla en este caso de elementos tipo Shell, donde los puntos en común se conocen como nodos y según el número de ellos el volumen de cálculo será mayor debido al aumento del número de iteraciones.

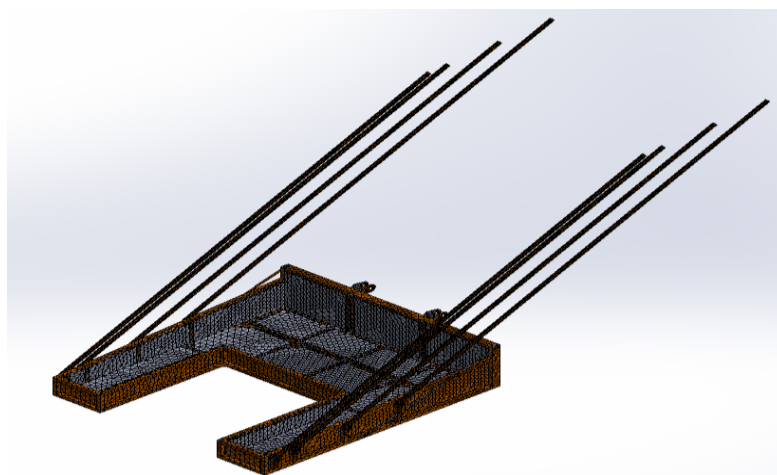
Los datos característicos del mallado de este modelo han sido los que se recogen en la tabla 3. El punto diferencial de esta discretización ha sido la utilización de elementos Shell, que son “elementos con tres grados de libertad solo para la rotación. Tienen un área constante y se presenta en análisis estáticos” (López Saucedo, J. A. 2005)

Tabla 4. Parámetros de la malla aplicada

Parámetros de mallado	
Tipo de malla	Malla basada en curvatura
Tipo de elemento	Shell
Tamaño Max. Elemento	50 mm
Tamaño min. Elemento	16 mm
N.º de nodos	113140
N.º de elementos	56809

FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 13. Modelo con la malla aplicada



FUENTE: Elaboración propia

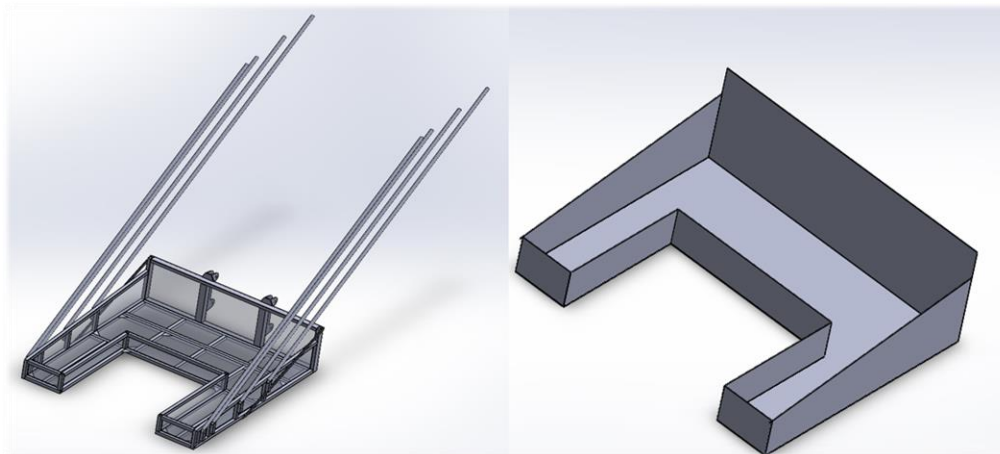
5.4.1 Parámetros de ensamblaje

Las condiciones de ensamblaje impuestas han sido que el contacto entre los componentes que conforman la estructura sean como la de una unión rígida. Esto impone que no sea posible el desplazamiento relativo entre los elementos, comportándose como una única pieza rígida.

Esta condición se ha podido aplicar porque entre ninguno de los componentes hay movimiento relativo entre ellos.

El apero se podría dividir en dos partes, la primera de ellas sería el esqueleto de la estructura, conformado en su mayoría por los perfiles cuadrado y rectangulares y en segundo lugar el habitáculo donde se deposita la carga.

Ilustración 14. Imagen de la estructura con solo perfiles y con solo chapa respectivamente



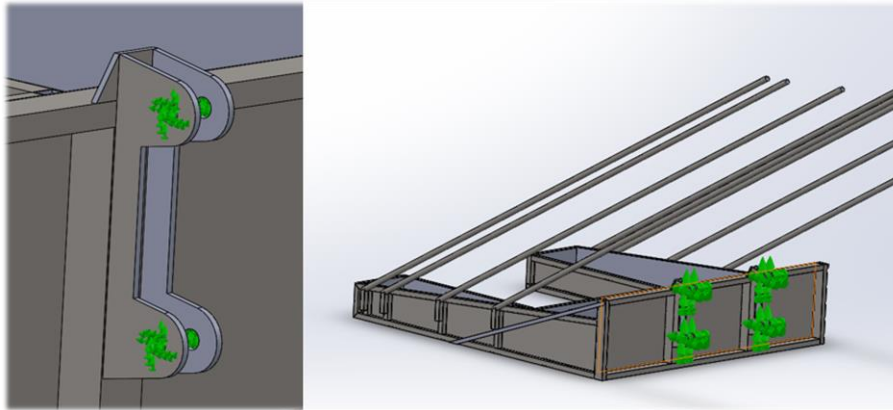
FUENTE: Elaboración propia

5.4.2 Condiciones de contorno

En la ilustración 5 mostrada anteriormente en el apartado 4.1, indica la zona donde se ensambla el apero con la estructura portante del tractor. Este es el único punto de apoyo del modelo, teniendo que resistir los esfuerzos debido a las cargas del peso del fruto y estructura.

Para trasladar esta condición al modelo creado en el software de SolidWorks, se han impuesto empotramientos en las caras internas de los orificios creados en la pieza que se muestra en las siguientes imágenes.

Ilustración 15. Localización del empotramiento aplicado al modelo 3D



FUENTE: Elaboración propia

En estos orificios es donde se introducen los bulones que realizan la función de pieza de unión entre el modelo estudiado y la estructura que transmite los esfuerzos al propio tractor.

5.4.3 Aplicación de cargas

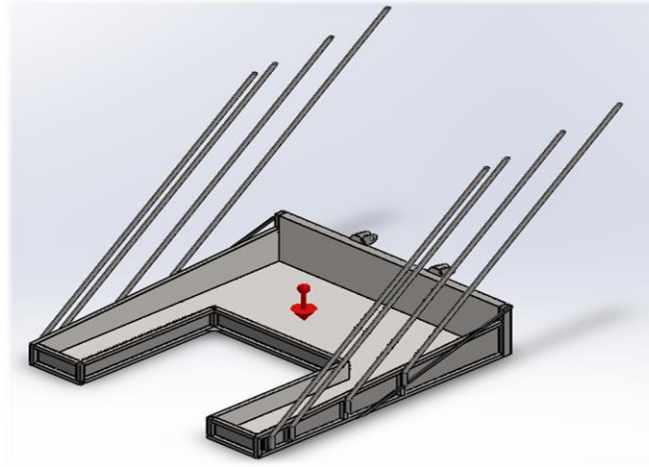
Las cargas que actúan en este estudio van a ser dos.

Por un lado, la carga producida por el peso propio de la estructura, que se aplica al tener relevancia el efecto producido por la fuerza de la gravedad en el estudio estático. Y, por otro lado, la carga que genera el peso del fruto recolectado.

- Peso propio de la estructura

Como se ha indicado, la primera fuerza aplicada corresponde al peso propio del paraguas de recolección, cuya carga se ha incluido en el cálculo aplicando la gravedad. El valor numérico de la masa es de 447.74 kg, mientras que el valor de la gravedad empleada para el cálculo ha sido de 9.81 m/s².

Ilustración 16. Fuerza de la gravedad aplicada al modelo



FUENTE: Elaboración propia

- **Acción de la carga**

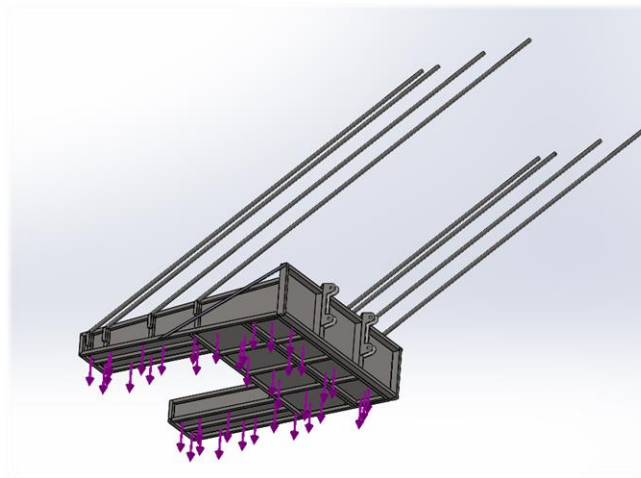
La acción de la carga es la debida al peso del fruto recolectado. Como carga media a admisible que soporta el paraguas, se toma un valor numérico de 500 kg.

Este valor aproximado se obtuvo mediante la realización de una serie de mediciones, calculando por una parte el peso a la hora de vaciar un remolque, dividido por el número de veces que fueron necesarias realizar la operación de descarga. Estando completamente llena la maquina en todos los viajes realizados.

Como se ha explicado al principio de este trabajo, para tener en cuenta el efecto dinámico producido por el movimiento de la carga trasladada sobre terrenos irregulares, se aplica un coeficiente que magnifique el peso estimado anteriormente y así compensar los esfuerzos que implicaría. El valor de este va a ser de 1,2 veces el peso inicial acordado como media admisible.

Su zona de actuación es toda la superficie del fondo del abanico.

Ilustración 17. Representación del efecto de la carga transportada



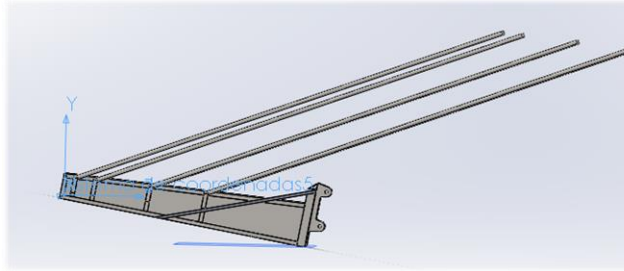
FUENTE: Elaboración propia

En este estudio se han diferenciado dos operativas de aplicación de la carga del fruto. La primera es la carga en reposo, que está relacionada con la casuística de que el modelo esté a 0° de inclinación respecto a la horizontal. Para este caso, la distribución de este peso va a ser uniformemente repartida a lo largo del fondo del apero. La otra posibilidad de movimiento que puede tener el apero es el relacionado con el proceso de descarga del fruto en un contenedor como puede ser un remolque agrícola. Esta operativa conlleva en primer lugar, una distribución no uniforme de la carga a lo largo de la superficie donde se deposita esta misma, debido a la inclinación que sufre el modelo en el proceso de descarga. En segundo lugar, la dirección de actuación de la carga, que cambia proporcionalmente al ángulo que tenga la estructura respecto a la horizontal en ese momento.

Para poder trasladar este efecto al estudio, se han aplicado una serie de coeficientes de reparto que simulan el efecto de esta distribución no uniforme de las aceitunas transportadas. Se han calculado de manera aproximada, igualando la fuerza resultante obtenida en el caso de reposo, que permanece constante en todos los casos para obtenerlos.

Este coeficiente simboliza la variación de la carga a lo largo del eje vertical, lo que ha requerido la creación de un sistema de coordenadas local y un plano de referencia para cada caso de inclinación.

Ilustración 18. Imagen del apero con inclinación respecto a la horizontal



FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, se ha decidido calcular los resultados en cuatro casos específicos de pendiente, cada uno con su coeficiente de reparto, siendo el máximo valor de este ángulo de 45°. En la siguiente tabla se relaciona cada valor numérico del coeficiente de reparto con el del ángulo aplicado para cada caso.

Tabla 5. Valores del coeficiente de reparto dependiendo de la inclinación

Angulo de inclinación (Grados)	Coeficiente de reparto
10°	0.02522
20°	0.013
30°	0.00879
45°	0.0063

FUENTE: Elaboración propia

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez realizado el modelaje, aplicadas las condiciones de contorno y las diferentes cargas mencionadas anteriormente se procede a realizar el estudio mediante el Método de los Elementos Finitos del modelo inicial.

Seguidamente, los resultados obtenidos del estudio del diseño original del paraguas de recolección de aceitunas son estudiados y en base a ellos se aplican las medidas

oportunas para optimizar y cumplir de la manera más eficiente y rentable para alcanzar el objetivo del proyecto.

A continuación, en los siguientes apartados se muestran los resultados obtenidos

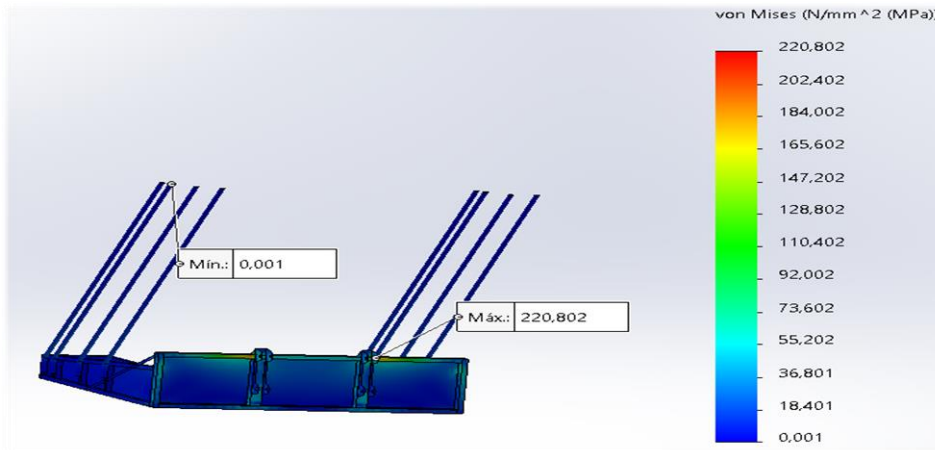
6.1 Análisis de resultados modelo inicial

En este apartado se van a analizar los puntos claves de los resultados obtenidos, en el Anexo 2: Resultados del estudio del modelo inicial, se detalla de manera más extensa todos los resultados.

6.1.1 Análisis de resultados modelo inicial en el acero S235JR

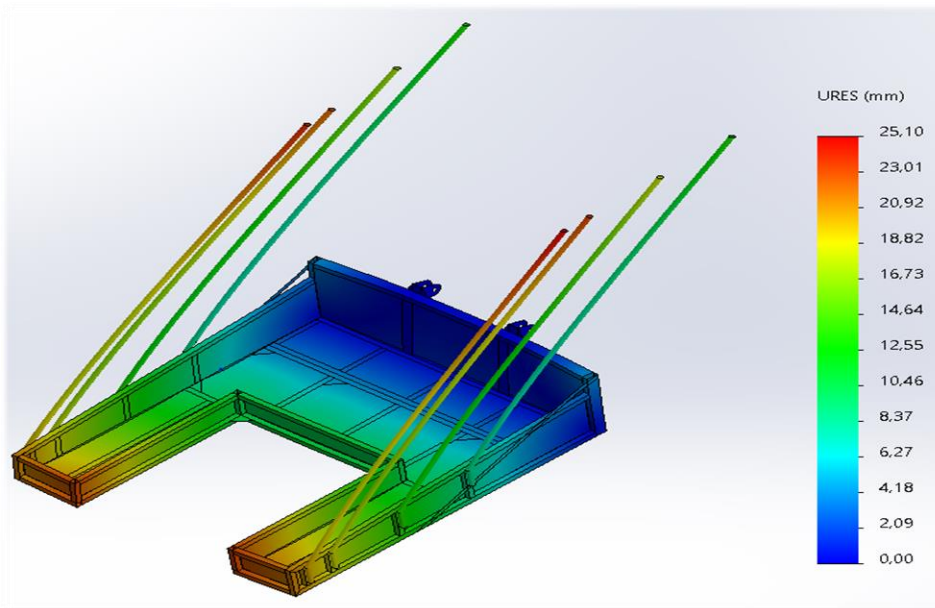
Como se ha expuesto con antelación, se va a realizar en primera instancia, el cálculo con la hipótesis de que todo el apero ha sido fabricado con un acero S235JR.

Ilustración 19. Distribución de tensiones en el estudio del acero S235JR. En reposo



FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 20. Distribución de desplazamientos en el estudio del acero S235JR. En reposo



FUENTE: Elaboración propia

Si se analiza detenidamente cual puede ser el caso más desfavorable que solicite con mayor exigencia la estructura, este sería el caso de reposo, debido a que en este punto es donde una mayor parte de carga se encuentra a una mayor distancia de la zona del empotramiento. Por lo tanto, en un primer análisis, este sería el punto que indique si va a cumplir el diseño del modelo inicial.

En la tabla 6 se muestran los resultados del cálculo del estudio para un acero S235JR

Tabla 6. Resultados para el estudio del acero S235JR del modelo inicial

Acero S235JR / Limite elástico 235 MPa		
Inclinación	Campo	Valor
0°	Tensión Máxima (Von Mises)	220.8 MPa
	Coficiente seguridad Min	1.06
10°	Tensión Máxima (Von Mises)	171.43 MPa
	Coficiente seguridad Min	1.37
20°	Tensión Máxima (Von Mises)	160.45 MPa
	Coficiente seguridad Min	1.46
30	Tensión Máxima (Von Mises)	142.86 MPa
	Coficiente seguridad Min	1.64
45°	Tensión Máxima (Von Mises)	91.95 MPa
	Coficiente seguridad Min	2.55

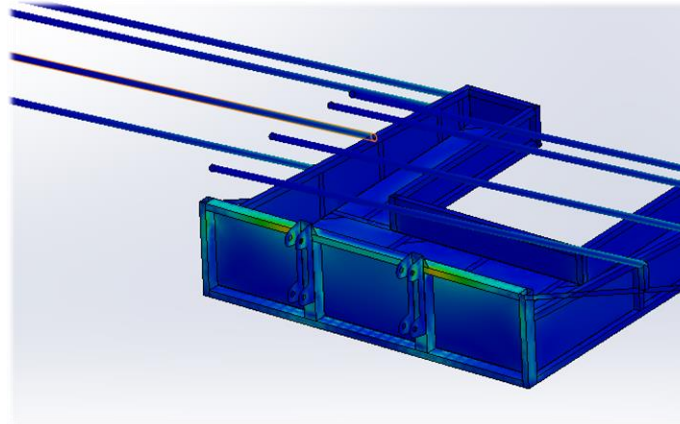
FUENTE: Elaboración propia

Efectivamente, en reposo es donde se va a producir el mínimo valor del factor de seguridad y el mayor valor de tensión. Siendo de esta manera el estudio que límite el modelo y donde se deberá de focalizar las mejoras para elevar este coeficiente de seguridad y conseguir una estructura que cumple de manera segura y eficiente.

Como se ha indicado en el apartado 5.3 Materiales, para este tipo de acero S235JR, su límite elástico es de 235 MPa, este dato permite comprobar que en ningún momento se supera si se compara con los datos de la tabla de resultados, debido a que el valor máximo es de 220 MPa.

Por lo tanto, no llegaría nunca para estas condiciones de contorno y especificaciones a plastificar, confirmando que las deformaciones sufridas no serán permanentes.

Ilustración 21. Distribución de tensiones en la parte frontal trasera. Acero S235JR en reposo

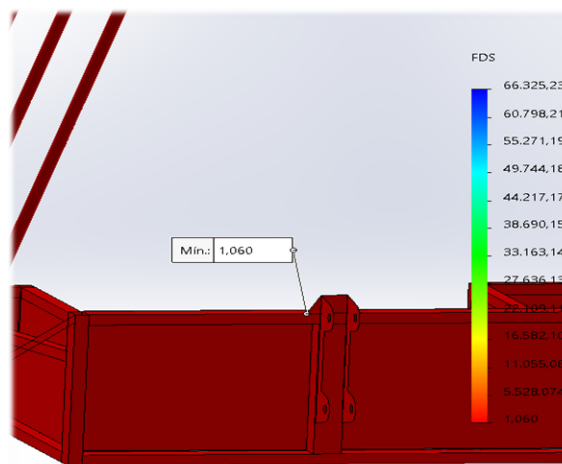


FUENTE: Elaboración propia

Comprobando la distribución de las tensiones obtenidas, se muestra que la zona con la mayor sollicitación va a ser la parte donde se encuentra la zona del enganche de la estructura.

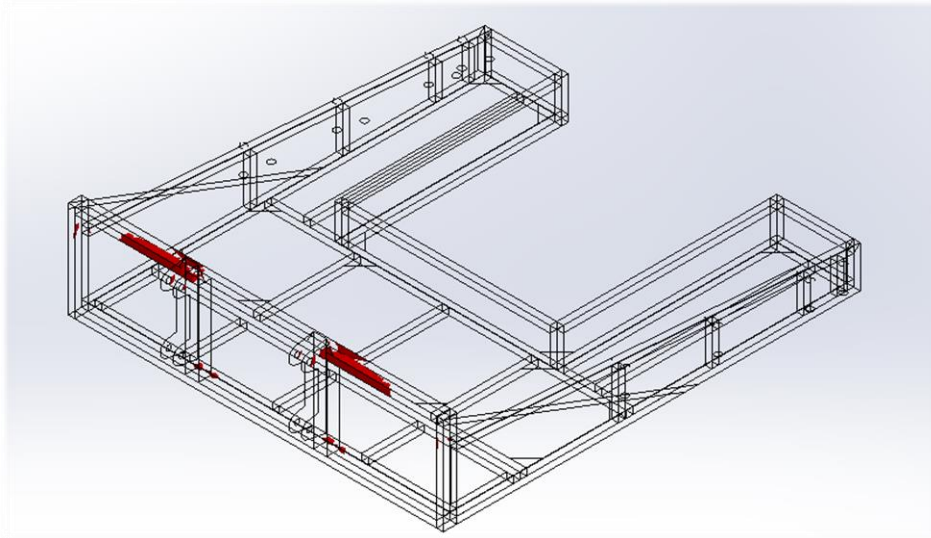
Una vez analizadas las tensiones a la que está sometido el modelo, se continua el estudio de los resultados, en concreto el coeficiente de seguridad obtenido. La ilustración 22 muestra el punto con el menor valor del coeficiente de seguridad en la estructura, mientras que la ilustración 23 indica aquellas zonas con un valor menor 3.

Ilustración 22. Coeficiente de seguridad mínimo en el estudio del acero S235JR en reposo



FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 23. Zonas con coeficiente de seguridad menor a 3 en reposo



FUENTE: Elaboración propia

Con un valor mínimo de 1.06, el apero no llega a plastificar, al no superarse el límite elástico con valor 235 MPa, pero este valor es lejano del que se desea tener, que es de mínimo de 2. Esto descarta totalmente el supuesto del modelo inicial con un acero S235JR, por no alcanzarse las mínimas condiciones deseadas para el funcionamiento del apero, no siendo necesario el análisis de los resultados de los casos de inclinación.

Finalmente, la información obtenida permite identificar los puntos donde se deben de centrar las tareas de optimización, que es la zona del enganche y la parte frontal trasera del apero.

Se avanza al siguiente supuesto acordada para el modelo inicial, que es aplicar un acero S275JR a la estructura estudiada.

6.1.2 Análisis de resultados modelo inicial en el acero S275JR

El cambio más relevante relacionado con esta modificación va a ser el aumento del límite elástico de material, pasando de un valor de 235 MPa a uno de 275 MPa.

Si únicamente se realiza el cambio de material, las áreas más desfavorables van a seguir siendo las misma, sin embargo, el valor numérico del coeficiente de seguridad debería de aumentar, por estar empleando un material con un mayor límite elástico.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para un acero S275JR:

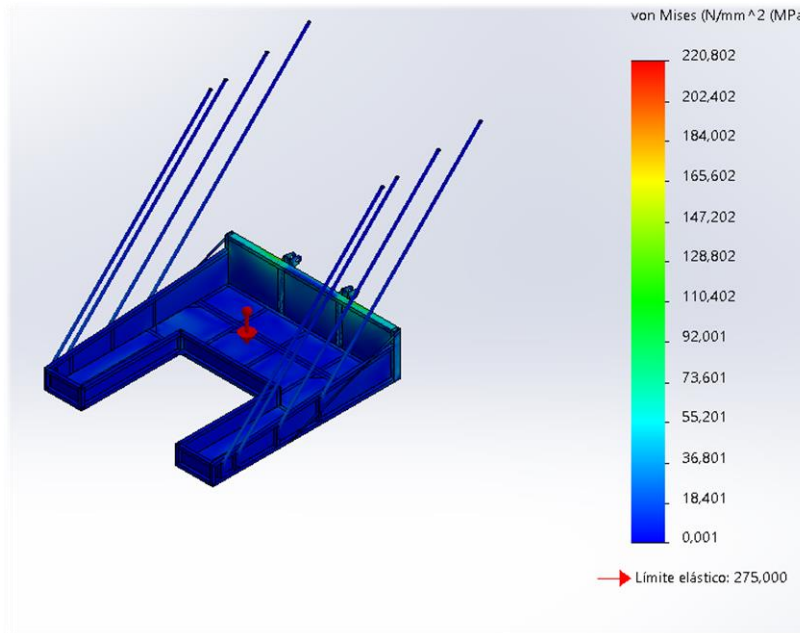
Tabla 7. Resultados para el estudio del acero S275JR del modelo inicial

Acero S275JR / Limite elástico 275 MPa		
Inclinación	Campo	Valor
0°	Tensión Máxima (Von Mises)	220.8 MPa
	Coficiente seguridad Min	1.24
10°	Tensión Máxima (Von Mises)	171.42 MPa
	Coficiente seguridad Min	1.60
20°	Tensión Máxima (Von Mises)	160.45 MPa
	Coficiente seguridad Min	1.71
30	Tensión Máxima (Von Mises)	142.86 MPa
	Coficiente seguridad Min	1.92
45°	Tensión Máxima (Von Mises)	91.95 MPa
	Coficiente seguridad Min	3.00

FUENTE: Elaboración propia

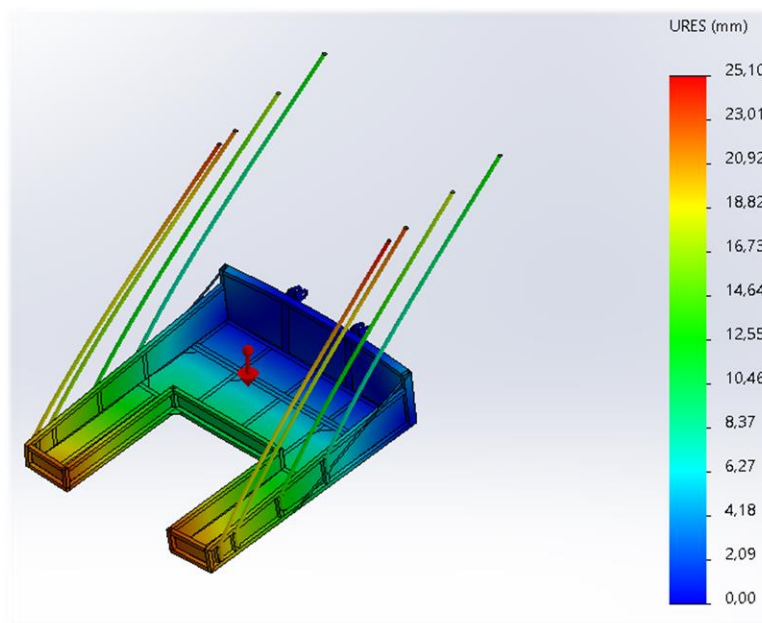
La distribución de tensiones sigue siendo igual que las obtenidas con la estructura de acero S235JR, con un valor máximo de 220 MPa.

