



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis y estudio de una trituradora de hierba y
restos de poda.

Analysis and study of a grass and pruning
debris shredder.

Autor

María Margelí Espallargas

Directora

Paula María Canalís Martínez

Grado en Ingeniería Mecánica

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2022

RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado se aborda el tema del análisis y estudio de un apero, máquina u utensilio encargado de realizar labores agrícolas, en concreto, una trituradora de hierba y restos de poda. La finalidad de esta herramienta es trocear los restos de cosecha encontrados en los cultivos tras la poda de los árboles, en este caso, frutales. Su objetivo es, en primera instancia, la eliminación de hongos y plagas que encontramos en la madera y la aportación al campo de una fuente barata de suministros.

El punto de partida del trabajo ha sido la consulta de fuentes relacionadas con el contenido, la ampliación de conceptos asociados al tema de la agricultura centrándose en la maquinaria, la conexión tractor – apero y antecedentes de la trituradora. Seguidamente, la toma de medidas directamente del apero, quedando definidas las características de cada componente y los materiales de cada una de las piezas que integran nuestro sistema. Indagando en el análisis detallado del funcionamiento y descomposición de sus partes principales.

El siguiente paso ha sido el empleo de estos datos, usados por un lado para el cálculo de las fuerzas más restrictivas teniendo en cuenta las diferentes posiciones posibles de la trituradora. Y a su vez para hallar sus respectivos coeficientes de seguridad en las diversas piezas. Además de la búsqueda de todos los elementos comerciales, analizando el cilindro hidráulico y los martillos para cumplir las características de las cargas requeridas.

El proyecto también incluye ilustraciones reales de la maquinaria estudiada en uso, aprovechando la oportunidad de poder disponer de ella en todo momento, además de, mediante el software SolidWorks, el modelado en 3D de las partes principales de la trituradora. De esta manera se aporta una idea más visual del funcionamiento de la máquina. Además, con el programa empleado se han verificado los cálculos analíticos, así como con las simulaciones halladas mediante técnicas numéricas basadas en el Método de Elementos Finitos.

Una vez detallados todos los datos, se han reunido unas conclusiones del estudio comprobando que el apero es capaz de soportar las situaciones analizadas, en todo momento, con la seguridad y la ergonomía del trabajo del agricultor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVO DEL PROYECTO	9
3. ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA A ANALIZAR	10
3.1 Modelo a estudiar	10
3.2 Descripción de funcionamiento	12
3.3 Descripción de componentes.....	13
3.3.1 Acople tripuntal.....	13
3.3.2 Cilindro hidráulico	15
3.3.3 Bulones	16
3.3.4 Grupo multiplicador.....	17
3.3.5 Sistema de poleas / Correa	18
3.3.6 Eje principal.....	19
3.3.7 Martillos.....	20
3.3.8 Otros componentes	21
- Carcasa.....	21
- Rodillo trasero	21
- Protección delantera	22
- Rascador para rodillo.....	22
- Puntos de engrase	22
4. CONEXIÓN TRACTOR-APERO	23
4.1 Toma de Fuerza.....	23
4.2 Junta Cardan	23
4.3 Sistema Hidráulico.....	24
4.4 Tractor con el que vamos a trabajar	24
5. ANÁLISIS DE LA TRITURADORA DE HIERBA.....	25
5.1 Cálculo de las fuerzas del tripuntal	25
5.2 Cálculo de las fuerzas del acople.....	29
5.3 Cálculo de la barra cilíndrica del apoyo A.....	30
5.4 Cálculo de las uniones mediante bulones	31
5.5 Análisis del cilindro hidráulico	31
5.6 Martillos.....	32
6. MODELADO Y SIMULACIÓN	33

6.1 Estudio apoyos A.....	33
- Apoyo A izquierda:.....	34
- Apoyo A derecha:	35
6.2 Estudio apoyo B.....	36
- Apoyo B1.....	36
- Apoyo B2.....	38
6.3 Estudio apoyo C.....	40
6.4 Martillos.....	42
6.5 Eje principal.....	43
7. CONCLUSIONES.....	44
8. BIBLIOGRAFÍA	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Trituradora agrícola con el eje en posición vertical.	8
Ilustración 2. Trituradora agrícola con el eje en posición horizontal.	8
Ilustración 3. Tractor y trituradora en modo trabajo.....	10
Ilustración 4. Diseño de la trituradora de hierba y restos de poda.....	11
Ilustración 5. Despiece de la trituradora de hierba y restos de poda.	11
Ilustración 6. Acople tripuntal real de la trituradora.....	13
Ilustración 7. Diseño del acople tripuntal en SolidWorks.....	14
Ilustración 8. Diseño del cilindro en SolidWorks.....	15
Ilustración 9. Ubicación de los bulones en el acople tripuntal.	16
Ilustración 10. Ubicación de los bulones en los martillos.	16
Ilustración 11. Diseño del multiplicador en SolidWorks. Elemento real.....	17
Ilustración 12. Diseño del eje principal en SolidWorks.....	19
Ilustración 13. Eje principal, elemento real.....	19
Ilustración 14. Diseño del martillo en SolidWorks. Elemento real.	20
Ilustración 15. Diseño del eje principal en SolidWorks.....	21
Ilustración 16. Diseño del eje principal en SolidWorks. Elemento real.	21
Ilustración 17. Parte posterior de un tractor.	23
Ilustración 18. Partes de la junta cardán.....	24
Ilustración 19. CASO 1, apero centrado.	25
Ilustración 20. CASO 2, apero desplazado.....	26
Ilustración 21. Diagrama de fuerzas internas, apero centrado.....	27
Ilustración 22. Diagrama de fuerzas externas, apero desplazado.	27
Ilustración 23. Situaciones del acople a estudiar.	29
Ilustración 24. Modelado del apoyo A: barra cilíndrica y orejetas.....	30
Ilustración 25. Diagrama de fuerzas apoyo A.	30
Ilustración 26. Diagrama de fuerzas en la barra superior.....	33
Ilustración 27. Simulación de las tensiones en el apoyo A, izquierda.	34
Ilustración 28. Simulación de desplazamientos en el apoyo A, izquierda.	34
Ilustración 29. Simulación de las tensiones en el apoyo A, derecha.	35
Ilustración 30. Simulación de desplazamientos en el apoyo A, derecha.	35
Ilustración 31. Simulación de las tensiones en el apoyo B1, barra grande.	36
Ilustración 32. Simulación de desplazamientos en el apoyo B1, barra grande.	37
Ilustración 33. Simulación de las tensiones en el apoyo B, barra pequeña.	37
Ilustración 34. Simulación de desplazamientos en el apoyo B, barra pequeña.	38
Ilustración 35. Simulación de las tensiones en el apoyo B2, barra grande.	38
Ilustración 36. Simulación de desplazamientos en el apoyo B2, barra grande.	39
Ilustración 37. Simulación de las tensiones en el apoyo B2, barra pequeña.	39
Ilustración 38. Simulación de desplazamientos en el apoyo B2, barra pequeña.	40
Ilustración 39. Simulación de las tensiones en el apoyo C.	40
Ilustración 40. Simulación de desplazamientos en el apoyo C.	41
Ilustración 41. Simulación de la tensión del martillo.	42
Ilustración 42. Simulación de desplazamientos del martillo.....	42
Ilustración 43. Simulación de la tensión del eje principal.	43
Ilustración 44. Simulación de las deformaciones en el eje z del eje principal.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la trituradora.....	10
Tabla 2. Propiedades del acero S275JR.	14
Tabla 3. Características cilindro hidráulico.....	15
Tabla 4. Propiedades del acero S355JR.	16
Tabla 5. Propiedades del acero estructural S235JR.	19
Tabla 6. Características del tractor.	24
Tabla 7. Valores de las fuerzas más restrictivas. Fuerzas en N.....	28
Tabla 8. Coeficientes de seguridad de los bulones en los diferentes puntos.....	31

1. INTRODUCCIÓN

Con la llegada de la primera revolución industrial, ola de transformación tecnológica, social y económica, se produjeron cambios notorios entre los que destaca el traslado en la sociedad a grandes urbes por la necesidad de mano de obra, y con ello, el abandono de las zonas rurales. Por ende, dicha revolución industrial, originó considerables avances al sector primario tras la introducción de la maquinaria. Ocasión por la cual la ingeniería mecánica, formación asociada comúnmente al mundo de la automoción, entre otras, ha tomado gran importancia.

Tiempo más tarde, y teniendo en cuenta la dirección tomada hoy en día por la agricultura intensiva, en la cual, se han producido transiciones como la reducción de las dimensiones entre las diferentes plantaciones. Lo óptimo sería adaptar nuestros aperos a estos cambios que encontramos en el campo, con menores dimensiones de las máquinas, pero con mayores eficiencias a nivel de trabajo.

El empleo de las diferentes máquinas supone un trabajo más rápido, ergonómico, intuitivo y eficaz para el trabajador debido a la flexibilidad de los aperos. Máquinas, en muchos casos, polivalentes, ya que combinan varias herramientas, cumpliendo así, diversas necesidades.

Dentro de toda la variedad de útiles que encontramos en el sector agrícola y entre las máquinas encargadas de desmenuzar los restos de cultivo, se encuentran las trituradoras y machacadoras diferenciadas por el nivel de dureza que pueden alcanzar. En este proyecto se va a exponer el estudio, cálculo y análisis de las partes principales de una trituradora de hierba y restos de poda, de la cual se han extraído los diferentes datos; y un estudio de las diferentes opciones de mejora en el rendimiento de la máquina. La elección surge tras la posibilidad de disponer de la trituradora en cualquier momento.

Las trituradoras son máquinas muy utilizadas en procesos agrícolas e industriales. En los primeros son utilizadas para triturar, prensar o machacar tanto hierbas como ramas y plantas con propósitos diferentes como pueden ser operaciones de limpieza, obtener diferentes productos enfocados al compostaje, en la elaboración de abonos y fertilizantes, y de diferentes productos alimentarios, cosméticos y farmacéuticos, entre otros. Por otro lado, una trituradora industrial es capaz de machacar materiales mucho más duros como rocas o diferentes metales. Estos modelos son muy utilizados en sectores tan diferentes como la minería, la construcción o en diferentes tipos de industrias.

Dichas trituradoras cuyo objetivo es procesar un material, usan la fuerza para disminuir su tamaño y ajustarlo a las necesidades que se exijan. Consiguiendo así, productos de menores tamaños, homogéneos y de mayor calidad que pasaran a ser parte de elementos que utilizamos en nuestro día a día.

