



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis y dimensionamiento de una
retropala para una fuerza de excavación de
63.4 KN.

MEMORIA

Autor

Monge Catalán, Alberto.

Director

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza.
2017/2018



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^a. _____,

con nº de DNI _____ 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)
_____, (Título del Trabajo)

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

Zaragoza, _____

Fdo: _____



Resumen: ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA RETROPALA PARA UNA FUERZA DE EXCAVACIÓN DE 63.4 kN.

En el presente Trabajo de fin de grado va tratar de como analizar y dimensionar una retro pala de fuerza y longitud conocida, para ello se va tomar como referencia la maquina CATERPILLAR 432F2 recopilando información de la ficha técnica y visita a una concesión.

Partiendo de datos geométricos en la ficha técnica más los medidos in situ y conocida la fuerza de excavación gracias a la ficha técnica de cargas.

Sabiendo geometría se plantea una modelización en barras y posteriormente unas posiciones de trabajo bajo la carga de excavación establecida.

Teniendo unas determinadas posiciones y la carga de excavación se puede determinar los esfuerzos a los que van a estar solicitados los diferentes elementos de la estructura.

Una vez determinados los esfuerzos se plantean una serie de medidas y estableciendo coeficiente de seguridad y material a utilizar se puede dimensionar los elementos.

Una vez dimensionados los elementos de la estructura también se dimensionan los cilindros que se seleccionaran de un catálogo comercial posteriormente.

Se realiza una simulación de los elementos bajo los esfuerzos y se modifican los que no cumplan las exigencias requeridas, también se modifican algunos que estén muy por encima de los límites haciendo rebajes de material.



Contenido

1.	Introducción al TFG	4
1.1	Objeto y alcance del proyecto	4
1.2	Motivación personal para realizar el proyecto	5
1.3	Conocimientos necesarios para abordar el proyecto	5
1.4	Necesidad de las retro palas.....	6
2.	Definición general de una retro pala.....	7
2.1	¿Qué es una retro pala?	7
2.2	Clasificación de las retro palas.....	8
2.3	Partes de una retro pala	10
2.4	Riesgos y medidas de seguridad en el uso de la retro pala	15
3.	Definición del tipo de retro pala trasera a estudiar	19
4.	Características geométricas y dimensionales.....	19
4.1	Primeras hipótesis de diseño	19
4.2	Diseño de la geometría del brazo excavador.....	20
4.3	Simplificación de los elementos.	20
5.	Calculo de esfuerzos.....	22
5.1	Selección de programa.	22
5.2	Modelo en MEFI.	23
5.3	Elección de posiciones a analizar.....	24
5.4	Calculo de Fuerzas en nudos.	25
6.	Dimensionamiento analítico de los elementos.	26
6.1	Teoría utilizada para el cálculo de las barras y orejetas.	26
6.1.1	Teoría de cortante Máximo.....	26
6.1.2	Teoría de la distorsión de Von Mises.....	26
6.2	Dimensionamiento de la pluma.....	27
6.3	Dimensionamiento del Balancín.....	28
6.4	Dimensionamiento de la barra BD.....	28
6.5	Dimensionamiento de Barra FED.....	29
6.6	Dimensionamiento de Orejetas y alojamientos para pasadores.....	30
6.6.1	Dimensionamiento de orejetas.	30



6.6.2	Dimensionamiento de alojamientos para pasadores.....	32
6.7	Dimensionamiento de Pasadores.....	33
7.	Dimensionamiento de los cilindros.....	33
7.1	Características de los cilindros determinados.....	34
8.	Resultados analíticos del dimensionamiento.....	35
8.1	Resultados analíticos de piezas.....	35
8.2	Resultados analíticos de orejetas.....	38
8.3	Simulación de resultados en SolidWorks.....	40
8.3.1	Pluma.....	40
8.3.2	Balancín.....	42
8.3.3	Barra BD.....	43
8.3.4	Barra EFD.....	45
8.3.5	Conclusiones de la Simulación.....	46
8.3.6	Cambios realizados en las piezas.....	46
8.3.7	Planos de las piezas modificadas.....	47
9.	Modelo en 3D.....	53
10.	Conclusiones.....	54
11.	Bibliografía.....	55



1. Introducción al TFG

1.1 Objeto y alcance del proyecto

En el presente trabajo se ha realizado el estudio, diseño, cálculo y análisis de los elementos que constituyen el cazo delantero y la pluma trasera de una retropala.

En un principio, lo primero que se va a hacer es definir la geometría de la retropala. Para tener unas medidas iniciales, nos basamos en el modelo de retropala CAT 432F2. Como veremos después, las medidas de los elementos de la retropala se han obtenido apoyándonos en el manual de la retropala CAT 432F2 y en unas medidas que se tomaron in-situ en el concesionario de la propia marca.

El paso siguiente a la definición de la geometría es la definición de las distintas posiciones de la retropala. En el estudio de las posiciones se han ido moviendo los elementos de diferentes maneras como por ejemplo moviendo el cazo teniendo la pluma y el balancín fijos, así con los demás elementos generando posiciones.

Gracias a la información obtenida del manual de la retropala CAT 432F2 también se sabe los datos de fuerzas de excavación para poder calcular esfuerzos.

Una vez obtenidas las posiciones se modelizan y se ensayan con el programa MEFI para obtener los esfuerzos a los que están sometidos cada elementos. Posteriormente sabiendo los esfuerzos se sigue con el dimensionamiento de los elementos y se modelan en SolidWorks para comprobar que los resultados analíticos son correctos.

Según los resultados del SolidWorks se mejoran algunas piezas donde hace falta por motivos de seguridad o posibles fallos en las piezas.



1.2 Motivación personal para realizar el proyecto

El motivo por el cual me he decidido a realizar el presente Trabajo Fin de Grado sobre este tema es debido al gran interés que tengo respecto al funcionamiento de la maquinaria de obra y agrícola. Esta maquinaria despierta en mí una gran curiosidad, y que mejor oportunidad que el Trabajo Fin de Grado para poder entender el funcionamiento de una retro pala.

Además, el hecho de poder conocer en profundidad la retro pala CAT 432F2 en el concesionario CATERPILLAR de la ciudad de Zaragoza fue otro de los motivos por los cuales me decidí a realizar este Trabajo Fin de Grado.

1.3 Conocimientos necesarios para abordar el proyecto

Para la correcta realización del presente Trabajo Fin de Grado se van a tener que aplicar los conocimientos adquiridos en varias asignaturas que hemos ido cursando durante el Grado en Ingeniería Mecánica. Las asignaturas más utilizadas para realizar este proyecto son:

Asignatura	Curso	Conocimientos adquiridos
Física 1	Primero	Esta asignatura nos sirvió para adquirir los conocimientos básicos de fuerzas y tensiones, y la forma de relacionarlas.
Resistencia de Materiales	Segundo	Gracias a esta asignatura aprendimos a calcular los esfuerzos en barras, ya fuesen estos esfuerzos de axil, compresión, flexión o pandeo. También nos aportó los conocimientos para poder realizar diagramas de esfuerzos.
Teoría de Mecanismos y Máquinas	Segundo	Con esta asignatura aprendimos a manejar las primeras estructuras compuestas por barras, así como a calcular sus grados de libertad y estudiar el mecanismo que formaban.
Mecánica	Segundo	Aprendimos a manejar diagramas de sólido libre (DSL), al igual que sus ecuaciones para la correcta resolución del equilibrio del sistema.
Estructuras	Tercero	En esta asignatura aprendimos a manejar estructuras formadas por elementos tipo barra como un conjunto, aprendiendo a diferenciar si eran isostáticas o hiperestáticas.



Criterios de Diseño de Máquinas	Tercero	Aprendimos los conocimientos necesarios para poder seleccionar perfiles, además de aprender las distintas teorías de fallo existentes.
Cálculo y selección de elementos de máquinas	Cuarto	Gracias a la cual adquirimos los conocimientos para el manejo de las herramientas de modelado 3D, como es el SolidWorks .

1.4 Necesidad de las retro palas

Las retro palas son unas de las máquinas más versátiles dentro de las áreas de construcción y de obras, en lo referente a movimientos de tierra y traslado de materiales. Algunos de los usos concretos de las retro palas pueden ser: aplanación, nivelación y compactación básica de superficies; limpieza de arbustos, plantas, árboles; trabajos de desmonte, vaciado y terraplenado;... Debido a su gran versatilidad, son una de las máquinas más utilizadas en las obras.

Unido a su gran versatilidad, encontramos su comedido precio, el cual hace que una empresa que la necesite para sus labores cotidianas no le suponga un gran esfuerzo económico la compra. Resulta muy rentable para pequeñas y medianas empresas debido a su gran rendimiento económico.

Además, si su uso va a ser únicamente temporal, las retro palas son unas de las máquinas más comunes dentro de las alquiladoras de maquinaria para construcción.

Podemos decir entonces, que gracias a su versatilidad y precio, es una máquina de uso muy común.



Imagen 1: CAT 432F2. Una de las retro palas más usadas a nivel mundial



2. Definición general de una retro pala

2.1 ¿Qué es una retro pala?

Lo primero que debemos decir es que las Normas UNE se refieren a las retro palas como retrocargadoras. Por tanto, en este apartado se va a hablar de retrocargadoras.

La Norma UNE 115449:2004 define “Retrocargadora” como “Máquina autopropulsada, sobre ruedas o sobre cadenas, con un bastidor principal diseñado para transportar a la vez un equipo montado en parte frontal y un equipo de retro en la parte trasera (normalmente con estabilizadores); cuando se utiliza el equipo retro, la máquina se encuentra estacionaria y normalmente excava por debajo del nivel del suelo; cuando se utiliza como cargadora (con la cuchara frontal), la máquina carga mediante el movimiento de la máquina hacia delante”

Podemos decir que la retrocargadora es la unión de una pala de ruedas o cargadora compacta con una excavadora de cadenas o ruedas.

Las retro palas se usan habitualmente en obras pequeñas, donde gracias a su gran versatilidad y eficiencia son las máquinas más indicadas. Debido a su esta gran versatilidad, son capaces de realizar un gran número de tareas, como pueden ser:

- **Movimiento de tierras:** para realizar rampas, acondicionamiento de terrenos... Uno de los usos más habitual para el que se destina esta maquinaria es el de preparar la zona donde se asientan los cimientos de los edificios.
- **Transporte de material:** otro uso muy habitual de esta maquinaria es el de transporte de material de desecho en las obras. Con estas máquinas se puede derruir y amontonar el escombros, además de cargarlo en el camión destinado al traslado del escombros.

2.2 Clasificación de las retro palas

La Norma UNE 115449:2004 define los siguientes tipos de retrocargadora:

- ❖ Con equipo retro desplazable

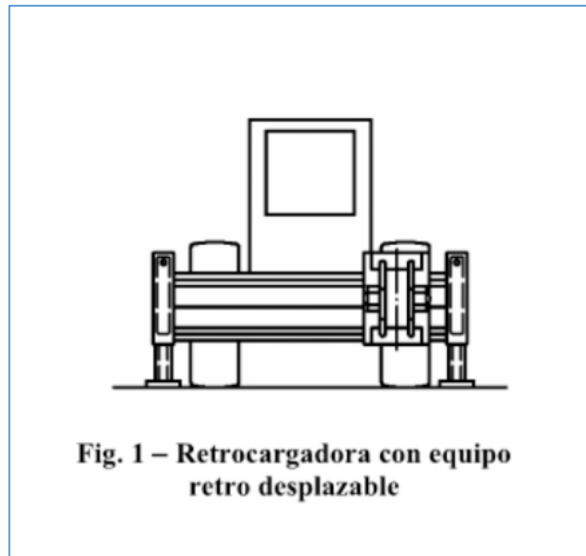


Imagen 2

- ❖ Con equipo retro central no desplazable

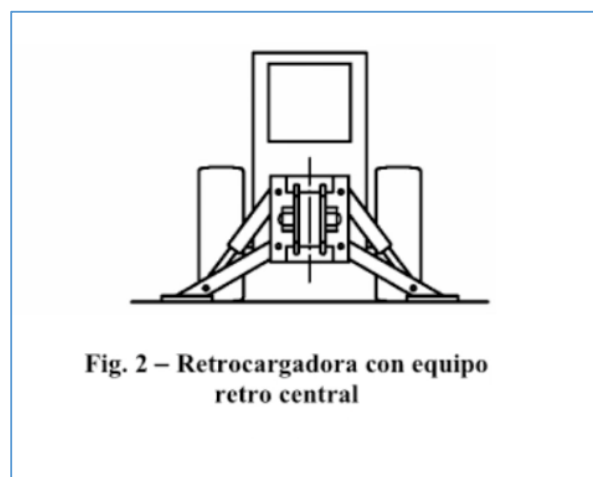


Imagen 3

- ❖ Según el sistema de tracción y dirección, esta misma Norma clasifica las retro palas en:

- Bastidor rígido, dirección en las ruedas delanteras y tracción en las ruedas traseras

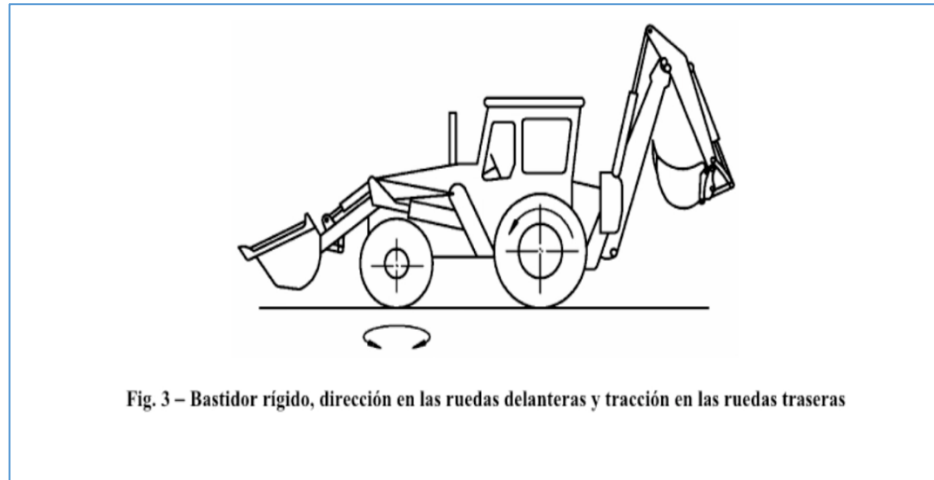


Imagen 4

- Bastidor rígido, dirección en las ruedas delanteras o en todas y tracción en todas las ruedas



Imagen 5

- Dirección por articulación de bastidores y tracción en las ruedas traseras

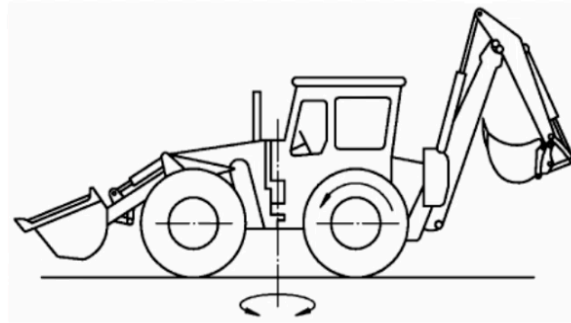


Fig. 5 – Dirección por articulación de bastidores y tracción en las ruedas traseras

Imagen 6

- Dirección por articulación de bastidores y tracción en todas las ruedas

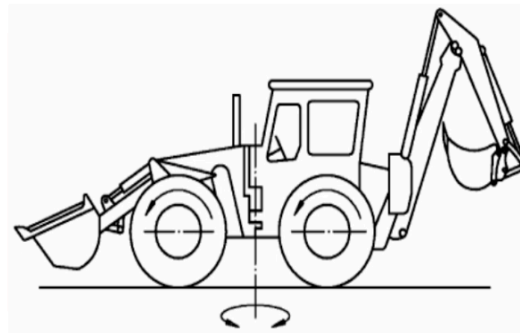


Fig. 6 – Dirección por articulación de bastidores y tracción en todas las ruedas

Imagen 7

2.3 Partes de una retro pala

Las partes principales de una retro pala son las siguientes:

- ❖ **Tractor o cuerpo de la retro pala:** esta es la parte gracias a la que la retro pala se puede desplazar. El desplazamiento lo hace a través de ruedas. Sirve de vehículo y de elemento de apoyo a las herramientas de trabajo, que son el cucharón y la pala frontal.