Ilustración 24. Distribución de tensiones en el estudio del acero S275JR. En reposo



FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 25. Distribución de los desplazamientos en el estudio del acero S275JR. En reposo

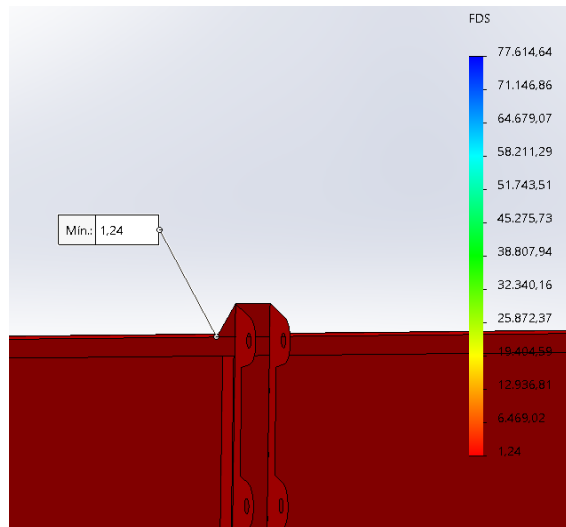


FUENTE: Elaboración propia

Las tensiones obtenidas no se han visto modificadas, pero ha habido, en general, un aumento del coeficiente de seguridad en todos los casos de inclinación. Centrándose el

análisis en el valor calculado cuando la maquina se encuentra en reposo, que es el estudio que limita el apero, se comprueba que ha pasado de un valor de 1.06 para un acero S235JR a 1.24 para un acero S275JR. Este resultado es más cercano a un coeficiente de seguridad de 2, pero sigue siendo insuficiente.

Ilustración 26. Coeficiente de seguridad mínimo en el estudio del acero S275JR. En reposo



FUENTE: Elaboración propia

Una vez obtenidos los resultados de los diferentes estudios llevados a cabo sobre el modelo inicial, el material no llegaría en ningún momento al límite de la rotura, pero no va a trabajar con un margen necesario seguridad con respecto al límite elástico, lo que implica que no va a trabajar con los mínimos necesarios que se creen oportunas para cumplir de manera segura el desempeño de su función.

La posición de reposo ha sido el estudio con el menor coeficiente de seguridad y el que limita el diseño del modelo inicial, al ser el caso que más solicitada la estructura, por tener el mayor valor de tensión calculado y el menor coeficiente de seguridad.

Acabado el análisis de los resultados del modelo inicial, se procede a continuar con la siguiente tarea de este trabajo, que consiste en aplicar las mejoras necesarias para conseguir optimizar de la manera más sencilla el apero y alcanzar los objetivos mínimos de diseño planteados.

6.2. Análisis del modelo optimizado

Se ha podido observar que el punto donde se acumulan las distribuciones de tensiones con los valores más elevados es en la zona cercana al enganche del apero con el tractor y la parte del frontal trasero del apero. Esta será la zona donde se actuará en la labor de optimización.

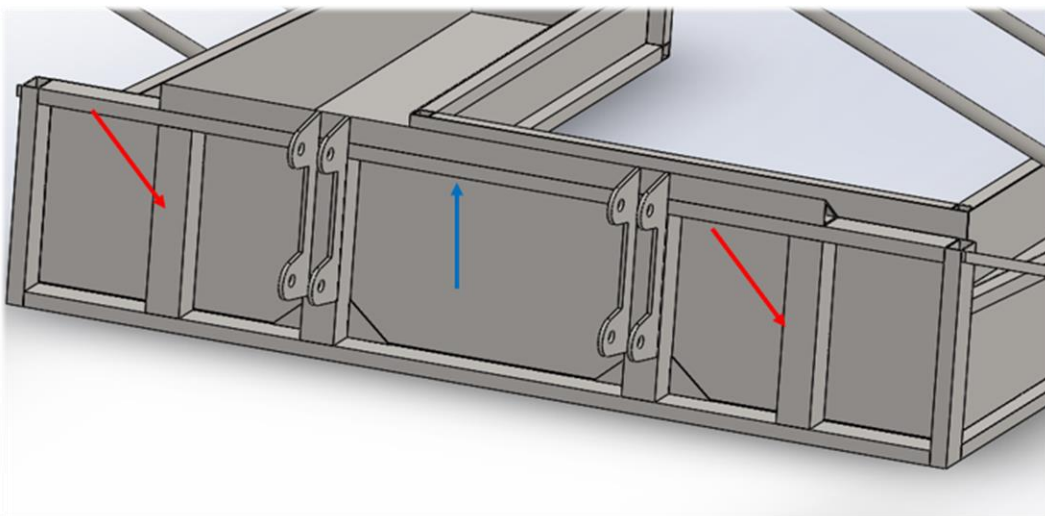
6.2.1 Modificaciones aplicadas al modelo inicial

En este apartado, se va a explicar el porqué de las modificaciones implementadas sobre la estructura inicialmente estudiada.

- Primera modificación: Perfil cuadrado de 80 x 80 mm

Se ha decidido implantar dos perfiles cuadrados de sección 80 x 80 mm y espesor de 3 mm, idénticos a los que ya se utilizaban en el modelo inicial, debido a que el perfil indicado en la imagen con una flecha azul, como se ha visto en el apartado anterior, acumula gran parte de las zonas con elevado valor de tensiones. Con los perfiles indicados con flecha roja en la ilustración 27, se pretende crear una estructura más rígida en la zona frontal trasera y disminuir el valor de las tensiones obtenidas al distribuirse de una manera más razonable.

Ilustración 27. Imagen descriptiva de la primera modificación estructural



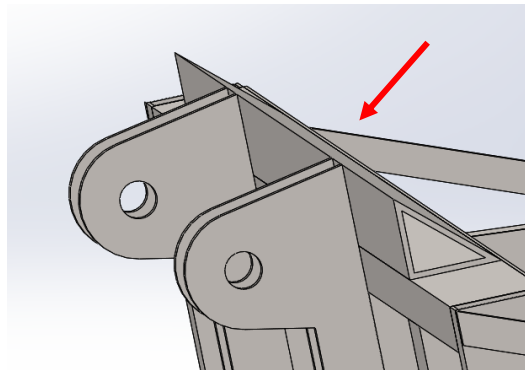
FUENTE: Elaboración propia

- **Segunda modificación: Perfil triangular**

Se ha aplicado un perfil triangular con una sección de 80 x 70 mm y una longitud de 1590 mm en la parte indicada en la ilustración 28 con una flecha roja, porque la pletina que estaba anteriormente en esta posición presentaba un cumulo de tensiones de gran valor, al no tener los suficientes puntos de soporte.

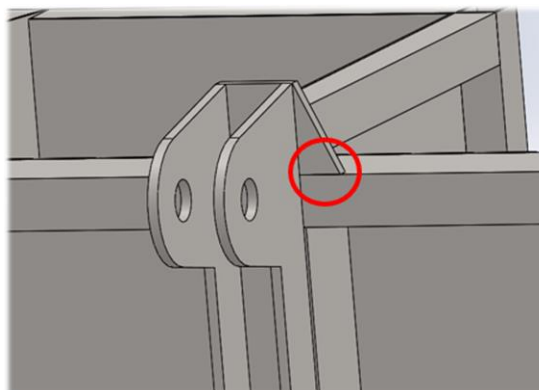
Todo esto, sumado a que la anterior pieza a la que estaba anclada, la parte sobresaliente del enganche aplicaba un momento que producía un concentrador de tensiones, que se indica la zona en la ilustracion 28.

Ilustración 28. Imagen descriptiva de la segunda modificación estructural



FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 29. Concentrado de tensión de la pieza inicial

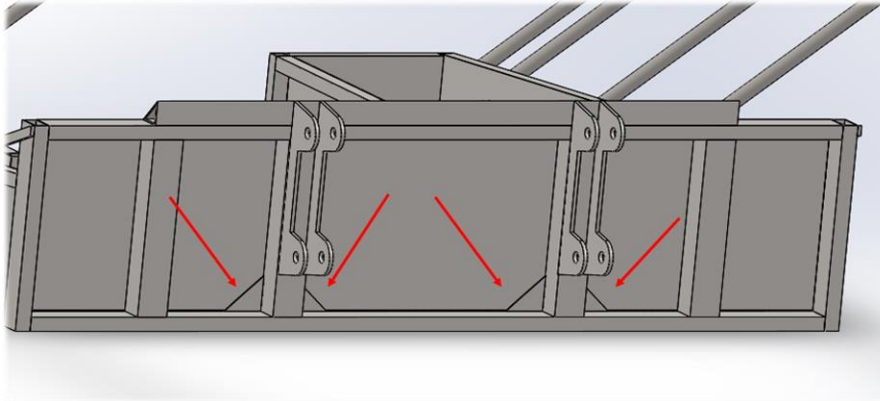


FUENTE: Elaboración propia

- **Tercera modificación: Pletinas**

Por último, para aumentar el coeficiente de seguridad en una de las zonas con el menor valor numérico, se ha creído oportuno aplicar unas pletinas iguales a las empleadas en otras partes del modelo inicial, para conseguir aliviar las tensiones. Se ha indicado con flecha rojas en la siguiente imagen el lugar donde se han aplicado.

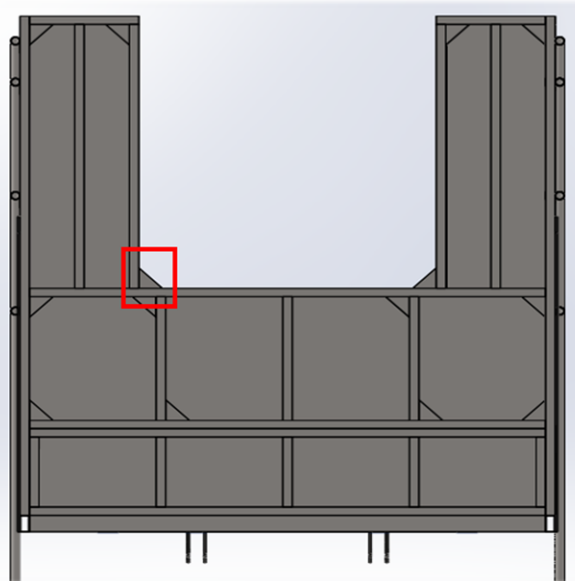
Ilustración 30. Imagen descriptiva de la tercera modificación estructural



FUENTE: Elaboración propia

La siguiente imagen indica una de las pletinas que ya existían en la estructura inicial.

Ilustración 31. Ejemplo de pletina utilizada en la tercera modificación estructural



FUENTE: Elaboración propia

6.2.2. Análisis resultados del modelo optimizado con un acero

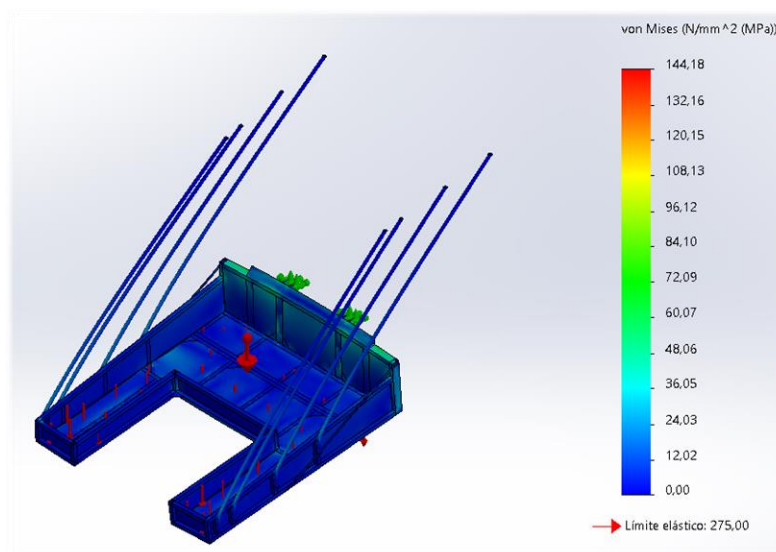
S275JR

Una vez explicadas las mejoras incluidas respecto al modelo inicial, se pasa a calcular el modelo optimizado.

Como se ha hecho en el caso del diseño actual del apero, para el modelo optimizado se ha decidido aplicar dos posibles casuísticas de material de estudio.

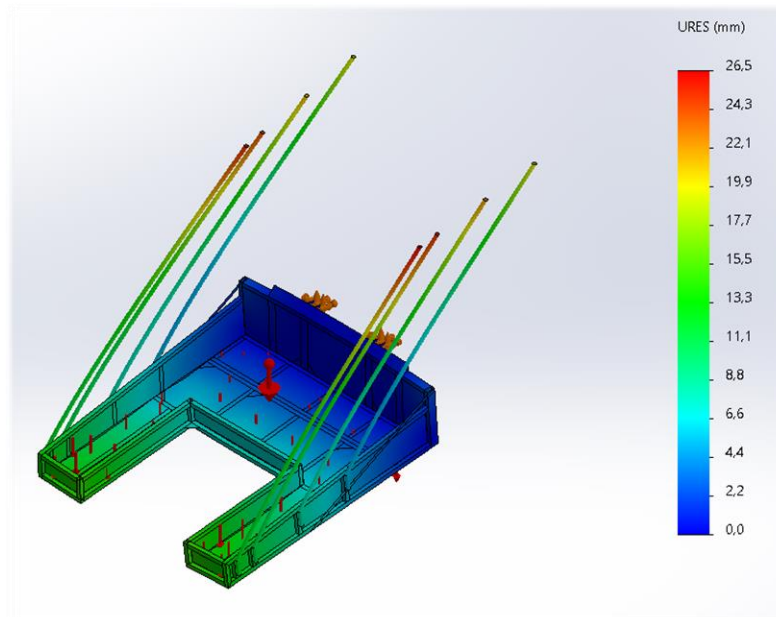
Se empieza el cálculo con un acero S275JR, que ha sido el material elegido en el segundo caso de modelo inicial y el que más cerca ha quedado de llegar a los mínimos necesarios.

Ilustración 32. Distribución de tensiones en el estudio del acero S275JR. Modelo optimizado en reposo



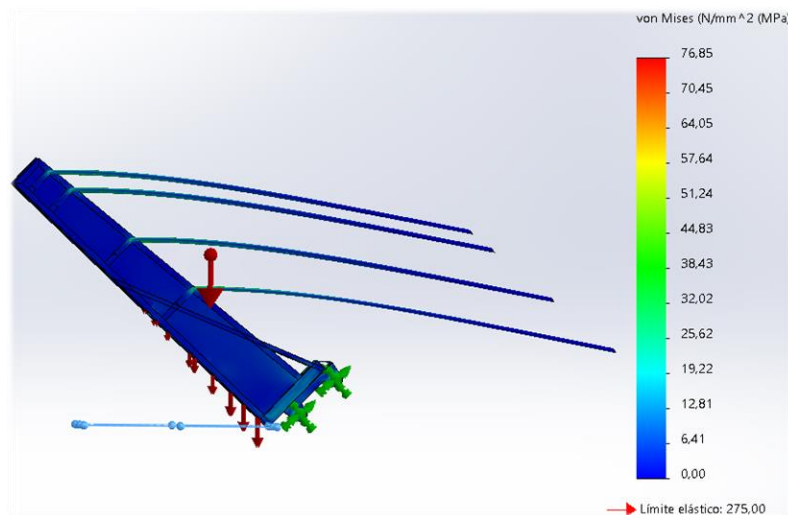
FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 33. Distribución de los desplazamientos en el estudio del acero S275JR. Modelo optimizado en reposo



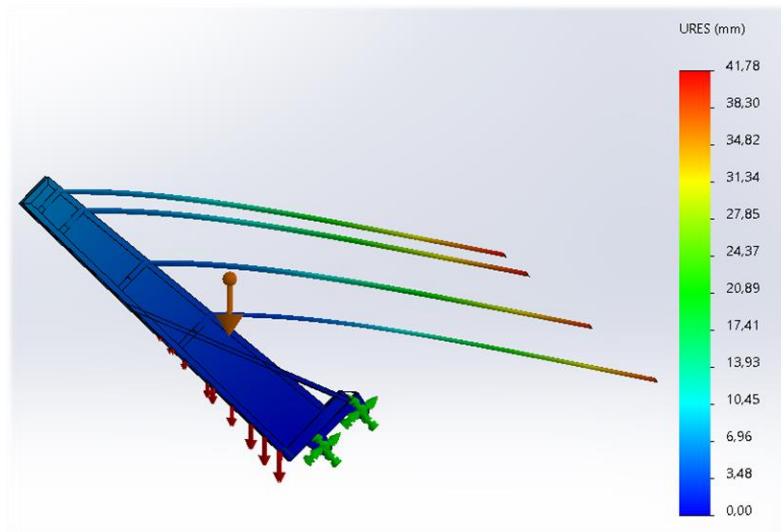
FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 34. Distribución de tensiones en el estudio del acero S275JR con inclinación de 45°. Modelo optimizado



FUENTE: Elaboración propia

Ilustración 35. Distribución de los desplazamientos en el estudio del acero S275JR con inclinación de 45°. Modelo optimizado



FUENTE: Elaboración propia

En la tabla 8 se muestran los resultados para el acero nombrado.

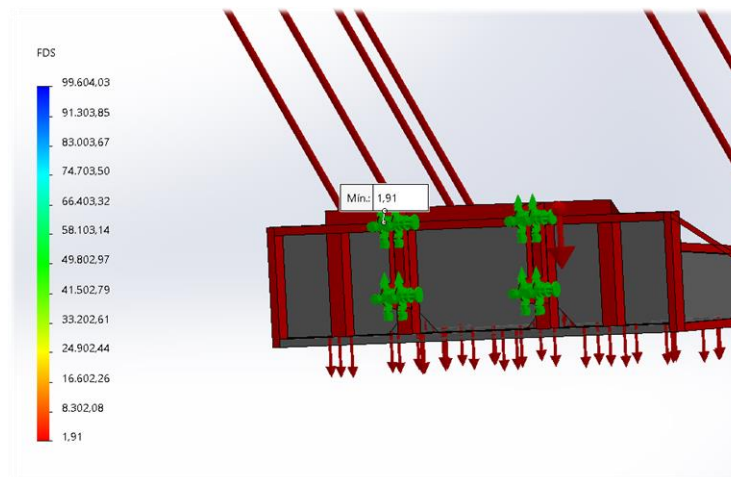
Tabla 8. Resultados para el estudio del acero S275JR del modelo optimizado

Acero S275JR		
Inclinación	Campo	Valor
0°	Tensión Máxima (Von Mises)	144.18 MPa
	Coefficiente seguridad Min	1.91
10°	Tensión Máxima (Von Mises)	113.24 MPa
	Coefficiente seguridad Min	2.43
20°	Tensión Máxima (Von Mises)	107.03 MPa
	Coefficiente seguridad Min	2.57
30	Tensión Máxima (Von Mises)	96.39 MPa
	Coefficiente seguridad Min	2.85
45°	Tensión Máxima (Von Mises)	76.85 MPa
	Coefficiente seguridad Min	3.58

FUENTE: Elaboración propia

Como se ve, se ha producido un aumento del factor de seguridad, obteniéndose un valor mínimo de 1.90 respecto al valor del modelo homólogo de la estructura inicial anteriormente estudiada en la posición de reposo del apero, que tenía un valor de 1.24. Esto implica una reducción de la tensión máxima, que ha pasado de un valor de 220 MPa a 144 MPa, produciéndose una bajada de casi el 35% de la máxima tensión producida, respecto al modelo inicial con las mejoras aplicadas.

Ilustración 36. Coeficiente de seguridad mínimo en el estudio del acero S275JR. Modelo optimizado



FUENTE: Elaboración propia

En líneas generales se ha producido un incremento satisfactorio en los resultados obtenidos con las mejoras ya implantadas, respecto al diseño actual del paraguas de recolección de aceitunas. A pesar de que se ha obtenido un coeficiente de seguridad mínimo de 1.9, estando muy cercano al deseado con valor 2, se decide aplicar un segundo estudio del modelo optimizado con un material con un valor de límite elástico aun mayor y así comprobar cuál sería el aumento respecto a este estudio.

6.2.3 Análisis resultados del modelo optimizado con un acero

S355JR

En este segundo caso a calcular se ha optado por aplicar al modelo optimizado un acero S355JR, en la siguiente tabla se resumen los parámetros de este material.

Tabla 9. Propiedades del acero S355JR

Acero S355JR		
Propiedades	Valor	Unidades
Modulo elástico	210000	MPa
Coefficiente de poisson	0.3	-
Densidad de masa	7850	Kg/m ³
Límite tracción	490	MPa
Limite elástico	355	MPa

FUENTE: <http://prontuarios.info/materiales/acero>

Se recalcula el modelo optimizado para todas las posibles casuísticas de inclinación con el nuevo material, aun quedando reflejado que no sería necesario, al confirmarse que para el modelo optimizado con material S275JR anteriormente calculado, la posición de reposo sigue siendo la que consigue limitar de una manera más elevada que los demás casos calculados el diseño de la máquina.

Tabla 10. Resultados para el estudio del acero S355JR del modelo optimizado

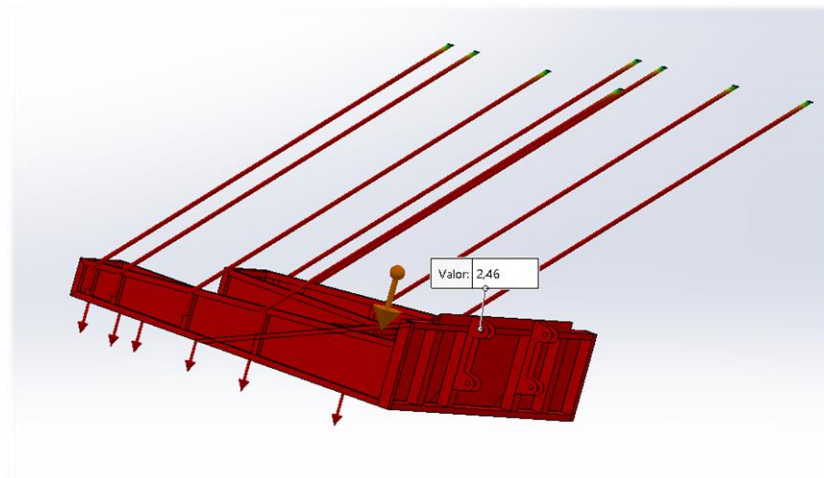
Acero S355JR		
Inclinación	Campo	Valor
0°	Tensión Máxima (Von Mises)	144.18 MPa
	Coefficiente seguridad Min	2.46
10°	Tensión Máxima (Von Mises)	113.25 MPa
	Coefficiente seguridad Min	3.13
20°	Tensión Máxima (Von Mises)	107.04 MPa
	Coefficiente seguridad Min	3.31
30	Tensión Máxima (Von Mises)	96.36 MPa
	Coefficiente seguridad Min	3.68
45°	Tensión Máxima (Von Mises)	76.87 MPa
	Coefficiente seguridad Min	4.61

FUENTE: Elaboración propia

Los valores numéricos obtenidos del nuevo estudio con un acero estructura S355JR del modelo optimizado, muestra que está cumpliendo de una manera más efectiva que el modelo inicial y soportando con seguridad las condiciones de trabajo en las que se ve envuelto el apero.

Las tensiones obtenidas son las misma que el estudio del modelo optimizado con un acero S275JR, pero ahora para el caso de inclinación 0°, el coeficiente de seguridad mínimo ha sido de 2.46, se ha sobrepasado el valor numérico de 2 fijado como límite para considera que el diseño cumpla de manera indudable con su función.

Ilustración 37. Coeficiente de seguridad mínimo en el estudio del acero S355JR. Modelo optimizado



FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, se pueden optar por dos posibles variantes del modelo optimizado. Una sería este último cálculo del modelo optimizado con el material S355JR al obtenerse los mejores resultados de todos los estudios realizados, alcanzando un factor mayor a 2 en el caso más desfavorable, siendo la más conservadora de todas las posibles soluciones. Y la opción más arriesgada, que sería aplicar al modelo optimizado un acero S275JR, que tiene un menor coeficiente de seguridad que el estudio del material S355JR, pero que presenta una ventaja en el aspecto económico, por ser un acero menos costoso, al tener un precio más bajo (€/kg) que el acero S355JR.

7. CONCLUSIONES

Este trabajo fin de grado pretende analizar, como se ha señalado en la introducción, el diseño actual de un apero de recolección de aceitunas, exactamente de la estructura dedicada al almacenaje del fruto, y estudiar las mejoras necesarias a aplicar para optimizarlo. Para ello, se han aplicado las condiciones a las que está sometida la máquina en una operativa normal de trabajo sobre un modelo de elementos finitos desarrollado con el programa SolidWorks, generando diversos estudios que representan todas las situaciones posibles de carga. Tras realizar el cálculo del modelo inicial, con diferentes tipos de materiales supuestos, se han analizado los resultados obtenidos.

En el caso del diseño actual del apero, para un acero S235JR no se alcanza el punto de plastificación, al no superarse las tensiones de diseño en ningún momento el límite elástico en todos los estudios realizados, siendo el más desfavorable el caso de inclinación de 0° respecto a la horizontal, posición principal de trabajo del apero. El segundo análisis, esta vez utilizando como material un acero S275JR, mejora todos los valores de coeficientes de seguridad, debido a que la aplicación de este material implica el aumento del límite elástico, como no hay otras diferencias respecto a los estudios realizados con el primer material, las tensiones han sido las mismas, creciendo el margen entre la tensión máxima producida y el valor del límite elástico, esto se traduce en una mayor seguridad a la hora de trabajar el apero en estas condiciones. Sin embargo, el valor de 1.24 que se produce en el caso de reposo, está lejos del que se ha decidido como necesario para considerar que el apero esté cumpliendo los mínimos de diseño.

Esto descarta las posibles variantes analizadas del modelo inicial por no cumplir con lo esperado, orientando la tarea de optimización a conseguir un aumento de las prestaciones de la estructura.

Los resultados llevan a realizar una serie de modificaciones, intentando que sean lo más sencillas posibles, para que pueda existir la posibilidad de aplicarlas a la estructura actual sin suponer una dificultad excesiva.

Se orienta la búsqueda a encontrar una serie de componentes que permitan conseguir los objetivos de diseño planteados, centrándonos en el diseño de la parte frontal trasera, por ser la zona con los valores más altos en las tensiones producidas.

Con las modificaciones aplicadas y realizado el cálculo de nuevo, se puede afirmar que se han conseguido mejorar las prestaciones respecto al diseño inicial quedando, por último, reflexionar cuál de las variantes del modelo optimizado se deberían de aplicar dependiendo de los puntos que se consideren más relevantes. Si el punto principal es el aspecto económico, la mejor opción sería la del modelo optimizado con un acero S275JR que no sobrepasa los valores mínimos de diseño, pero está muy cercano. Pero si, por otra parte, se quiere conseguir un modelo que cumpla de manera holgada con las especificaciones deseadas, la mejor opción sería aplicar el último material estudiado, acero S355JR. Esto dependerá únicamente del camino que se quiera seguir.

En definitiva, si se tuviera que realizar la tarea para la que está pensada el apero, que es la recolección de aceitunas, el diseño utilizado para el objeto de este estudio estaría obsoleto. Comparando diseños de otros aperos actuales, que desempeñan la misma función que el apero que estamos estudiando, emplean para su fabricación chasis de aluminio, lo que conlleva una reducción del peso de la propia estructura contando con capacidades de transporte de carga de fruto similares a las de este modelo. Para este estudio, en concreto, no se ha podido utilizar aluminio porque los procesos de fabricación no son similares, en el apero estudiado la estructura está formada por perfiles soldados de diferentes secciones, mientras que los creados con aluminio emplean principalmente piezas conformadas por técnicas como la embutición.