Las trituradoras agrícolas son uno de los aperos más empleados ya que se usan para cualquier tipo de cultivo, útiles durante todas las épocas del año. Facilitan las tareas en el jardín, huerto y fomentan el ahorro de tiempo y recursos. Dichas trituradoras permiten disminuir el tamaño de las malas hierbas, ramas y plantas que perjudican el desarrollo de los cultivos. Trituran todos los desechos gracias a movimientos continuados con fuerza y aplastamiento de los martillos.

Eficaces para desmenuzar las ramas y restos de poda y agregarlas nuevamente al campo para que sirvan como abono. Todos estos restos se utilizan posteriormente como materia orgánica para abonar el terreno, aportando gran valor.

Dentro de las trituradoras agrícolas, la diferencia principal y por lo que encontramos una diferencia fundamental a la hora de la disposición del eje, vertical u horizontal. Ambos tipos van sujetos al tractor mediante el acople tripuntal y reciben de la misma manera el movimiento y la potencia útil a través del brazo de la toma de fuerza. La diferencia de elección entre un tipo y otro depende de que trabajo necesites realizar.

Por un lado, las trituradoras de eje vertical, ejemplo que se puede apreciar en la ilustración 1, incluyen de dos a cuatro filas de martillos encargados de golpear los restos y tienen como ventaja, a diferencia de las horizontales una operación de mantenimiento más simple. Esta posición del eje la encontramos en trituradoras de tipo agrícola pero destinadas a estos forestales o leñosos de diámetros mayores. En muchos casos usadas sin transportarlas con el tractor.

Por otro lado, las trituradoras de eje horizontal también incorporan martillos que golpean esos mismos restos, son capaces de conseguir un grado de picado más fino ya que los materiales también golpean frente al contra martillos y con la carcasa que rodea al rotor. Por lo que son más recomendables para cultivos como en viña, cítrico u olivos. Ejemplo mostrado en la ilustración 2.

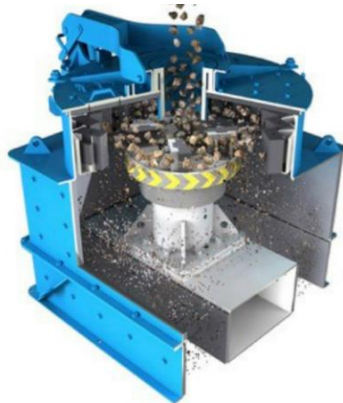


Ilustración 1. Trituradora agrícola con el eje en posición vertical.



Ilustración 2. Trituradora agrícola con el eje en posición horizontal.

2. OBJETIVO DEL PROYECTO

Este proyecto nace tanto del interés en profundizar en las asignaturas de “Criterio de diseño de máquinas” y “Mecánica de sólido deformable”, como de aportar los conocimientos adquiridos a un campo, en muchos casos, desatendido.

El trabajo tiene como objetivo el análisis del estudio funcional de la trituradora de hierba y restos de poda, la comprobación del diseño y la modelización en el software, hasta entonces desconocido. Siguiendo los siguientes pasos:

- Recogida de información y documentación técnica.
- Análisis y descripción del funcionamiento del apero.
- Estudio de la estructura propuesta, diferenciando las distintas posiciones con el fin de conocer la situación más crítica.
- Cálculo analítico de las zonas más restrictivas.
- Integración de SolidWorks como herramienta de CAD/CAE.

3. ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA A ANALIZAR

3.1 Modelo a estudiar

El modelo por analizar, en este caso, es una trituradora de hierba y restos de poda, máquina encargada de desmenuzar los rastrojos que encontramos en el suelo tras la poda de los árboles en los cultivos. Estas herramientas proporcionan un gran ahorro de trabajo y tiempo, a la vez que son una fuente barata de suministros de residuos ricos en nutrientes que aportar al suelo.

El apero pertenece a la marca del fabricante Fernández, empresa dedicada a la fabricación de maquinaria para la realización de servicios agrícolas, forestales y de obras públicas, centrándose en trituradoras, desbrozadoras, rastrillos hidráulicos y elevadores. Dicho proveedor ha proporcionado la ficha técnica y los materiales que la componen.

Para el estudio del modelo se partirá del dimensionamiento del apero y la realización del modelado en 3D utilizando el software específico de dibujo industrial SOLIDWORKS. La trituradora posee unas características cuyas especificaciones se muestran en la tabla inferior. En el ANEXO A. FICHA TÉCNICA DEL APERO, se especifica con mayor detalle dentro de la gama de trituradoras que posee la marca.

Tabla 1. Características de la trituradora.

Marca	Fernández
Modelo	TRB-200
Eje	Horizontal
Peso (Kg)	735
N.º Martillos	14
Labor (mm)	2000



Ilustración 3. Tractor y trituradora en modo trabajo.

El modelo ha sido diseñado pieza por pieza, con un posterior ensamblaje final. En la ilustración 4 se muestra en vista general la trituradora analizada, con sus medidas más relevantes. En la ilustración 5 observamos el despiece de las partes principales para una visualización más clara. Además, se ha añadido, en el ANEXO B, PIEZAS TRITURADORA, un apartado en el que se muestra con más detalle las partes del apero.

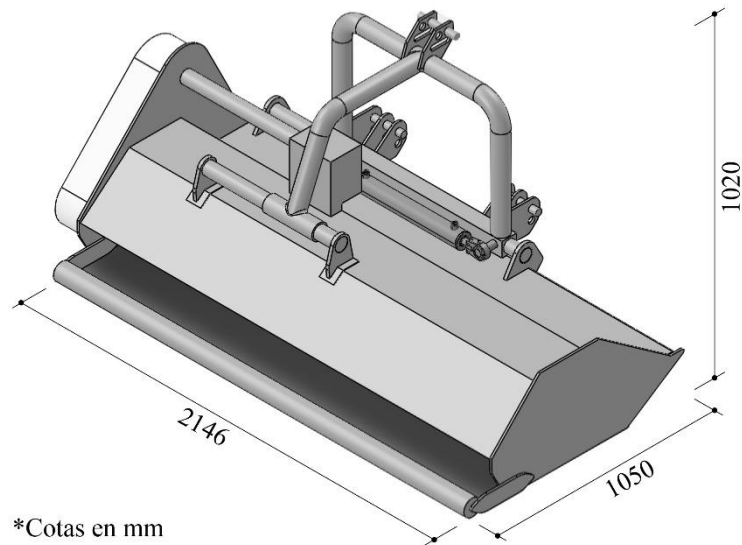


Ilustración 4. Diseño de la trituradora de hierba y restos de poda.

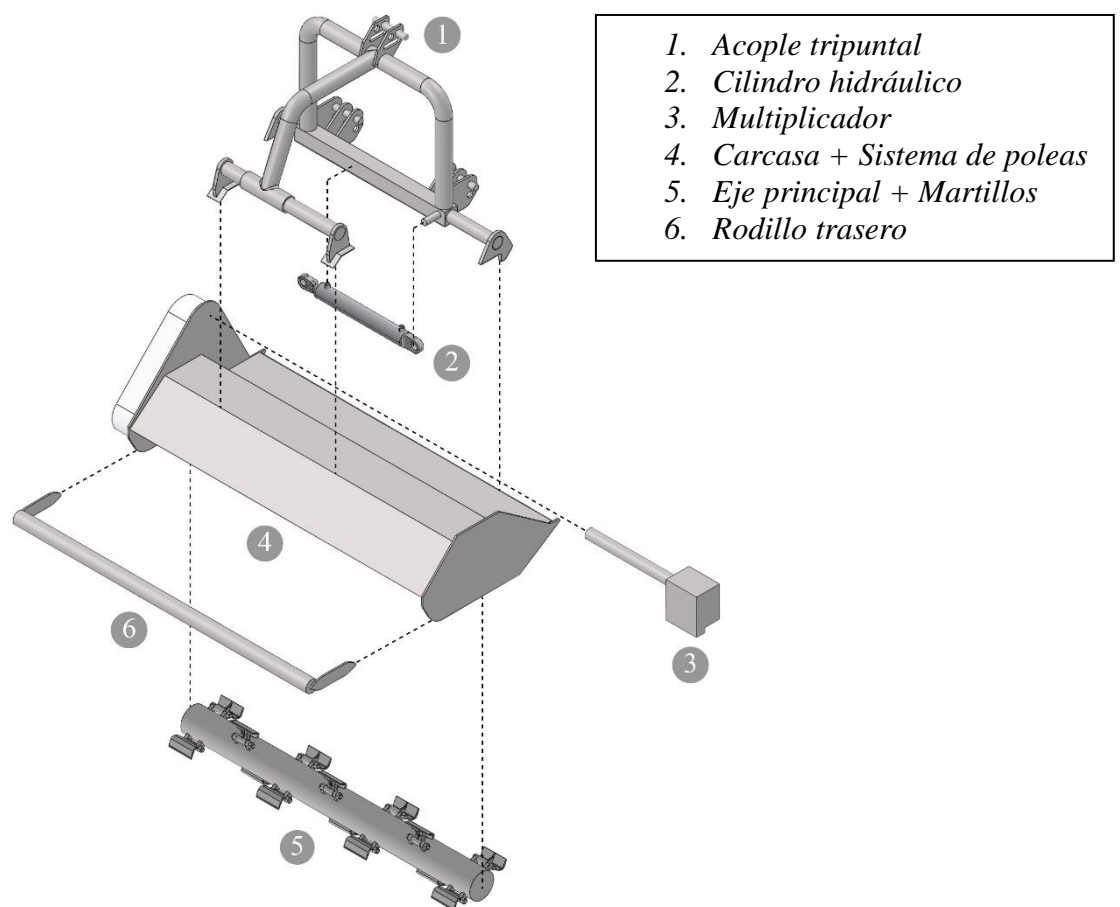


Ilustración 5. Despiece de la trituradora de hierba y restos de poda.

3.2 Descripción de funcionamiento

Las trituradoras de hierba y restos de poda tienen como partes principales los siguientes componentes:

- Acople tripuntal
- Multiplicador
- Sistema de poleas
- Cilindro hidráulico
- Eje principal
- Martillos
- Carcasa
- Rodillo trasero

El objetivo general de la máquina consiste en trocear y picar los restos de cosecha en cultivos leñosos, haciendo girar un conjunto de elementos hasta llegar a los martillos. Dichos martillos son los encargados de golpear los restos vegetales, todos ellos equilibrados y protegidos en el interior de una carcasa en lámina de hierro.