El tractor está provisto de unos contrapesos, además del motor, que tienen por función equilibrar la retro pala en las operaciones de trabajo.

Desde el tractor, concretamente en la cabina de la retro pala, es el operario el que controla la máquina en a la hora de realizar las labores de trabajo a través de los mandos. Es deseable que estos mandos estén ubicados de la forma más ergonómica posible para un fácil manejo de la retro pala. Otra característica deseable de la cabina es que el nivel de ruido dentro de ella sea bajo, para una mayor comodidad a la hora de trabajar.



Imagen 8: Cabina de una retro pala

- ❖ **Cucharón frontal:** aquí podemos diferenciar dos partes principales, el mecanismo del cucharón, y el propio cucharón.



Imagen 9: Cucharón frontal de una retro pala

- ❖ **Pluma trasera:** este es el mecanismo sobre el que va a tratar el grueso del presente Trabajo Fin de Grado. La pluma trasera se puede dividir en tres partes claramente diferenciadas:
 - **Cazo trasero:** esta es la parte con la que se excava en el terreno o con la que se transporta el material al punto de descarga. Según la retro pala, tiene distinta capacidad y por tanto, distintas dimensiones. Cada una de estas diferentes geometrías es indicada para efectuar distintas operaciones, como pueden ser carga a camiones, arrancar material, ...

Para mover el cazo disponemos de un cilindro, que va desde el balancín al mecanismo que permite el movimiento del cazo.

Tablas de dimensiones Descripción Dimensiones Galería



DK 3 DK 5 DK 7 DK 20 DK 25 DK 30
 DK 35 DK 40 DK 43 DK 45 G 2

DK3 2,5 Tn - 4,5 Tn

Modelo	Ancho boca	Capacidad Litros	Peso	Nº Dientes	Tip Radius	A	B	C
DK 3.25	250	43	47	3				
DK 3.30	300	55	57	3				
DK 3.40	400	82	68	4				
DK 3.50	500	109	78	5	690	460	430	15
DK 3.60	600	138	84	5				
DK 3.70	700	166	94	5				
DK 3.80	800	195	104	6				
DL 3.100	1000	127	95					

Imagen 10: Medidas de cazos traseros estándar

- **Balancín:** el balancín es la barra que une el cazo con la pluma. El movimiento del balancín es debido al cilindro que une la pluma con el propio balancín. Hay varios tipos de balancines:
 - **Balancín estándar:** este balancín tienen unas dimensiones fijas, las cuales son totalmente invariantes.
 - **Balancín extensible:** este balancín tiene un mecanismo gracias al cual puede aumentar su alcance en unos centímetros. El alcance



extra que nos proporciona este mecanismo es de unos 300 centímetros a unos 600 centímetros, aproximadamente.



Imagen 11: Retropala con balancín estándar



Imagen 12: Retro pala con balancín extensible

- **Pluma:** la pluma es la barra que une el cuerpo de la retro pala con el balancín. El movimiento que produce el cilindro hidráulico de esta barra le permite cambiar el ángulo de esta barra respecto al suelo. Según el tipo de máquina, las plumas de las retro palas tienen distinta geometría, según el uso y las características de la retro pala.
- ❖ **Motor de la retro pala:** el motor de la retro pala permite el traslado de esta, además de un correcto funcionamiento del sistema hidráulico. En la actualidad, encontramos tres tipos de motores: motor diésel, motor eléctrico, y motor formado por la combinación de un motor diésel y otro eléctrico (híbrido).
- ❖ **Sistema hidráulico:** el sistema hidráulico de la retro pala es el encargado de mover tanto el cucharón delantero como todo el mecanismo de la pluma trasera.

El operador, mediante palancas o joystick (si la retro pala es más sofisticada), actúa en la válvula correspondiente del cilindro deseado para producir el movimiento en el mecanismo correcto.



2.4 Riesgos y medidas de seguridad en el uso de la retropala

Los riesgos más importantes derivados del uso de la retropala son los siguientes:

1. Atropello, golpes y/o choques contra vehículos o personal de la obra

El atropello de personal de la obra, y sus derivados, como podría ser el choque contra otros vehículos es el riesgo más importante dentro del uso de las retropalas, ya que puede tener consecuencias mortales.

Medidas de seguridad a adoptar

- ❖ La máquina ha de estar dotada de señal acústica de marcha atrás.
- ❖ La máquina ha de estar dotada de avisador luminoso de tipo rotatorio o flash.
- ❖ Cada día, antes de iniciar los trabajos, se tiene que comprobar que todos los dispositivos de la retropala responden correctamente y están en perfecto estado.
- ❖ Para poder usar el teléfono móvil mientras se utiliza la retropala, es necesario disponer de un dispositivo de manos libres.
- ❖ El asiento y los mandos se deben ajustar a la posición adecuada para el operario que maneja la retropala.
- ❖ Se debe comprobar que la cabina esté limpia, sin restos de aceite o barro, y, sobre todo, sin objetos sueltos que puedan desviar la atención del operario.
- ❖ Verificar que la retropala se mantiene al día la Inspección Técnica de Vehículos (ITV).
- ❖ Asegurar la máxima visibilidad de la retropala procediendo a la limpieza de toda la superficie acristalada, como podrían ser los retrovisores, parabrisas y espejos.



2. Caída de personas a diferentes niveles

La caída de personas en las retropalas suele estar originada por la suciedad acumulada en el suelo y escaleras de la retropala, además de la suciedad acumulada en los zapatos del operario. Además, el no acceder correctamente a la retropala es otra de las principales causas de caída de personas derivada del uso de esta.

Medidas de seguridad a adoptar

- ❖ El operario de la retropala debe limpiarse el calzado, de forma eficaz, antes de utilizar la escalera de acceso a la cabina.
- ❖ Solo se podrá subir y bajar a la retropala por la escalera provista por el fabricante.
- ❖ La forma adecuada de acceso y salida a la retropala deberá ser la siguiente: el operario deberá sujetarse con ambas manos y hacerlo siempre de cara a la retropala.
- ❖ No subir ni bajar con la retropala en movimiento.
- ❖ Debe quedar terminantemente prohibido el transporte de personas en el cucharón de la retropala.

3. Golpes y contactos con los elementos móviles de la retropala

Otro de los grandes riesgos a la hora de usar una retropala, es el posible golpe o contacto de los elementos de la retropala con personal que se encuentre en la zona de trabajo de la retropala.

Medidas de seguridad a adoptar

- ❖ La retropala se debe controlar únicamente desde el asiento destinado al operario.
- ❖ La presencia de trabajadores o terceros en el radio de acción de la máquina está completamente prohibida.
- ❖ Si la visibilidad en el trabajo disminuye por circunstancias meteorológicas por debajo de los límites de seguridad, se debe aparcar la máquina en un lugar seguro y esperar a que el tiempo mejore.



- ❖ Las entradas y salidas al solar se deben realizar con extrema precaución, y si fuera necesario, con el apoyo de un señalista.
- ❖ El movimiento de traslado de la retro pala se debe realizar siempre con la cuchara recogida.
- ❖ Con el fin de evitar las colisiones, deben definirse y señalizarse todos y cada uno de los recorridos en las obras.

4. Riesgo derivado de un contacto eléctrico

Un gran riesgo derivado del uso de la retro pala es el de que, con el cucharón o con la pala trasera, tengamos contacto con cables eléctricos. Para evitar esto se proponen las siguientes medidas.

Medidas de seguridad a adoptar

- ❖ Antes de empezar cualquier tipo de trabajo con la retro pala, se debe localizar y reducir al mínimo posible los riesgos derivador de cables subterráneos, aéreos u otros sistemas de distribución.
- ❖ Cuando vamos a operar con la retro pala en zonas próximas a cables eléctricos, se deberá comprobar la tensión de estos cables para poder establecer la distancia mínima de seguridad a la hora de trabajar. Estas distancias de seguridad se establecerán según la tensión nominal de la instalación, y serán de 3, 5 ó 7 metros dependiendo de esta.
- ❖ Se debe llevar a cabo un correcto mantenimiento del sistema eléctrico de la retro pala, con objeto de evitar cualquier posible riesgo de origen eléctrico.

5. Riesgo causado por una explosión o incendio

La explosión o incendio localizado en la retro pala es algo poco usual, de todas formas, se deben adoptar las siguientes medidas para evitar a toda costa este riesgo, ya que sus consecuencias podrían ser catastróficas.

Medidas de seguridad a adoptar

- ❖ Al inicio de cada trabajo, se debe comprobar la existencia de un extintor homologado en el interior de la retro pala.
- ❖ Se debe llevar un mantenimiento adecuado de la retro pala con el fin de evitar cualquier riesgo de explosión, incendio o sobrecalentamiento provocado por la



propia retro pala en sí, o por los líquidos, vapores y demás sustancias producidas o utilizadas por la máquina.

6. Riesgo derivado de un contacto térmico

Para evitar los riesgos derivados de un contacto térmico por parte del operario de la retro pala o de los operarios encargados de su mantenimiento. Se deben adoptar las siguientes medidas.

Medidas de seguridad a adoptar

- ❖ Las piezas de la retro pala que se mantengan calientes, incluso después de apagar el motor de esta, deben ir protegidas con tapas para cubrirlas.
- ❖ Los escapes del motor de explosión debe de estar visibles, además de señalizados mediante un pictograma claro y conciso.
- ❖ En operaciones de mantenimiento, usar siempre los equipos de protección correspondientes.

7. Medidas de seguridad a adoptar en caso de fallo mecánico

Ninguna máquina está exenta de fallos mecánicos, por lo que debemos adoptar medidas de seguridad para evitar al máximo las consecuencias producidas por estos.

Medidas de seguridad a adoptar

- ❖ La palanca de bloqueo, la cual impide que cualquier otro mando se accione, voluntariamente o accidentalmente, debe funcionar de forma correcta. Además, esta debe activar automáticamente el freno de accionamiento.
- ❖ La retro pala debe disponer de un interruptor de parada del motor en caso de que este no pare al girar la llave de encendido a la posición OFF.
- ❖ Los brazos de la retro pala deben mantener su posición en caso de fallo mecánico.



3. Definición del tipo de retro pala trasera a estudiar

Lo primero que debemos definir es el tipo de retro pala que vamos a estudiar. En este caso, vamos a estudiar una retro pala con un balancín estándar. Esto significa que las dimensiones de nuestro balancín no van a variar, van a ser siempre las mismas.

Una vez definido el tipo de retro pala, lo siguiente, es definir las fuerzas requeridas. Para ello, debemos definir la fuerza de excavación del cazo y la fuerza de excavación del balancín, requeridas en nuestra retro pala.

- ❖ Fuerza de excavación del cazo requerida: 63.400 N
- ❖ Fuerza de excavación del balancín requerida: 42.800 N

4. Características geométricas y dimensionales

4.1 Primeras hipótesis de diseño

Para poder realizar el estudio de la retro pala, lo primero y fundamental es definir una geometría válida para el correcto funcionamiento. El proceso de definición de la geometría se hizo en las siguientes fases:

- **Primera fase: Documentación.**

En esta primera fase se buscó y estudió los diferentes modelos de retro pala de cada una de las marcas. Se analizó los catálogos de cada una de las marcas, para decidir cuál era el que ofrecía una información más precisa.

Surgió la oportunidad de poder visitar una concesión que trabajaba con retro palas, por lo que allí se pudo medir in situ las dimensiones de una retro pala real.

- **Segunda fase: Modelización.**

Una vez se consiguieron unas medidas aproximadas de los componentes de la retro pala, se pasó a modelizar cada una de las piezas que la componían.



- **Tercera fase: Simplificación de elementos.**

Ya con las piezas modelizadas se discretiza cada elemento en barras, para poder analizarlo posteriormente.

4.2 Diseño de la geometría del brazo excavador.

Una vez separado todos los elementos y discretizados cada elemento en barras, se ha intentado que pasen las barras por la línea neutra de cada elemento.

- **Modelo en SolidWorks:**

Primero se hizo un modelo en SolidWorks con las principales medidas, se crearon ejes para simular las líneas neutras de las piezas y que permitiera trabajar con el cambio de ángulos entre piezas para simular el movimiento del brazo excavador.

- **Modelo en MEFI:**

Con el modelo de SolidWorks que permitía mover los elementos, se hacían distintas posiciones y se anotaba los puntos iniciales y finales de las barras, posteriormente en el programa MEFI se introducen para generar barras que simularan los elementos del brazo retroexcavador.

4.3 Simplificación de los elementos.

En este apartado se va mostrar como quedarían los elementos una vez creados en SolidWorks y simplificados en barras para su posterior simulación con la carga de excavación.