8. BIBLIOGRAFÍA

- López Saucedo, J. A. 2005. Análisis de la estructura y elementos del Auto Deportivo “MXT” de Tecnoidea SA de CV para el análisis de esfuerzo y deformación generadas por cargas estáticas, así como su optimización mediante su simulación, empleando el Método de Elementos Finitos en ALGOR FEA. Tesis Licenciatura. Ingeniería Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica,
- Calvo Calzada, Begoña. Apuntes de elementos finitos / Begoña Calvo, Miguel A. Martínez, Estefanía Peña. (2017) Stylo digital
- Canalís Martínez, Paula / Malón Litago, Hugo / Tobajas Alonso, Rafael. Apuntes asignatura Calculo de elementos de maquinas
- Tutoriales SolidWorks
- Gere, James. Timoshenko: Resistencia de materiales. (2002) Thomson paraninfo
- Catálogo de propiedades mecánicas de aceros estructurales: <http://prontuarios.info/materiales/acero>

9. ANEXOS

En este apartado se recogen todos anexos de este trabajo.



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

Análisis y optimización de un apero agrícola para la recolección de aceitunas

English tittle:

Analysis and optimization of an agricultural implement for olives harvest

Anexo 1: Medidas iniciales del modelo inicial

Autor/es

David Gimeno Lafuente

Director/es

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2019

ÍNDICE

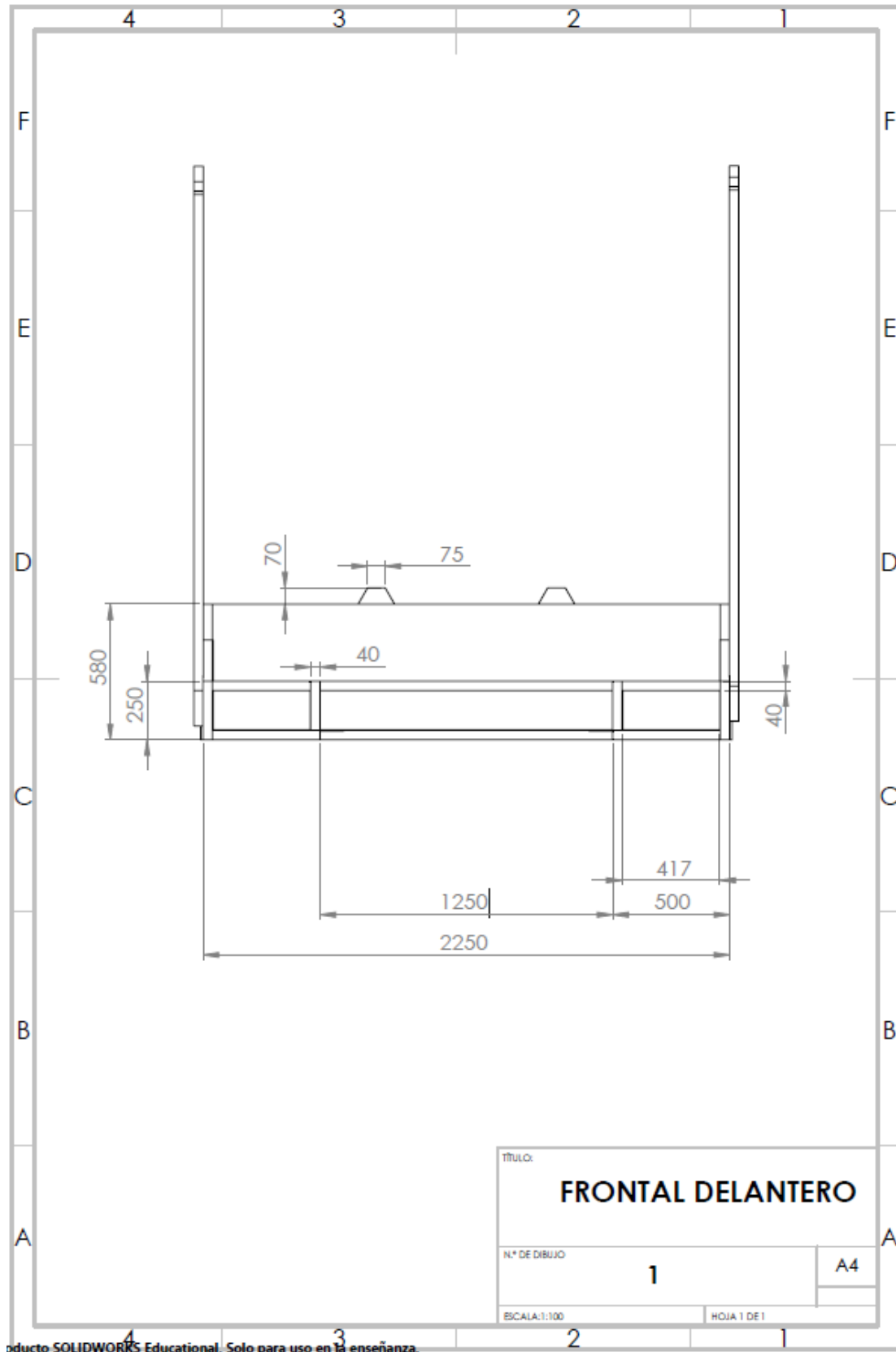
1. RESUMEN DEL CONTENIDO DEL ANEXO 1	3
2. PLANO 1. FRONTAL DELANTERO	4
3. PLANO 2.1 PERFIL	5
4. PLANO 2.2 PERFIL	6
5. PLANO 3 FRONTAL TRASERO	7
6. PLANO 4 PLANTA	8
7. PLANO 5 ENGANCHE	9
8. PLANO 6 BRAZO CIRCULAR	10

1. RESUMEN DEL CONTENIDO DEL ANEXO 1

El siguiente anexo pretende recoger los valores de las mediciones realizadas y obtenidas del modelo real en una serie de planos que representa las posibles vistas del modelo, intentado que sean los más descriptivas posibles.

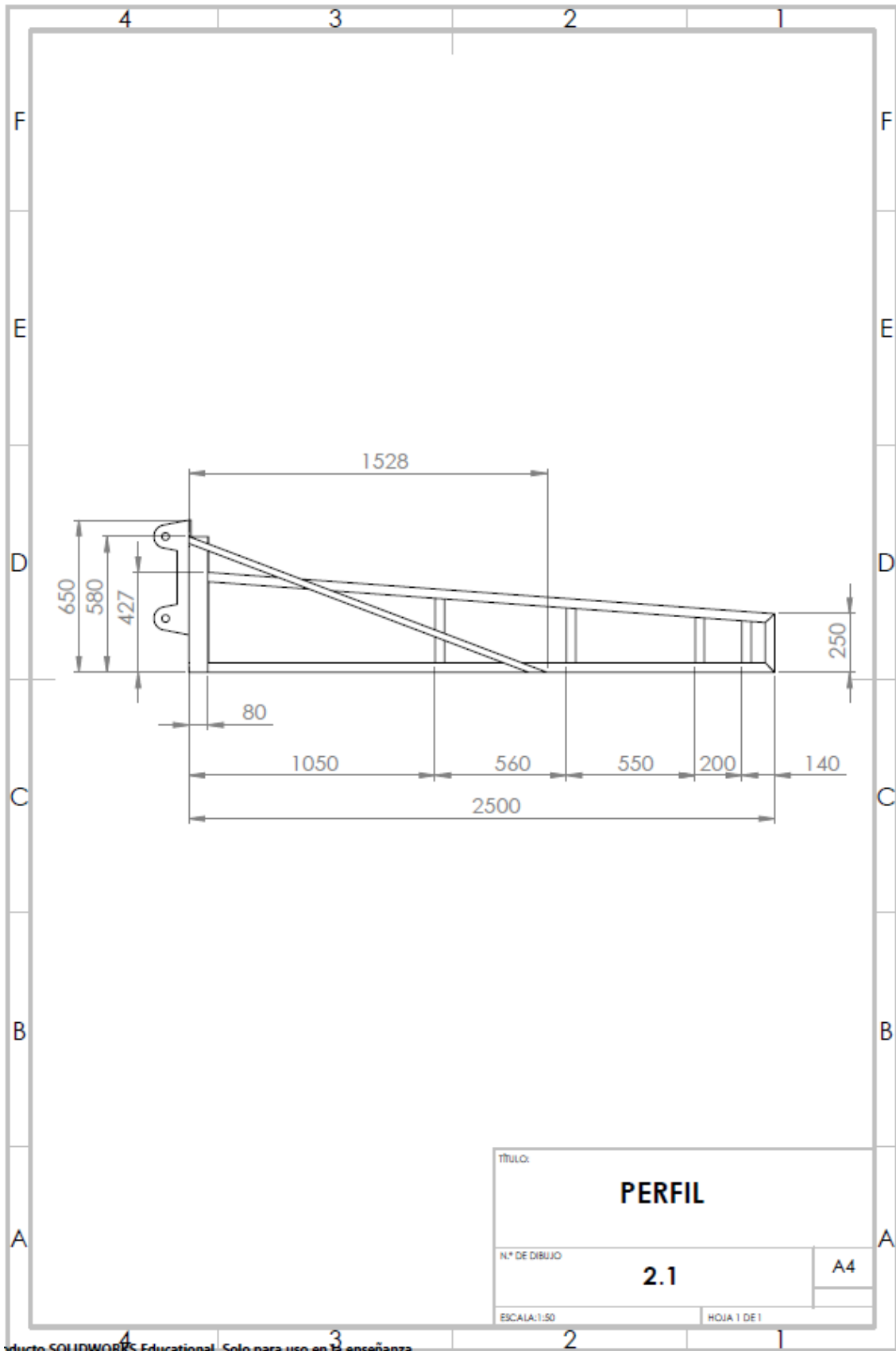
Todos los valores representados están indicados en milímetros.

2. PLANO 1. FRONTAL DELANTERO

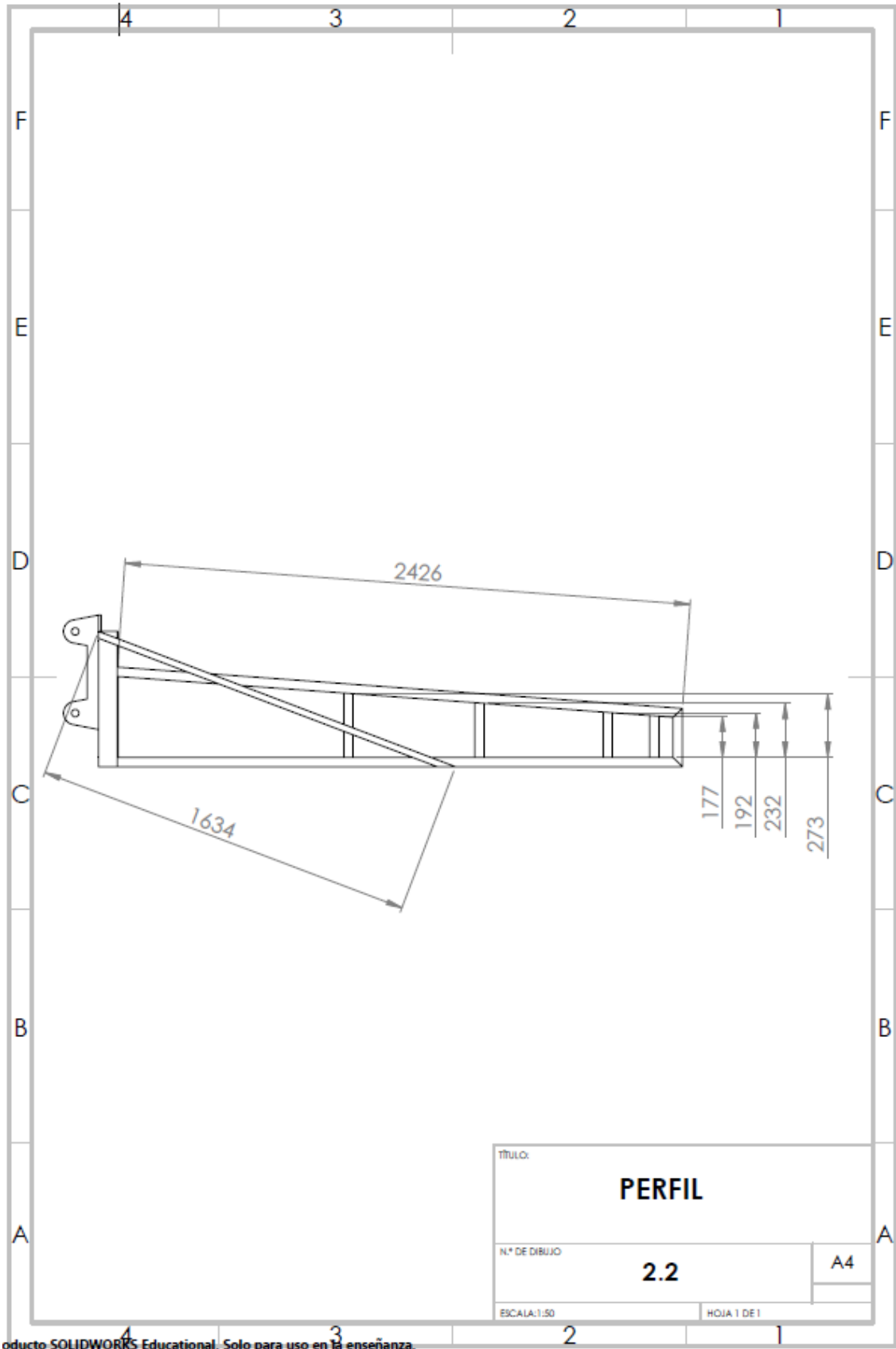


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

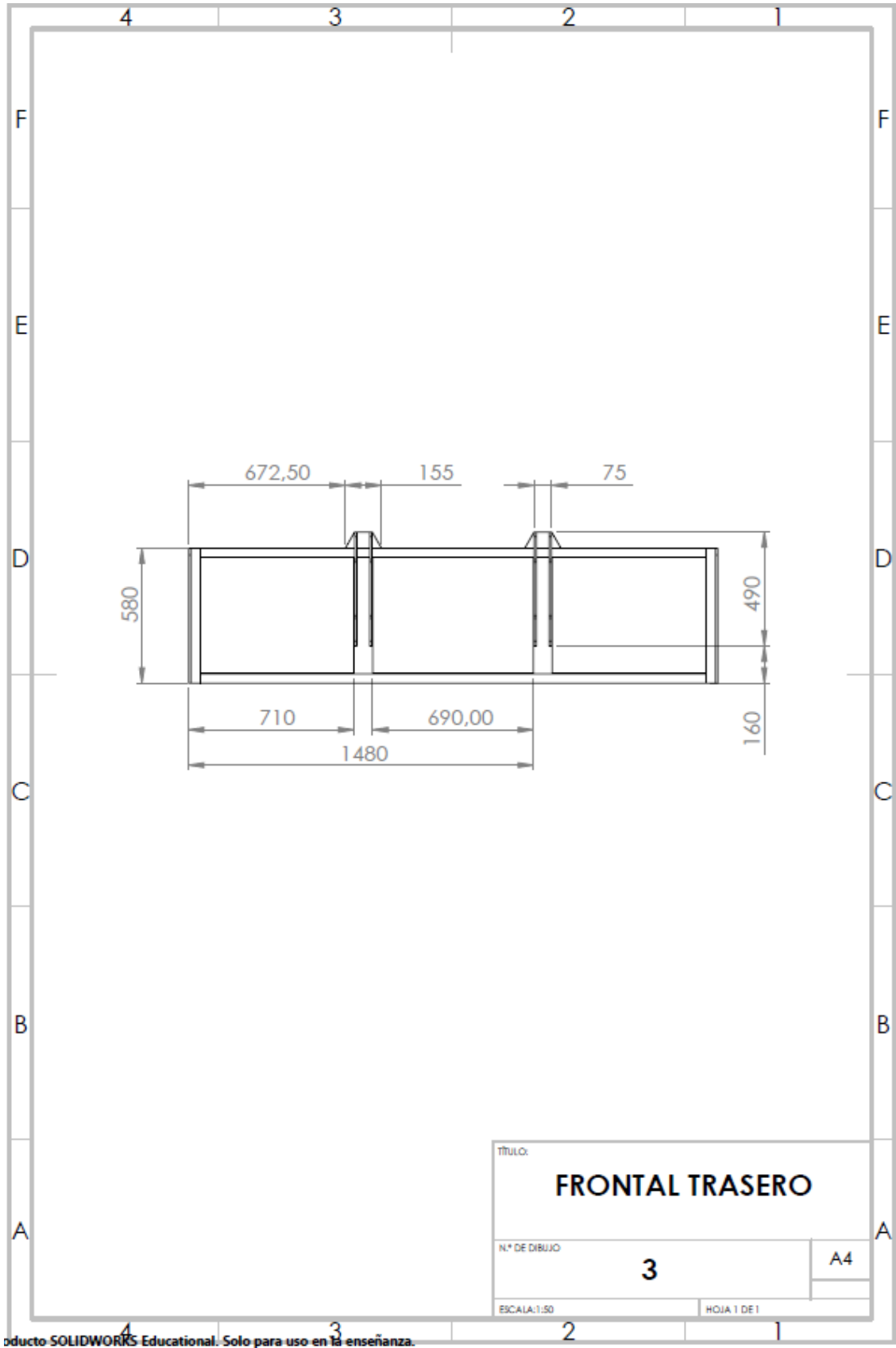
3. PLANO 2.1 PERFIL



4. PLANO 2.2 PERFIL

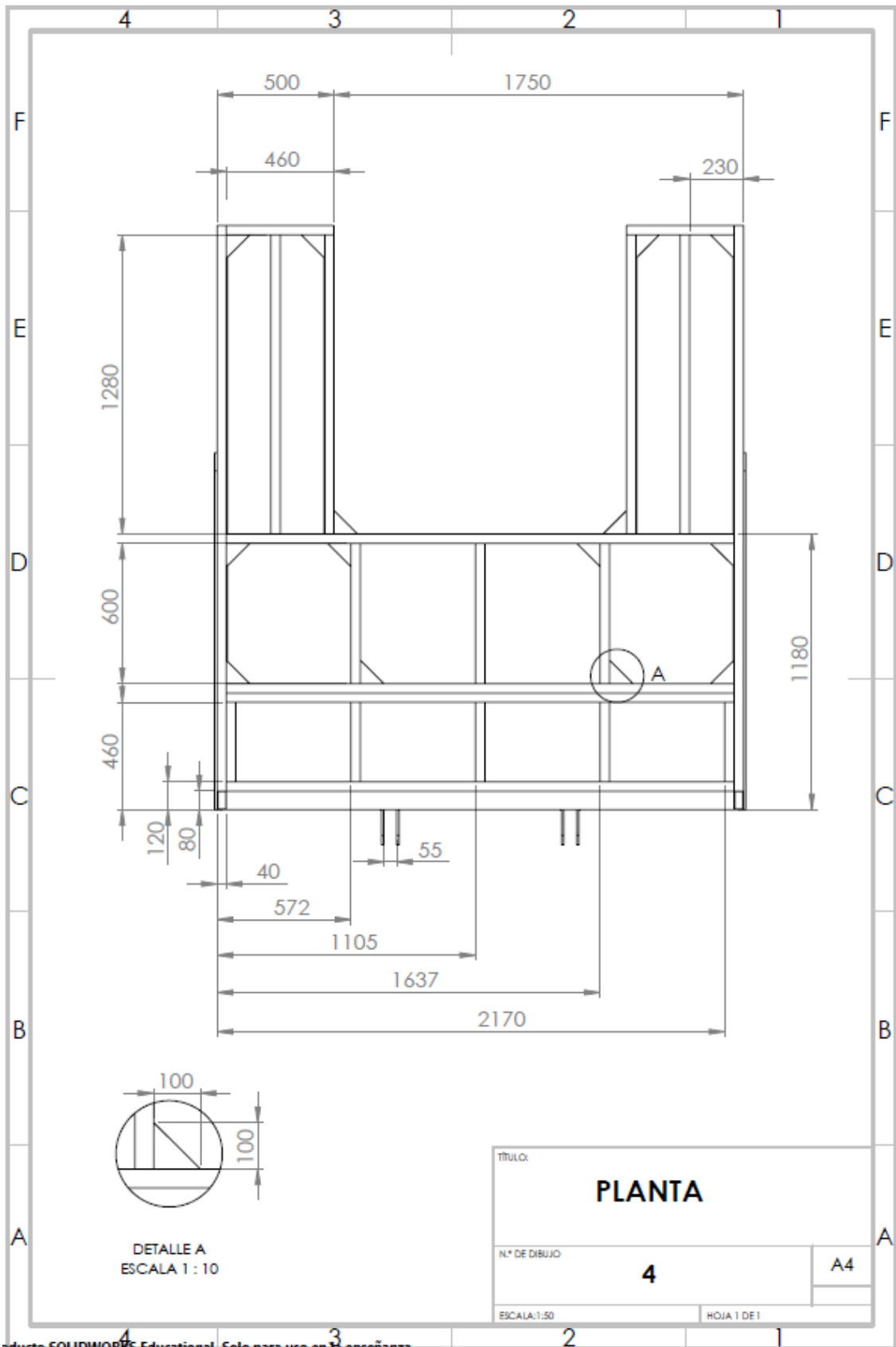


5. PLANO 3 FRONTAL TRASERO

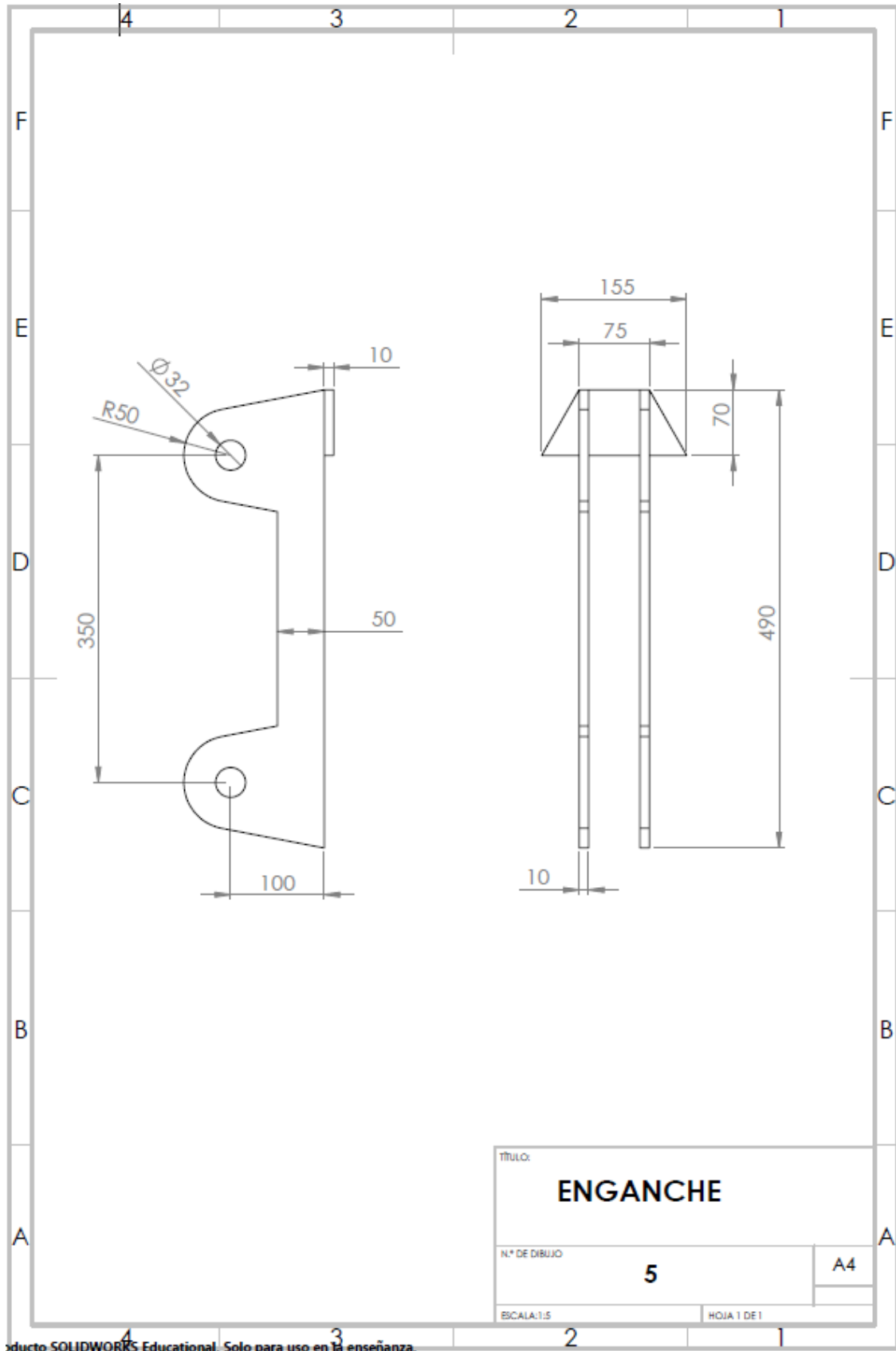


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

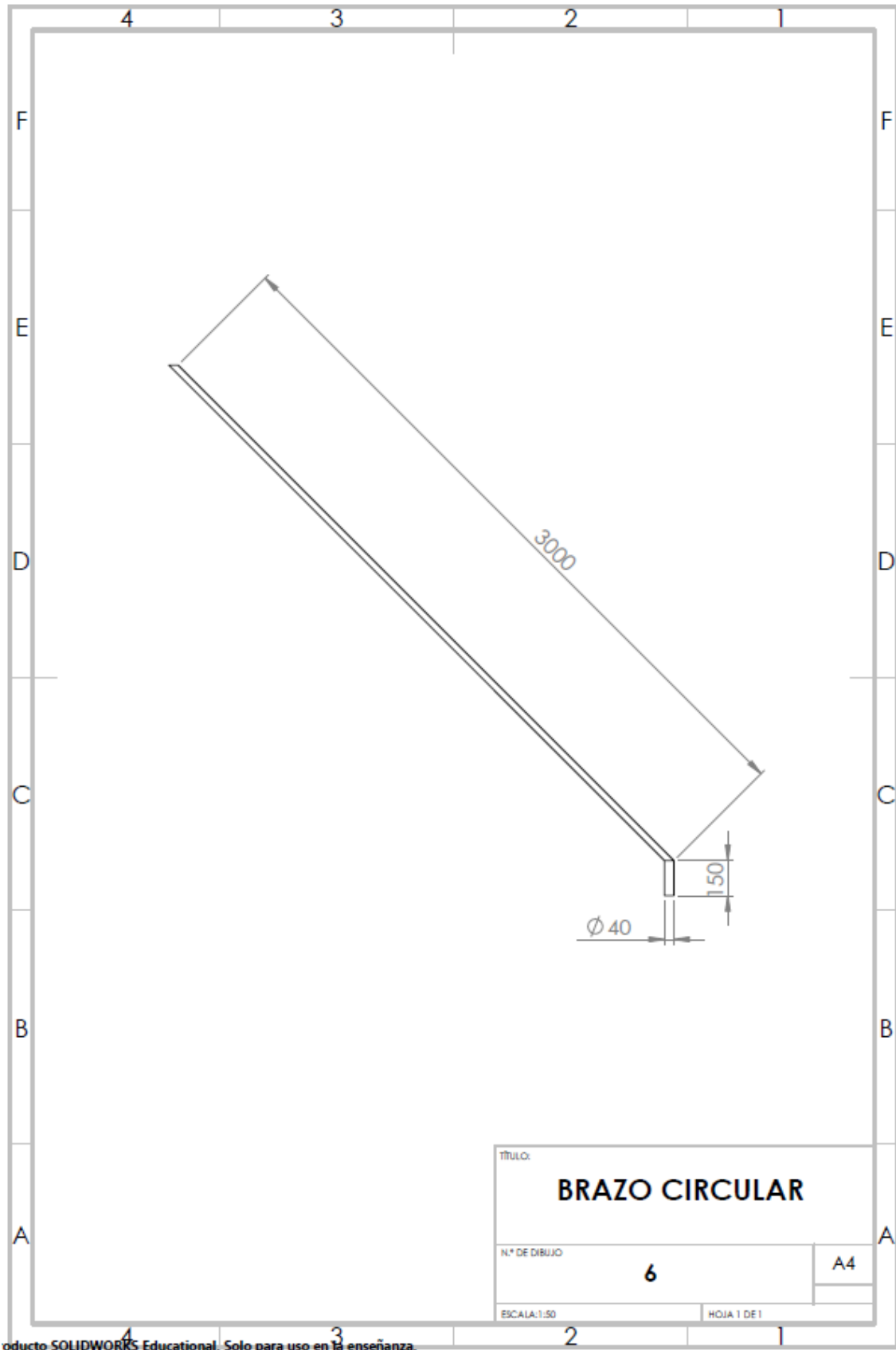
6. PLANO 4 PLANTA



7. PLANO 5 ENGANCHE



8. PLANO 6 BRAZO CIRCULAR





Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

Análisis y optimización de un apero agrícola para la recolección de aceitunas

English tittle:

Analysis and optimization of an agricultural implement for olives harvest

Anexo 2. Resultados del modelo inicial

Autor/es

David Gimeno Lafuente

Director/es

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2019

ÍNDICE

1. RESUMEN DEL CONTENIDO DEL ANEXO 2	3
2. RESULTADOS MODELO INICIAL CON UN ACERO S235JR	3
2.1. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 0° grados de inclinación.....	3
2.2. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 10° grados de inclinación.....	5
2.3. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 20° grados de inclinación.....	7
2.4. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 30° grados de inclinación.....	9
2.5. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 45° grados de inclinación.....	11
3. RESULTADOS MODELO INICIAL CON UN ACERO S275JR	13
3.1. Resultados modelo inicial con un acero S275JR. 0° grados de inclinación	13
3.2. Resultados modelo inicial con un acero S275JR 10° grados de inclinación	14
3.3. Resultados modelo inicial con un acero S275JR 20° grados de inclinación	17
3.4. Resultados modelo inicial con un acero S275JR 30° grados de inclinación	19
3.5. Resultados modelo inicial con un acero S275JR 45° grados de inclinación	21

1. RESUMEN DEL CONTENIDO DEL ANEXO 2

Este anexo pretende representar de una manera más extensa todos los resultados obtenidos en el cálculo de modelo inicial para cada uno de los materiales estudiados y casos de inclinación respecto a la horizontal.