La potencia necesaria para mover la trituradora viene dada por el tractor, a través de la toma de fuerza. El tractor, conectado a la entrada del multiplicador, transmite el movimiento a través de 3 correas a una segunda polea encargada de hacer girar al rotor, en el cual están montados los martillos. Las correas sirven también como embrague en caso de que el rotor fuera bloqueado accidentalmente. Apenas se conecta la toma de fuerza al apero, las cuchillas se ponen en movimiento a un número de giros proporcional a los giros del tractor.

La trituradora, de eje tipo horizontal, consta de una carcasa que rodea al rotor reduciendo la proyección de partículas y actúa como contramartillo para aumentar el grado de picado. También se compone de un cilindro hidráulico cuyo objetivo permite un trabajo más alejado del centro del tractor hacia la derecha, lo que hace que se pueda triturar más restos de poda cercanos a los troncos sin que el tractor obstaculice.

Para obtener el máximo rendimiento de la máquina se tienen que seguir las siguientes descripciones: la velocidad de trabajo tiene que ser de entre 4 y 8 km/h y no variar el número de giros del tractor durante el trabajo. Si se ve que en la zona a trabajar por la máquina existen zonas no trabajadas se tendrá que disminuir la velocidad usando una marcha inferior, sin disminuir el número de giros del tractor.

La trituradora no solo arranca y tritura la especie vegetal, sino que, además, lo incorpora al suelo como materia orgánica al paso de un pesado rodillo dejando el suelo liso, favoreciendo el aporte de nutrientes al campo. La mejor época para el triturado es cuando el terreno esté seco, ya que con la tierra mojada no se puede trabajar.

3.3 Descripción de componentes

3.3.1 Acople tripuntal

El enganche tripuntal es el componente encargado de enlazar el apero al tractor permitiendo un control preciso de este, de forma que la orientación es fijada con respecto al suelo. El beneficio primario del sistema de enganche de tres puntos es transferir el peso y la resistencia del apero a las ruedas motrices del tractor.

Por un lado, como vemos en la ilustración 6, el acople está compuesto por tres puntos de unión pertenecientes a la trituradora. Estos se sitúan en la parte más cercana al tractor y enlazan a los tres brazos portantes y estabilizadores del tractor, componentes pertenecientes al sistema hidráulico. Esta sujeción es efectuada mediante un bulón.



Ilustración 6. Acople tripuntal real de la trituradora.

Dos de los puntos del acople situados en la parte inferior están apoyados sobre un eje por el que se desplaza el acople en su conjunto. El tercero de los puntos de acople situado en la parte superior de la máquina se encuentra fijado mediante soldadura al tubo central del acople. Su objetivo es el posicionamiento del apero, pasando de situarlo en voladizo, para un transporte más cómodo, para ubicarlo, por otra parte, apoyado en el suelo en modo trabajo. Esta diferenciación se realiza mediante la palanca de control de carga y profundidad situada en el tractor y accionada mediante el sistema hidráulico.

Por otro lado, el acople está compuesto por otro punto de apoyo, en este caso, a la carcasa de la trituradora mediante un rodillo con dos soportes por el que se desplaza para facilitar el trabajo de la trituración. La parte delantera y la trasera se conectan mediante un tubo de acero. Dependiendo de la posición del apero con respecto al suelo las fuerzas de reacción que se ejercen en los tres puntos de contacto del acople tripuntal varían, siendo mayores las obtenidas con la máquina en voladizo, ya que, al situarlo en modo de trabajo apoyada en el suelo, todo el peso va dirigido a este.

El material del que está compuesto dicho componente es S275JR, dato aportado por el fabricante. En la tabla 2 se pueden observar las propiedades del acero S275JR.

Tabla 2. Propiedades del acero S275JR.

PROPIEDADES	S275JR
Límite elástico (MPa)	275
Coefficiente de Poisson	0,28
Módulo de Young (MPa)	210000

En la ilustración 7, se puede observar el modelado del acople tripuntal realizado en el software con el que se trabajará posteriormente.

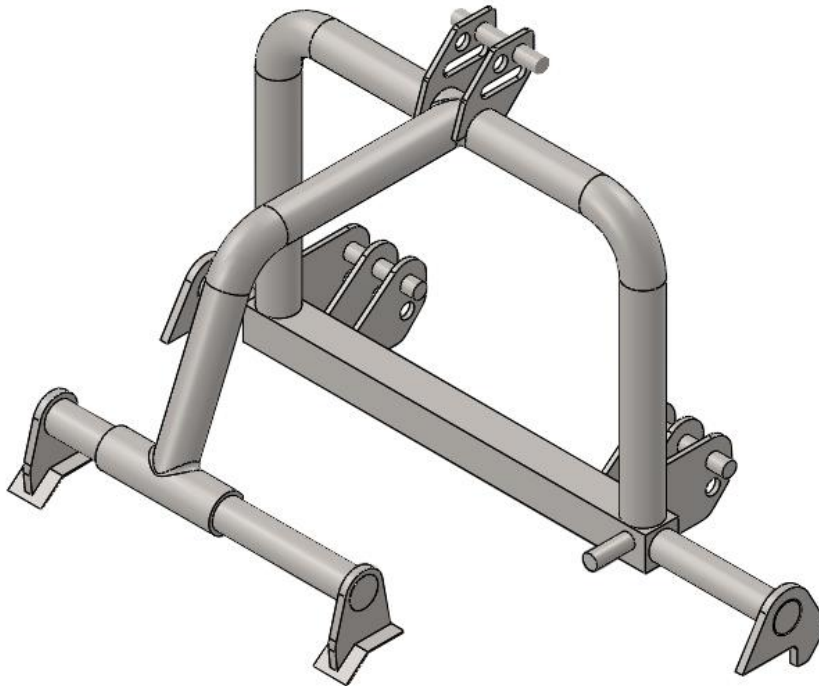


Ilustración 7. Diseño del acople tripuntal en SolidWorks.

3.3.2 Cilindro hidráulico

El cilindro hidráulico es un actuador lineal utilizado para desplazar una carga por medio de la presión de un fluido. Este fluido proviene del sistema hidráulico del tractor, conectado al apero mediante válvulas, permitiéndolo controlar de manera precisa.

El objetivo del cilindro en el caso de la trituradora es poder trabajar en zonas alejadas del centro del tractor, bajo las ramas de los árboles, zona de difícil acceso. El sistema se encuentra trabajando en el momento en que accionamos la palanca al moverlo y durante todo el tiempo que el apero esté desplazado.

En el caso de la trituradora ubicamos el cilindro en la parte delantera del apero, sujeto por uno de sus extremos a la carcasa y por el otro al acople tripuntal, permitiendo así el movimiento.

El cilindro es un componente comercial, cuyo aspecto similar es el modelado en la ilustración 8. Las características han sido halladas del cilindro in situ y recogidas en la tabla 3.

Tabla 3. Características cilindro hidráulico.

Carrera (mm)	390
Diámetro pistón (mm)	30
Diámetro vástago (mm)	22
Factor de pandeo	1

Una vez recogidas las características que tiene el cilindro se ha calculado el valor de la fuerza de avance y retroceso todos los cálculos se encuentra expresados en el ANEXO D, SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES, D.4 Cilindro hidráulico.

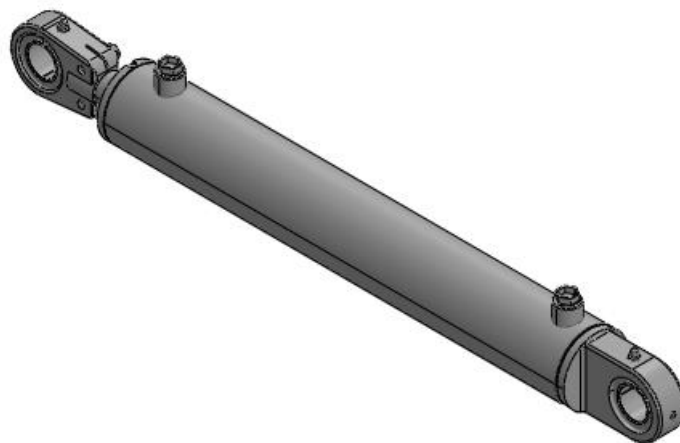


Ilustración 8. Diseño del cilindro en SolidWorks.

3.3.3 Bulones

Dentro de los tipos de conexión entre componentes, los bulones del apero son métodos de unión entre dos o más elementos en los que conserva cada uno de ellos su individualidad, permite la rotación relativa entre componentes. Los bulones cilíndricos que contiene el apero son elementos de fijación mecánica desmontable, situados en distintos puntos de la máquina. Se encuentran:

- En los tres puntos del acople tripuntal encargados de sujetar la máquina donde unirán los brazos hidráulicos del tractor. En uno de sus extremos encontramos una anilla de sujeción, para facilitar al agricultor la unión del apero al tractor.

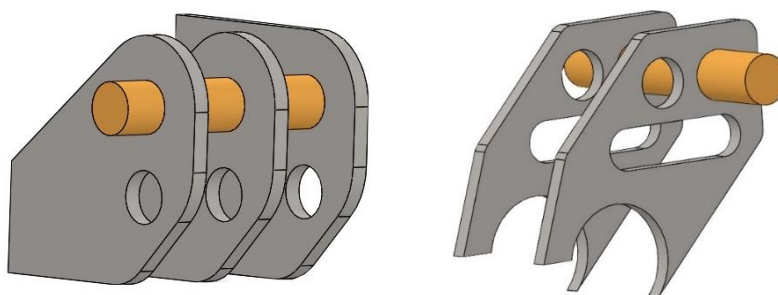


Ilustración 9. Ubicación de los bulones en el acople tripuntal.

- En los agarres de los martillos del eje principal favoreciendo así su despiece ya que son los elementos más propicios para romperse por el papel que toman. La única diferencia con los anteriores la apreciamos en la forma, ya que, uno de sus extremos tiene un elemento de tope.

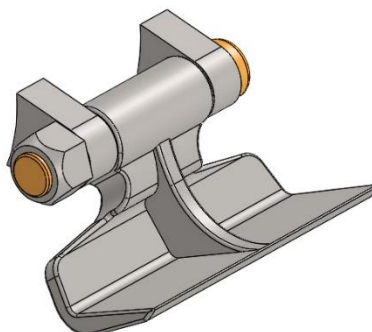


Ilustración 10. Ubicación de los bulones en los martillos.

Como características principales sus dimensiones son 20 mm de diámetro y 180mm de longitud, compuestos por acero estructural no aleado y soldable como es el S355JR, dato aportado por el fabricante. En la tabla 4 se pueden observar las propiedades del acero S355JR.

Tabla 4. Propiedades del acero S355JR.