- **Pluma**

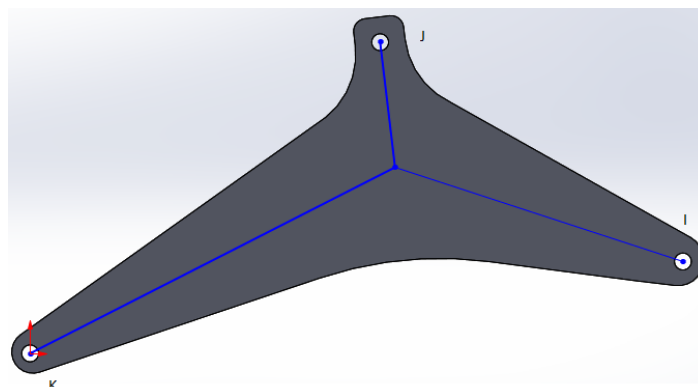




Imagen 13: Pieza llamada pluma de la retropala

- **Balancín**

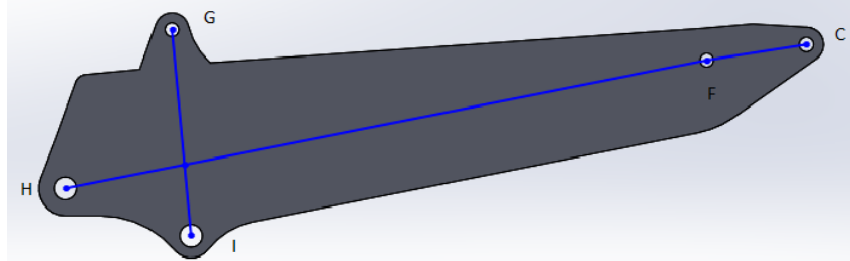


Imagen 14: Pieza llamada balancín de la retropala

- **Barra FED**

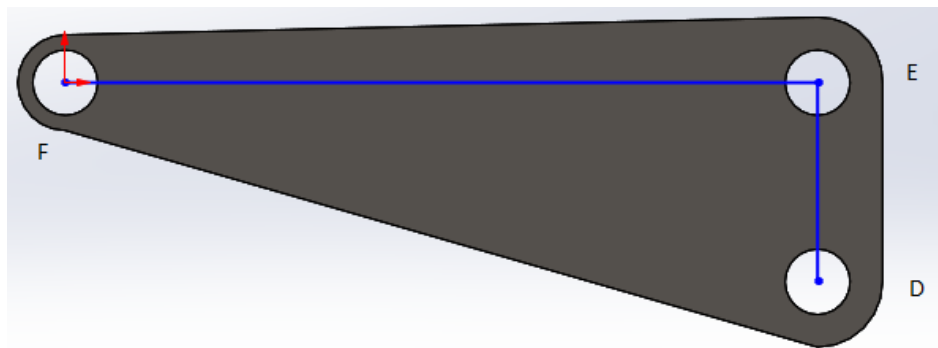


Imagen 15: Pieza de conexión en la retropala

- **Barra BD**

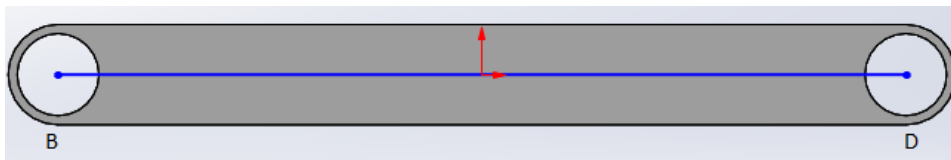


Imagen 16: Pieza de conexión al cazo

- Cazo

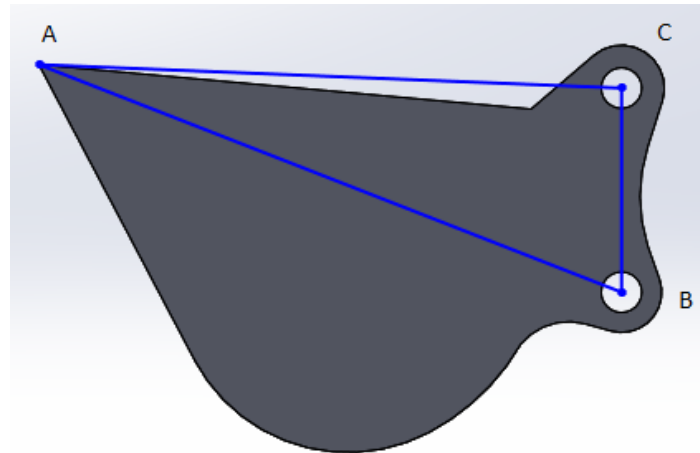


Imagen 17: Cazo de la retro pala.

Así quedaría la simplificación de los elementos en barras

5. Calculo de esfuerzos.

En este apartado se va a realizar el cálculo de esfuerzos en todos los elementos a diseñar, sabiendo las capacidades de carga de la maquina se realizara el análisis de esfuerzos máximos en los elementos.

5.1 Selección de programa.

El programa seleccionado para el cálculo de esfuerzos es el programa llamado **MEFI – Método de los elementos finitos**.

El programa realiza el análisis estático (elástico lineal), por el MEF, de problemas de elasticidad y problemas de campos en régimen permanente, y mediante análisis matricial de estructuras planas, articuladas o rígidas.

El programa MEFI emplea un modelo definido mediante la geometría, materiales, propiedades, elementos, desplazamientos impuestos y las cargas. Se pueden utilizar parámetros y expresiones matemáticas para facilitar la modificación de datos.

Información extraída de: <http://www.upct.es/~deyc/software/mefi.php>

5.2 Modelo en MEFI.

El programa MEFI trabaja a través de coordenadas, para realizar el modelo en el programa se tiene que extraer los puntos iniciales y finales de cada barra, se introducen en forma de coordenadas. Cada barra se forma al hacer una línea en el programa marcando el punto inicial y final de la línea.

Una vez realizadas las barras se le asignan las propiedades de material, las uniones de cada barra con otra barra y secciones. El programa trabaja con secciones constantes a lo largo de cada barra. Se trabaja con propiedades de alta rigidez para que nos cometieran variaciones entre el estudio estático y el estudio en MEFI debido a que MEFI trabaja con deformaciones.

Este sería el ensamblaje en MEFI:

Se muestra como ejemplo la posición 1 de trabajo modelada en MEFI, se pueden ver las restantes posiciones en Anexo I.

Posición 1

En esta posición, el ángulo que forma la fuerza F con el eje horizontal es de 15 grados.

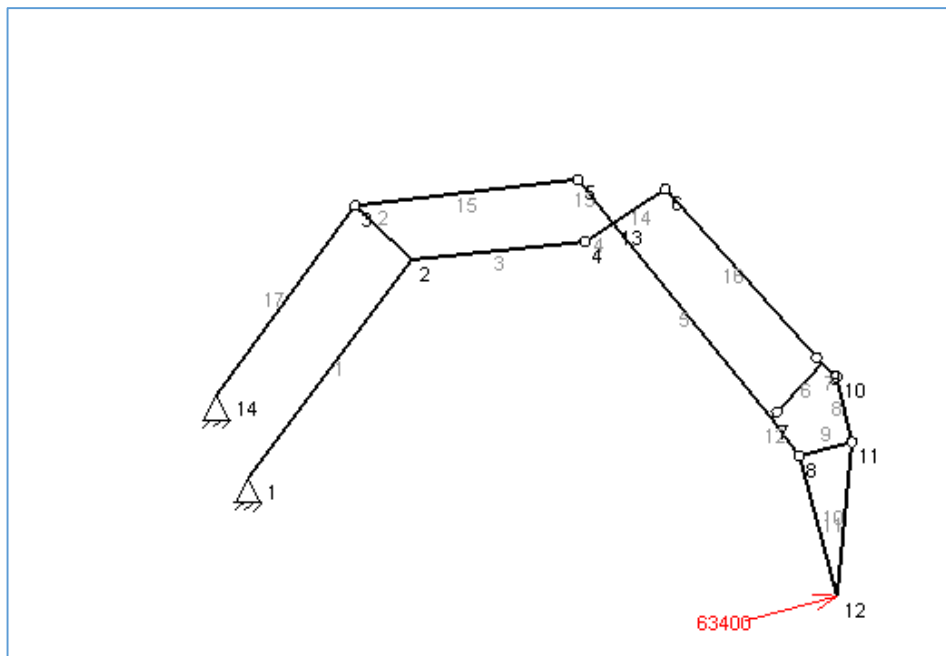


Imagen 18: Correspondiente a la posición 1 de trabajo. Modelo en MEFI



Y las cotas, en milímetros, de cada uno de los puntos para esta posición respecto del punto 1, son las siguientes:

Puntos	X	Y
1	0	0
3	678,92	1731,66
2	1042,72	1388,66
4	2146,17	1502,77
5	2097,95	1899,32
6	2655,5	1838,45
7	3328,56	380,77
8	3508,33	140,60
11	3841,58	229,9
10	3743,59	643,45
9	3652,06	728,58
12	3747,12	-750,55

Imagen 19: Tabla de coordenadas

5.3 Elección de posiciones a analizar.

Se realizó un primer estudio geométrico de 33 posiciones, se muestran en el Anexo I, Primer estudio geométrico.

- **Primera Fase:**
En el primer grupo de posiciones se ha movido el cazo en 11 posiciones diferentes dejando fijos el balancín y la pluma. Se han extraído 11 posiciones para analizar.
- **Segunda Fase:**
En este segundo grupo de 11 posiciones se ha movido el balancín dejando en posición fija el cazo y la pluma.
- **Tercera Fase :**
Por último se ha movido la pluma dejando fijos el cazo y el balancín y generando así otras 11 posiciones.

En la imagen siguiente se muestra una posición que se observa que no es coherente ya es una posición donde no se busca la fuerza máxima de excavación.

Posición 3.10

En esta posición, el ángulo que forma la fuerza F con el eje horizontal es de 47 grados.

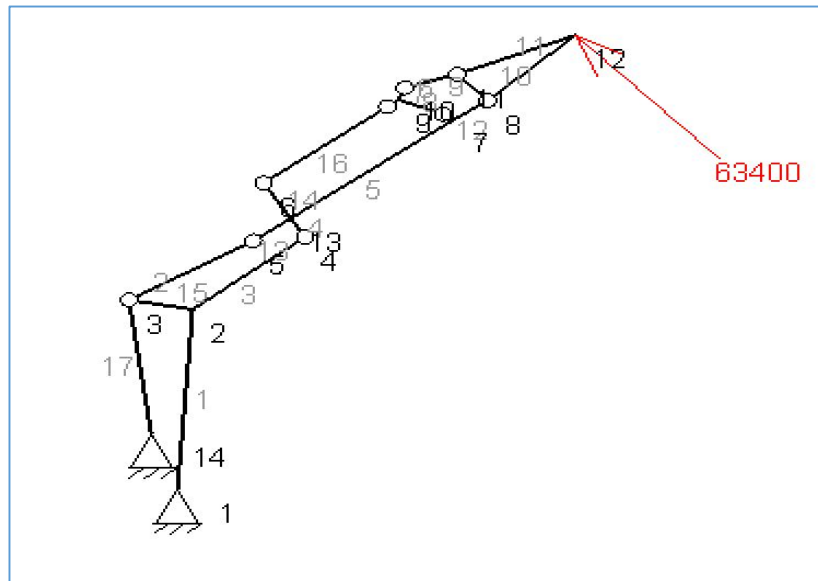


Imagen 20: Posición 3.10 del movimiento de la pluma.

De estas 33 posiciones se observó en los resultados de MEFI que muchas de ellas no eran posiciones reales de trabajo para la máquina, así que se simplificó las 33 posiciones generando otro grupo de posiciones observando donde la máquina podría hacer el máximo trabajo. Resultados mostrados en el Anexo II.

- **Cuarta Fase:**

Se fue combinando posiciones de las anteriores realizadas y generando posiciones de trabajo. Se muestran en el Anexo I, Segundo estudio geométrico.

5.4 Cálculo de Fuerzas en nudos.

Una vez realizado el análisis en MEFI se observa que solo proporciona información sobre los esfuerzos en barras y sus diagramas, pero también se necesita calcular las fuerzas en los nudos y solamente nos proporciona información sobre los apoyos.

Se necesita realizar diagramas de sólido libre “DSL” para poder obtener las fuerzas que actúan en los nudos y poder seguir para calcular pasadores y orejetas.



Para ello se utilizara el programa EES (Engineering Equation Solver), como se tiene todas posiciones definidas y con ayuda de SolidWorks se conoce distancias y ángulos para poder realizar con todos los datos los diagramas de solido libre.

Procedimiento de cálculo en el Anexo II.

6. Dimensionamiento analítico de los elementos.

Una vez tenemos los cálculos de los esfuerzos en las barras y nudos se procede a realizar el cálculo para que soporten los elementos en sus peores situaciones.

Los elementos a diseñar serán la pluma, balancín, barras de conexión, pasadores y orejetas. Los datos de fuerzas y sentidos se podrán obtener del Anexo II.

Todos los pasos que se han seguido para dimensionar están descritos en el Anexo IV.

Los materiales utilizados para su correspondiente elemento y cometido son los siguientes:

- Piezas y orejetas : S450 J0
- Pasadores: E450

Todos los elementos están diseños con coeficiente de seguridad de 3.

6.1 Teoría utilizada para el cálculo de las barras y orejetas.

6.1.1 Teoría de cortante Máximo.

6.1.2 Teoría de la distorsión de Von Mises.

Las dos teorías están explicadas en el Anexo IV. Son las utilizadas para el dimensionamiento de los elementos.

6.2 Dimensionamiento de la pluma.

El dimensionamiento de la pluma se realiza de la siguiente manera, el elemento pluma está separado por dos barras, se calcula con el máximo esfuerzo en las barras un espesor para el elemento. Se utiliza la Teoría de cortante máximo.

Una vez calculado el espesor necesario, se fija la base del perfil de la pluma que va ser constante a lo largo de toda la barra y tomando datos de esfuerzos para diferentes puntos de la barra podemos calcular como varia la altura del perfil a lo largo del perfil.

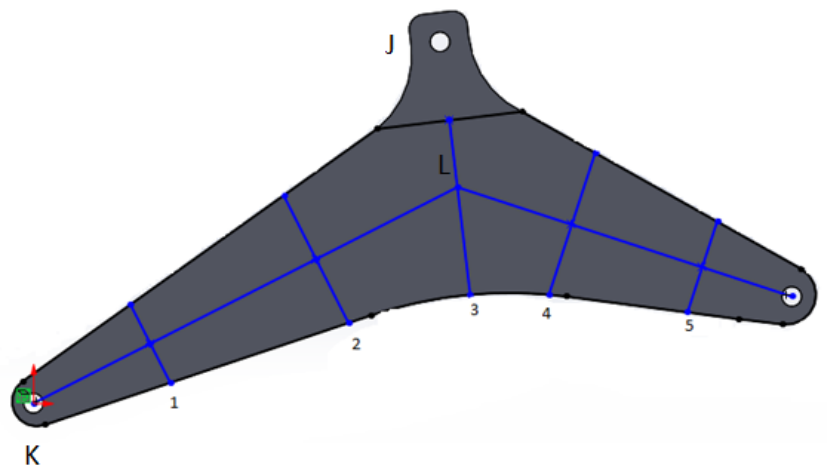


Imagen 21: Elemento pluma separada en puntos para dimensionar

Los datos de esfuerzo máximo salen de la posición 4 de trabajo y tienen un valor.

$$N = 102850 \text{ N} \quad M_z = 125170 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El esfuerzo máximo está en el punto L, donde tenemos un espesor calculado de 2.697 mm se redondea a un espesor de 3 mm.

Los espesores en los demás puntos eran menores con ello conseguimos fijar el espesor de 3 en toda pieza y calcular distintas alturas para los puntos 1, 2, 4,5.

En Anexo IV encontraran los pasos seguidos.

6.3 Dimensionamiento del Balancín.

La forma de dimensionamiento del balancín es análoga a la de la pluma, el balancín está separado en dos barras, se busca el máximo esfuerzo que van a tener que aguantar y se dimensiona el espesor con ello. Calculo realiza a través de la Teoría del cortante máximo.

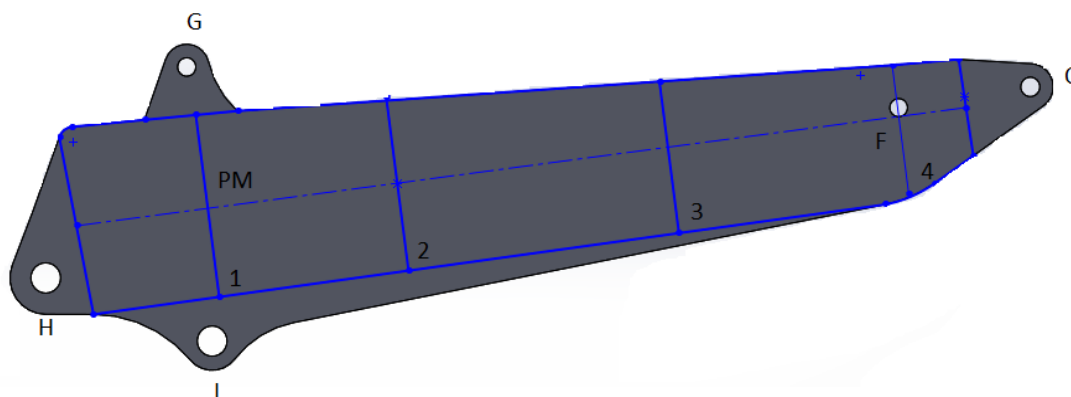


Imagen 22: Elemento balancín con las secciones a calcular.