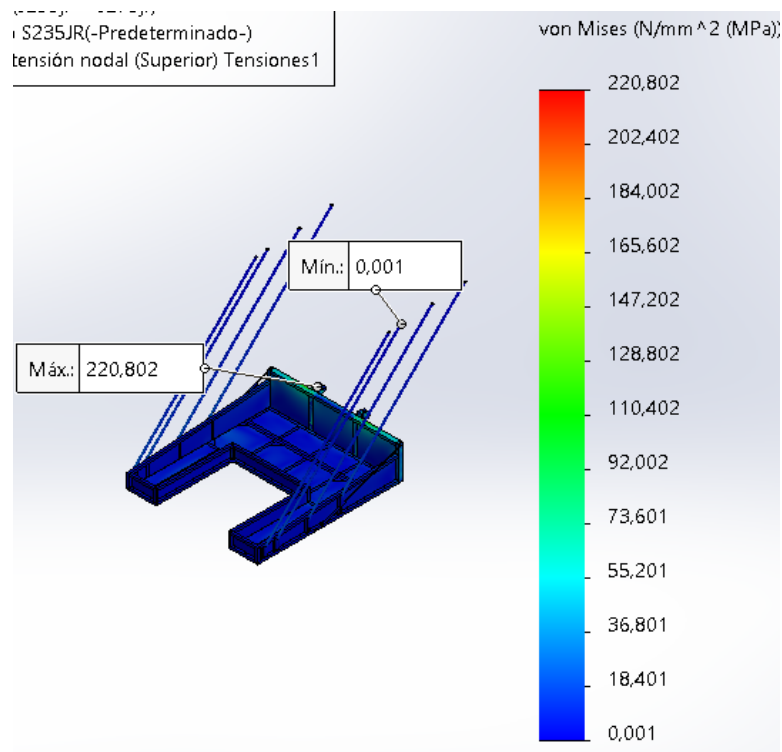
Donde los posibles casos de inclinación llevados a cabo han sido cinco. Estos son los siguientes:

- Inclinación 0° respecto horizontal
- Inclinación 10° respecto horizontal
- Inclinación 20° respecto horizontal
- Inclinación 30° respecto horizontal
- Inclinación 45° respecto horizontal

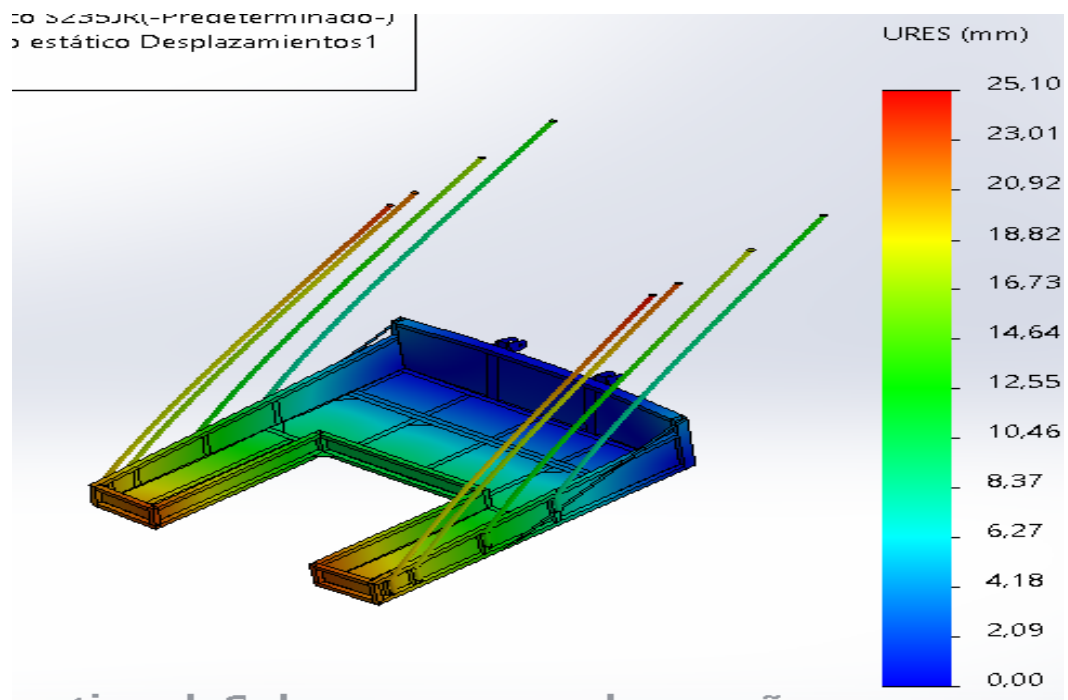
2. RESULTADOS MODELO INICIAL CON UN ACERO S235JR

2.1. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 0° grados de inclinación

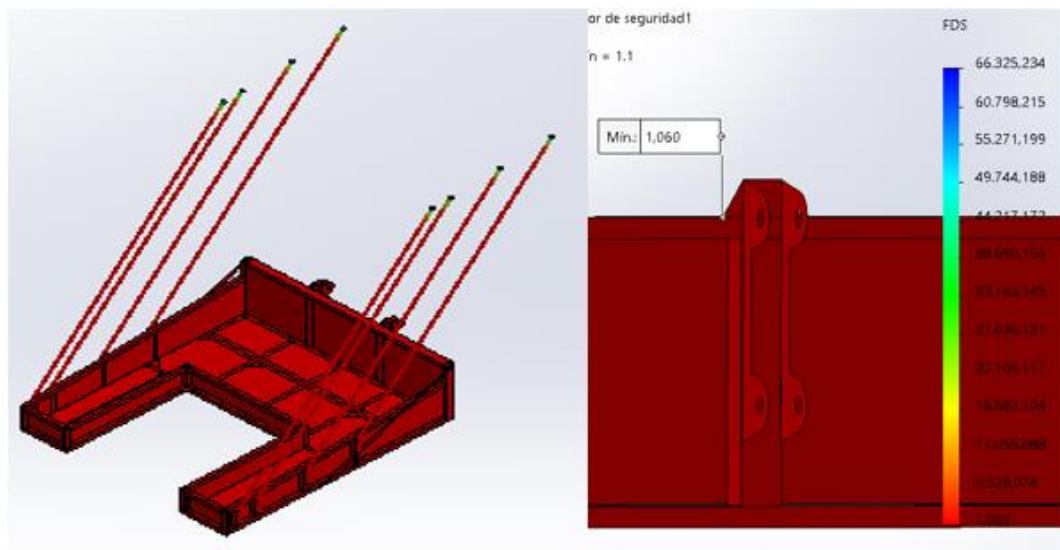
- Distribución de tensiones



▪ Distribución de desplazamientos

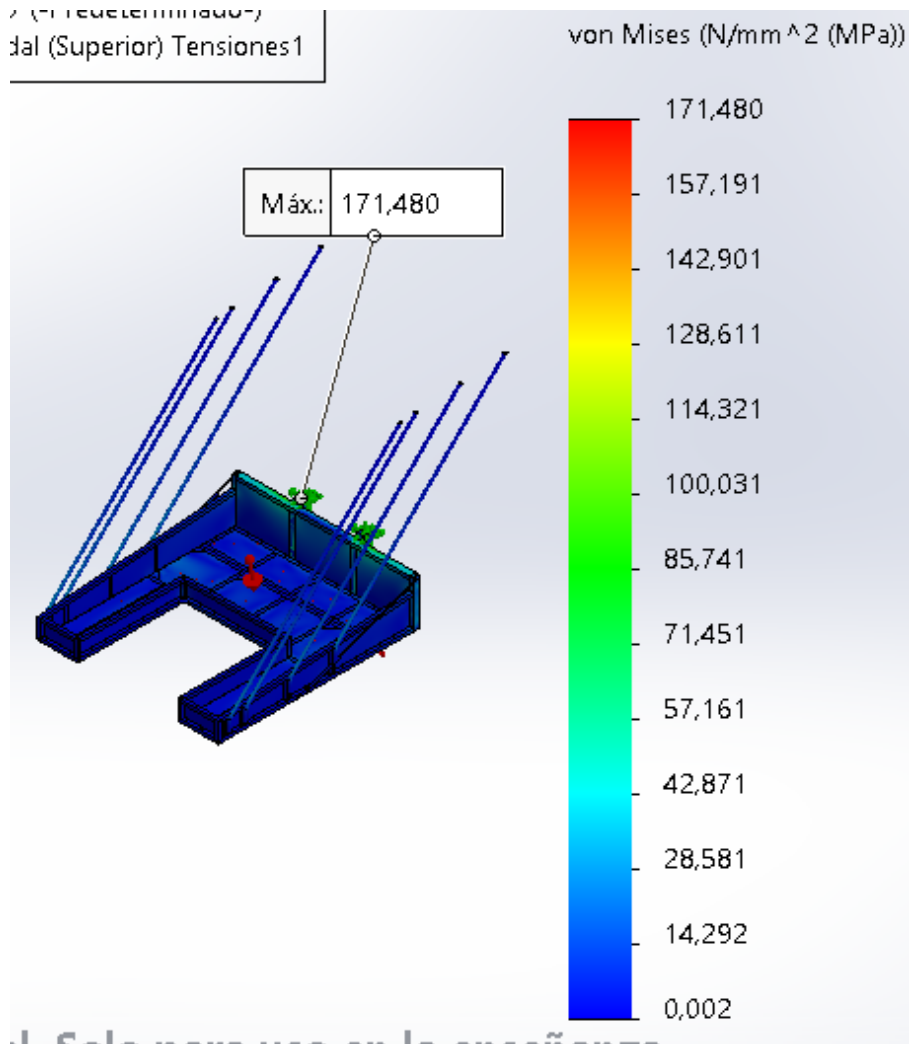


▪ Distribución del coeficiente de seguridad

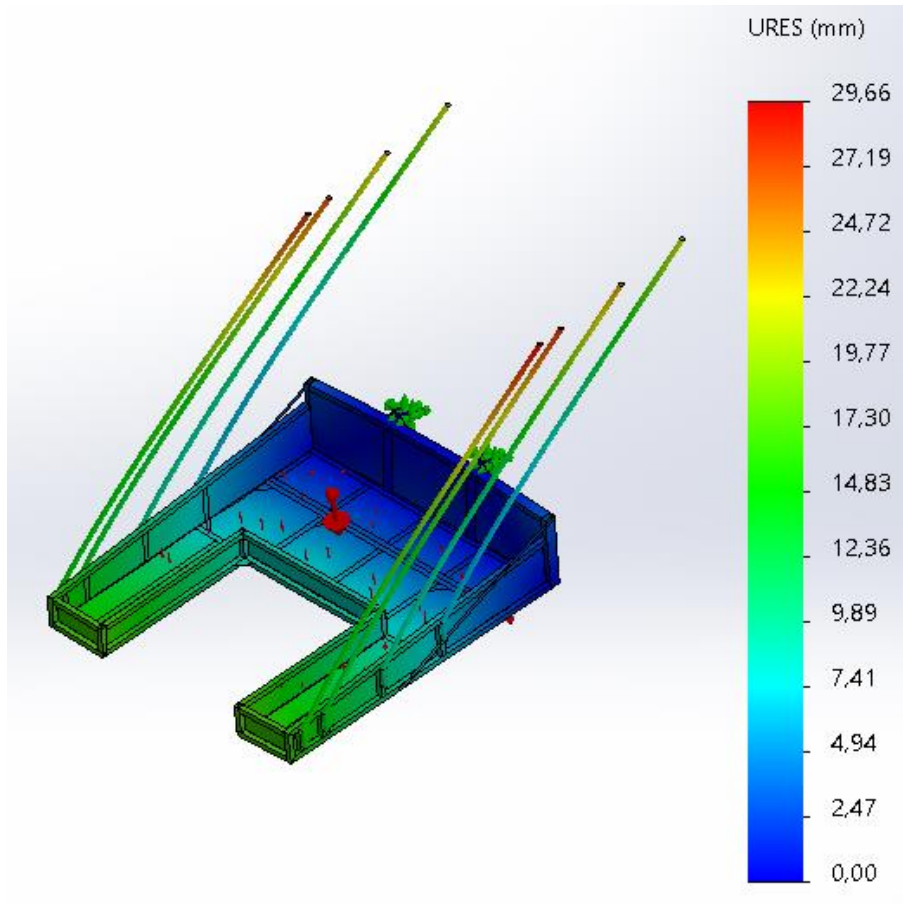


2.2. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 10º grados de inclinación

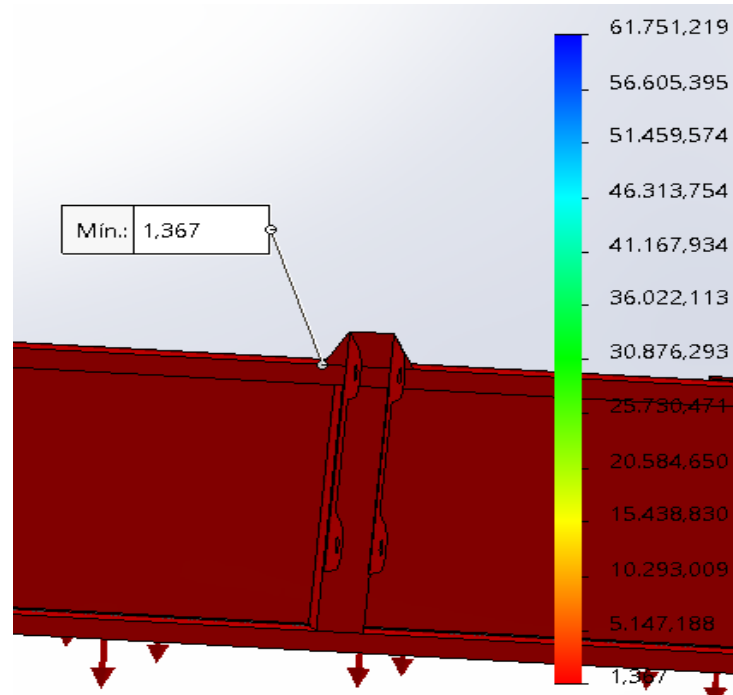
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos

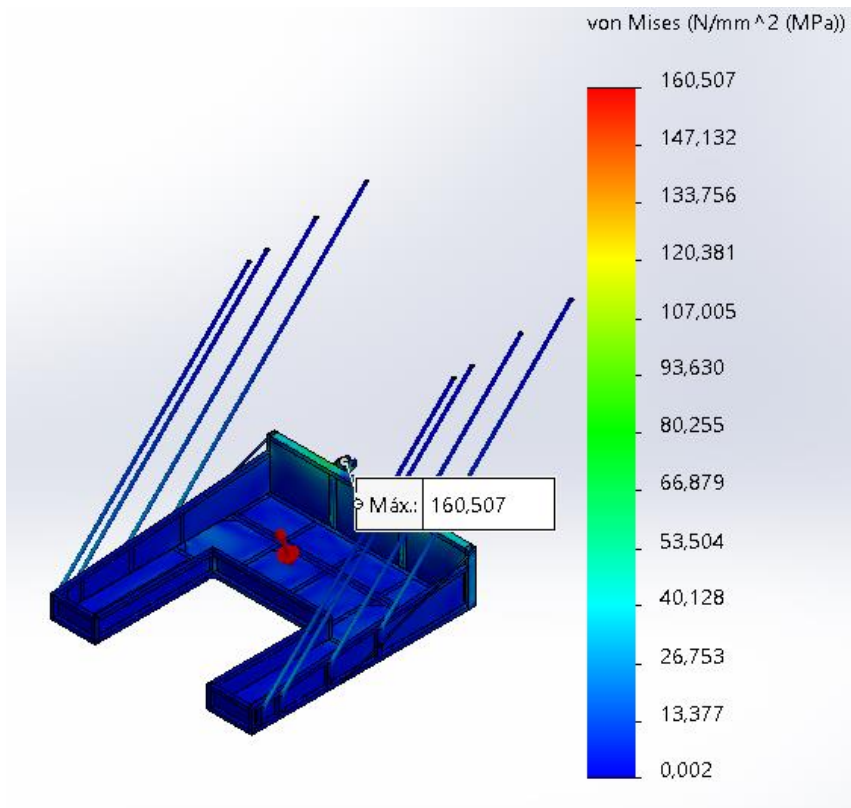


- Distribución del coeficiente de seguridad

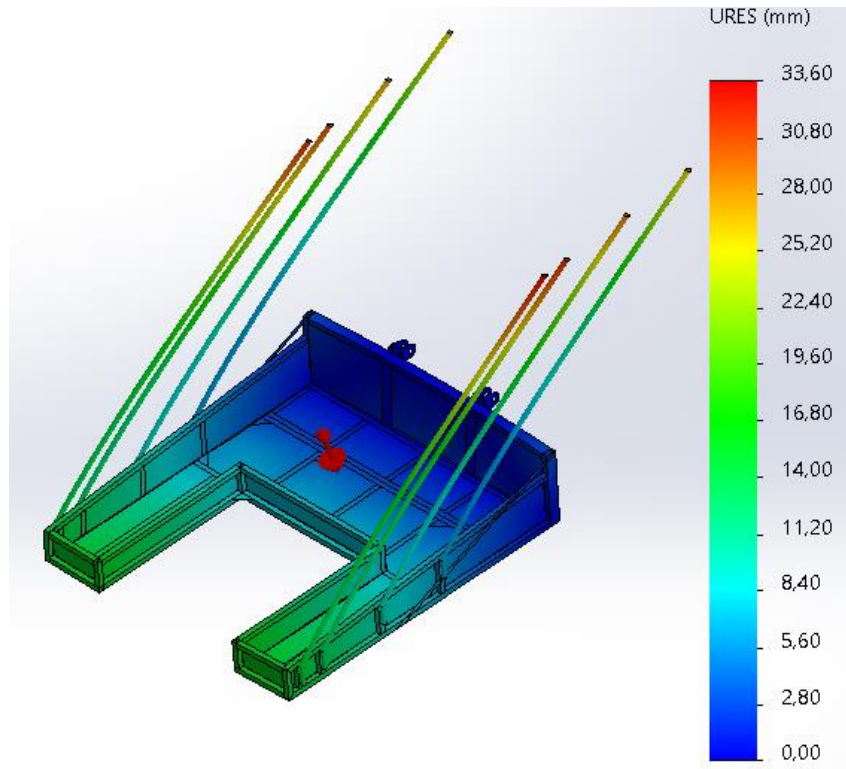


2.3. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 20° grados de inclinación

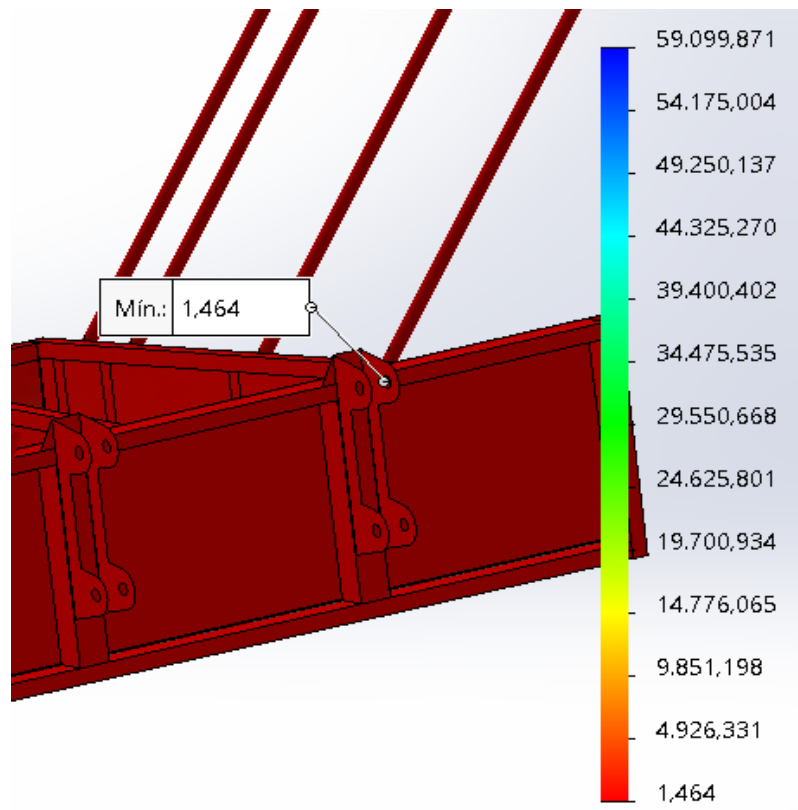
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos



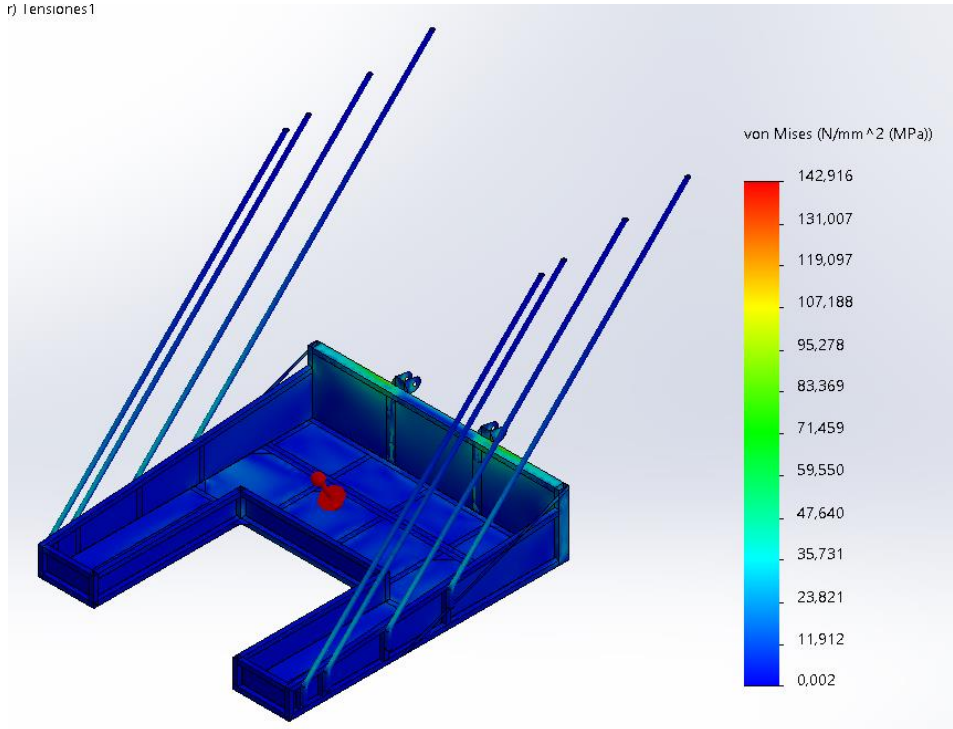
- Distribución del coeficiente de seguridad



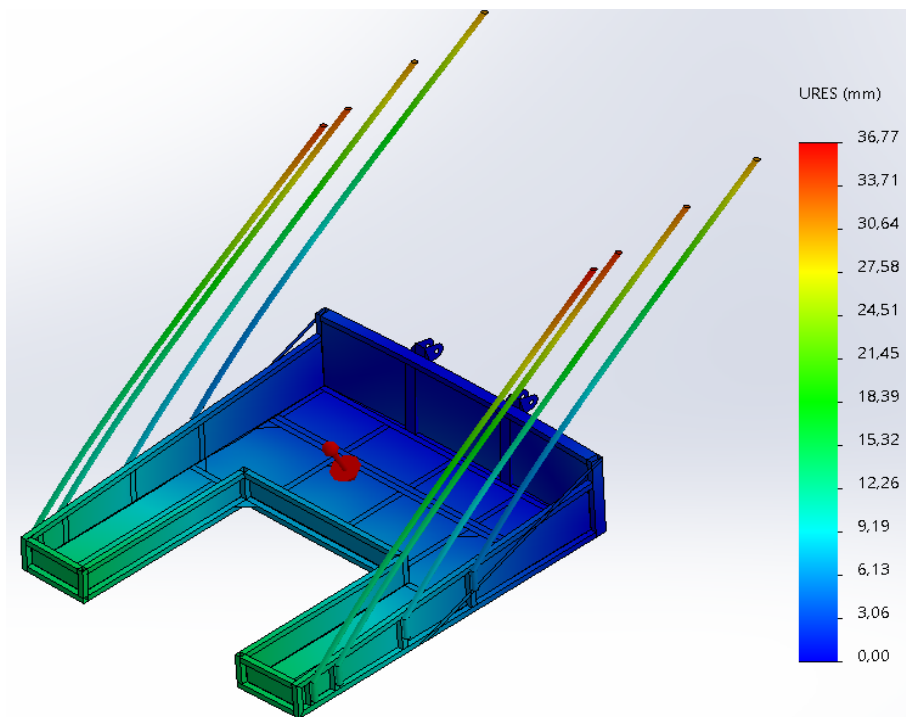
2.4. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 30° grados de inclinación