PROPIEDADES	S355JR
Límite elástico (MPa)	355
Coefficiente de Poisson	0,28
Módulo de Young (MPa)	210000

3.3.4 Grupo multiplicador

El grupo multiplicador se encarga de transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes, mediante engranajes cónicos modifica las características de velocidad y sentido de giro. El multiplicador se caracteriza porque su velocidad de salida es mayor que la de entrada.

En el caso del apero obtiene la velocidad de la toma de fuerza del tractor, componente estudiado en el apartado 4. CONEXIÓN TRACTOR – APERO, y la transfiere al sistema de poleas y este al eje principal, llegando así la velocidad a los martillos.

Se trata de un elemento comercial de la marca BONDIOLI modelo S2071. Grupo reforzado por fundición. Trabaja con la relación 1:5,33 hallando así una velocidad de salida de valor de 2878,2 rpm. Las características se encuentra expresadas en el ANEXO D, SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES, D.1 Grupo multiplicador.

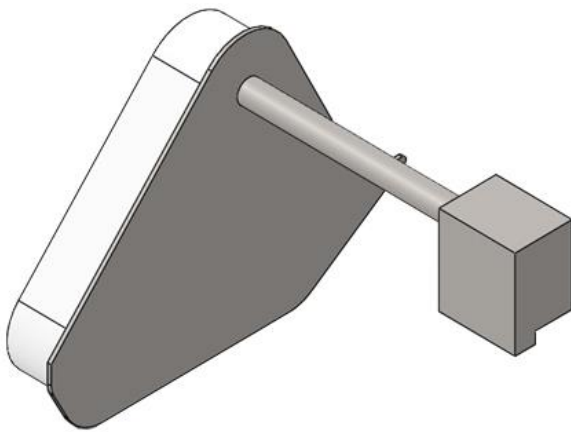


Ilustración 11. Diseño del multiplicador en SolidWorks. Elemento real.

3.3.5 Sistema de poleas / Correa

Un sistema de poleas consta de un conjunto de pares de ruedas o poleas situadas a cierta distancia conducidas mediante una correa o cadena. Dentro de las poleas, según su forma física, existen poleas con múltiples ranuras, cuyo objetivo es distribuir la carga entre el número de ranuras, característica que encontramos en la trituradora. En el caso de la transmisión por correa es más silenciosa que por cadena, pero permite transmitir menores pares que la transmisión por cadena.

En el caso del apero el sistema se compone de dos poleas, la primera con un diámetro de 212 mm es dirigida por el eje del multiplicador, y a segunda de 160 mm de diámetro conduce el eje principal. Entre ellas están unidas por tres correas trapezoidales. Con la disminución del diámetro de la polea aumentamos las revoluciones de salida al eje principal.

Los valores calculados mediante una relación de transmisión alcanzan de una entrada de 2878,2 rpm, una salida de 3813,6 rpm. Cálculos expresados en el ANEXO D, SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES, D.2 Sistema de poleas. Los elementos de transmisión mantienen la potencia prácticamente constante, transformando el par suficiente para suplir las pérdidas, valores calculados en el ANEXO C, C.4 Cálculo de la fuerza de los martillos.

Una de las partes fundamentales del sistema de poleas es la unión entre ellas mediante, en este caso, una correa. La función de esta es la de transferir el movimiento del eje cardán del reductor al rotor. Tiene un valor doble: transmitir movimiento y proteger la trituradora de sobrecargas y que multiplique el número de revoluciones de la toma de fuerza para dar velocidad al motor. Realiza la función de amortiguar los impactos excesivos y, si se produce una sobrecarga en la máquina por impactos con cuerpos extraños o desniveles, las correas pueden resbalar para evitar daños a sí mismas y a la trituradoras en la que están montados.

Las correas utilizadas en el conjunto son de tipo trapezoidal ya que pueden transmitir mayor par que las correas planas, gracias al mayor esfuerzo de rozamiento conseguido en sus caras laterales, menor deslizamiento, mayor resistencia como consecuencia de su sección y forma. Cuyas características son dentro de la familia de correa trapezoidal se encuentran recogidas en el ANEXO D, SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES, D.3 Correa.

3.3.6 Eje principal

El eje principal es un cilindro macizo, encargado de dar la velocidad necesaria a los martillos que tiene integrado. Se encuentra encajado a las paredes laterales del chasis mediante rodamientos. Por uno de sus extremos se conecta con la caja de engranajes, la cual le transfiere la velocidad de 3813,6 rpm. El valor que proporcionan será el transmitido al último elemento de la máquina, los martillos.

Sus características son: eje macizo de 180 mm de diámetro y longitud 2000 mm de labor, en el que se encuentran distribuidos los 14 martillos. El elemento está compuesto por el acero estructural S235JR, dato proporcionado por el fabricante.

En la tabla 5 se pueden observar las propiedades del acero estructural S235JR:

Tabla 5. Propiedades del acero estructural S235JR.

PROPIEDADES	S235JR
Límite elástico (MPa)	235
Coefficiente de Poisson	0,28
Módulo de Young (MPa)	210000

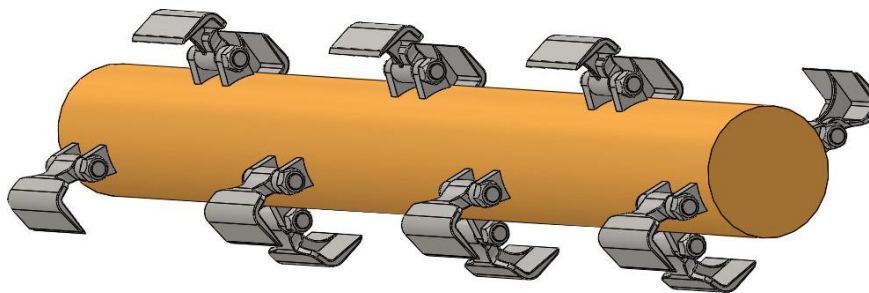


Ilustración 12. Diseño del eje principal en SolidWorks.



Ilustración 13. Eje principal, elemento real.

3.3.7 Martillos

Los martillos son las piezas encargadas de machacar y trocear los restos, ya que se encuentran directamente en contacto con ellos. Están sujetos mediante orejetas y bulones lo que permite que giren de manera descontrolada, sin restricción. Al ser el elemento que más se desgasta es necesaria su sustitución facilitando con esta conexión su montaje y desmontaje.

Forman un conjunto de 14 martillos de acero, incluyendo triple línea de contramartillo reforzados para aumentar el grado de picado. Como se muestra en la ilustración 14, se ha modelado en el SolidWorks y se ha obtenido el valor del peso 2,6 kg. Con los datos del par motor que toma el eje principal se ha hallado el cálculo estático de la fuerza que aplicarán los martillos, ya que no tenemos en cuenta el valor de la velocidad. Los cálculos se encuentran expresados en el ANEXO C, CÁLCULOS, C.4 Cálculo de la fuerza de los martillos.

El material del que están compuestos los martillos es una aleación de acero templado caracterizado por una resistencia mecánica especialmente elevada, resistencia al desgaste, corrosión y a la abrasión.

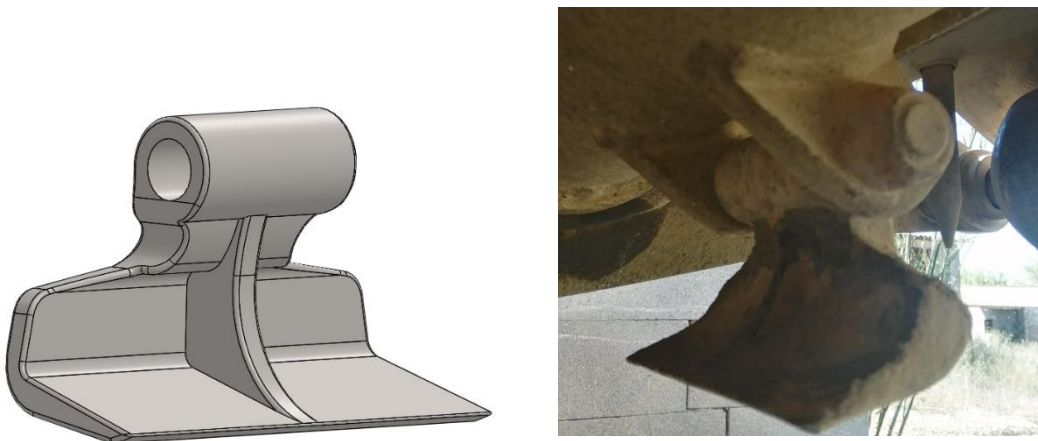


Ilustración 14. Diseño del martillo en SolidWorks. Elemento real.

3.3.8 Otros componentes

Por otro lado, la máquina incluye accesorios que complementan el objetivo final de la trituradora. Y entre los que se encuentra:

- Carcasa

En el caso de la carcasa es un elemento reforzado de 6 + 6mm, cuyo material de alto límite elástico es un acero como en el caso del acople tripuntal S275JR. Cuyo perfil se encuentra rebajado en la parte trasera derecha. Como se muestra en la ilustración 15 el modelado en 3D del diseño.

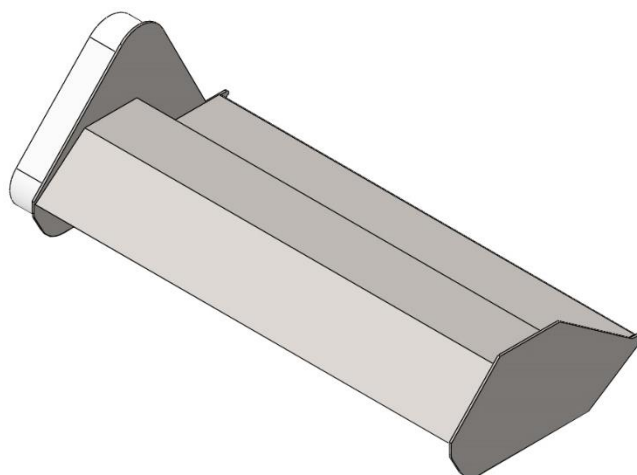


Ilustración 15. Diseño del eje principal en SolidWorks.

- Rodillo trasero

Cilindro situado en la parte trasera, se coloca de forma regular dependiendo de la altura necesaria. Su función es aplanar todos los restos ya triturados, facilitando así, la incorporación al suelo de la materia orgánica al paso de un pesado rodillo y dejando el suelo liso favoreciendo el aporte de nutrientes al campo. Su movimiento se debe al paso de la pieza apoyada sobre el suelo. Tiene un diámetro de 80 mm y 1990 de longitud, anclado al chasis mediante dos pletinas en los laterales.