Los datos de esfuerzo máximo son extraídos de la posición de trabajo combinada 6.3 y tienen un valor, se muestran en el Anexo II.

$$N = 153620 \text{ N} \quad M_z = 155210 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El máximo esfuerzo está situado en el punto PM calculando con ello la sección en 1, donde tendremos un espesor de 5,3 mm calculado que se redondea a 6 mm.

Los espesores en los demás puntos eran menores con ello conseguimos fijar el espesor de 6 en toda pieza y calcular distintas alturas para los puntos 2, 3, 4.

En Anexo IV encontraran los pasos seguidos.

6.4 Dimensionamiento de la barra BD

La barra BD es una barra de unión para articular el cazo, es una barra biarticulada y trabaja solamente a compresión o tracción, se ha buscado el máximo esfuerzo en la barra, está sometida a compresión. Por geometría la base se ha establecido de una forma aproximada a la medida real.

El esfuerzo es obtenido en la posición de trabajo 3, con un valor de compresión

$$N = 179510 \text{ N}$$

La altura se ha determinado calculando la sección alrededor del pasador necesaria para que no rompiera y con ello se ha mantenido la altura constante en la barra.

Medidas finales de la pieza:

$$b = 150 \text{ mm} \quad h = 50 \text{ mm}$$

Pasos de cálculo en el Anexo IV y Datos de esfuerzos en Anexo II.

6.5 Dimensionamiento de Barra FED

La barra FED es una barra que se ha modelado como la unión de dos barras en forma de L, con lo que a la hora de dimensionarla se tiene el inconveniente de que en la unión de la L al ser dos barras con unión fija como un empotramiento se genera un momento además de tener esfuerzos de tracción/compresión.

Esta barra se dimensionara teniendo en cuenta el esfuerzo flector además del esfuerzo axil.

Datos del dimensionamiento en Anexo IV.

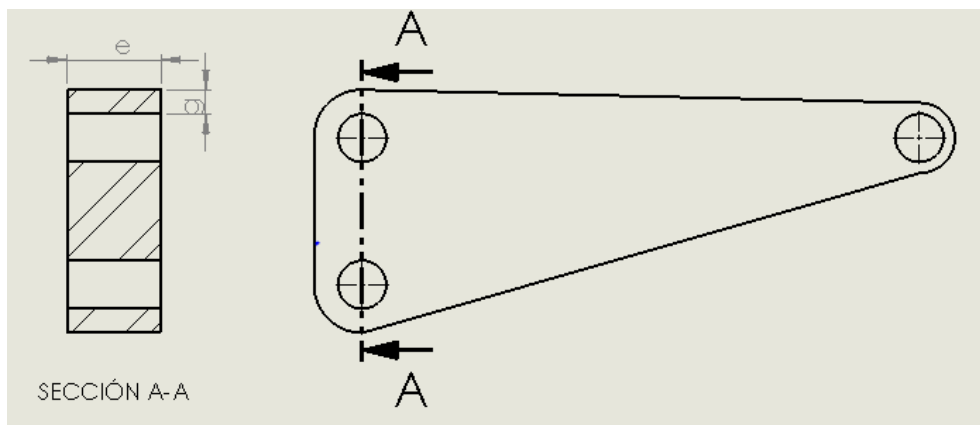


Imagen 23: Imagen obtenida del plano de la pieza FED

- **Primera Fase:**
Se ha calculado el valor de “e” para que cumpla por aplastamiento debido a que se alojan pasadores en los huecos.
- **Segunda Fase:**
Se ha calculado el valor de g para que cumpla en esfuerzos de tracción/compresión
- **Tercera Fase:**
Se ha calculado un nuevo valor de “e” según la teoría de cortante máximo debido a que se tiene momento flector.



Se ha seleccionado el valor de “e” calculado en la tercera fase ya que es más crítico obteniendo un valor de 80 mm, mientras que “g” tiene un valor de 20 mm.

6.6 Dimensionamiento de Orejetas y alojamientos para pasadores.

Todos los apoyos en la estructura de la maquina se deben dimensionar para que soporten distintos esfuerzos, ya que según los esfuerzos a los que estén solicitados tienen que soportarlos.

Estos esfuerzos pueden variar de dirección y magnitud así que con ello tienen que aguantar.

Todos los cálculos referentes a este apartado están descritos en el Anexo IV.

6.6.1 Dimensionamiento de orejetas.

Se va dimensionar los apoyos llamados orejetas de la siguiente manera:

- **Aplastamiento**

En el cálculo por aplastamiento será el primero para determinar el espesor de la orejeta, puesto que tenemos el valor del diámetro del pasador podremos obtener el valor del espesor.

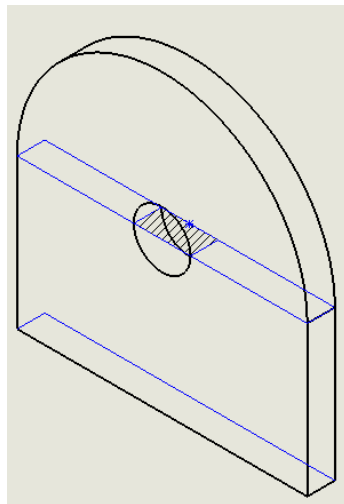


Imagen 24: orejeta de sujeción

La zona rayada es la que va soportar este esfuerzo de aplastamiento, como se conoce el valor de la fuerza y el diámetro del pasador se puede obtener el espesor de la orejeta.



- **Combinación de Tracción/compresión con esfuerzo cortante.**

En la sección intermedia de la orejeta, justo donde se aloja el pasador debido a que en esa zona está sometida a esfuerzos en el eje X e Y de la orejeta se producen dos tipos de esfuerzos se combinan, son un esfuerzo de tracción/compresión con esfuerzo cortante.

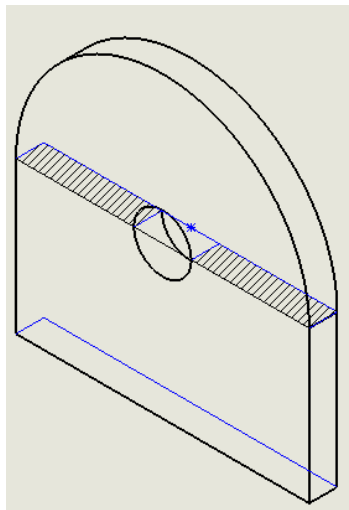


Imagen 25: Orejeta de sujeción.

En este cálculo ya se conoce el espesor de la orejeta así que se calculara la longitud a cada lado del pasador para que no falle por esta combinación de esfuerzos.

La Teoría utilizada para el este cálculo es la Teoría de distorsión de Von Mises.

- **Calculo de la base de la orejeta.**

Para la base de la orejeta el momento más desfavorable es el de máxima flexión, se calculara la base para que soporte el esfuerzo máximo de flexión, todas orejetas van a ser simétricas menos una que se calcula el coeficiente de seguridad para una base ya conocida.

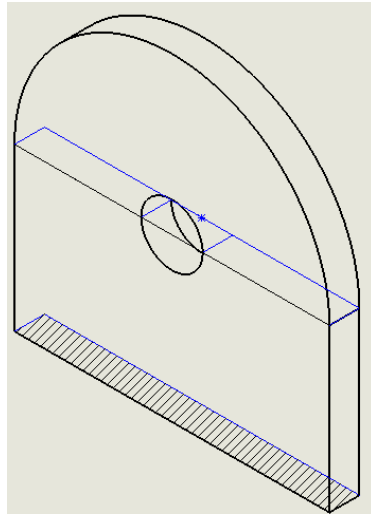


Imagen 26: Orejeta de sujeción.

La zona rayada es la que se calcula por flexión ya conociendo el espesor de la orejeta en el cálculo anterior de aplastamiento.

En este cálculo se utiliza la Teoría del cortante máximo.

6.6.2 Dimensionamiento de alojamientos para pasadores

En el punto F del balancín se tiene un alojamiento para un pasador, se deberá calcular el alojamiento donde se sitúa el pasador debido a que soporta fuerzas de diferentes magnitudes, se va dimensionar para cuando está soportando el máximo esfuerzo.

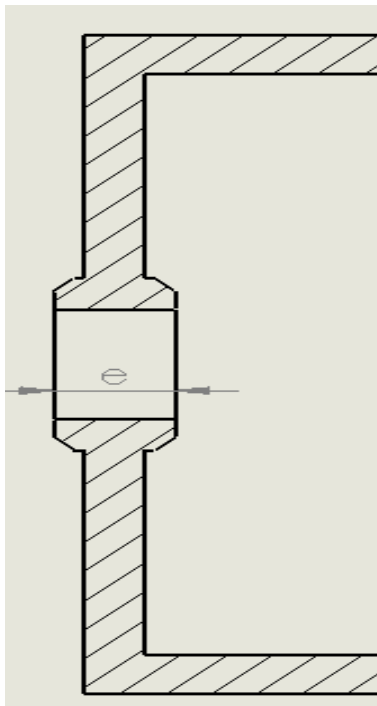


Imagen 27: Sección de alojamiento.

El espesor en la zona de alojamiento del pasador se realiza mediante el cálculo de aplastamiento, debido a que si es mayor que el espesor del perfil de la estructura lo fallara por aplastamiento, se calcula y se refuerza en el perfil.



6.7 Dimensionamiento de Pasadores.

Se han dimensionado los pasadores teniendo en cuenta que trabajan a doble cortadura, cada pasador se ha dimensionado para su máxima fuerza a soportar para que no falle cuando cambie el brazo excavador de posición.

Se han calculado los pasadores cada uno individual pero luego se han agrupado en diferentes grupos para no tener que poner cada pasador de una medida diferente. En el Anexo IV se muestran los cálculos.

Grupos de pasadores:

- Pasadores en puntos B, E, G de 41 milímetros.
- Pasadores en puntos H, J, K, M de 67 milímetros.
- Pasador en C de 43 milímetros.
- Pasadores en D, F de 40 milímetros.

7. Dimensionamiento de los cilindros.

Se va dimensionar los cilindros necesarios en nuestra máquina para que pueda realizar todas las posiciones de trabajo. El brazo excavador consta de tres cilindros que se usan para diferentes movimientos del brazo excavador.

- El cilindro 1 se encarga del movimiento del cazo.
- El cilindro 2 se encarga del movimiento del balancín.
- El cilindro 3 se encarga del movimiento de la pluma.

Para el dimensionamiento de los cilindros se ha elegido el valor máximo de la fuerza a realizar entre las posiciones de trabajo y sabiendo la presión hidráulica de trabajo se ha podido calcular el diámetro necesario de cada pistón.

También se ha determinado la carrera en el SolidWorks de cada cilindro, una vez determinada la carrera se establece una longitud de pandeo, teniendo los datos de la fuerza que realiza los cilindros y la longitud de pandeo se determina el diámetro del vástago.

Todos los cálculos en relación a los cilindros están en el Anexo III.



7.1 Características de los cilindros determinados.

Se muestra los requisitos necesarios que tienen que cumplir los cilindros a seleccionar para colocar en nuestra máquina.

CILINDRO	1	2	3
$\varnothing_{pistón}$	100	160	160
$\varnothing_{vástago}$	70	90	90
Carrera	550	400	450

Tabla-1 Datos de los resultados de cilindros, valores en milímetros.

Nos valdría cualquier cilindro comercial que cumpla los requisitos necesarios, que trabajen a una presión nominal de trabajo de 250 bares.

Según la elección de los cilindros del fabricante GLUAL HYDRAULICS mostrada en el Anexo III los cilindros 2 y 3 tendrán un diámetro de vástago de 100 mm.

8. Resultados analíticos del dimensionamiento.

Una vez dimensionado todo se van a mostrar los planos de las piezas tras calculo y diseñadas en el SolidWorks.

8.1 Resultados analíticos de piezas.

Se van a mostrar los resultados de la pluma, balancín, barra BD y barra FED.

Pluma

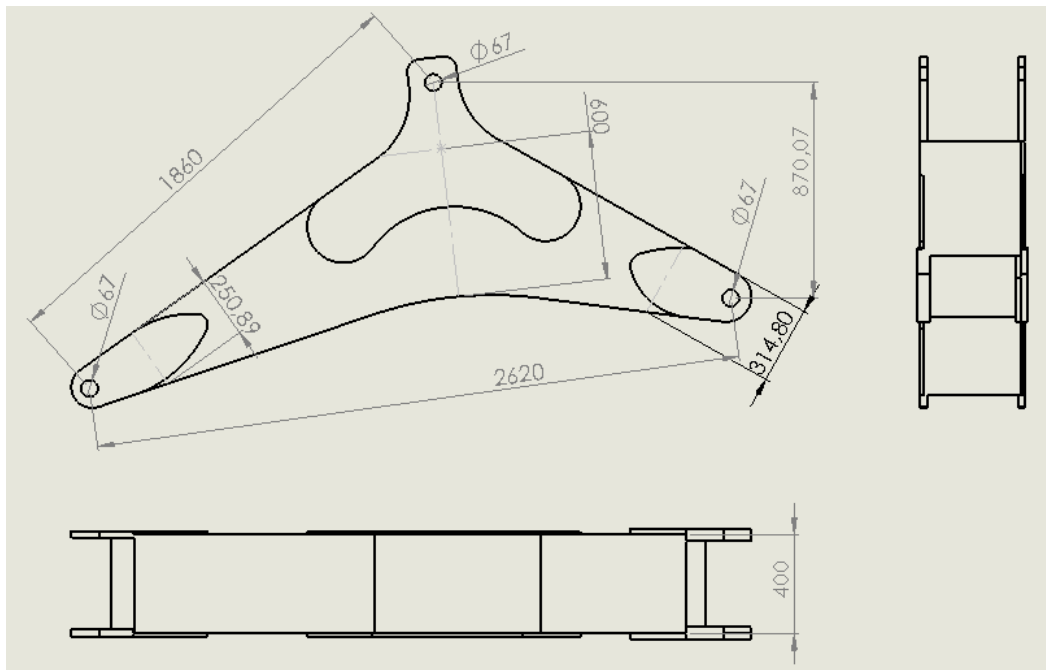


Imagen 28: Plano de tres vistas generado en SolidWorks de la pluma.