▪ Distribución de tensiones

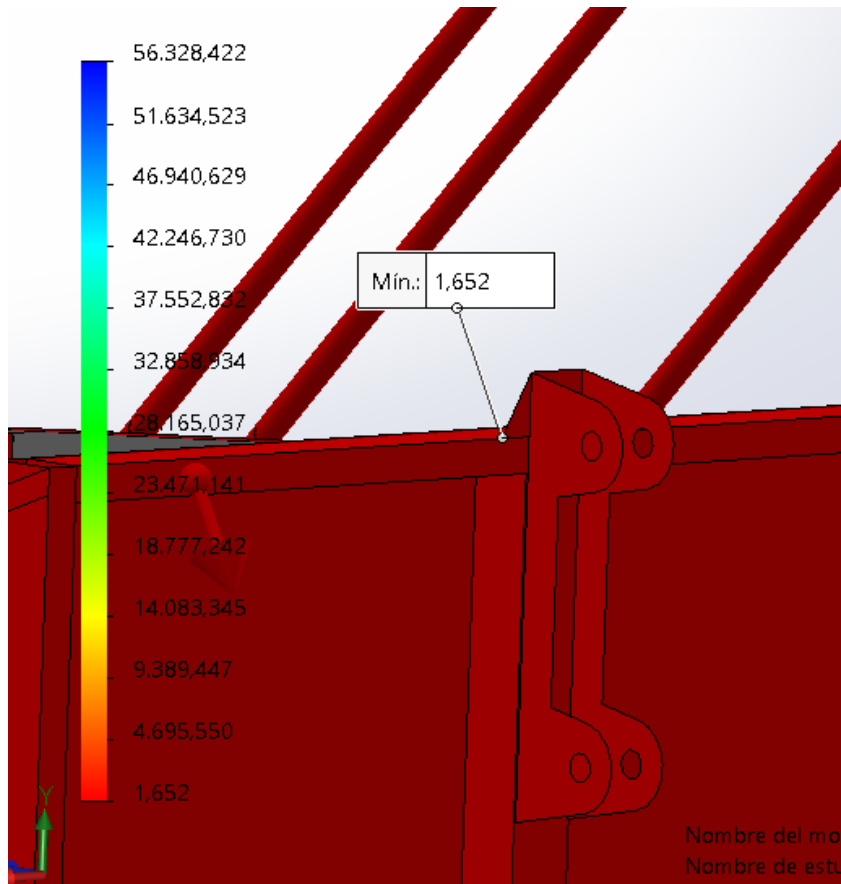
r) Tensiones1



▪ Distribución de desplazamientos

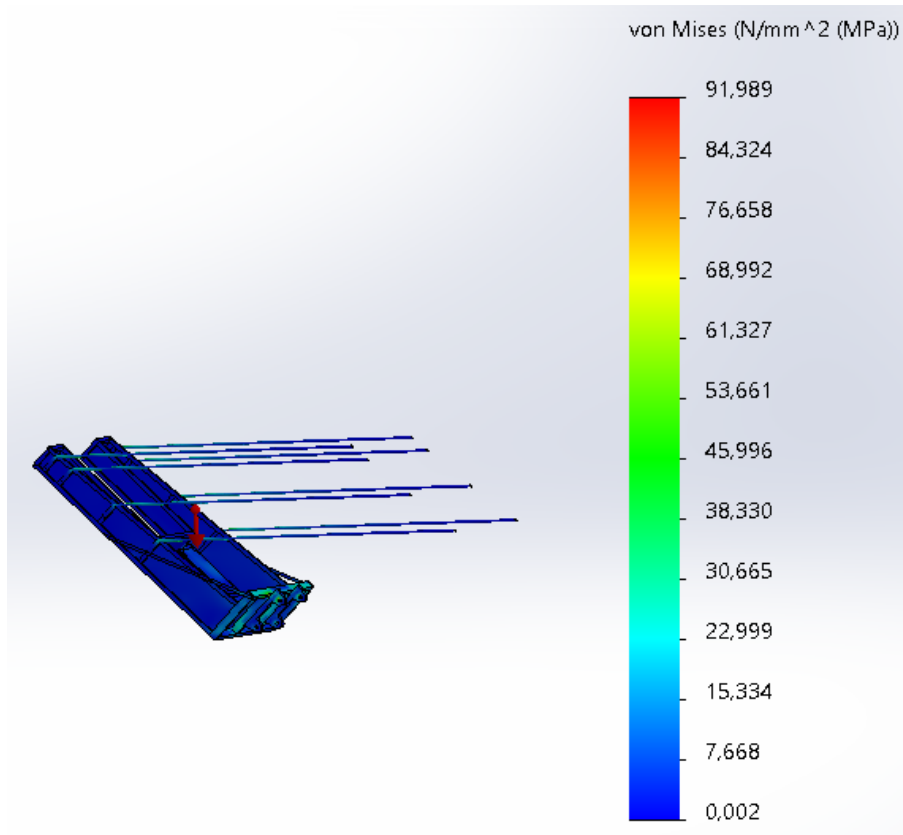


- Distribución del coeficiente de seguridad

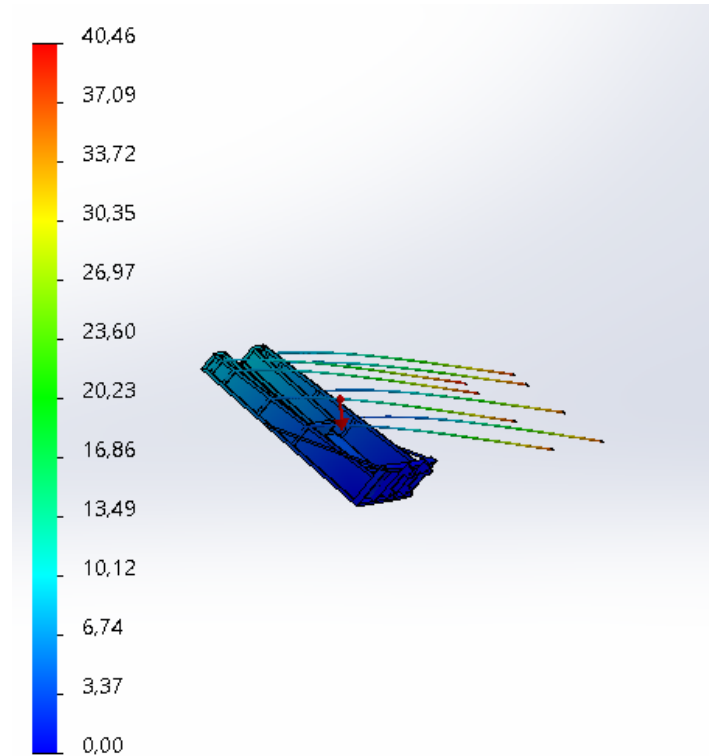


2.5. Resultados modelo inicial con un acero s235jr. 45° grados de inclinación

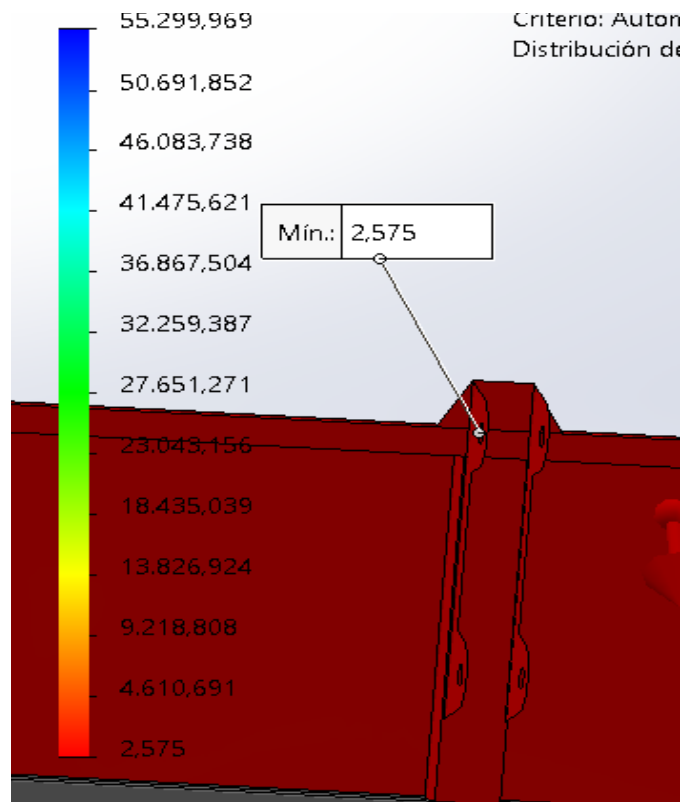
- Distribución de tensiones



▪ Distribución de desplazamientos



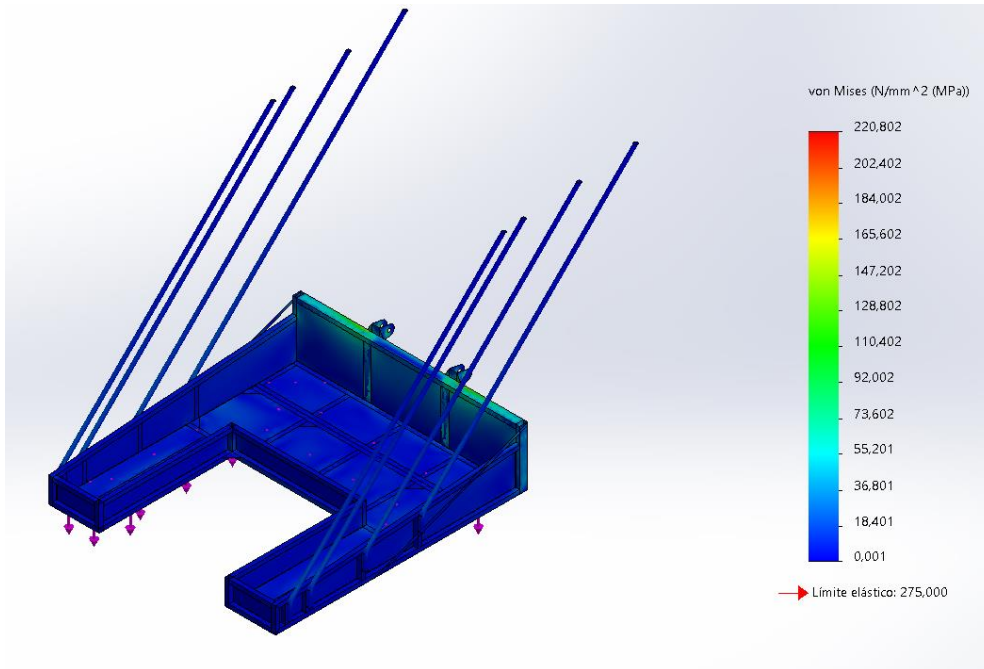
▪ Distribución del coeficiente de seguridad



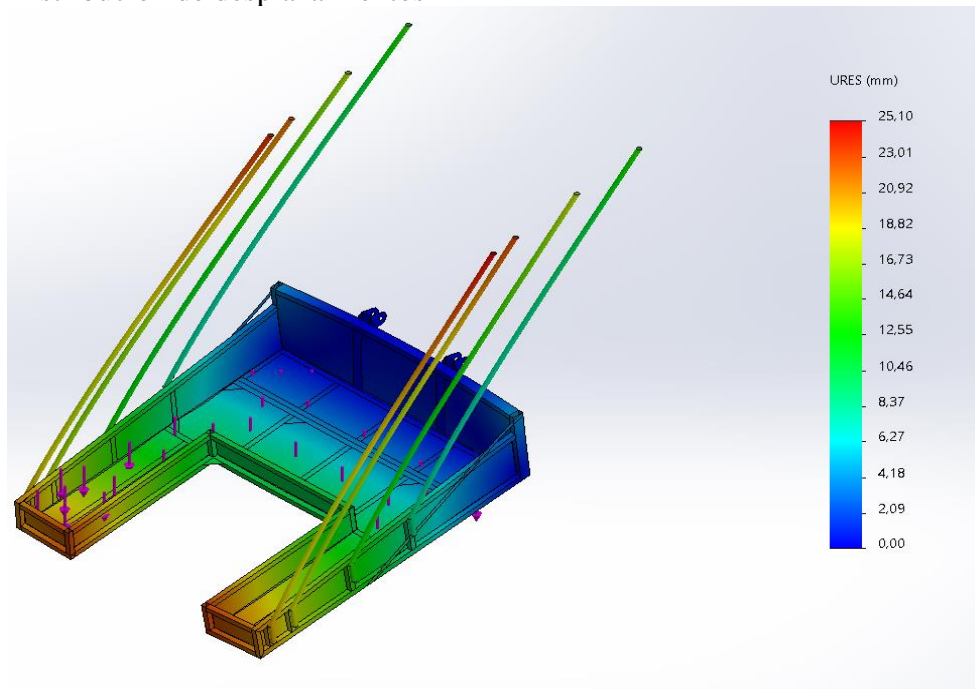
3. RESULTADOS MODELO INICIAL CON UN ACERO S275JR

3.1. Resultados modelo inicial con un acero S275JR. 0° grados de inclinación

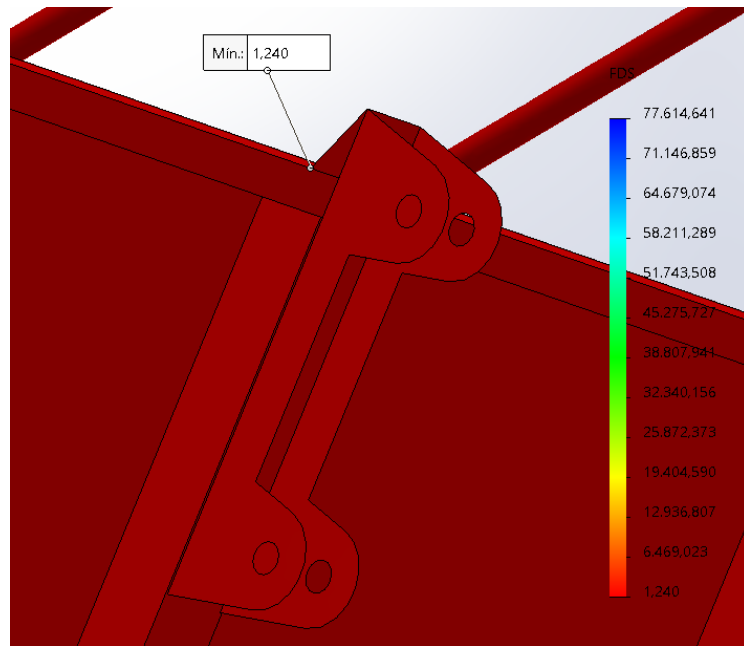
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos



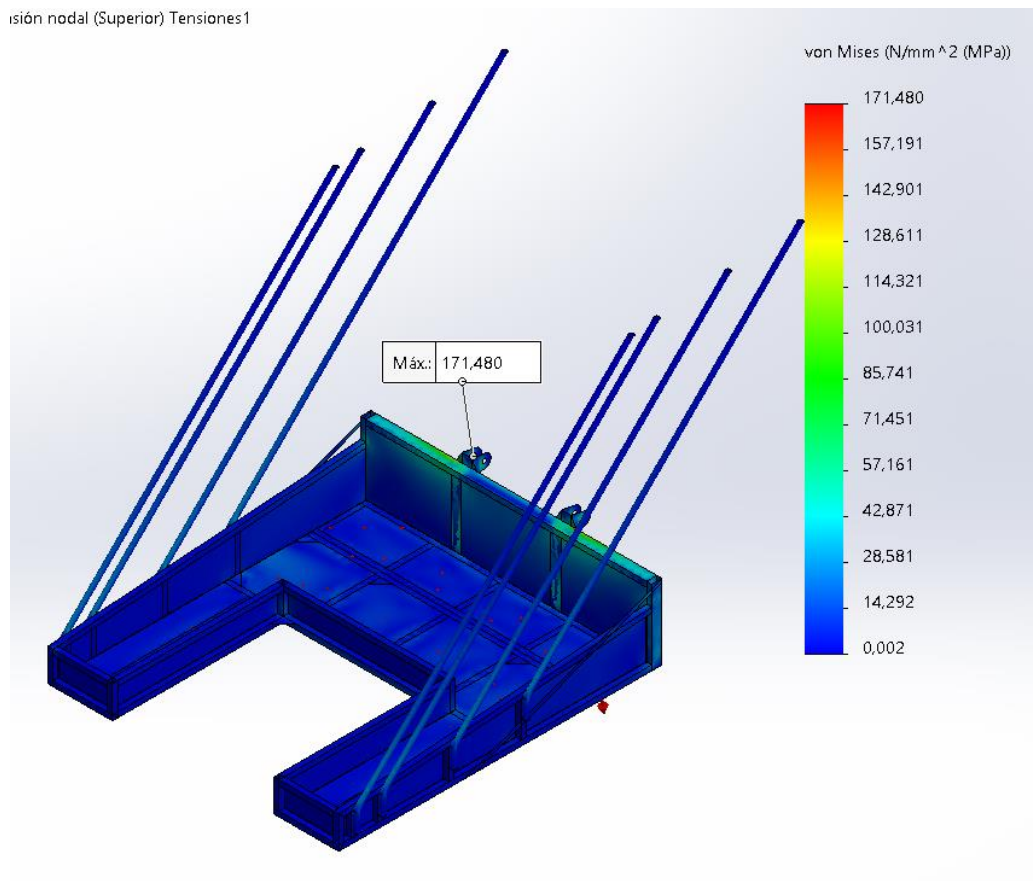
- Distribución del coeficiente de seguridad



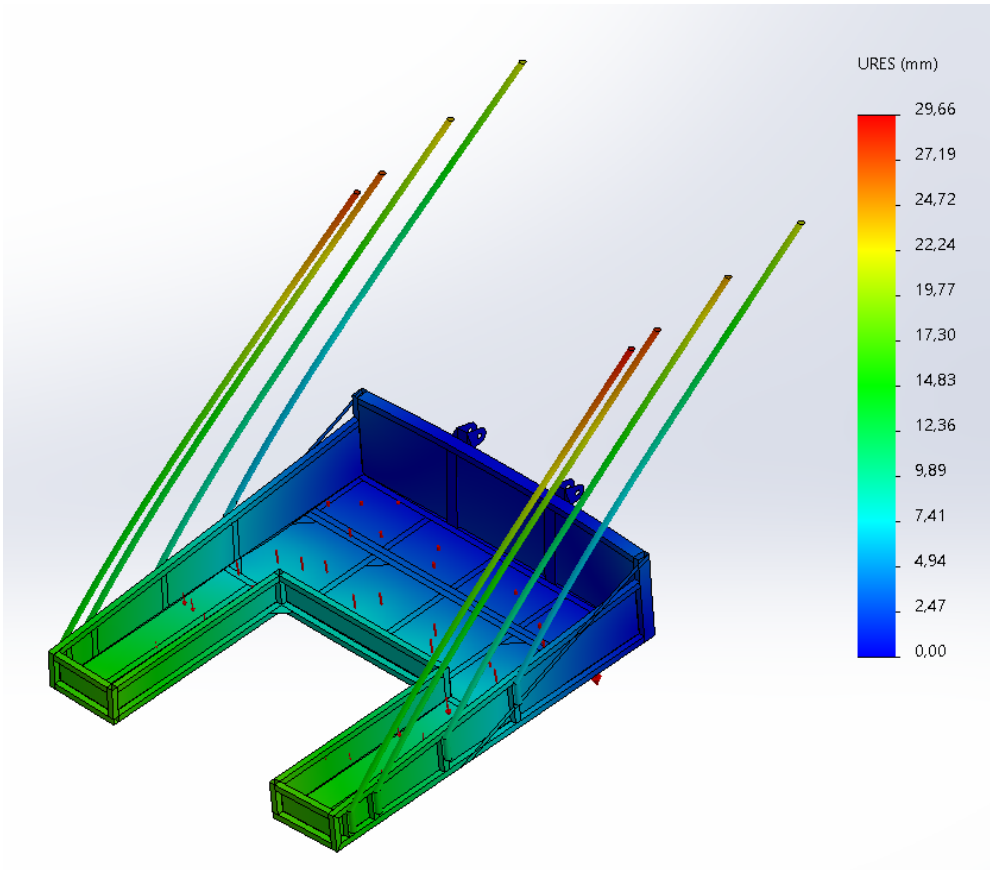
3.2. Resultados modelo inicial con un acero S275JR 10° grados de inclinación

- Distribución de tensiones

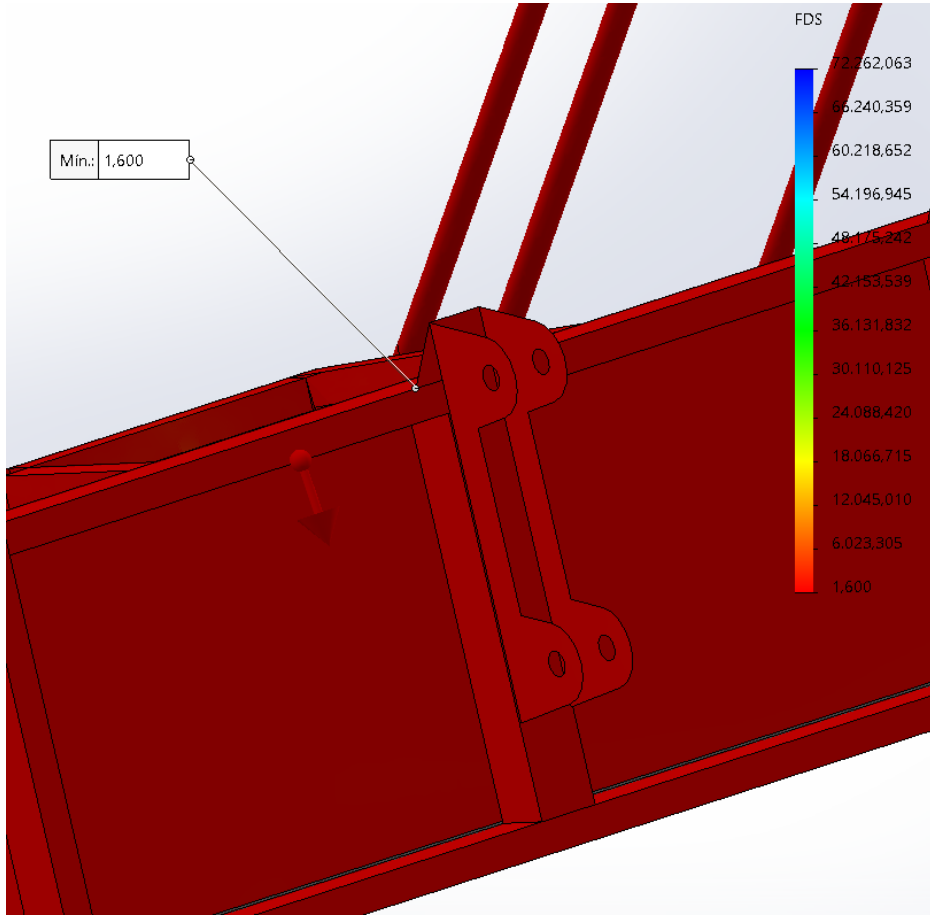
ión nodal (Superior) Tensiones1



- Distribución de desplazamientos

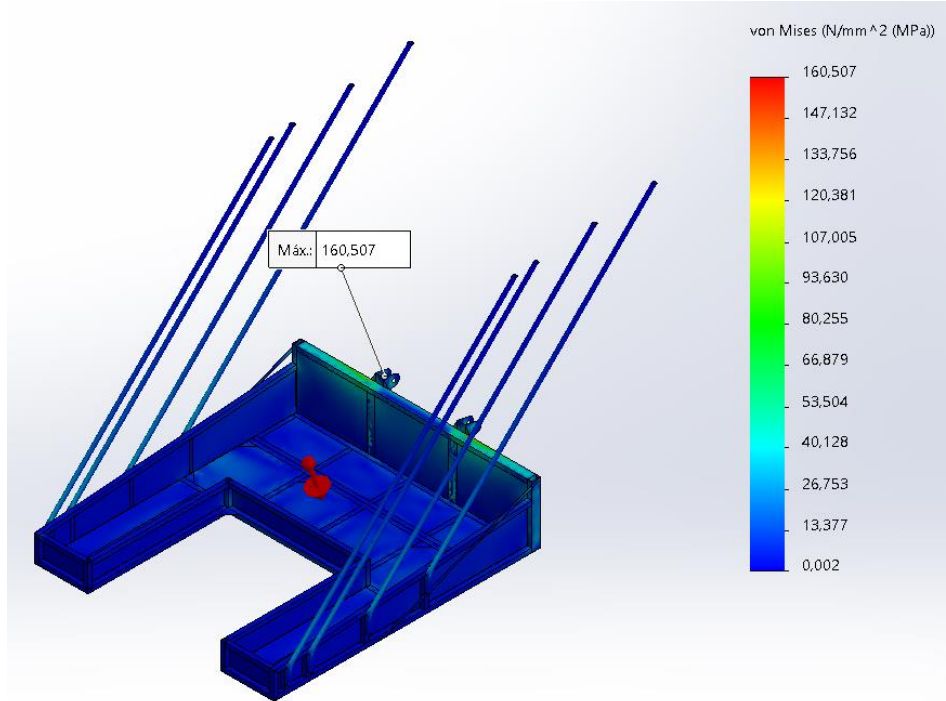


- Distribución del coeficiente de seguridad

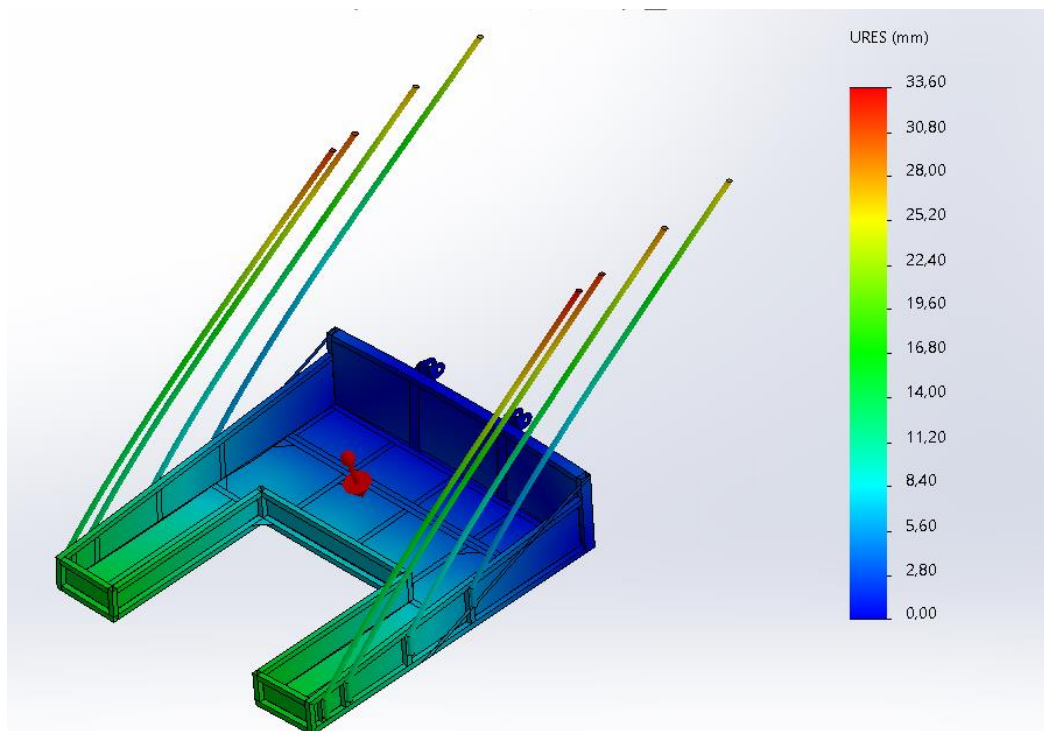


3.3. Resultados modelo inicial con un acero S275JR 20° grados de inclinación

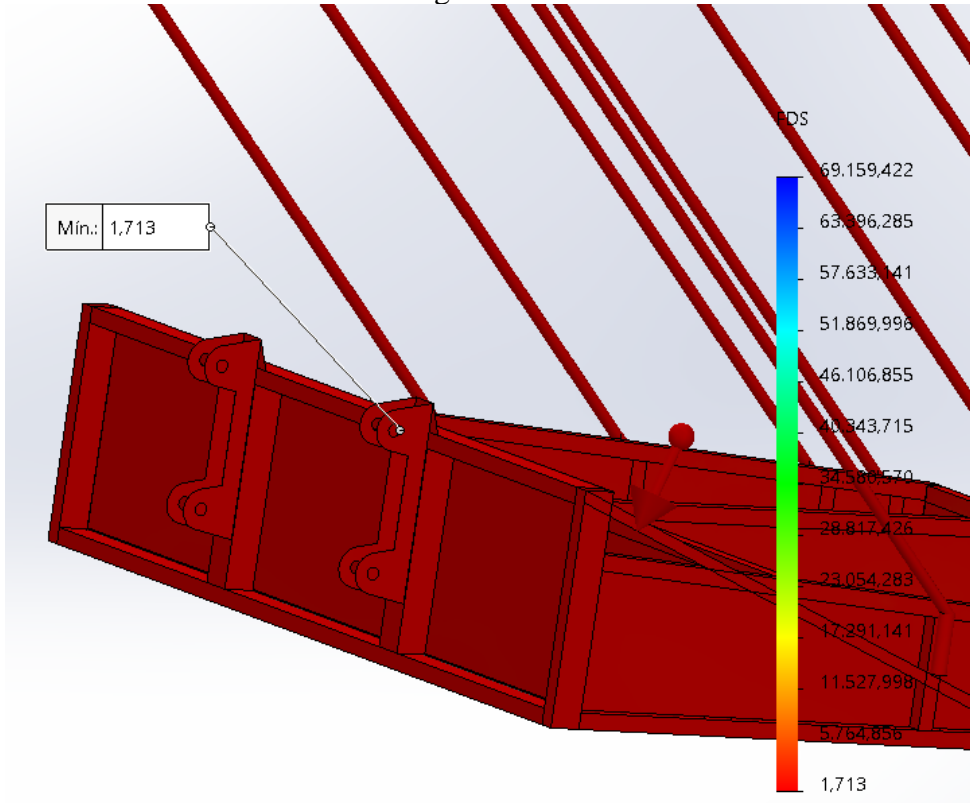
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos