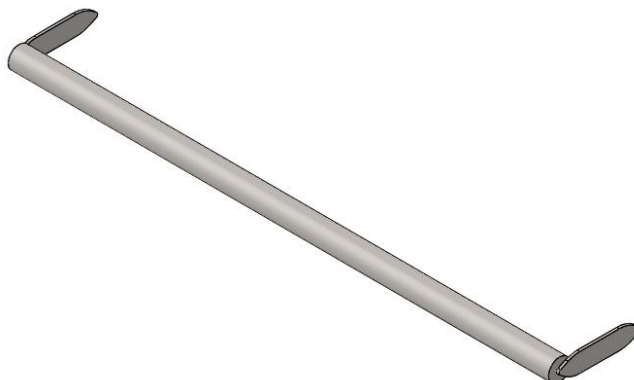


Ilustración 16. Diseño del eje principal en SolidWorks. Elemento real.

- Protección delantera

Accesorio cuyo objetivo es proteger el capó del motor, es de tipo abatible ayudando, de esta forma, a actuar en el mantenimiento de la máquina y a controlar posibles atascos.

- Rascador para rodillo

Parte encargada de aplanar la hierba y los restos para que sea más sencillo el paso de la máquina por su superficie, por ello de su ubicación en la parte delantera del apero.

- Puntos de engrase

El apero cuenta con siete puntos de engrase colocados en zonas cuyas piezas están en contacto con ejes, rodamiento y otras piezas mecánicas. Forma parte del mantenimiento preventivo, prevención de riesgos y de futuras averías, de la máquina. Encargados de evitar desgastes anticipados y por tanto un ahorro en tres de los factores más importantes, dinero, tiempo y trabajo.

4. CONEXIÓN TRACTOR-APERO

El tractor es un vehículo empleado en la agricultura para las labores del campo, dentro de sus propiedades es usado para arrastrar o empujar remolques, aperos u otras máquinas de cargas pesada. Otra de las cualidades de las que dispone es ser capaz de transmitir otros movimientos. El contacto entre el tractor y el apero y la transferencia de potencia entre ellos se suministra mediante la toma de fuerza, elemento situado en la parte trasera del tractor.

4.1 Toma de Fuerza

La toma de fuerza (TDF) es uno de los elementos más importantes, ya que se trata del eje que, accionado por el motor, transmite la energía desde el motor del vehículo a los diferentes aperos acoplados a este. Esta toma de fuerza puede ser hidráulica o mecánica. En primer lugar, habremos de alinear el tractor con el apero para su acople, posteriormente enganchar la toma cardan del equipo conectándola con el eje.

Por otro lado, la transmisión o junta cardan es el medio mecánico por el que se transmite la fuerza motriz desde el tractor al apero mediante el eje conducido teniendo en cuenta su inconveniente que es la no colinealidad entre ambas máquinas. Transmitiendo de forma uniforme el movimiento de rotación. Dicha junta cardan debe ser homologada por las normas UNE-EN 12965. En la ilustración 17 podemos observar las partes que componen la zona de unión tractor – apero.

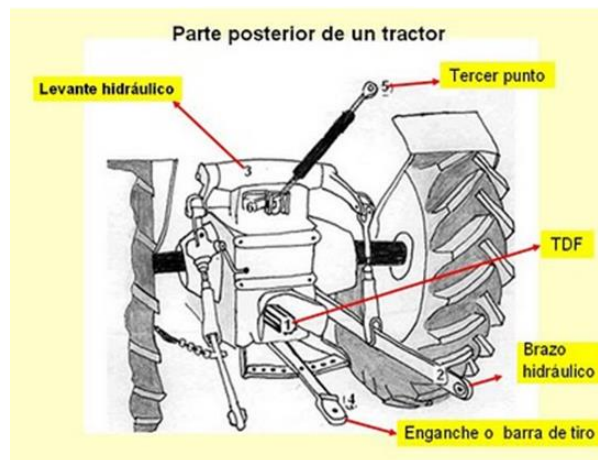


Ilustración 17. Parte posterior de un tractor.

4.2 Junta Cardan

La junta cardan o junta de cruceta, sistema mecánico más utilizado en los vehículos industriales, consiste en dos círculos concéntricos cuyos ejes forman entre ellos un ángulo recto, las dos horquillas se unen entre ellas por una pieza denominada cruceta formada por rodamientos en sus esquinas las cuales se introducen en las horquillas. Dicho sistema posibilita que una de las máquinas sea arrastrada por la otra, permitiendo una irregularidad angular entre los dos componentes que une.



Ilustración 18. Partes de la junta cardán.

4.3 Sistema Hidráulico

El último elemento por destacar, dentro de la conexión tractor – apero, es el sistema hidráulico, encargado de facilitar todas aquellas maniobras con las máquinas que requieran la elevación o descenso de las mismas. Podemos encontrarlo tanto en la parte delantera como en la trasera. Dicho componente aporta beneficios como una mayor ligereza a la estructura al igual que una mayor potencia a la hora de manejar la carga. El sistema está compuesto por tres brazos portantes y un conjunto de válvulas ambos dirigidos por el sistema hidráulico. Elemento responsable de alimentar a las válvulas que se conectan a los diferentes aperos.

El sistema hidráulico, a diferencia del neumático, requiere de un líquido en su interior para un correcto funcionamiento. En el caso del tractor el líquido con el que se realiza el movimiento es mediante aceite.

4.4 Tractor con el que vamos a trabajar

Tras analizar las partes principales del tractor las cuales tienen un valor fundamental en el acople del apero como serían los brazos hidráulicos, toma de fuerza y barra de tiro, se mostrará el modelo y tipo de tractor con el que se van a realizar los cálculos. Se han recogido en la tabla 6 características del tractor las cuales serán usadas en el análisis técnico.

Tabla 6. Características del tractor.

Marca	Massey Ferguson
Modelo	390.4
Potencia Nominal (CV)	80-90
Toma de fuerza (rpm)	540/1000
Caudal Sist. Hidráulico (l/min)	105
Potencia Sist. Hidráulico (kW)	35
Capacidad elevación (Kg)	2586

5. ANÁLISIS DE LA TRITURADORA DE HIERBA

5.1 Cálculo de las fuerzas del tripuntal

A la hora de analizar el cálculo de cómo actúan las fuerzas de tiro en el tripuntal se partirá del diseño comercial del cual ya se han extraído las características básicas que el apero ha de cumplir. En primer lugar, se estudiarán las dos posibles posiciones más desfavorables para hallar las fuerzas más restrictivas. Situación en la que el apero se encuentra suspendido para su transporte, ya que, ubicado en posición de trabajo, todo el peso será distribuido al suelo.

A continuación, se muestran las dos posiciones a estudiar dependiendo del desplazamiento de la máquina con respecto al eje central, en la ilustración 19 el apero se posiciona de forma centrada, a diferencia de la ilustración 20 en la que encontramos el apero desplazado hacia la derecha con respecto al eje central.

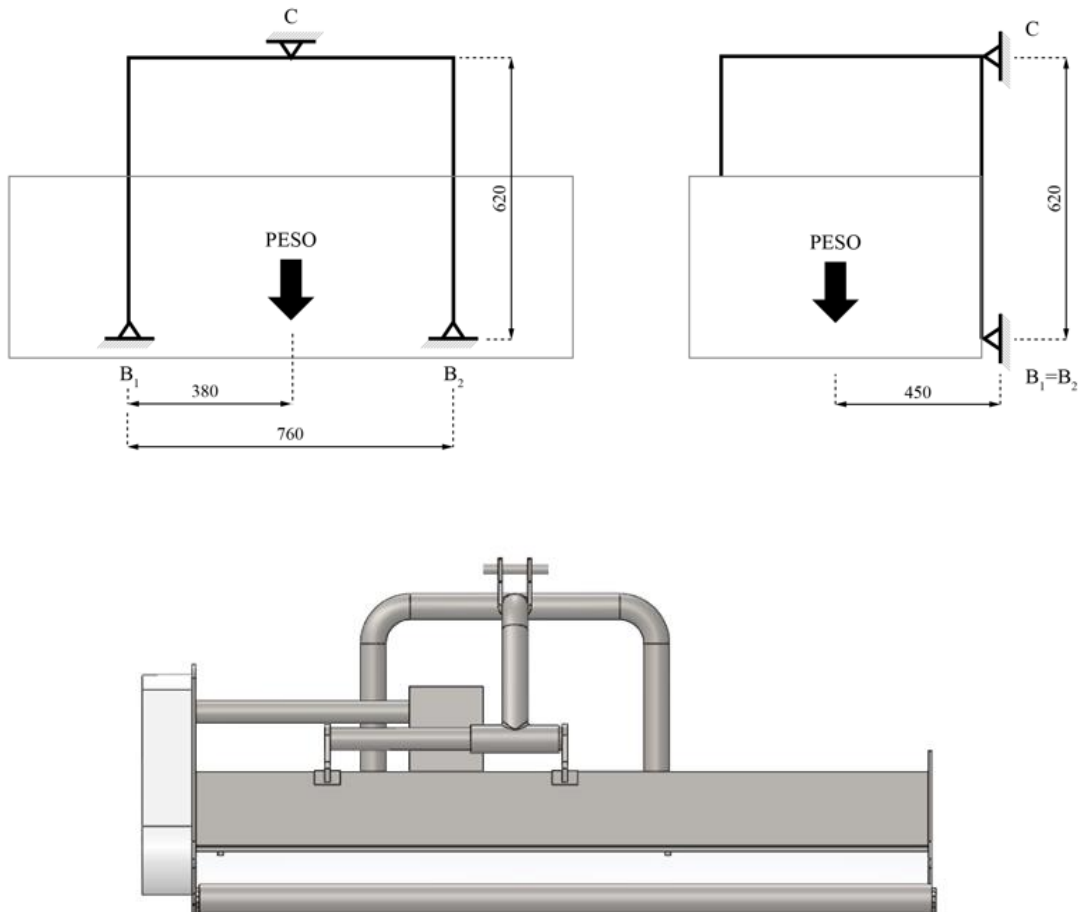


Ilustración 19. CASO 1, apero centrado.