Balancín

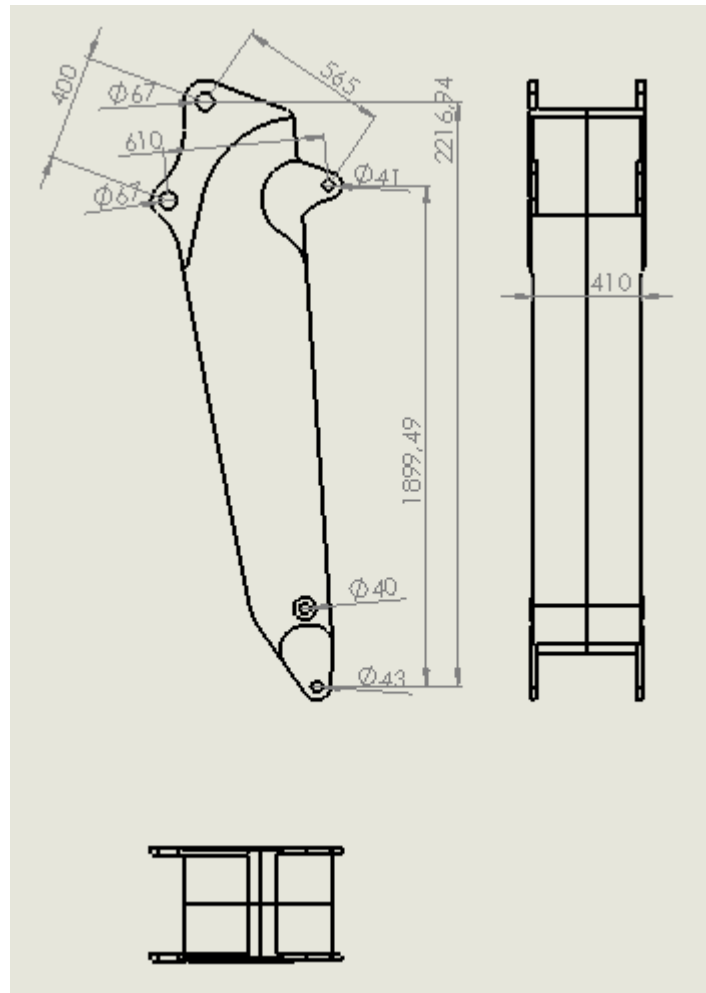


Imagen 29: Plano de tres vistas generado en SolidWorks del balancín.



Barra BD

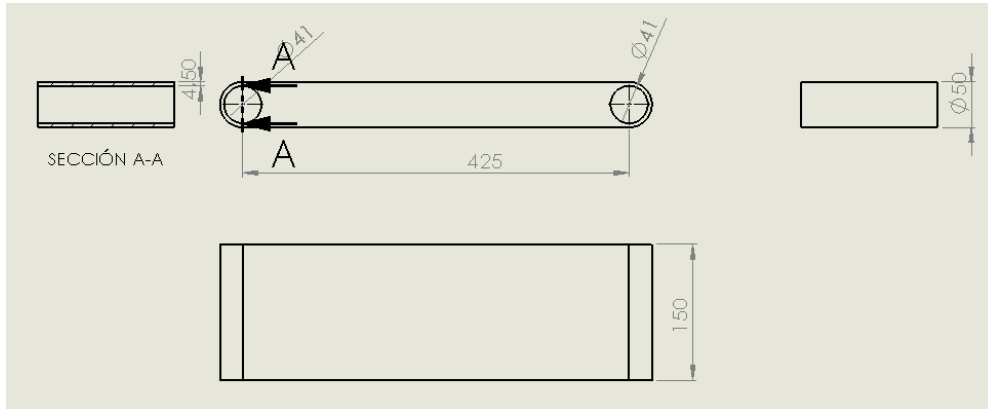


Imagen 30: Plano generado en SolidWorks de la barra BD

Barra EFD

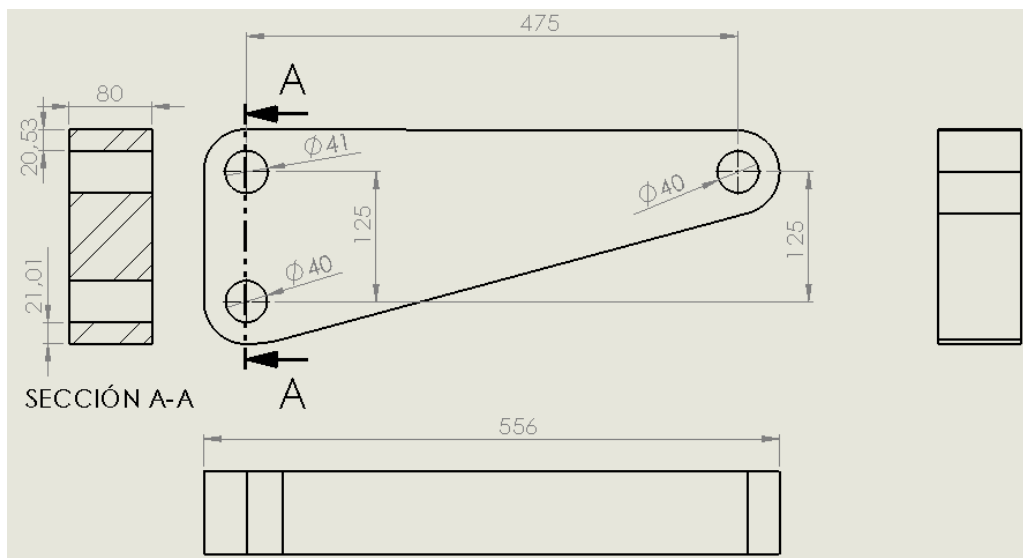


Imagen 31: Plano generado en SolidWorks de la barra EFD



8.2 Resultados analíticos de orejetas.

Se van a mostrar los resultados de las medidas analíticas en las orejetas.

Orejetas C, G, I, K

Estas orejetas se muestran en un grupo conjuntas debido a que son de la misma forma geométrica, se añade una tabla con las medidas de cada una.

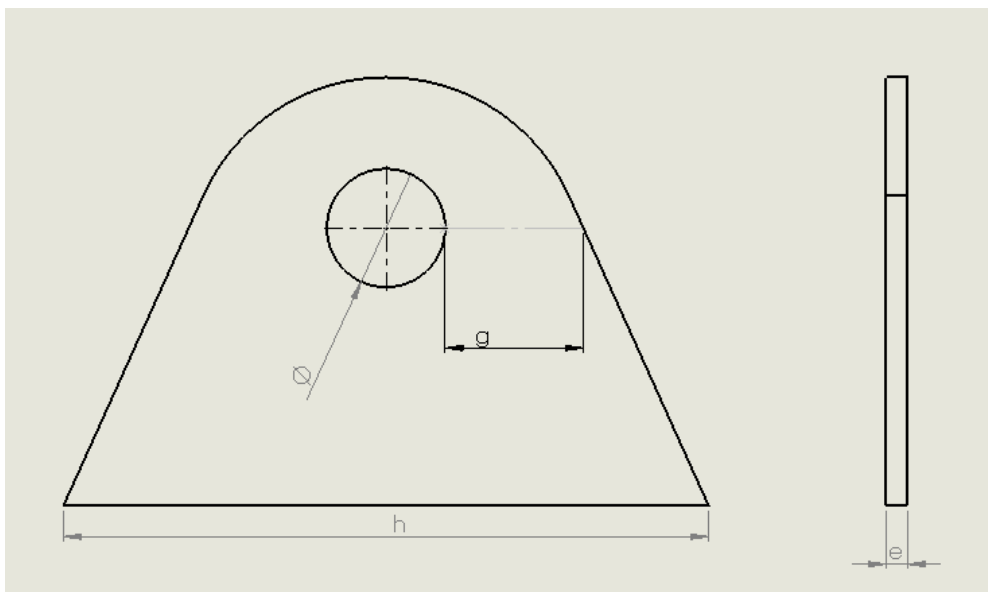


Imagen 32: Ejemplo de orejeta para medidas en SolidWorks.

Valores de cada orejeta:

Orejetas	C	G	I	K
\varnothing	43	41	67	67
e	20	20	30	30
g	20	30	35	30
h	170	210	300	150

Tabla-2 Resultados de las orejetas, valores en milímetros.



Orejeta K

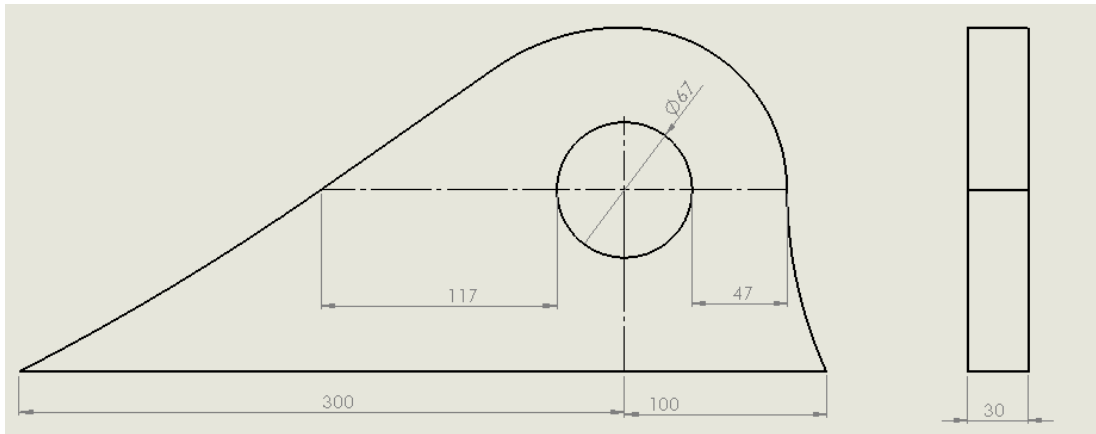


Imagen 33: Medidas de Orejeta en K generada en SolidWorks.

Orejeta J

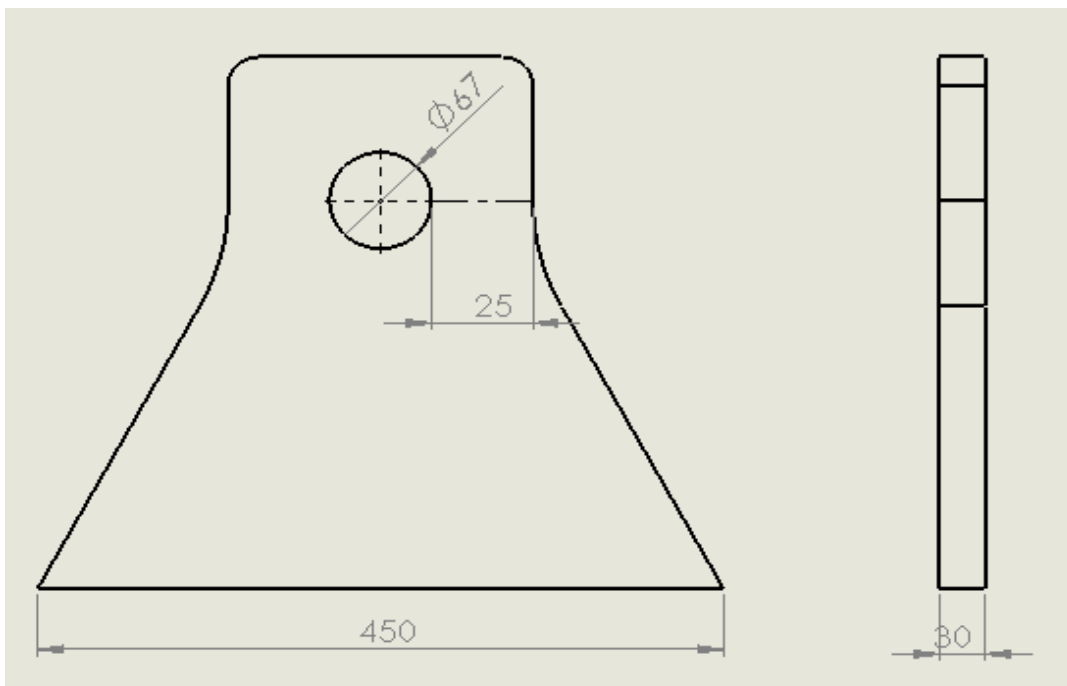


Imagen 34: Medidas de Orejeta en J generada en SolidWorks.



8.3 Simulación de resultados en SolidWorks.

Ya se dispone de todas las medidas necesarias para poder generar un modelo en 3D en el programa SolidWorks, el objetivo de este apartado es comprobar que las piezas dimensionadas analíticamente pueden soportar los esfuerzos para las situaciones más desfavorables.

Se van a mostrar los resultados simulados de la pluma, balancín y barras BD y EFD. Se muestran los resultados de tensiones, deformaciones y situación de pandeo.

Una vez simulado se realizara una posterior mejora de las piezas donde sea necesario así como redondeos de aristas vivas.

8.3.1 Pluma

Tensión

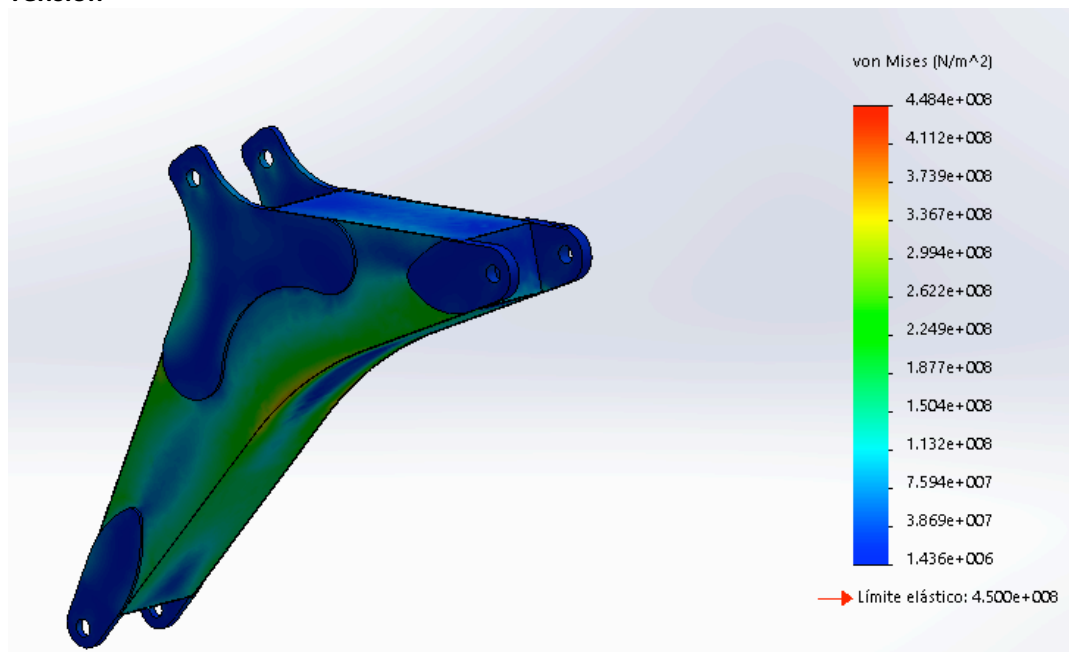


Imagen 35: Análisis de Tensiones.



Desplazamientos

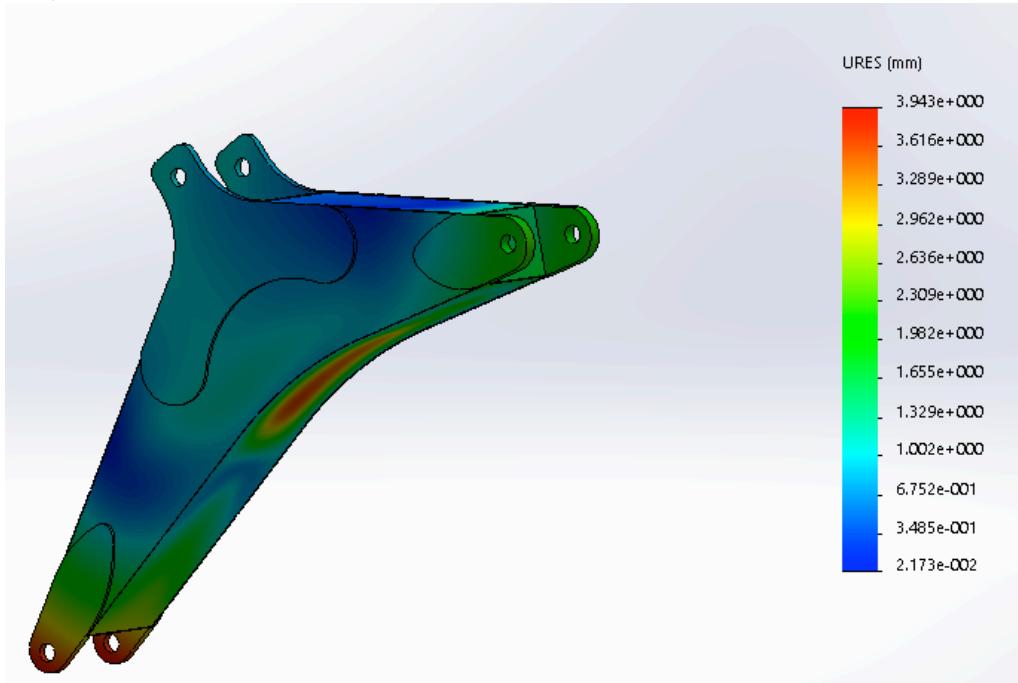


Imagen 36: Análisis de desplazamientos.