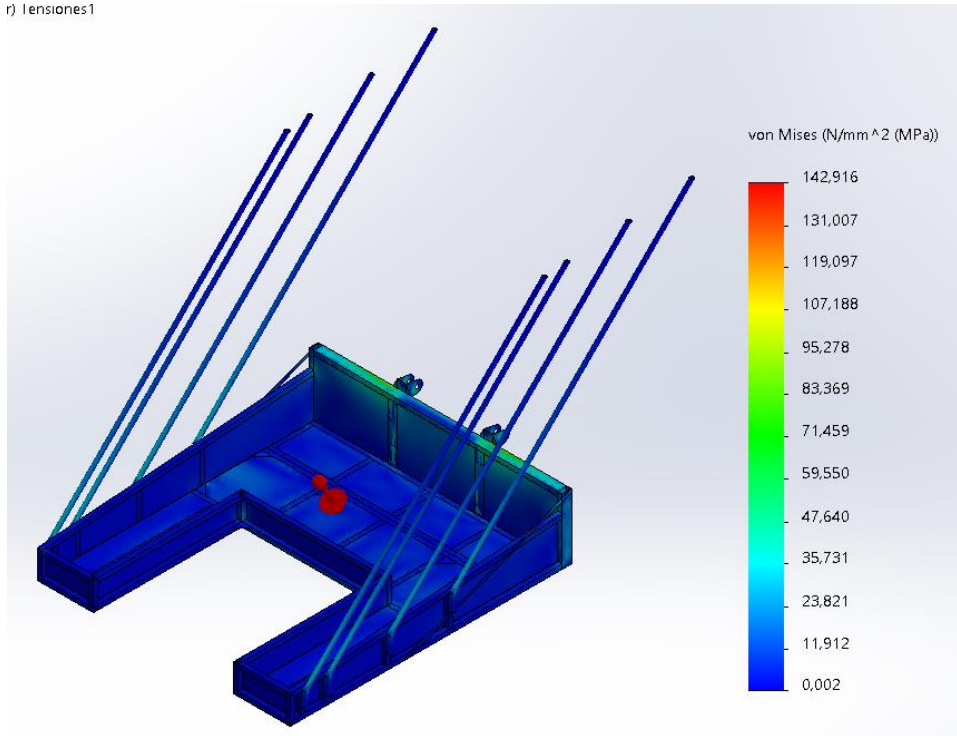
- Distribución del coeficiente de seguridad



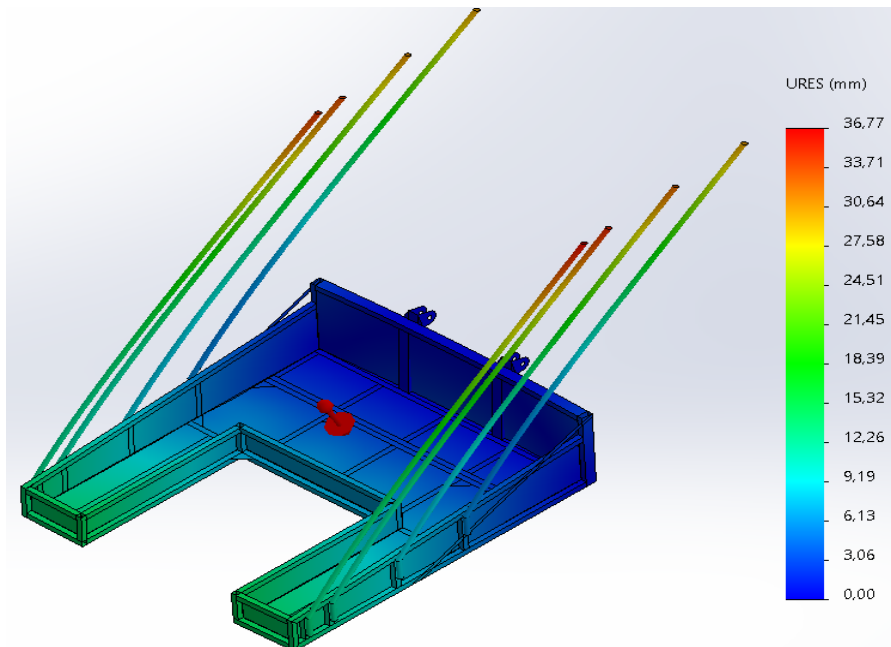
3.4. Resultados modelo inicial con un acero S275JR 30° grados de inclinación

- Distribución de tensiones

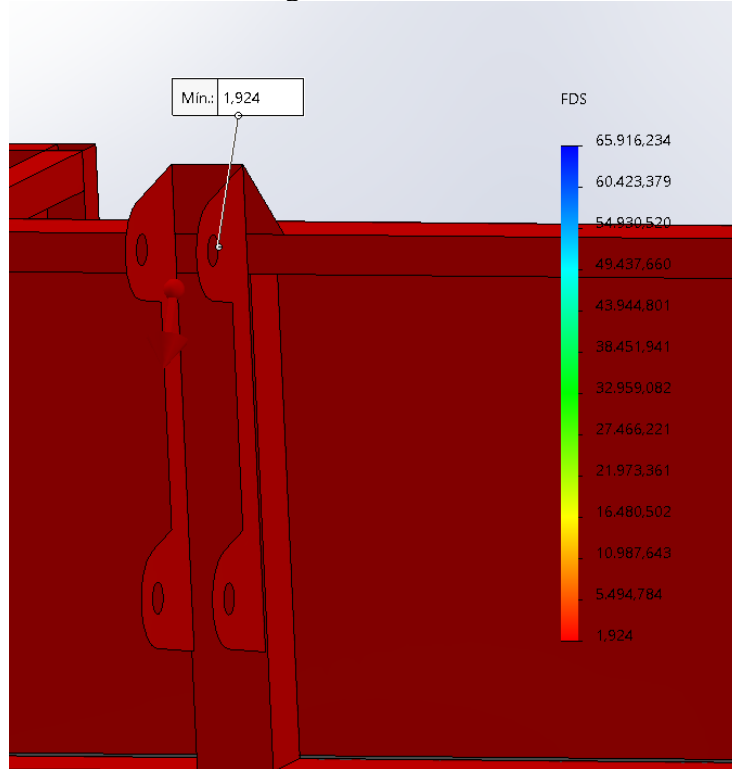
r) tensiones1



- Distribución de desplazamientos

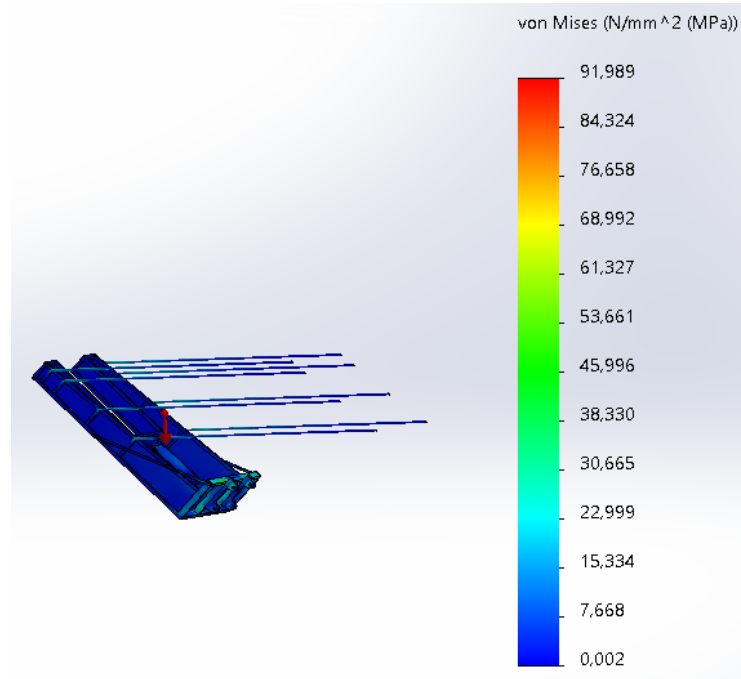


- Distribución del coeficiente de seguridad

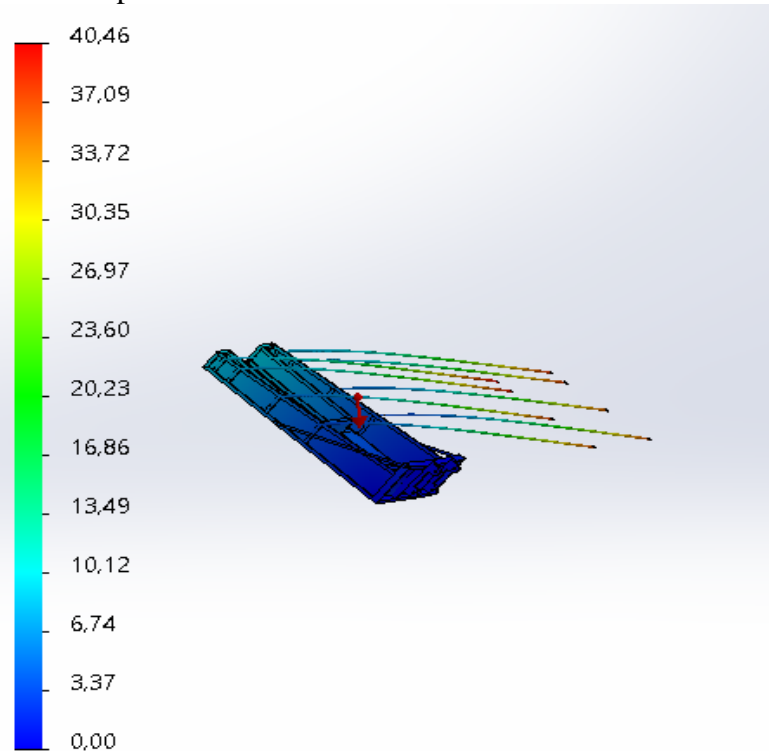


3.5. Resultados modelo inicial con un acero S275JR 45° grados de inclinación

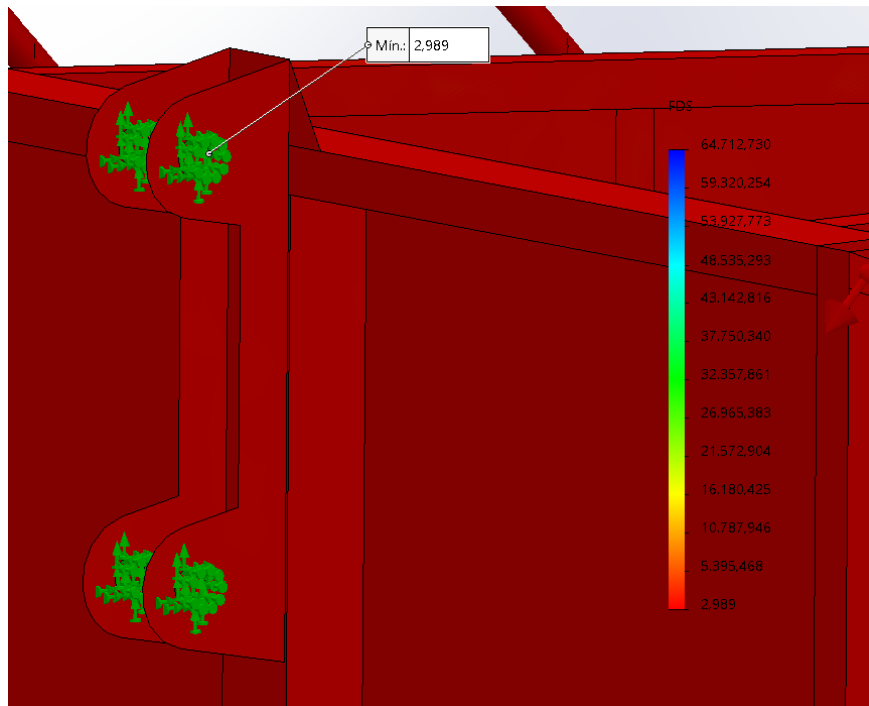
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos



- Distribución del coeficiente de seguridad





Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

Análisis y optimización de un apero agrícola para la recolección de aceitunas

English tittle:

Analysis and optimization of an agricultural implement for olives harvest

Anexo 3. Resultados del modelo optimizado

Autor/es

David Gimeno Lafuente

Director/es

Hugo Malón Litago

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2019

ÍNDICE

1. RESUMEN DEL CONTENIDO DEL ANEXO 3	3
2. RESULTADOS MODELO OPTIMIZADO CON UN ACERO S235JR	4
2.1. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 0° grados de inclinación ..	4
2.2. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 10° grados de inclinación	6
2.3. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 20° grados de inclinación	7
2.4. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 30° grados de inclinación	9
2.5. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 45° grados de inclinación	10
3. RESULTADOS MODELO OPTIMIZADO CON UN ACERO S355JR	12
3.1. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 0° grados de inclinación	12
3.2. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 10° grados de inclinación	13
3.3. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 20° grados de inclinación	15
3.4. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 30° grados de inclinación	17
3.5. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 45° grados de inclinación	18

1. RESUMEN DEL CONTENIDO DEL ANEXO 3

Este anexo pretende representar de una manera mas extensa todos los resultados obtenido en el cálculo de modelo optimizado para cada uno de los materiales estudiados y casos de inclinación respecto a la horizontal.

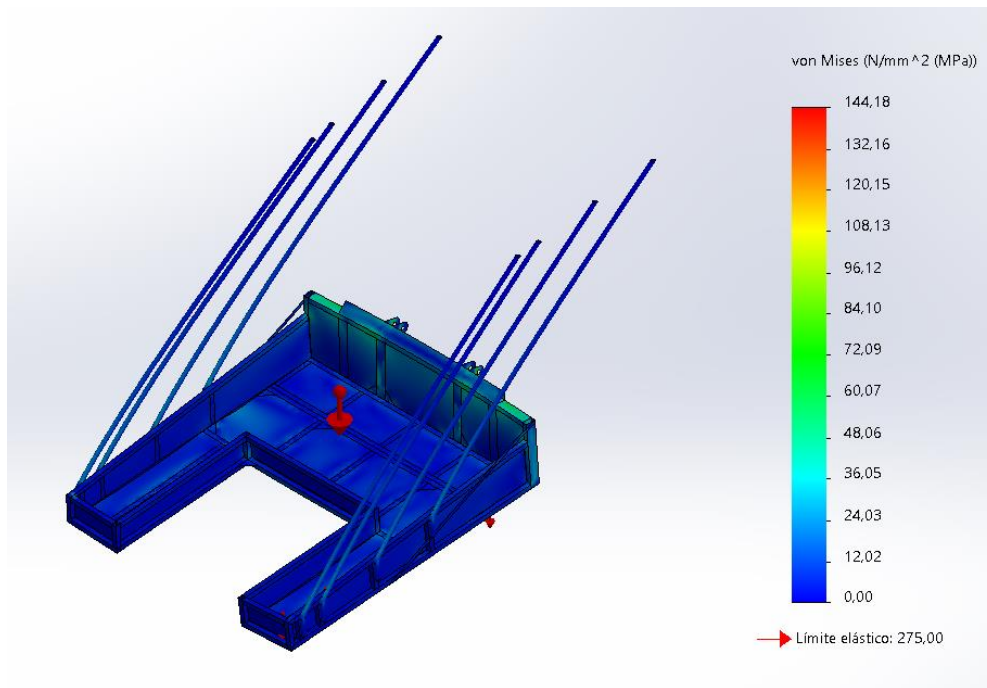
Donde los posibles casos de inclinación llevados a cabo han sido cinco. Estos son los siguientes:

- Inclinación 0° respecto horizontal
- Inclinación 10° respecto horizontal
- Inclinación 20° respecto horizontal
- Inclinación 30° respecto horizontal
- Inclinación 45° respecto horizontal

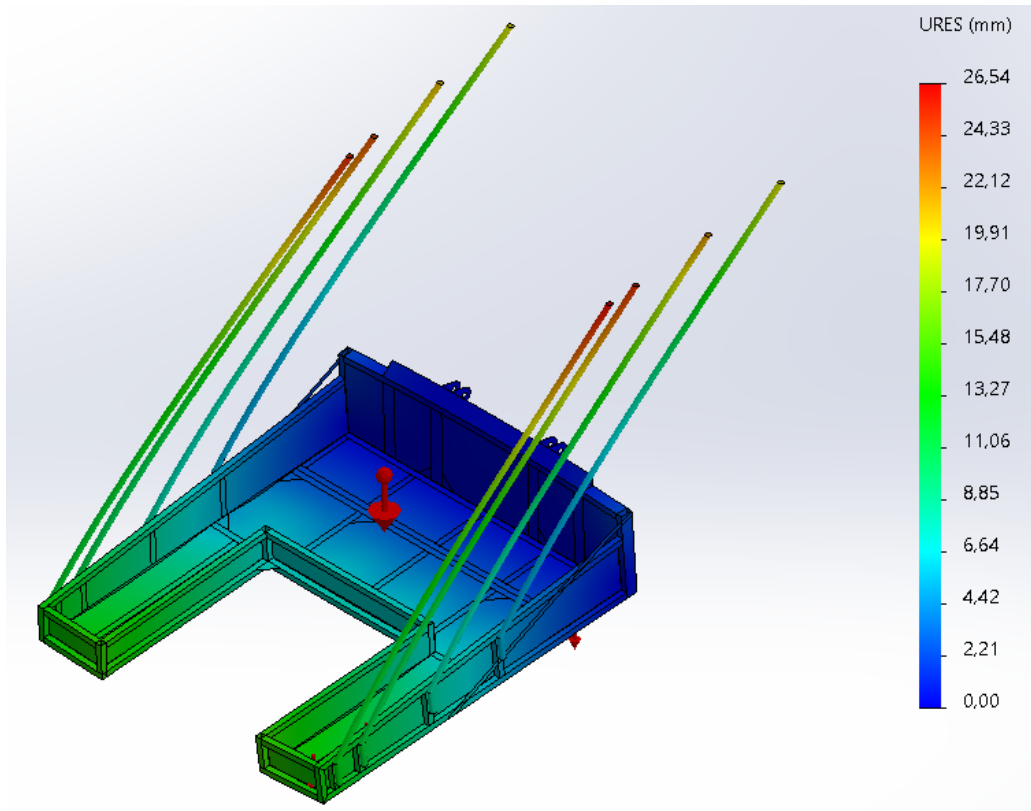
2. RESULTADOS MODELO OPTIMIZADO CON UN ACERO S235JR

2.1. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 0° grados de inclinación

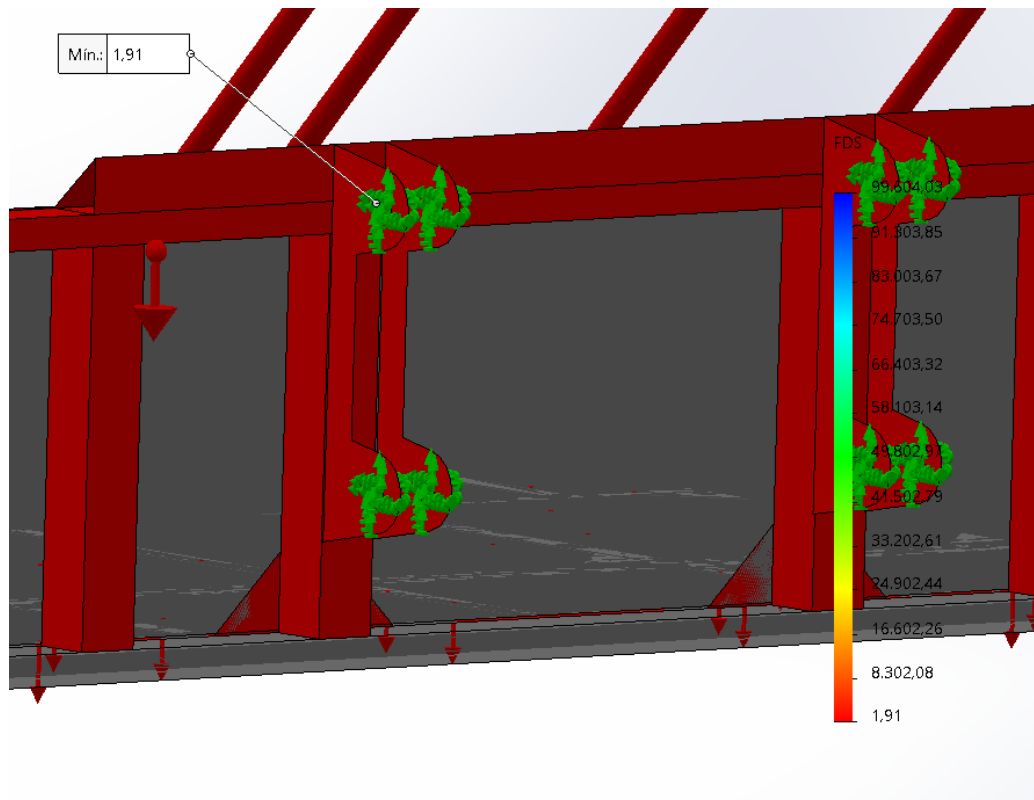
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos

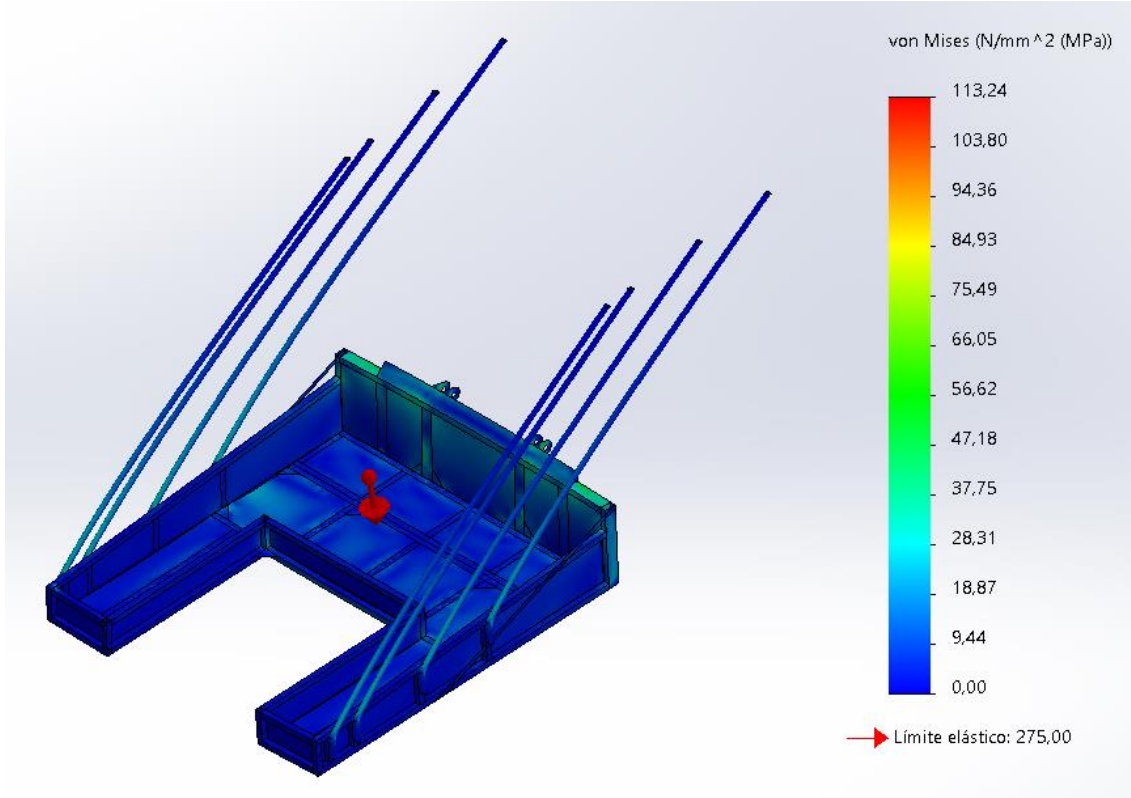


- Distribución del coeficiente de seguridad

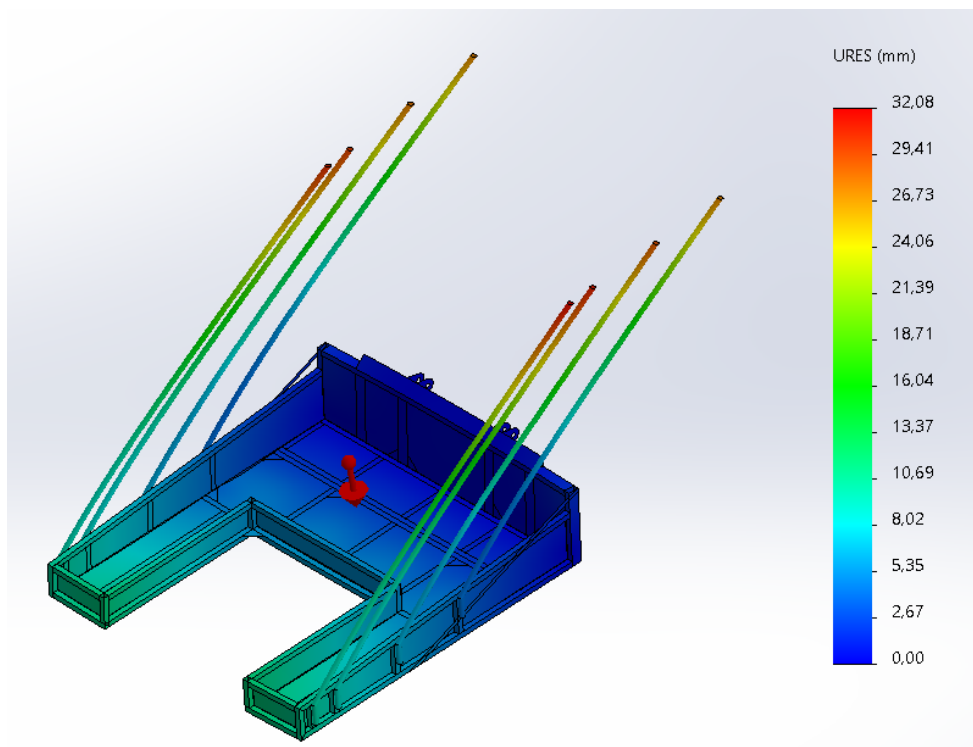


2.2. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 10° grados de inclinación