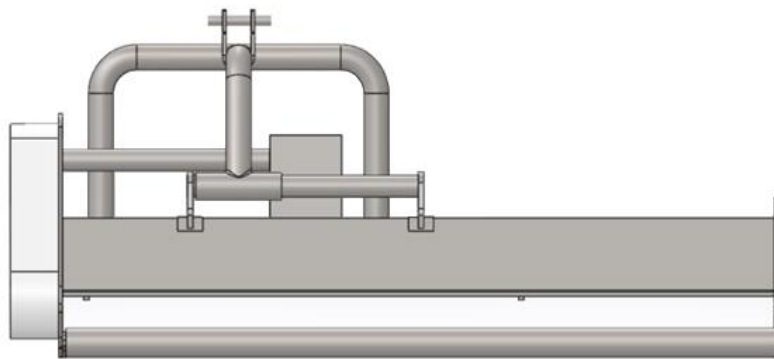
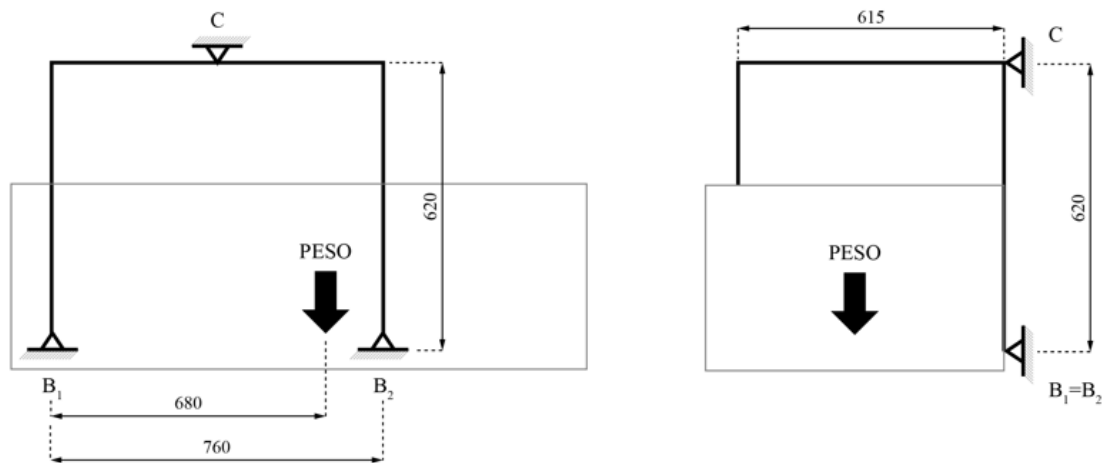


Ilustración 20. CASO 2, apero desplazado.

Fijadas las dos posibles posiciones que podemos encontrar en el apero, denominamos las fuerzas actuantes en cada punto del conjunto por el que se encuentra sujeta mediante los brazos del tractor. Así mismo, se calcularán las fuerzas más restrictivas y aquellas con las que más tarde realizaremos los cálculos de los valores de coeficientes de seguridad máximos que pueden soportar los bulones.

Dichas posiciones varían en el momento en el que accionamos el cilindro hidráulico. Cuando dejamos de accionar cualquiera de las dos válvulas desde los mandos del tractor, quitamos presión del sistema, por lo que provocamos que la cámara anterior se ponga en posición de escape, y por tanto el cilindro retorna por acción del resorte interior.

Denominando apoyo A al situado en la parte más alejada del tractor, apoyo B a los dos apoyos inferiores en los que la carga se distribuye equitativamente, apoyo C al situado en la parte superior del tripuntal. Ambos casos han sido calculados con ecuaciones sacadas de la vista lateral (plano zy) y de la vista frontal (plano xy).

Para realizar el cálculo analítico se han asumido las siguientes hipótesis:

- La dirección y el valor de la fuerza C es igual en ambas posiciones, al ser proveniente de un brazo con cilindro hidráulico del tractor.
- En el caso del apero centrado el valor B1 y B2 son iguales en valor y dirección ya que trabajar igual por simetría.

Por un lado, para el estudio del apero centrado se ha realizado el diagrama de sólido libre tanto en el plano xy como en el plano yz, ambos mostrados en la ilustración 21.

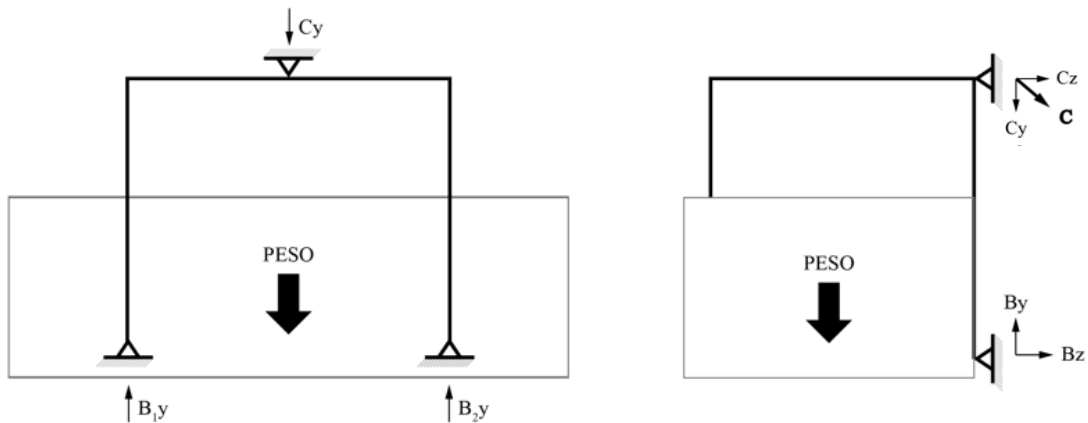


Ilustración 21. Diagrama de fuerzas internas, apero centrado.

Los valores que se alcanzan son:

$$B_{1x} = B_{2x} = 0 \text{ N} \quad B_{1y} = B_{2y} = 5111 \text{ N} \quad B_{1z} = B_{2z} = 2614 \text{ N} \quad B = 5740,67 \text{ N}$$

$$C_x = 0 \text{ N} \quad C_y = 3018 \text{ N} \quad C_z = 5228 \text{ N} \quad C = 6037 \text{ N}$$

Por otro lado, en el estudio del apero desplazado se ha realizado tanto el equilibrio en el plano xy como en el plano yz ambos diagramas mostrados en la ilustración 22.

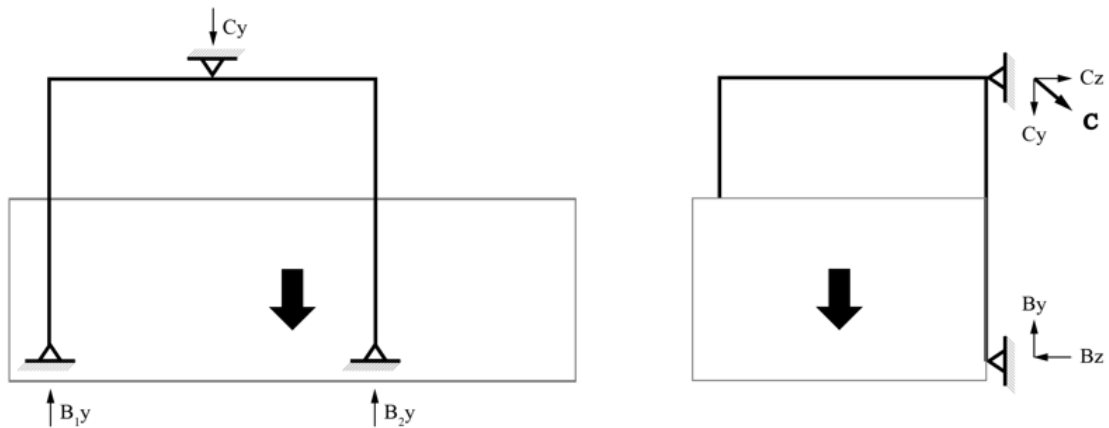


Ilustración 22. Diagrama de fuerzas externas, apero desplazado.

$$B_{x1} = 0 \text{ N} \quad B_{y1} = 2267 \text{ N} \quad B_{z1} = 2614 \text{ N} \quad B_1 = 3460 \text{ N}$$

$$B_{x2} = 0 \text{ N} \quad B_{y2} = 7954 \text{ N} \quad B_{z2} = 2614 \text{ N} \quad B_2 = 8372,5 \text{ N}$$

$$C_x = 0 \text{ N} \quad C_y = 3018 \text{ N} \quad C_z = 5228 \text{ N} \quad C = 6037 \text{ N}$$

Por tanto, establecidas las dos posiciones se concluye que el caso en el que las fuerzas son más restrictivas es cuando se encuentra desplazado. Los cálculos expresados en el ANEXO C, CÁLCULOS, C.1 Cálculo de fuerzas del tripuntal, hallamos que los valores de las fuerzas resultantes son:

Tabla 7. Valores de las fuerzas más restrictivas. Fuerzas en N.

A	B1	B2	C
9768,25	3460	8372,5	6037

5.2 Cálculo de las fuerzas del acople

Por otro lado, se ha estudiado las fuerzas del acople tripuntal, en las que se incluye los valores del cilindro hidráulico tanto el de avance como el de retroceso en los diferentes casos.

Estos cálculos analíticos se han realizado aislando el acople del chasis y estudiando también por separado. En primer lugar, el caso de la situación desplazada en la que el cilindro hidráulico “tira” para desplazarse. Y, en segundo lugar, la situación centrada, en la que el cilindro hidráulico “empuja para desplazarse a la situación centrada.

En ambos casos se ha mantenido la hipótesis en la que conocemos el valor y dirección del apoyo C. También se han tomado como datos conocidos los valores de la fuerza del cilindro tanto de avance, como de retroceso, ya que las medidas del dimensionamiento del cilindro hidráulico eran conocidas. Cálculos expresados en el ANEXO D. SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES. D.4 Cilindro hidráulico.

En la ilustración 23, se muestra las dos posiciones que se ha tenido en cuenta para el estudio de ambas situaciones. Cálculos expresados en el ANEXO C. CÁLCULOS, C.4 Cálculo de las fuerzas del acople.