Pandeo

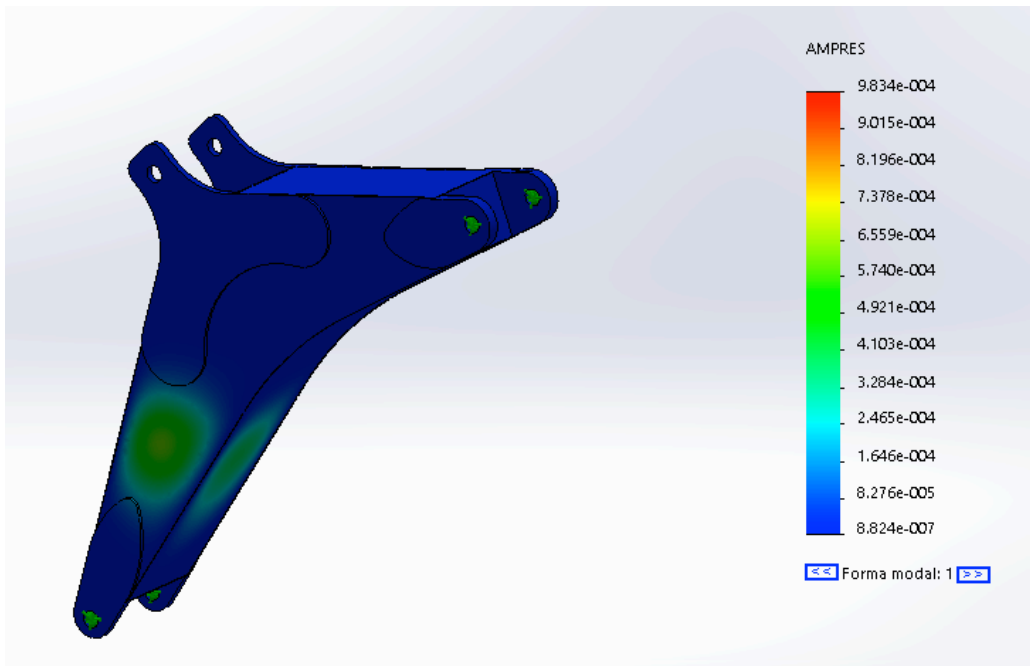


Imagen 37: Análisis a pandeo



8.3.2 Balancín.

Tensión

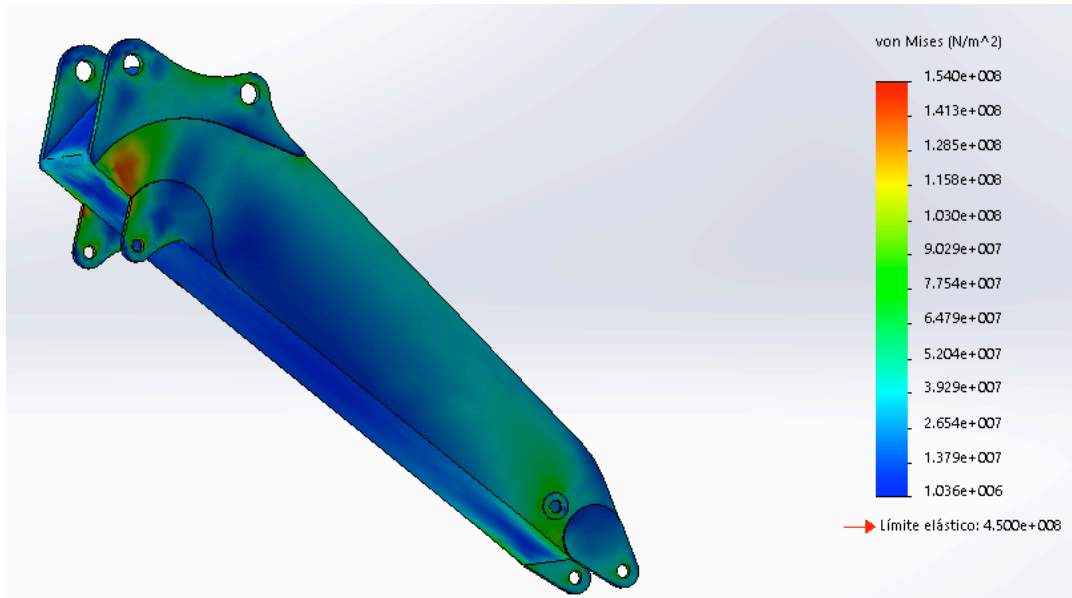


Imagen 38: Análisis de tensiones en el balancín.

Desplazamientos

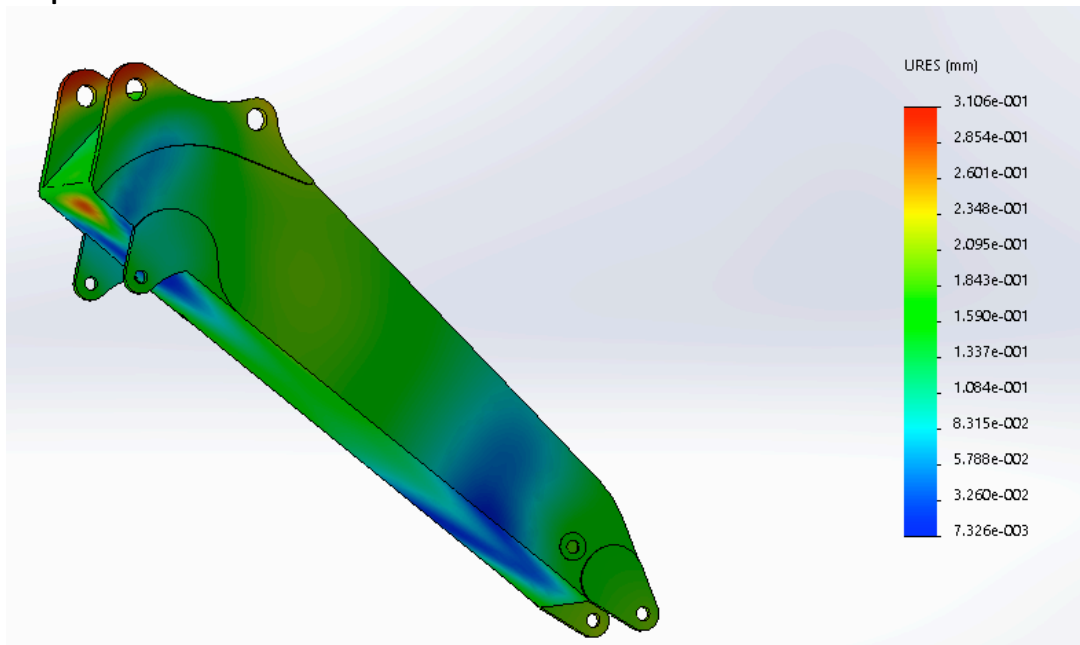


Imagen 39: Análisis de desplazamientos en el balancín.



Pandeo

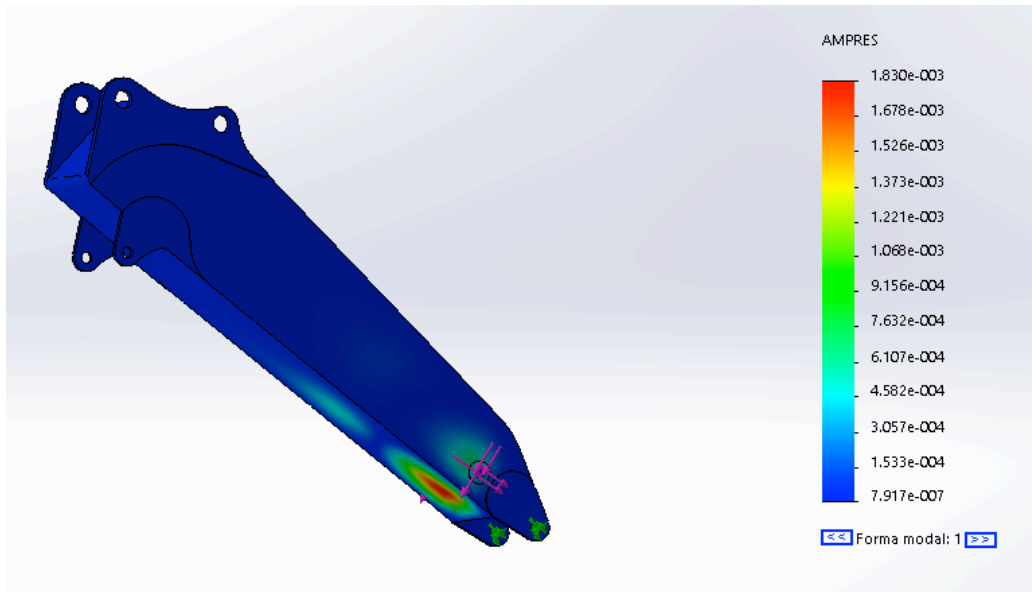


Imagen 40: Análisis a pandeo del balancín.

8.3.3 Barra BD

Tensión

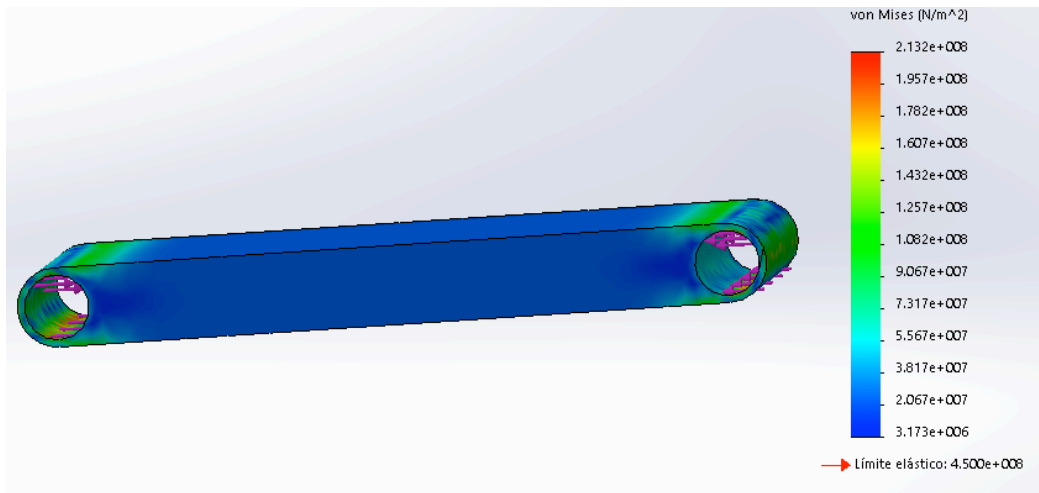


Imagen 41: Barra BD análisis de tensiones.



Desplazamientos

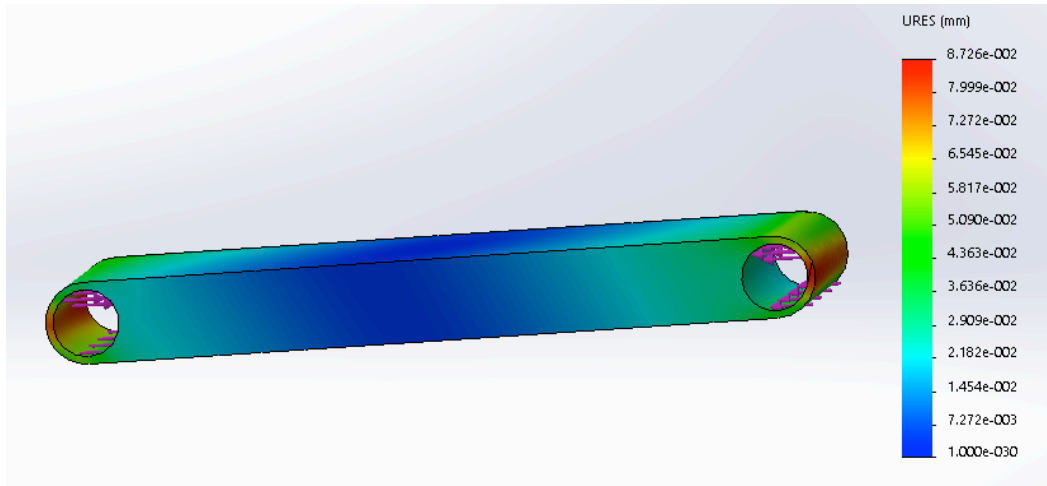


Imagen 42: Barra BD análisis de desplazamientos.

Coefficiente de Seguridad

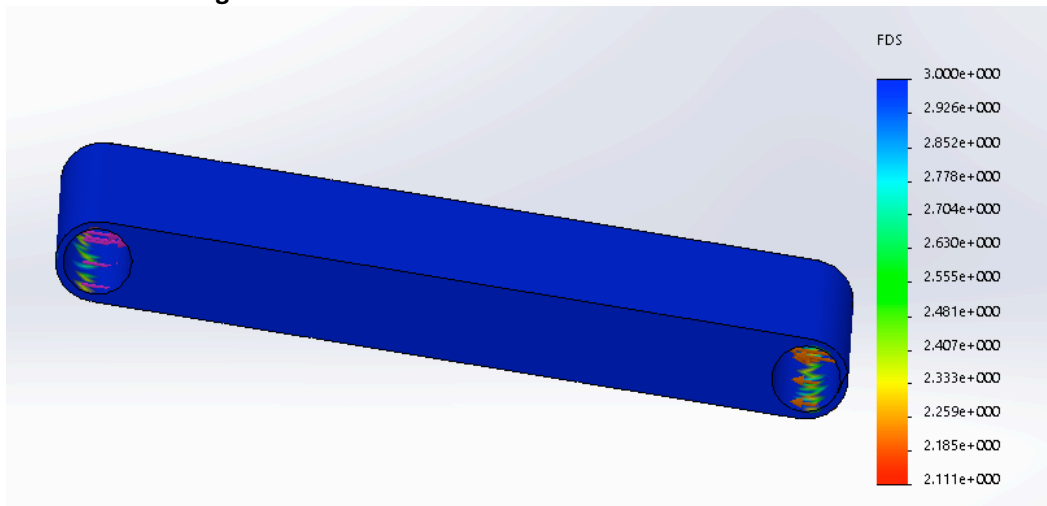


Imagen 43: Barra BD análisis de coeficiente de factor de seguridad.