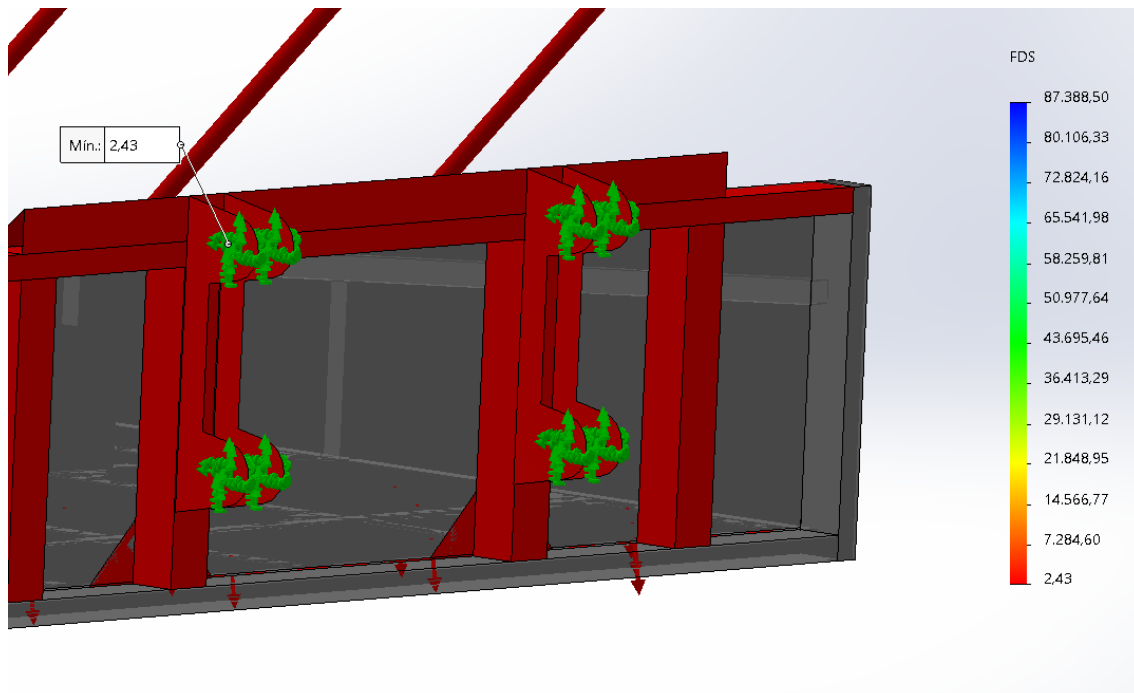
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos

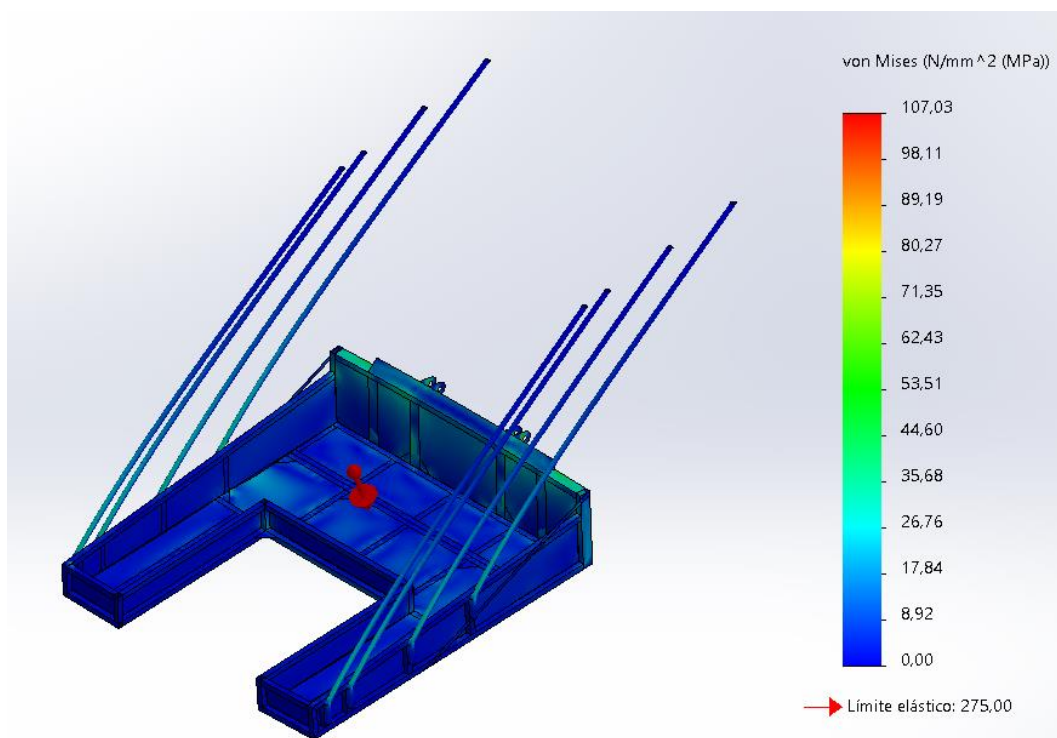


- Distribución del coeficiente de seguridad

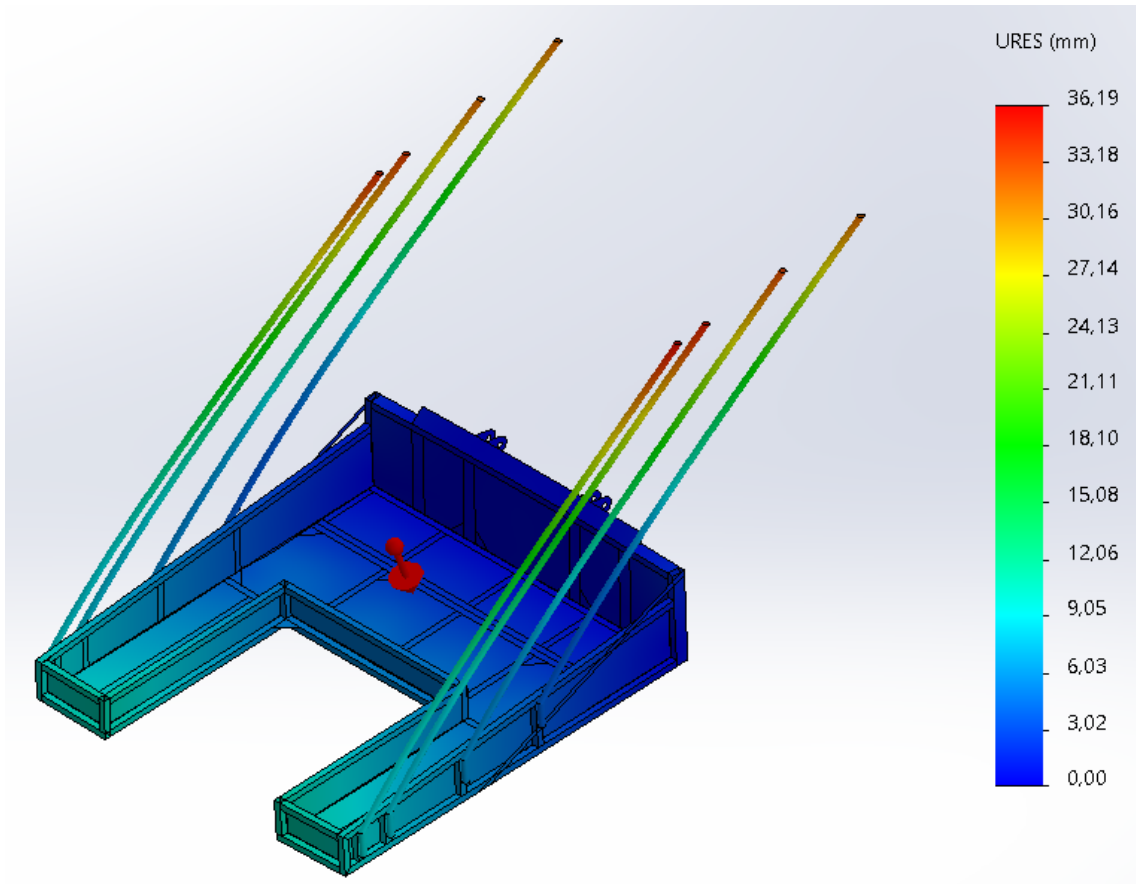


2.3. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 20° grados de inclinación

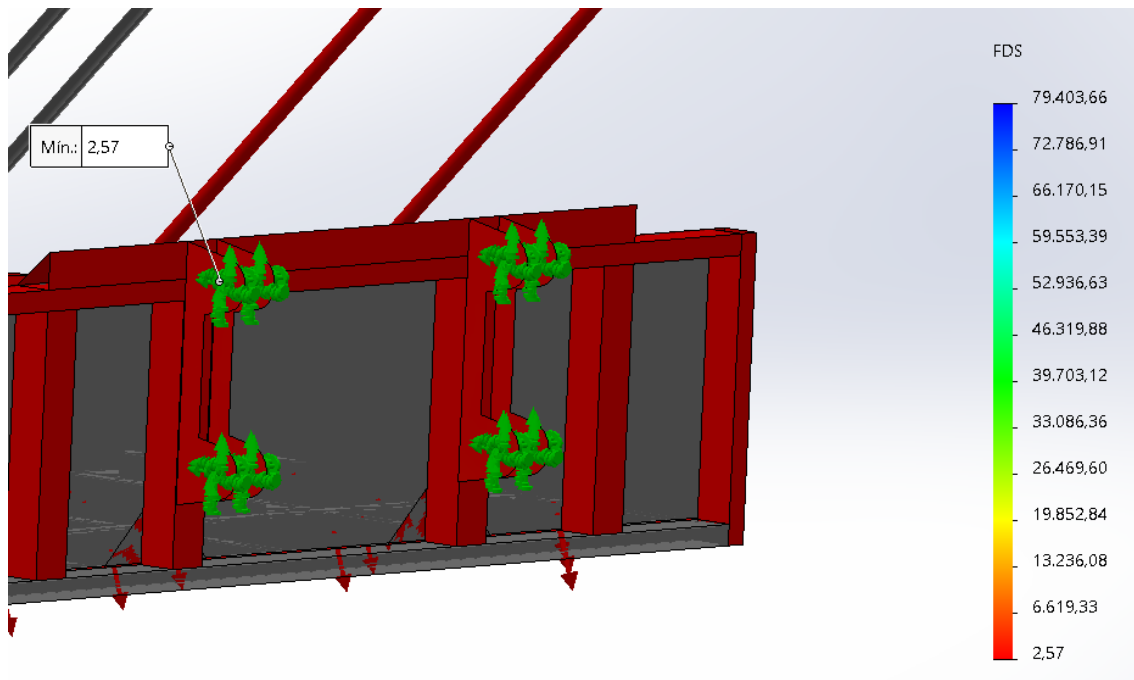
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos

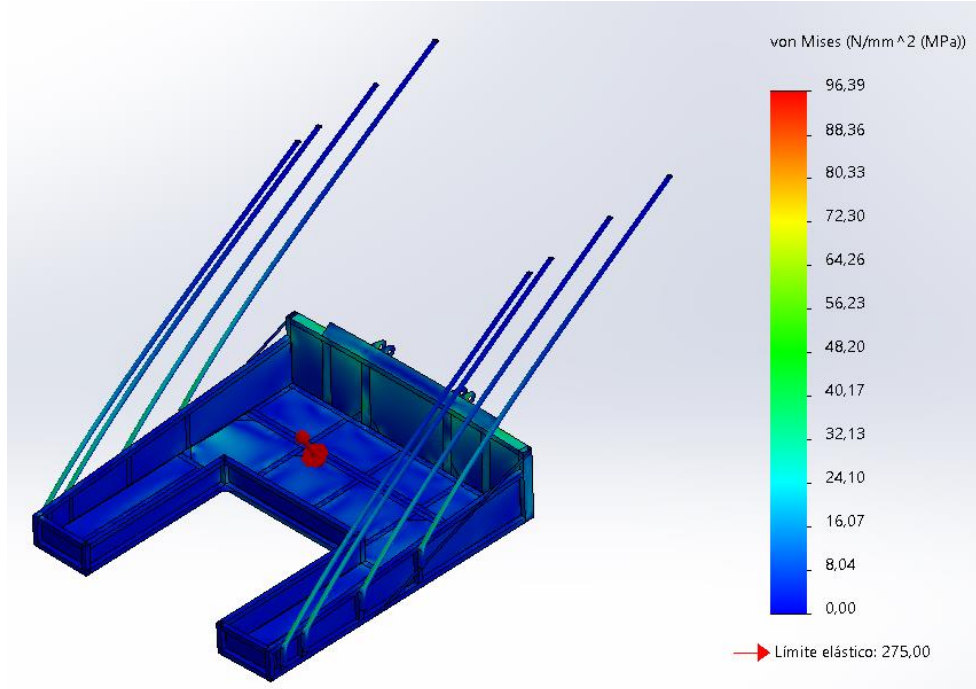


- Distribución del coeficiente de seguridad

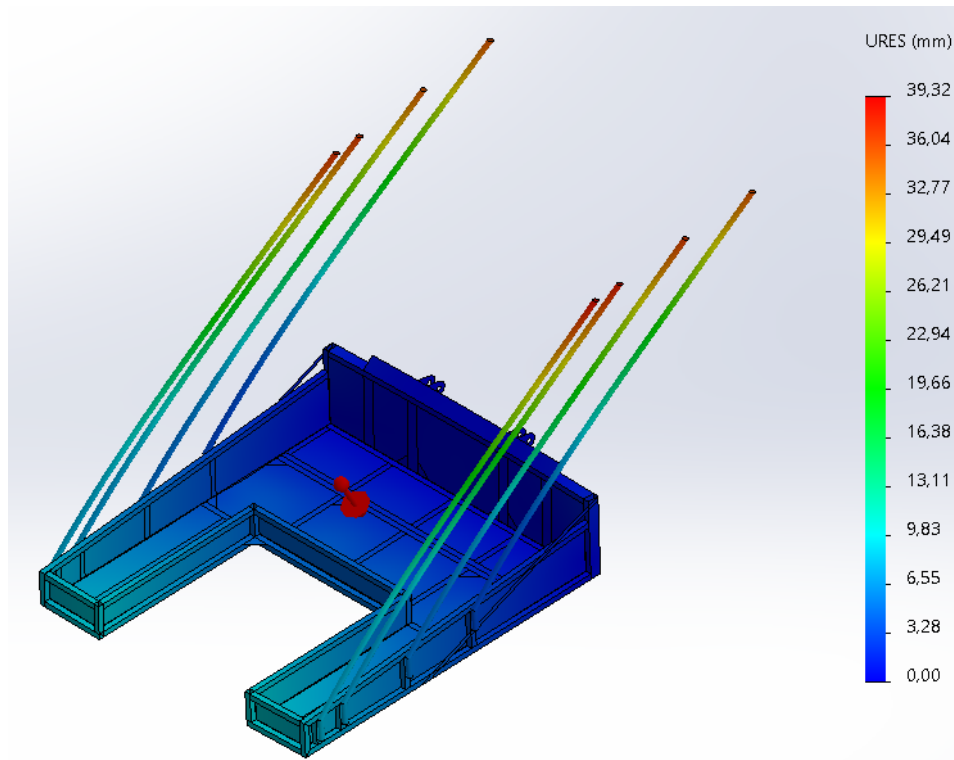


2.4. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 30° grados de inclinación

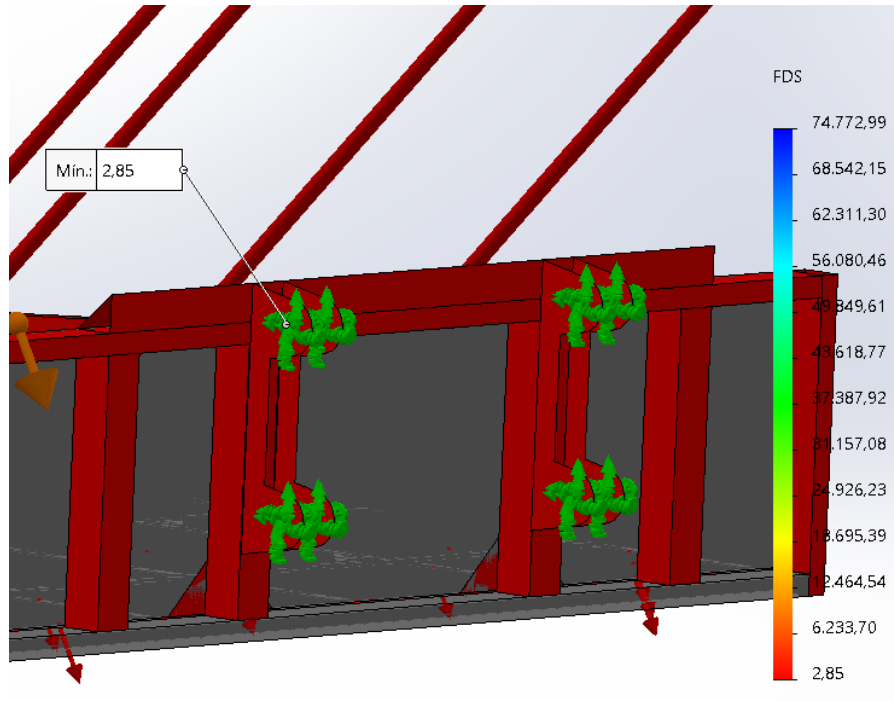
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos

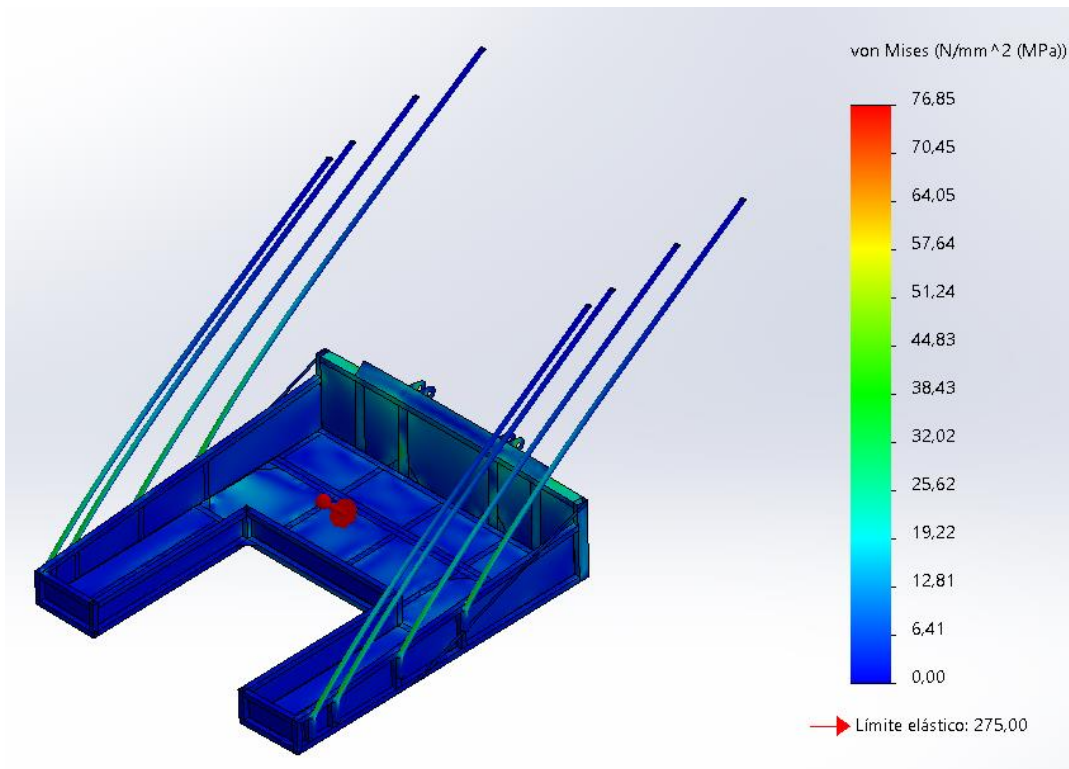


- Distribución del coeficiente de seguridad

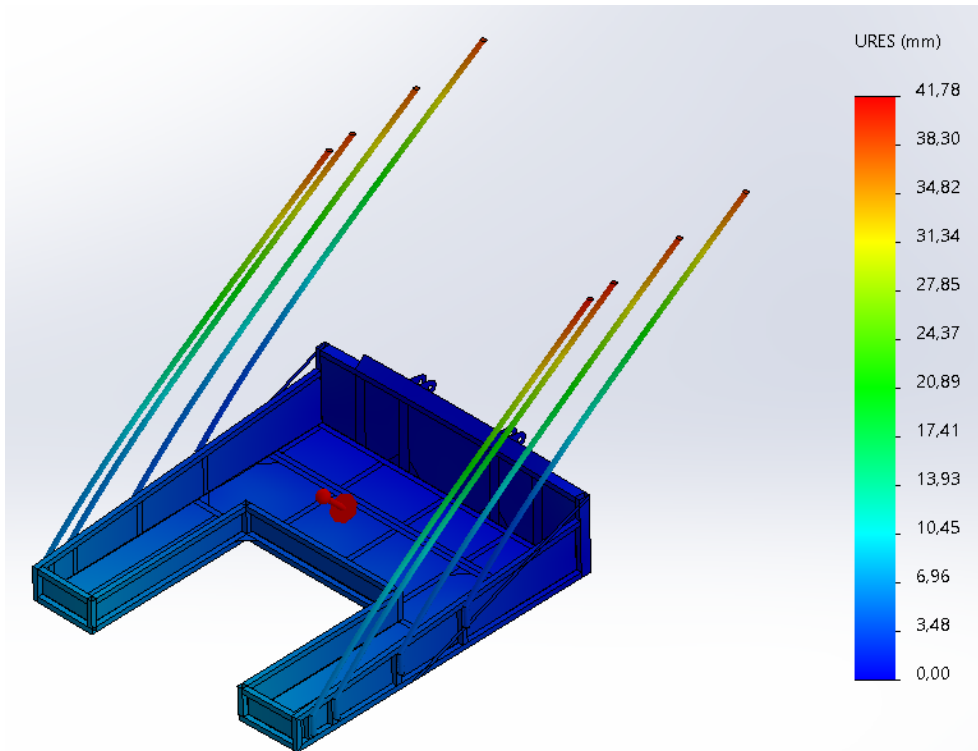


2.5. Resultados modelo optimizado con un acero S275JR. 45° grados de inclinación

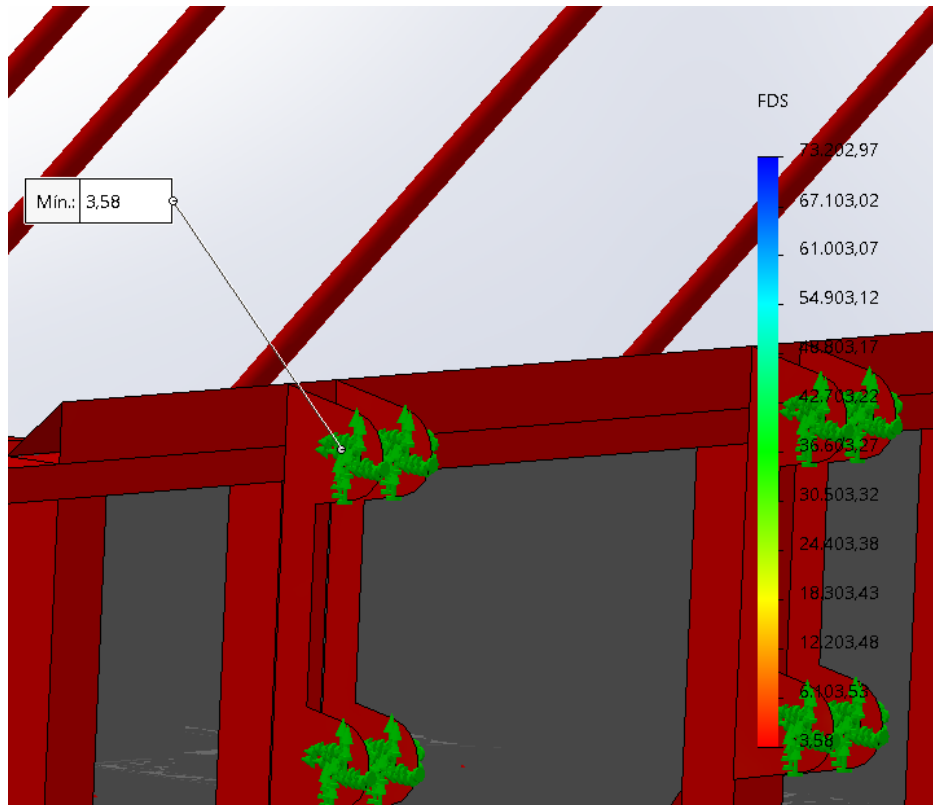
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos



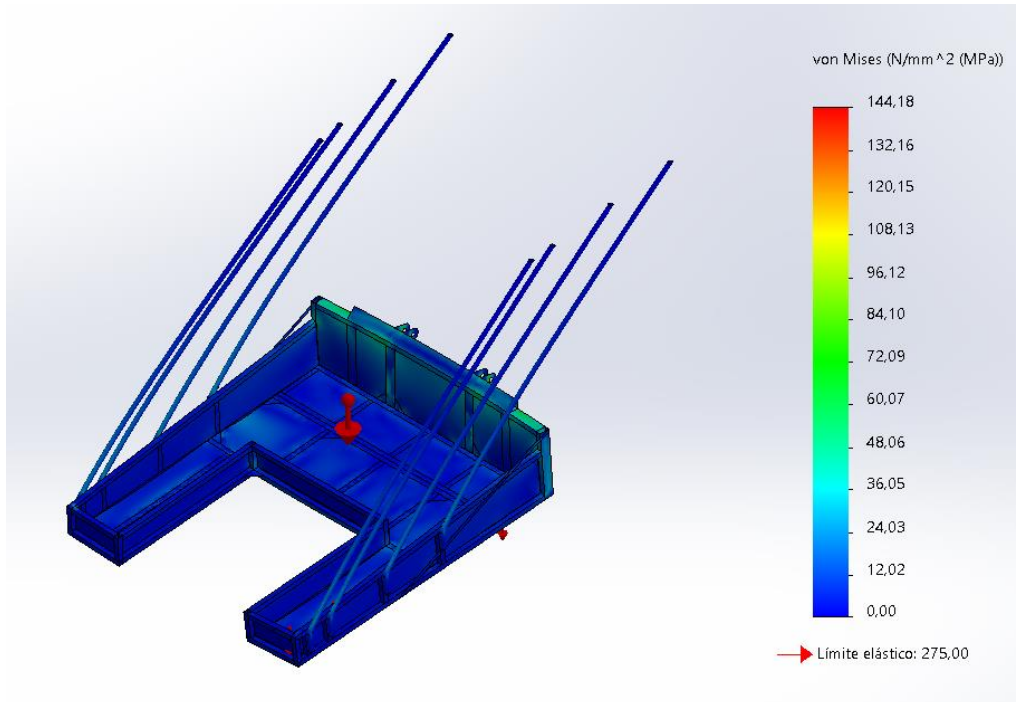
- Distribución del coeficiente de seguridad