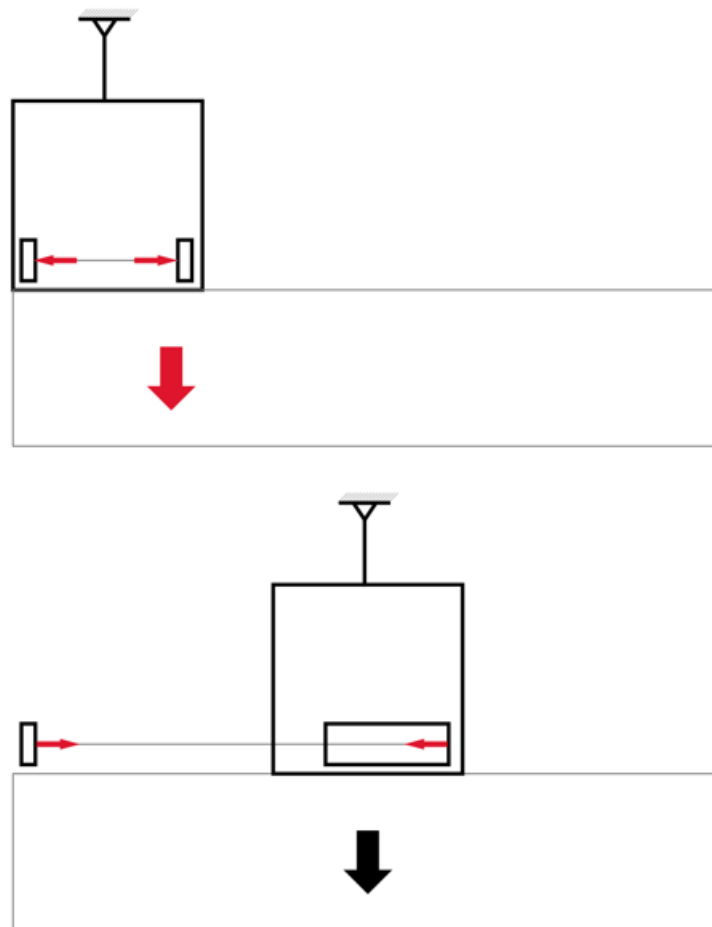


Ilustración 23. Situaciones del acople a estudiar.

5.3 Cálculo de la barra cilíndrica del apoyo A

Distintivamente se ha calculado el apoyo A, ya que viene definido por una barra cilíndrica y soportado por dos apoyos separados una distancia de 630 mm. Estos apoyos biempotrados se han simplificado para su resolución analítica, en un extremo: soporte móvil y en el otro soporte fijo, dichos cálculos se encuentran expresados en el ANEXO C, CÁLCULOS, C.2 Cálculo de la barra cilíndrica del apoyo A. En la ilustración 22 se muestra la forma que tienen el apoyo A, con las barras cilíndricas y las orejetas y en la ilustración 23 se muestra el desglose de las fuerzas actuantes en el cilindro y apoyos:

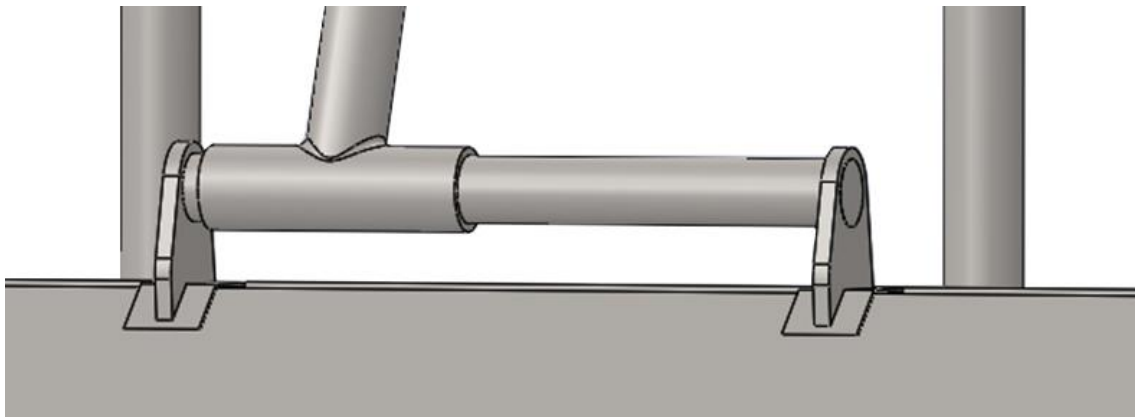


Ilustración 24. Modelado del apoyo A: barra cilíndrica y orejetas.

Los valores de las fuerzas que se han tenido en cuenta tras el cálculo de las dos posiciones del acople y las dos posiciones del estudio del tripuntal han sido en las que el apero se encuentra en situación centrada y el cilindro hidráulico “tira” para desplazarse. Una vez hallado se ha calculado el valor del coeficiente de seguridad, 8,19.

En este caso, el valor de la fuerza de retroceso equivaldrá a la fuerza F_{Ax} .

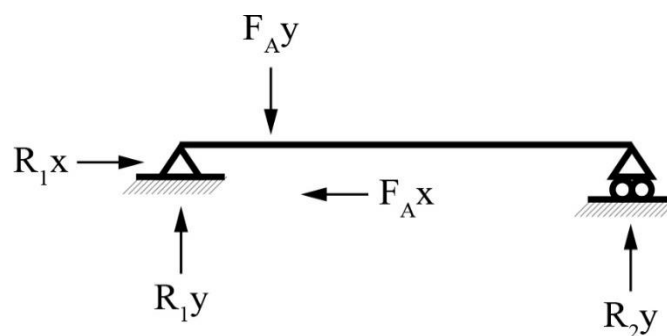


Ilustración 25. Diagrama de fuerzas apoyo A.

Resultados numéricos desglosados de los valores de fuerzas:

$$R_{1x} = 7238,23 \text{ N} \quad R_{1y} = 7311,43 \text{ N}$$

$$F_{Ax} = 7238,23 \text{ N} \quad F_{Ay} = 8530 \text{ N}$$

$$R_{2y} = 1218,57 \text{ N}$$

5.4 Cálculo de las uniones mediante bulones

En el cálculo de los bulones se han tomado unas características comunes, como es el dato de los materiales facilitado por el proveedor. Se ha calculado el valor de los coeficientes frente a las cargas calculadas que pueden soportar los bulos y orejetas

Los dos bulones que se encuentran en el acople tripuntal, elementos que sufren el peso del apero, pueden sufrir esfuerzos que general tensiones de cortadura y aplastamiento, apoyos B1, B2 y C. Se han calculado con el valor de las fuerzas estimadas que se encuentran en cada apoyo, en el caso más restrictivo que es el que se ha hallado calculando en situación central el acople. Asimismo, actúan los bulones de los martillos.

Calculados y analizados dichos fallos, hallamos los coeficientes los cuales se muestran en la tabla 8. Los cálculos se encuentran expresados en el ANEXO C, CÁLCULOS, C.3, Cálculo coeficientes de seguridad en los apoyos B1, B2 y C. Cuyos resultados alcanzan valores todos ellos aceptados, en ningún caso menores a uno.

Tabla 8. Coeficientes de seguridad de los bulones en los diferentes puntos.

	Cortadura	Aplastamiento
Apoyo B1	16,85	24,92
Apoyo B2	12,21	18,6
Apoyo C	18,47	27,33
Martillos	4,02	5,95

5.5 Análisis del cilindro hidráulico

El cilindro hidráulico permite posicionar el apero en la posición de trabajo, sobre la parte inferior de la copa de los árboles, descentralizado del tractor. La fuerza que se ha calculado sería necesaria para que en el caso de fallo del tripuntal el cilindro hidráulico pudiese igualar esa fuerza necesaria para que no volteara el chasis del apero.

Se ha hallado tanto el valor de la fuerza de avance como la de retroceso, ambos casos resueltos de manera similar se han seguido los siguientes pasos.

Conocido el valor de la potencia del sistema hidráulico situado en el tractor, el valor del caudal y tomando el menor rendimiento posible, asegurando así la elección, se halla la presión a la que trabaja la bomba hidráulica 160 bar. A continuación, mediante la fórmula de fuerza de avance y con los valores de presión y diámetro del pistón hallamos la fuerza máxima que puede soportar, obteniendo un resultado de 11309,76 N resultado mucho mayor que el necesario. De la misma manera se ha resuelto para el caso de la fuerza de retroceso que alcanza un valor de 7238,23 N

Todos los datos se encuentran expresados en el ANEXO D, SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES, D.4 Cilindro hidráulico.

5.6 Martillos

La fuerza que sufren los martillos se centra en la punta delantera, ya que es la que se encuentra directamente en contacto con los restos de poda a triturar. Se ha realizado un cálculo estático por lo que no tendremos en cuenta el valor de la velocidad en el eje.

Esta fuerza ha sido calculada mediante la fórmula del par motor que proviene del tractor. Con los datos de la potencia que el tractor transmite al apero y el número de revoluciones que alcanza en ese momento, 540 rpm, se halla el valor del par motor en el primer eje, encargado de accionar el sistema de poleas.

En el sistema de poleas el par adquiere pérdidas, obteniendo un resultado de 199,07 Nm en el eje principal en el que se encuentran los martillos. La fuerza que les llega a los martillos está relacionada con el par en el eje principal y la suma del radio del eje y la longitud total del martillo. El valor total de la fuerza que actúa en cada martillo es de 1105,94 N, sumando un total de 15483,16 N entre los 14 martillos.

Se trata de una aproximación ya que se ha considerado una situación estática, ya que realmente la fuerza será mayor debido a la velocidad de los martillos. Como se comprueba en las simulaciones tanto del eje principal como de los martillos pueden soportar una carga mucho mayor. Los cálculos se encuentran expresados en el ANEXO C, CÁLCULOS, C.4 Cálculo de la fuerza de los martillos.

6. MODELADO Y SIMULACIÓN

Cómo ya se ha señalado anteriormente se ha realizado un modelo 3D de la máquina. A partir de dicho modelo y utilizando los cálculos realizados en apartados anteriores, se ha simulado el comportamiento de algunas de las piezas modeladas utilizando la herramienta Simulation de SolidWorks definiendo, previamente, materiales y de la misma manera los puntos de apoyo de cada pieza a estudiar y las restricciones. Los modelados de las piezas con las que se han realizado las simulaciones aparecen en el ANEXO B. PIEZAS TRITURADORA.

El software realiza el análisis mediante el Método de Elementos Finitos utilizando un mallado a definir con el objetivo de hallar tensiones, deformaciones, desplazamientos y distribuciones de coeficiente de seguridad de la máquina más exactos y fiables.

En primer lugar, se ha creado un control de mallado fino para cada uno de los diferentes apoyos, obteniendo así unos resultados más exactos. Una vez creada la malla y aplicadas las diferentes cargas se ha procedido a la aplicación de las condiciones de contorno teniendo en cuenta la conexión entre componentes. Las fuerzas aplicadas en las diferentes simulaciones han sido hallados mediante el cálculo del acople, cuya situación más desfavorable era cuando el apero se sitúa centrado.