8.3.4 Barra EFD

Tensión

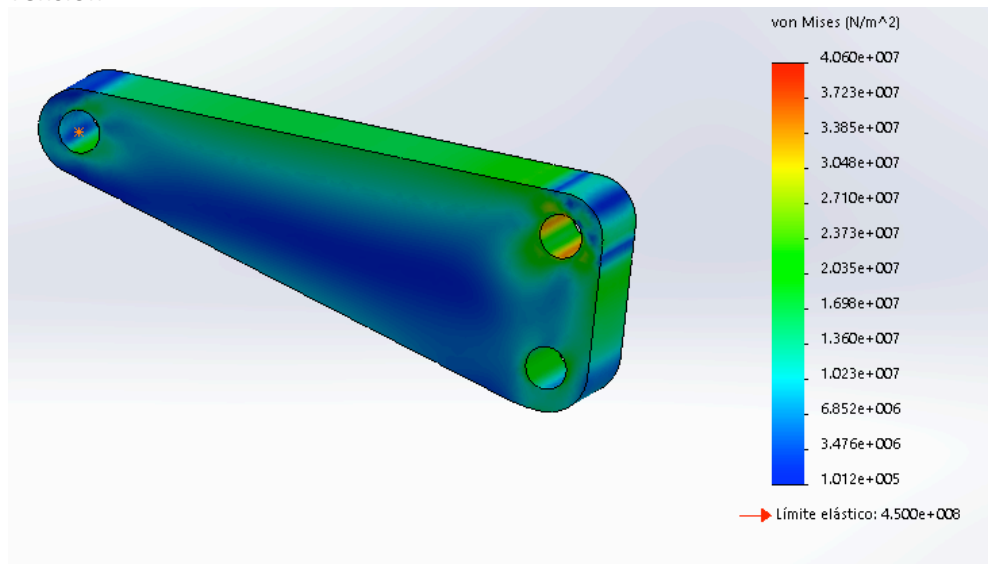


Imagen 44: Análisis de tensiones en barra EFD

Desplazamientos

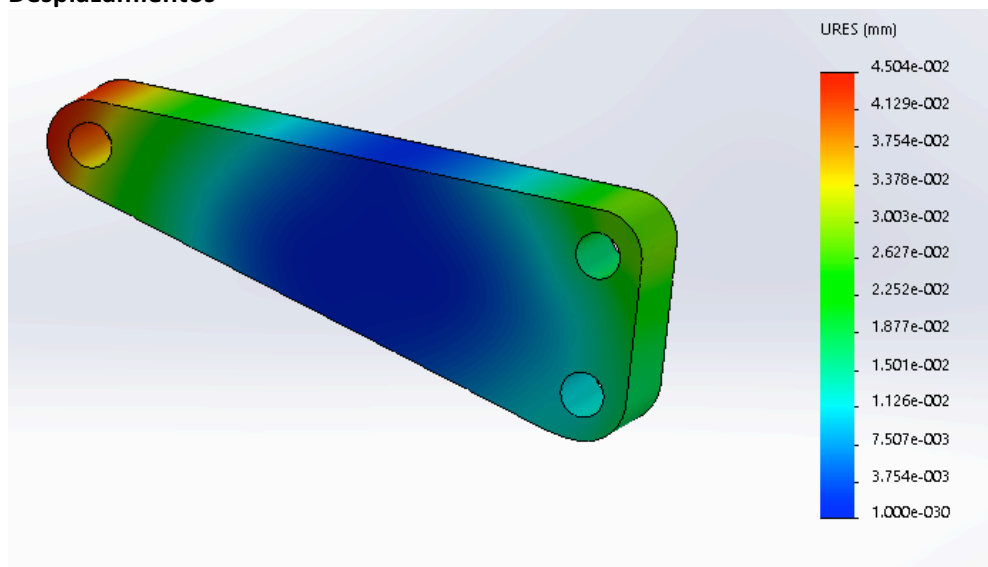


Imagen 45: Análisis de desplazamientos en la barra EFD.



8.3.5 Conclusiones de la Simulación.

En el análisis de resultados de la pluma se observa que en el análisis de tensiones la pluma en determinadas zonas no cumple con el coeficiente de seguridad de 3, así que se procederá a engrosar el perfil y rigidizar por dentro con unas planchas de acero. En el análisis de pandeo nos cumple con la carga crítica, en relación con ese ensayo no se debe mejorar.

En el análisis de resultados del balancín se muestra que en algunas zonas se tiene que reforzar debido que en el análisis de tensiones está un poco por debajo del factor de seguridad y en cuanto a pandeo el balancín no pandeara ya que la carga crítica no supera a la de pandeo.

La barra BD según nos muestra el análisis de resultados se observa que se debe mejorar el grosor en los pasadores debido a que está por debajo del coeficiente de seguridad y aligerar en las zonas de la mitad de la barra.

Mientras que la barra EFD se podría mejorar aligerando material debido a que está dentro de todos los límites con amplio rango.

8.3.6 Cambios realizados en las piezas

En la pluma y el balancín se ha aumentado el espesor de los perfiles a 10 mm en ambas piezas, en la pluma en la orejeta situada en J se ha soldado una pletina en la parte baja de la orejeta donde no cumplía el coeficiente de seguridad. En el balancín también se le ha introducido unas pletinas de forma transversal para rigidizar por dentro.

La barra EFD se ha reducido su base a 70 mm y se le han aplicado unos rebajes de 15 mm en cada una de sus caras laterales.

La barra BD se le ha aumentado el espesor que hay entre los pasadores y las caras exteriores en 10,5 a cada lado, también se le han hecho unos rebajes en las caras laterales de 20mm.

8.3.7 Planos de las piezas modificadas.

Pluma

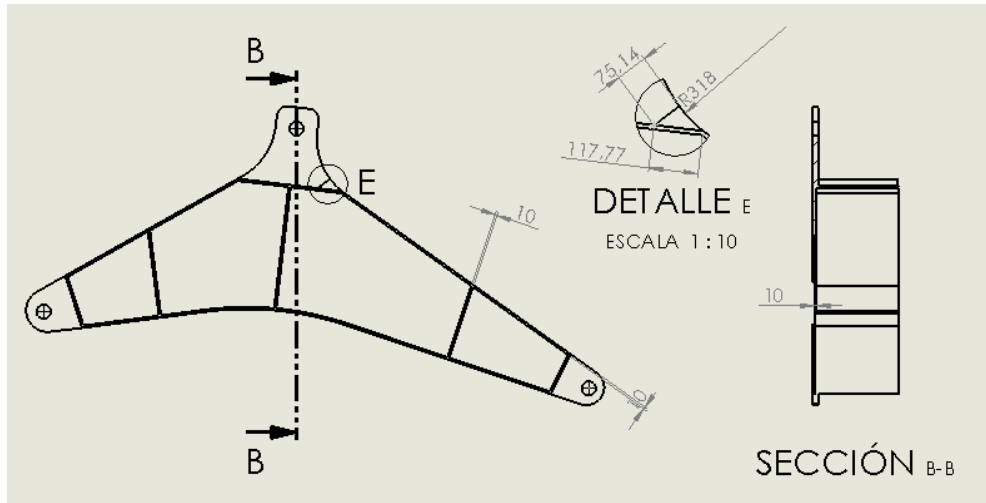


Imagen 46 : Plano de pluma modificada en SolidWorks.

Se muestra el aumento del espesor del perfil y los 3 rigidizadores transversales de igual espesor que el perfil.

En el detalle la chapa para rigidizar la orejeta.



Balancín

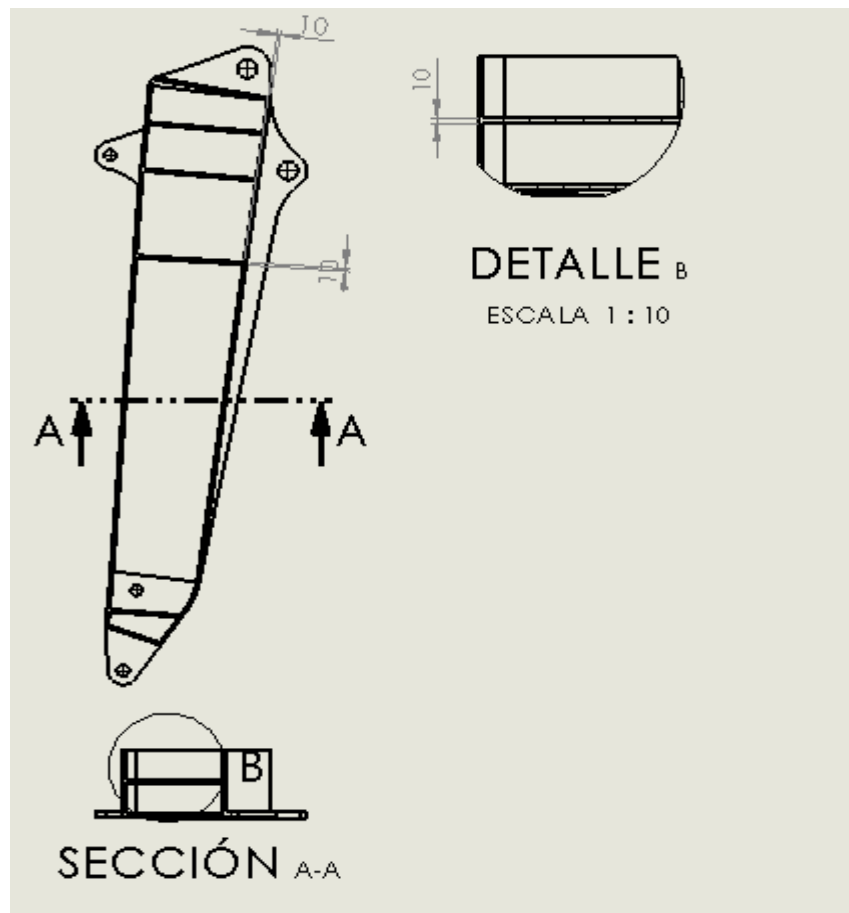


Imagen 47: Balancín reforzado en SolidWorks

Se muestra el aumento del perfil y los rigidizadores de manera transversal y longitudinal.



Barra BD

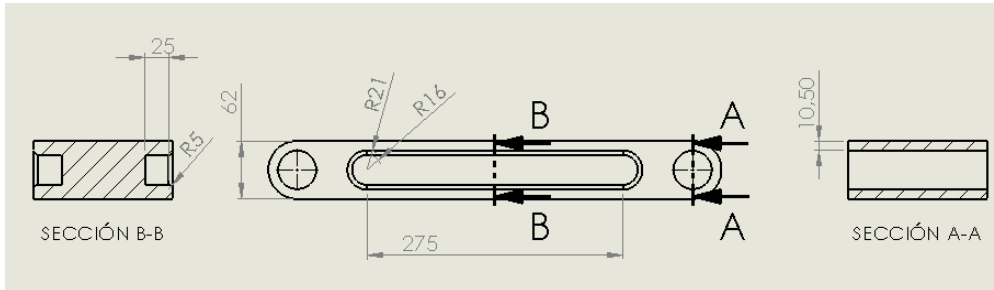


Imagen 48: Plano barra BD reforzada y con rebaje en SolidWorks.

Barra EFD

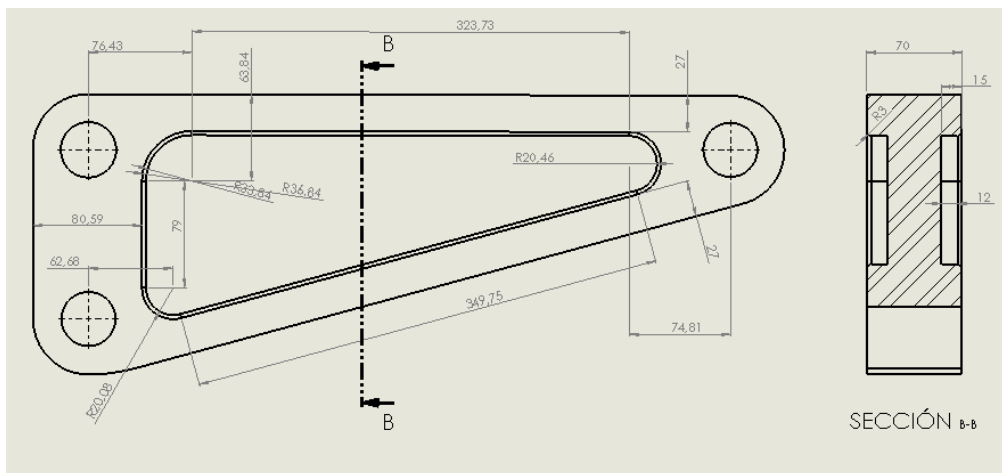


Imagen 49: Plano barra EFD rebajada en SolidWorks.

Se muestran los resultados tras la simulación de las piezas reforzadas:



Pluma reforzada

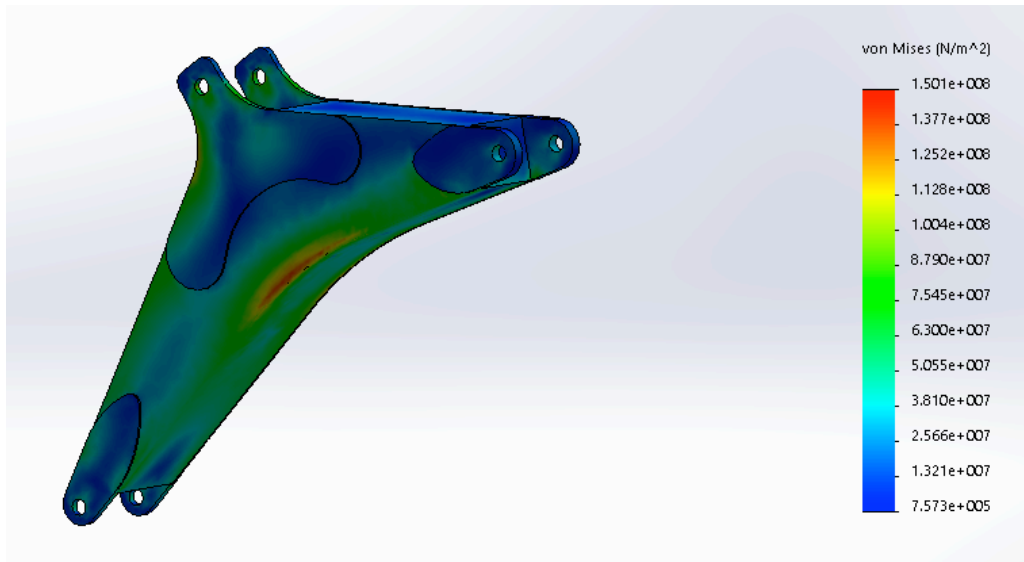


Imagen 50: Resultado de análisis de tensiones.