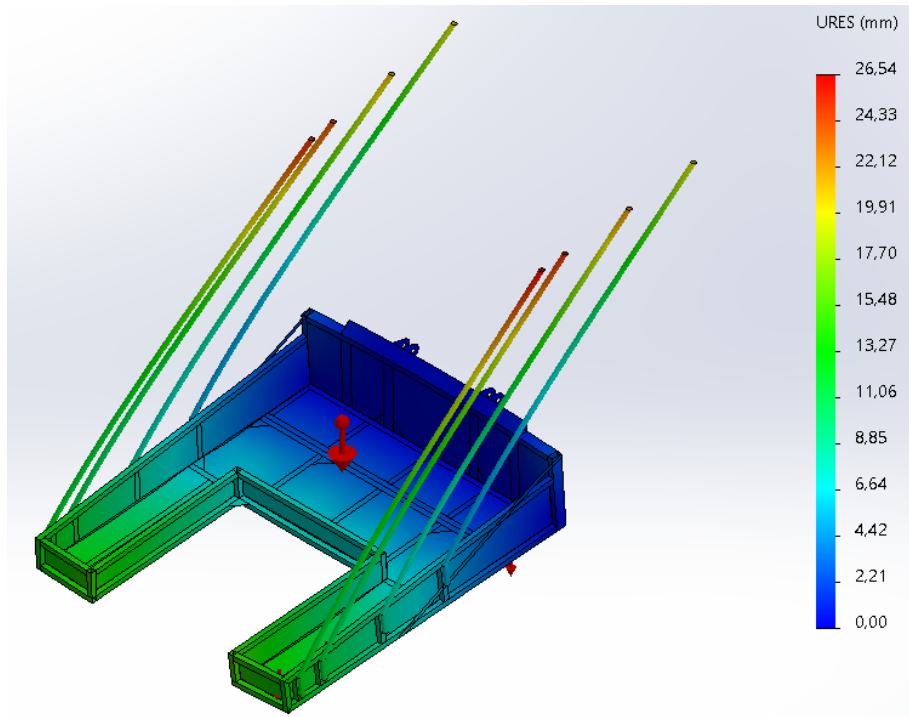
3. RESULTADOS MODELO OPTIMIZADO CON UN ACERO S355JR

3.1. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 0° grados de inclinación

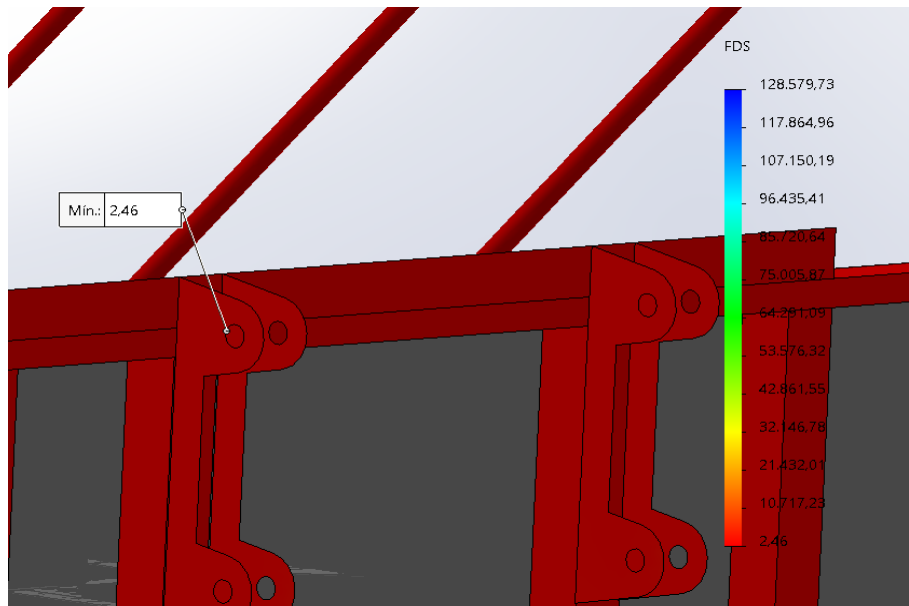
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos

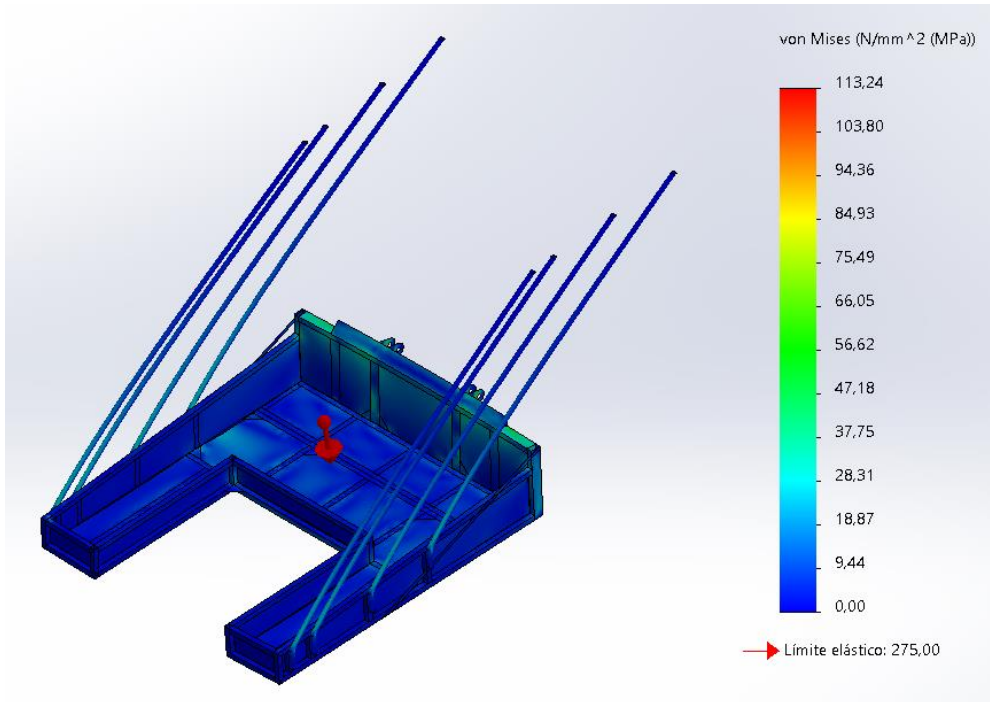


- Distribución del coeficiente de seguridad

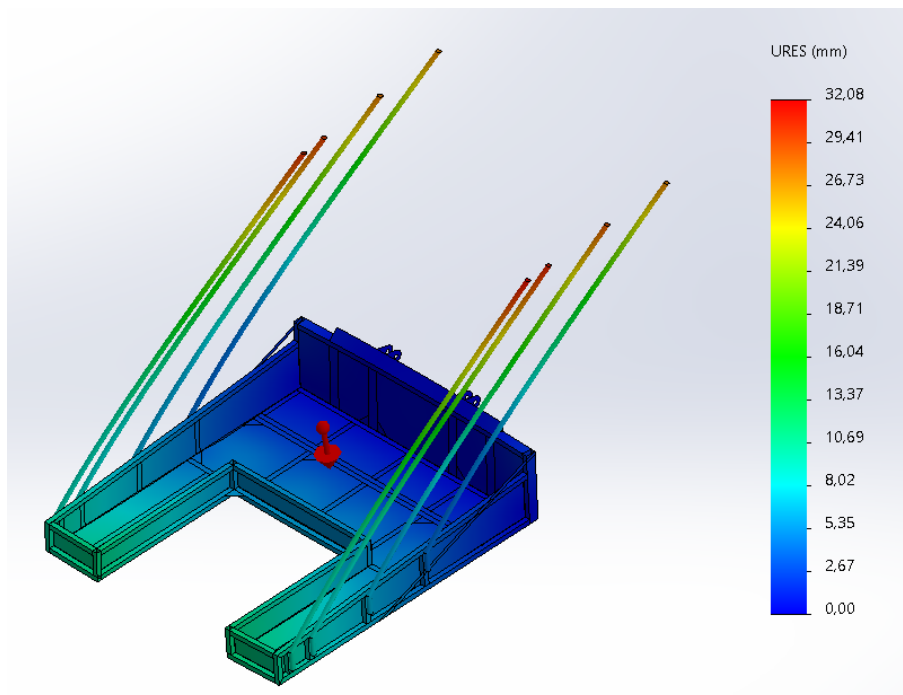


3.2. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 10° grados de inclinación

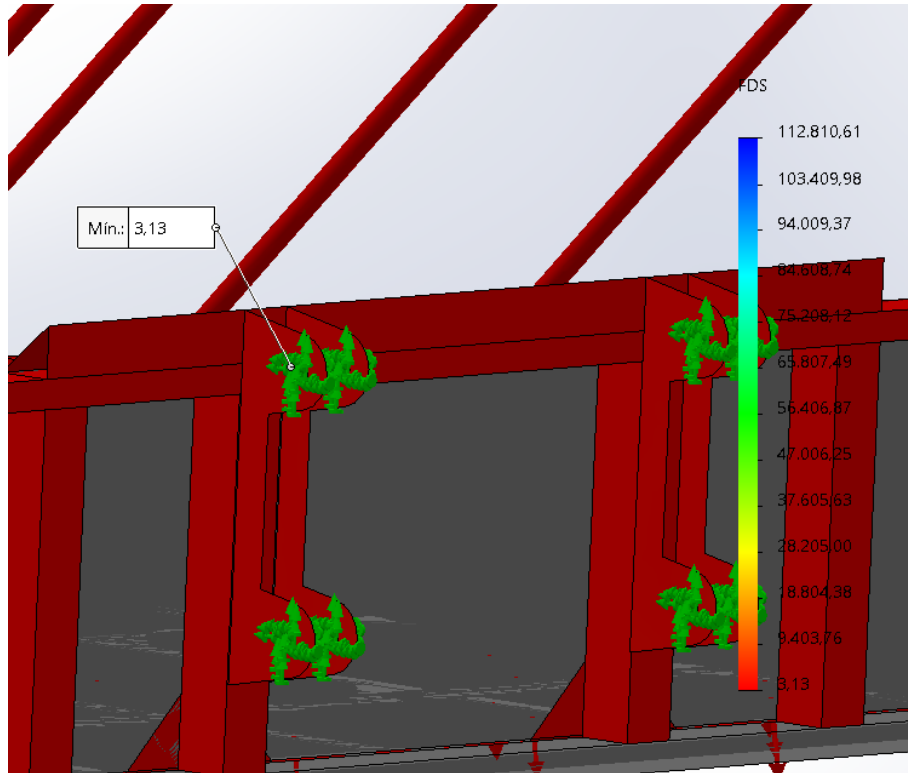
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos

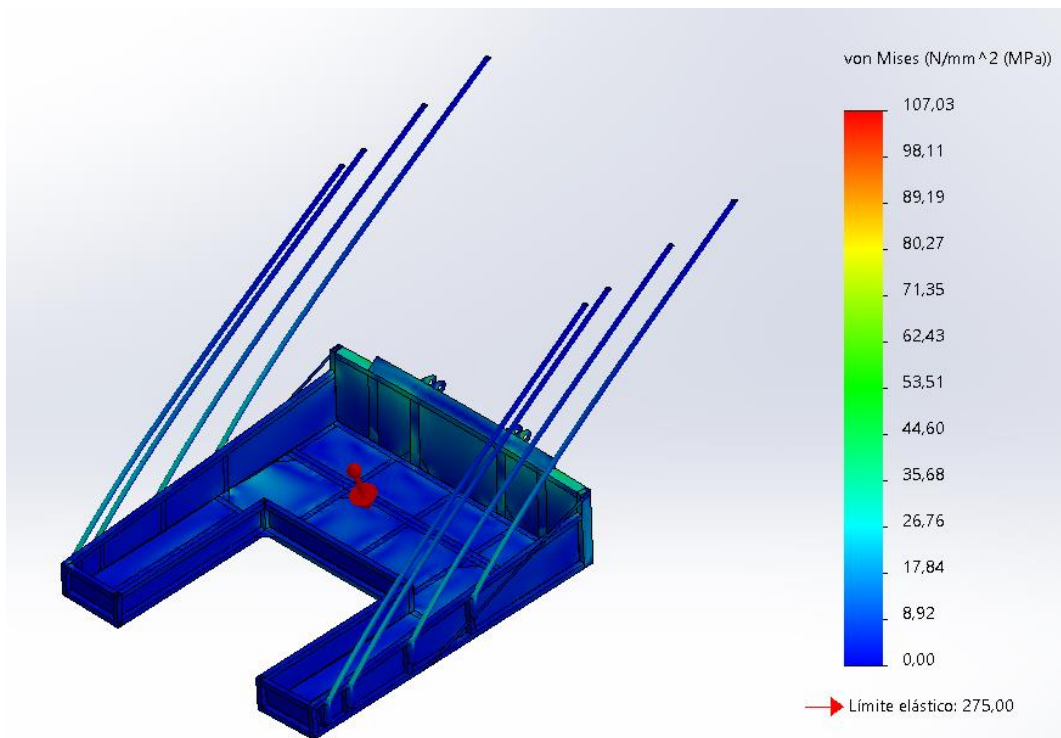


- Distribución del coeficiente de seguridad

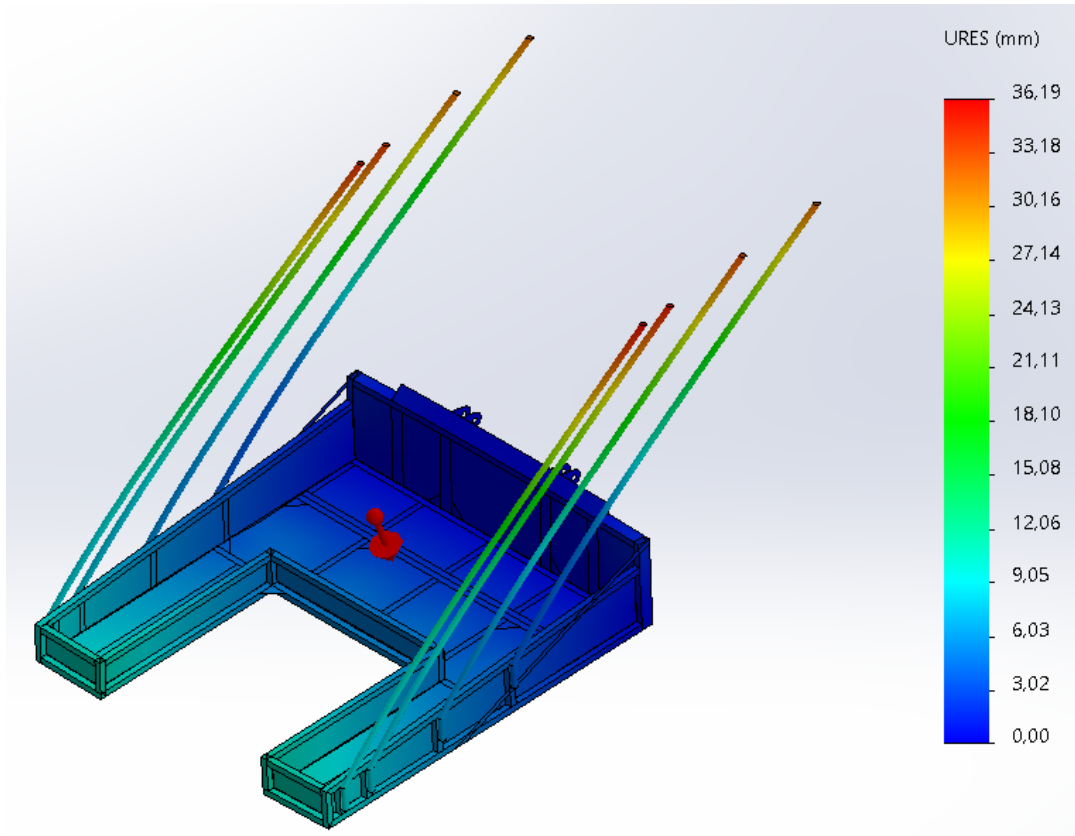


3.3. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 20° grados de inclinación

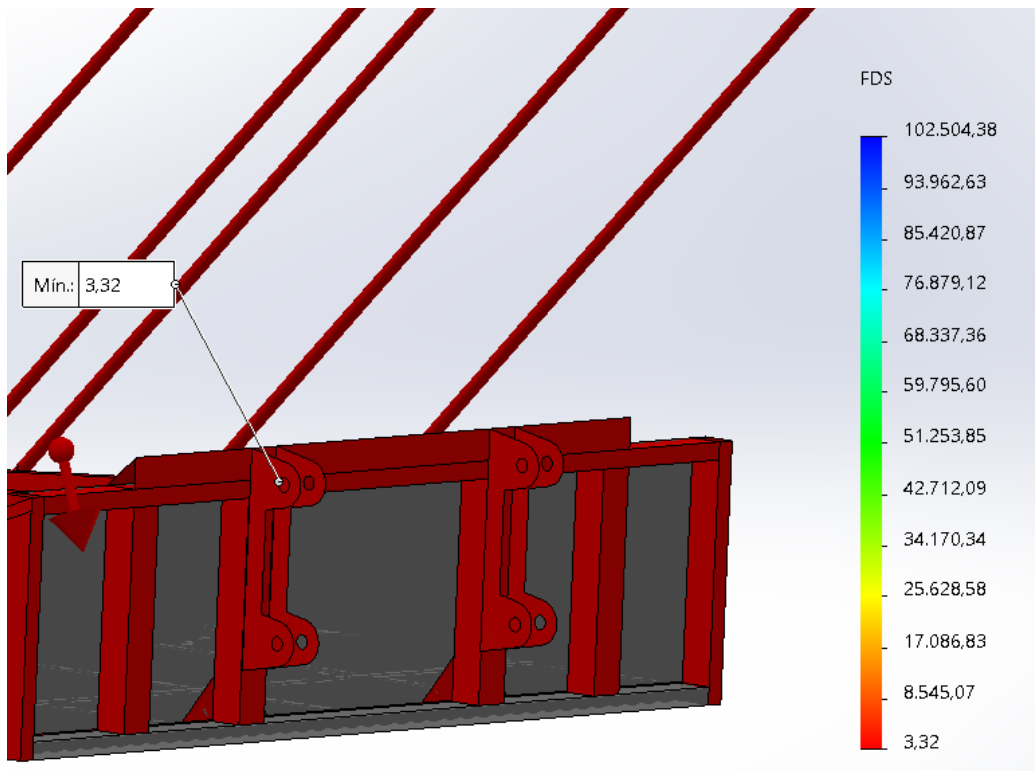
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos

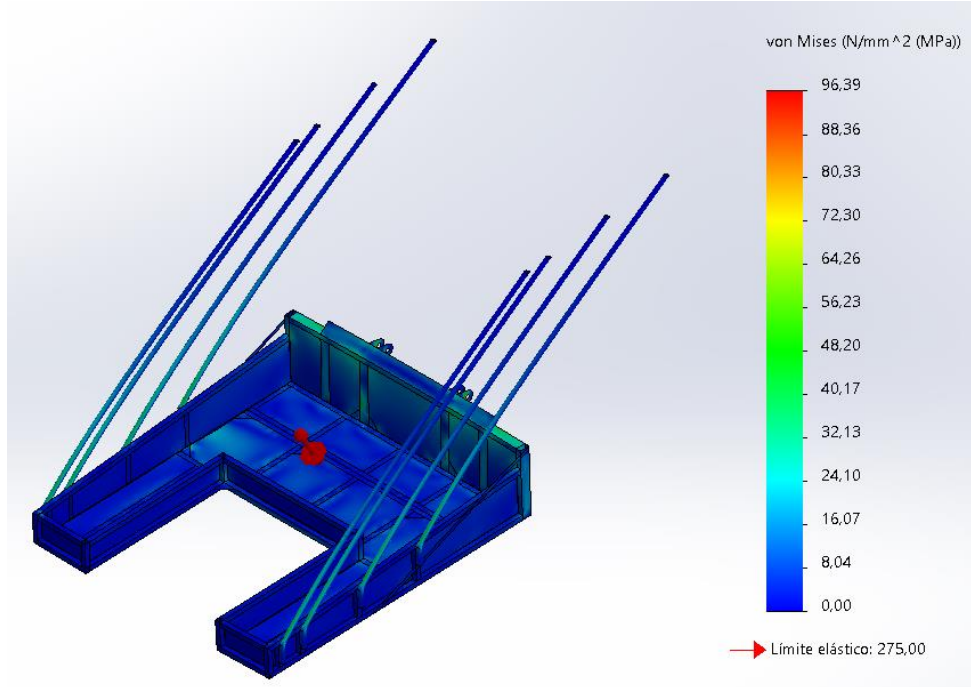


- Distribución del coeficiente de seguridad

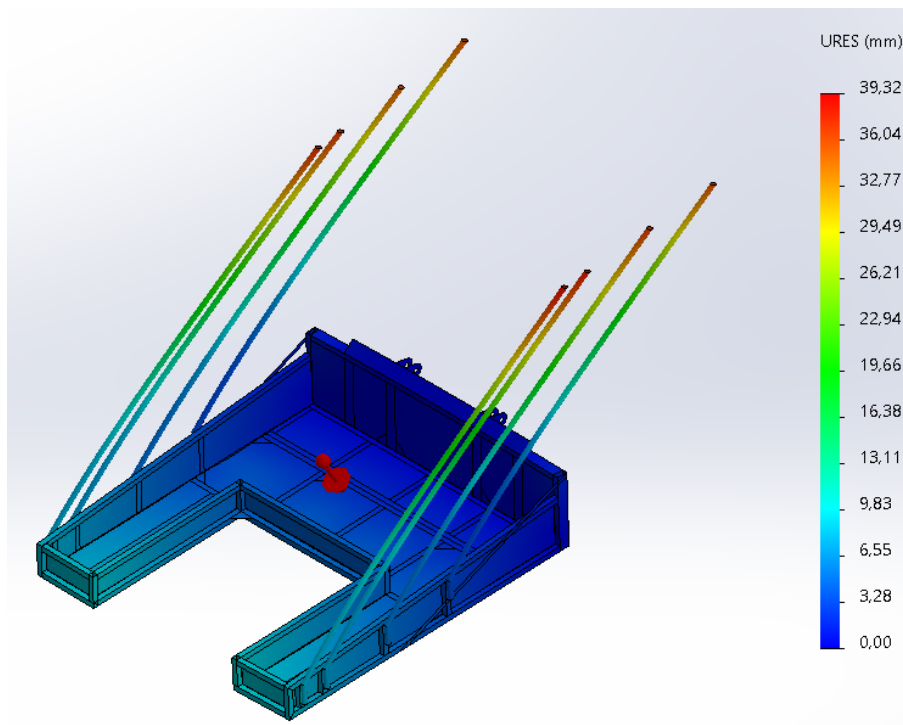


3.4. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 30° grados de inclinación

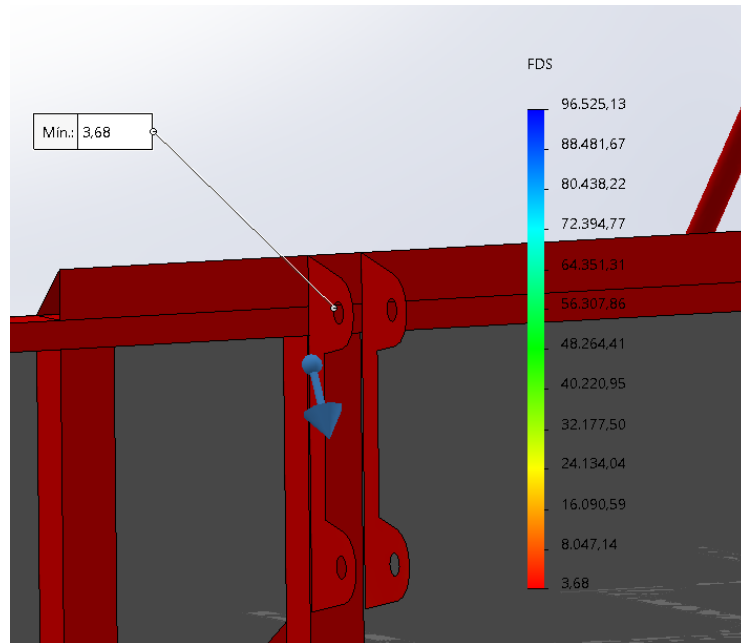
- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos

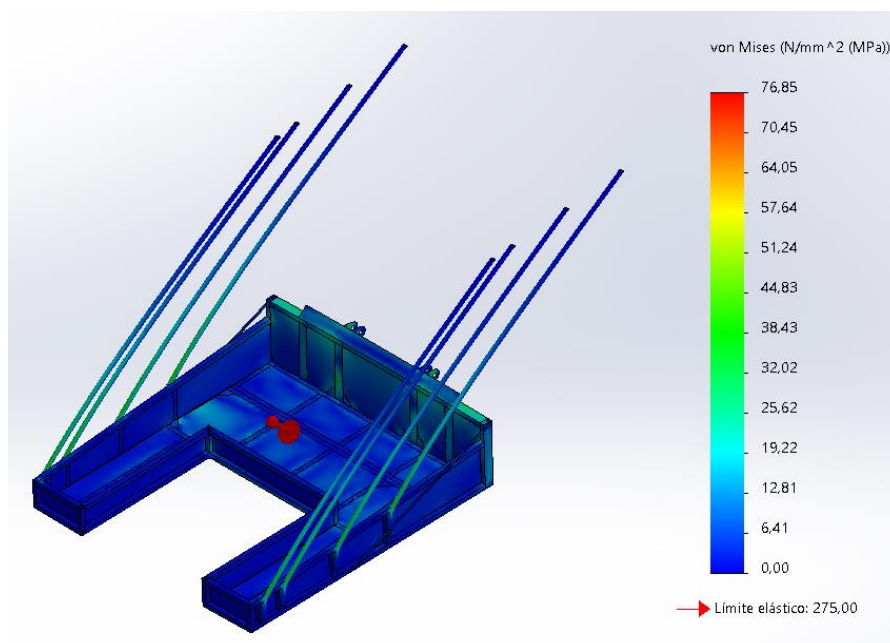


- Distribución del coeficiente de seguridad

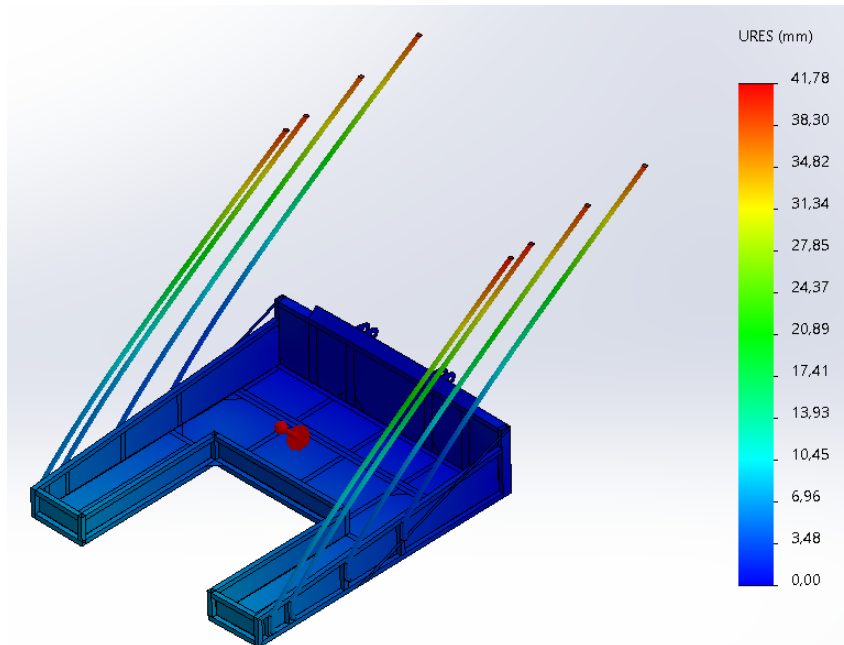


3.5. Resultados modelo optimizado con un acero S355JR. 45° grados de inclinación

- Distribución de tensiones



- Distribución de desplazamientos



- Distribución del coeficiente de seguridad