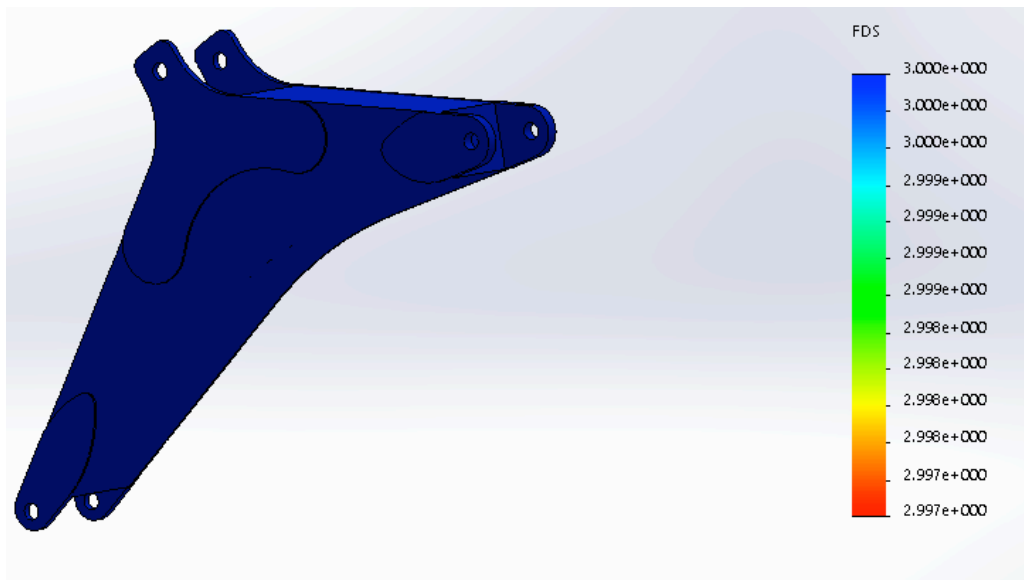


Imagen 51: Factor de seguridad



Balancín reforzado

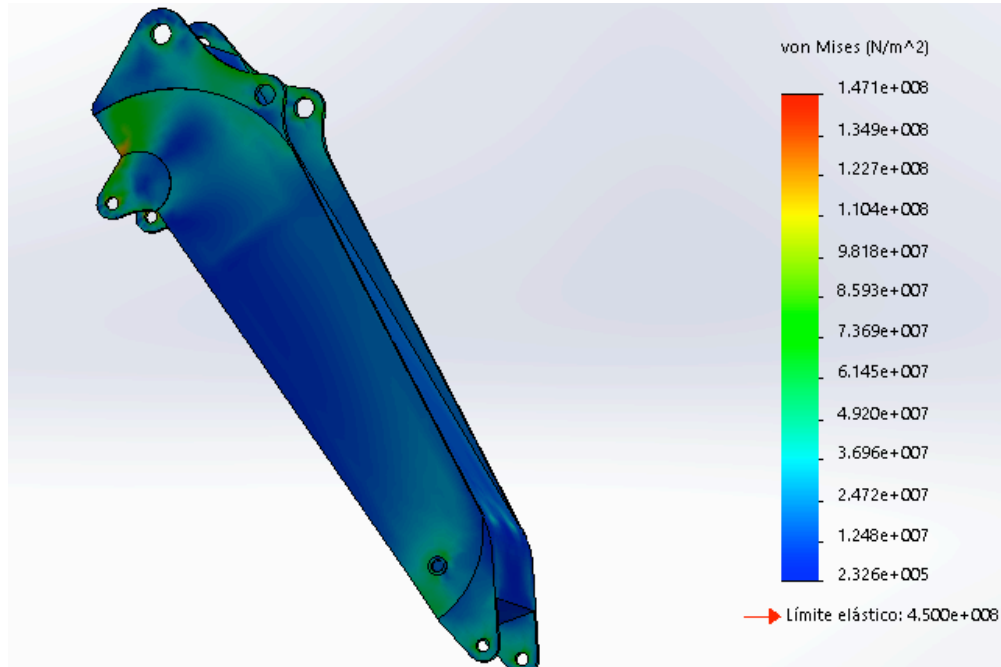


Imagen 52: Análisis de tensiones.

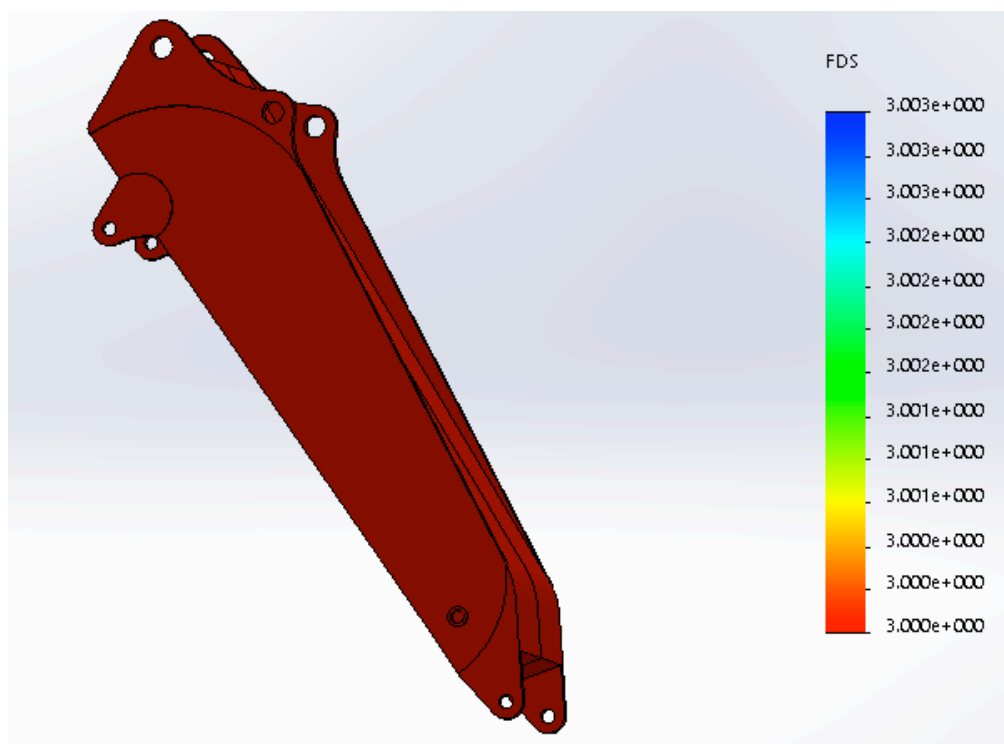


Imagen 53: Factor de seguridad.



Barra EFD

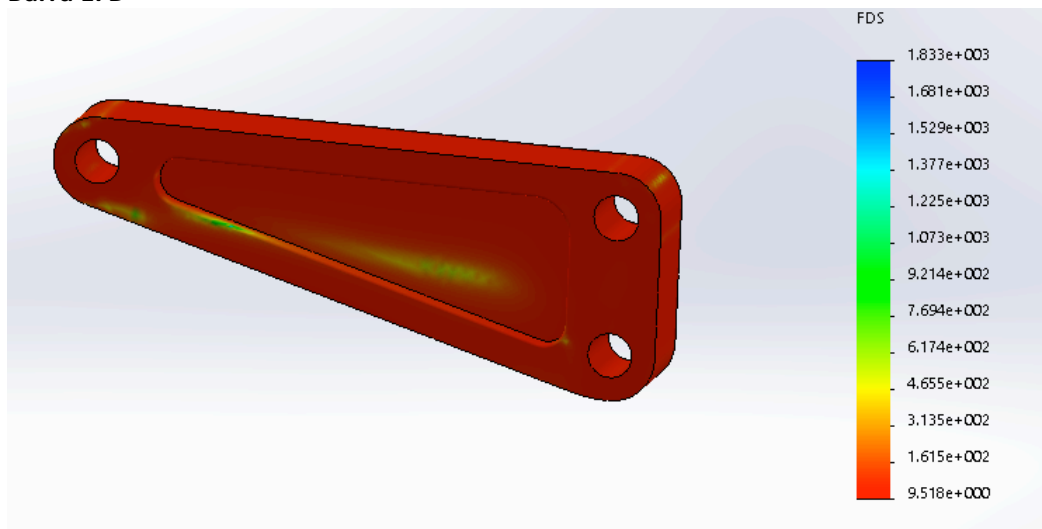


Imagen 54:: Factor de seguridad

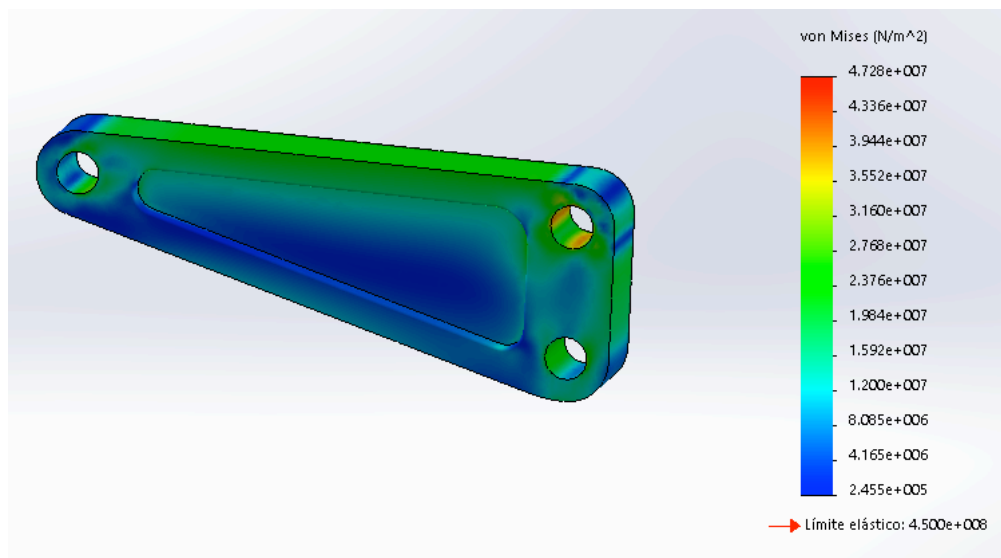


Imagen 55: Análisis de tensiones.



Barra BD

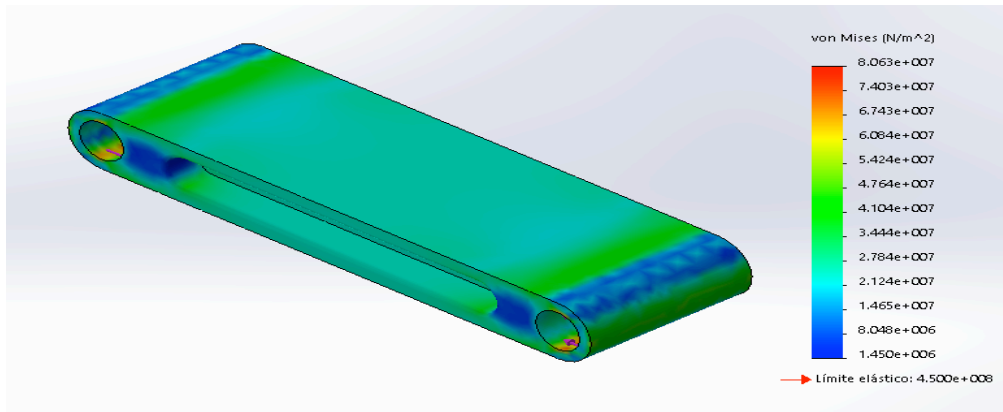


Imagen 56: Análisis de tensiones.

9. Modelo en 3D

Se ha realizado el modelo en 3D del ensamblaje, se han corregido algunas interferencias debido al diseño.

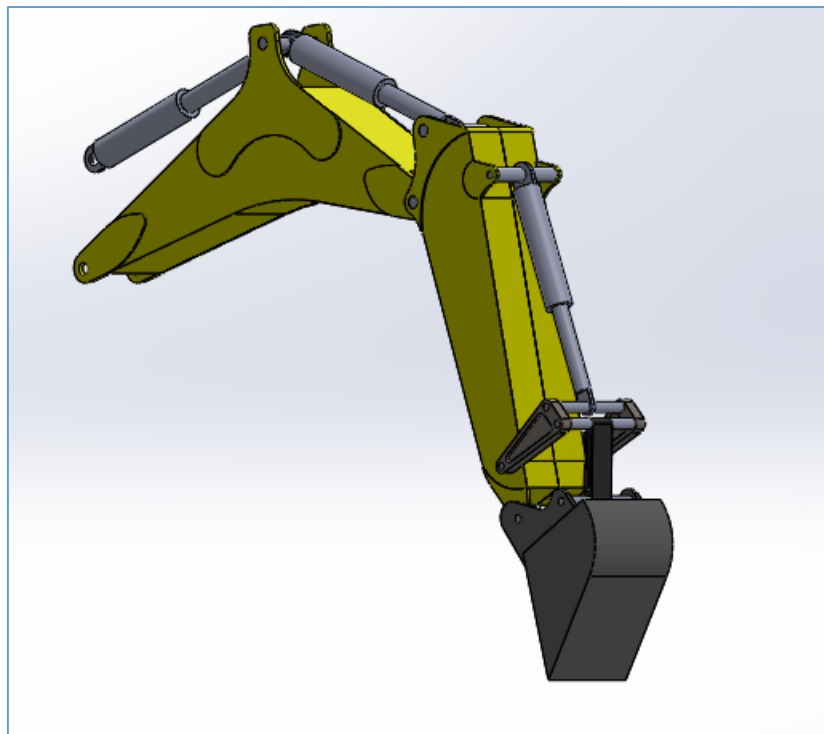


Imagen 57: Modelo 3D realizado en SolidWorks.



10. Conclusiones

Este proyecto ha sido un reto debido al enfrentamiento de un problema real de esta magnitud donde se debía realizar de forma totalmente autónoma y buscar toda la información posible en diferentes sitios y aplicar los conocimientos aprendidos a lo largo del grado.

A parte de manuales de información de las retro palas que han sido útiles para obtener información también se ha obtenido información en concesionarios que han mostrado como funcionan y han facilitado información. A la hora de diseñar se han tenido en cuenta algunas medidas obtenidas y otras se han creado por nuestra cuenta.

Se ha de destacar los conocimientos adquiridos a la hora de búsqueda de información y tratamiento de datos, también se ha destacar lo aprendido debido al uso de programas como MEFI o SolidWorks.

A la hora de extender el proyecto se podría analizar todo lo relacionado con el vuelco de la máquina, circuitos hidráulicos, bomba hidráulica, motores o vibraciones en la máquina.

A la hora de realizar el proyecto también se han encontrado problemas mientras se realizaba y que eran difíciles de solucionar debido a que cualquier cambio que se debía hacer ya no validaba algunos cálculos anteriores teniendo que retroceder y alargar el proyecto, otro problema es a la hora de realizar la documentación con tanta información para que sea lo más precisa posible y bien explicada.

La realización del presente proyecto ha sido un reto a nivel personal así como una gran experiencia de aprendizaje totalmente diferente, se ha intentado aplicar todos los conocimientos posibles aprendidos durante el grado para poder realizar el proyecto de la mejor manera.

Como conclusión, la realización del presente proyecto me ha aportado una visión global del diseño de este tipo de maquinaria, así como los problemas reales que se pueden encontrar en proyectos de esta complejidad y también como poder solucionar los problemas surgidos.



11. Bibliografía.

- ❖ ABAD BLASCO, JAVIER - CANALIS MARTINEZ, PAULA - MALÓN LITAGO, HUGO. Apuntes de la asignatura “Criterios de diseño de máquinas”, Zaragoza: Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.
- ❖ Manuales técnicos de Caterpillar (www.cat.com)
- ❖ GERE, JAMES. TIMOSHENKO: Resistencia de materiales.
- ❖ Manuales técnicos de JCB (<https://www.jcb.com/es-es>)
- ❖ GLUAL HYDRAULICS –(<https://www.glual.com/es/home.html>)
- ❖ MEFI – Método de los elementos finitos. (<http://www.upct.es/~deyc/software/mefi.php>)
- ❖ SolidWorks (2017), manual de ayuda dentro del programa.
- ❖ AutoCAD (2016).
- ❖ Paquete de Microsoft Office (2013) – Excel, Word.
- ❖ UNE 115449:2004 Maquinaria para movimiento de tierras. Retrocargadoras. Terminología y especificaciones comerciales.
- ❖ EES – Engeneering Equation Solver.