6.1 Estudio apoyos A

Considerando que el apoyo A está empotrado en el suelo, debido a que se encuentra soldado a la carcasa del apero mediante la fijación de un elemento denominado “bufanda”, se ha introducido el apoyo mediante geometría fijada en la zona inferior, aquella que se encuentra en contacto directo con la carcasa del apero. Y tras introducir los valores y direcciones de las fuerzas se ha procedido a la simulación.

En el caso del apoyo A, las fuerzas aplicadas son distintas dependiendo del extremo. Ambos casos han sido calculados con las fuerzas cuando el apero se encuentra centrado, alcanzando valores más restrictivos en el apoyo de la izquierda.

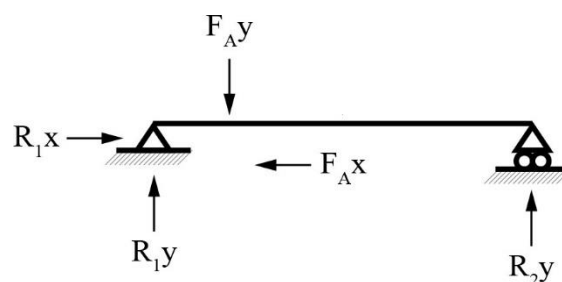


Ilustración 26. Diagrama de fuerzas en la barra superior.

Como representa la ilustración 24, en el extremo de la izquierda se ha simulado el cálculo con el apoyo de soporte fijo, el cual alcanza un valor total de 10288,29 N. A diferencia del extremo de la derecha, en el que se ha colocado un soporte móvil y la fuerza hallada es 1218,57 N.

En el caso de los apoyos A no se han calculado analíticamente los valores de los coeficientes de seguridad por lo que con estas simulaciones se comprobará que alcanzan un valor aceptable.

- Apoyo A izquierda:

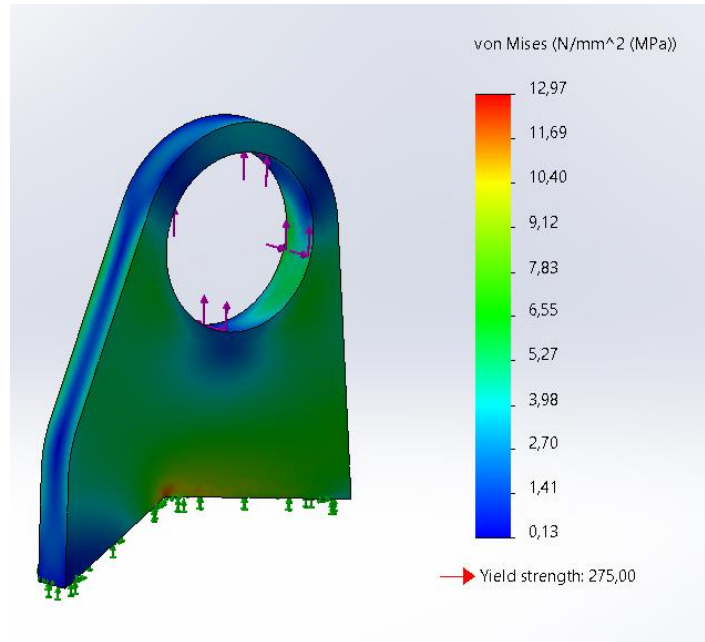


Ilustración 27. Simulación de las tensiones en el apoyo A, izquierda.

Como podemos observar en la ilustración 27, tras aplicar el valor y dirección de la fuerza en el agujero, 7238,23 N en el eje x y 7311,43 N en el eje y, la máxima tensión la encontramos reflejada en la zona de contacto con la carcasa, con un valor de 12,97 MPa. Comprobamos así, que no existen problemas en la zona de apoyo, por lo que está bien definida.

Y, por otro lado, y aplicando el mismo valor de las fuerzas, el mayor desplazamiento se encuentra representado en rojo en la ilustración 28, siendo máximo en la parte superior del apoyo, pero con un valor insignificante.

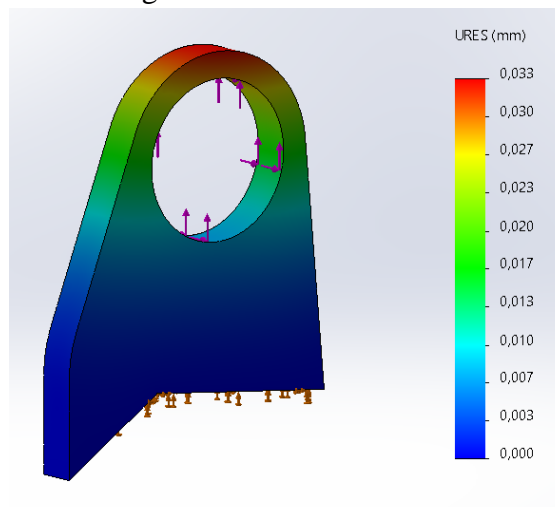


Ilustración 28. Simulación de desplazamientos en el apoyo A, izquierda.

- Apoyo A derecha:

Por otro lado, el apoyo de la derecha al tener un apoyo de soporte móvil sólo tiene valor de fuerza en el eje y, 1218,57 N.

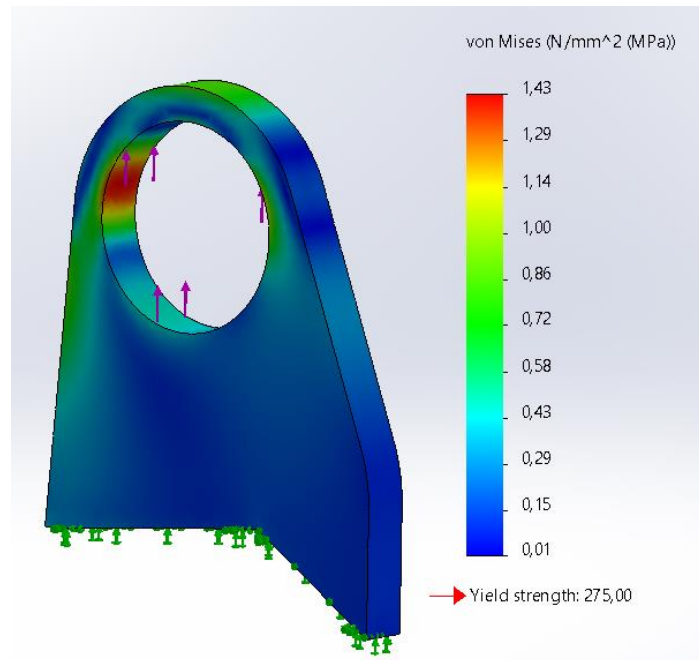


Ilustración 29. Simulación de las tensiones en el apoyo A, derecha.

En la ilustración 29 se ve representada solo la fuerza en la dirección y, la cual provoca mayor efecto de límite elástico en la zona interior del agujero, alcanzando un valor tensión de 1,43 MPa mucho menor que el apoyo del otro extremo.

Por otro lado, en la ilustración 30 se expresan los datos de los desplazamientos centrados en la parte superior del apoyo, pero prácticamente despreciables.

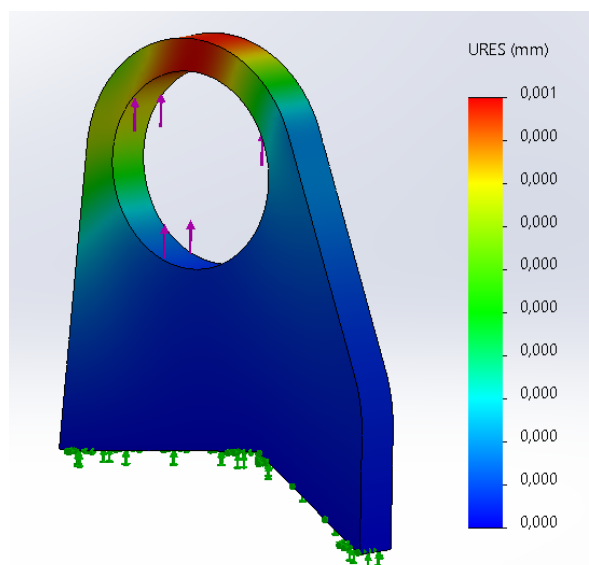


Ilustración 30. Simulación de desplazamientos en el apoyo A, derecha.

6.2 Estudio apoyo B

Dentro del estudio del apoyo B como cada uno de los acoples tiene un valor de fuerzas se han simulado cada una de ellas en diferentes apartados.

- Apoyo B1

En el punto de apoyo B1, encontramos dos tipos de barras diferenciadas por su forma y dimensiones, por lo que analizaremos ambas por separado. Cabe destacar, que el valor de las fuerzas situadas en estos puntos, están divididas entre los dos apoyos de la parte inferior, ya que ejercen la misma fuerza al estar situadas equidistantes del centro del apoyo superior.

En primer lugar, simularemos la situada en la parte de los extremos. En ambos casos, la restricción usada en la simulación ha sido colocada en la zona de la soldadura al acople tripuntal. El hecho de tener un doble agujero para posicionar en ambos el apero no suponen un problema.

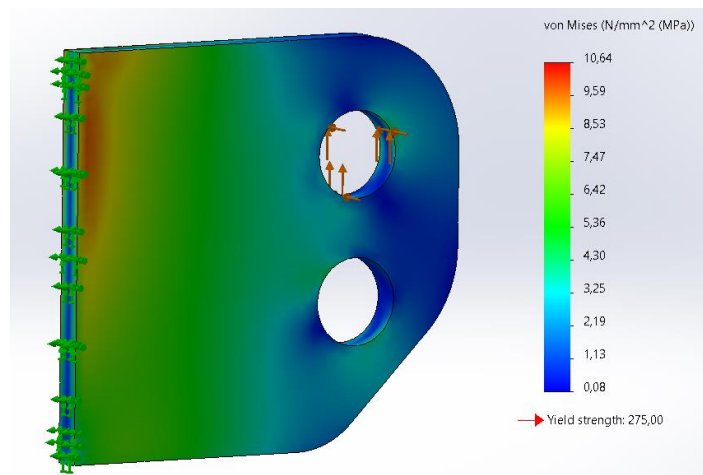


Ilustración 31. Simulación de las tensiones en el apoyo B1, barra grande.

Como se ve en la ilustración 31, las fuerzas con valores, 5228 N en el eje z y 4060 N en el eje y, han sido ubicadas en el agujero en el que se sitúa el bulón con las direcciones correspondientes. Debido a sus dimensiones, el valor del límite elástico se supera con creces, y las zonas más afectadas se encuentra en la zona donde apoya el bulón. Es por ello por lo que, los cálculos obtenidos de coeficientes de seguridad alcanzan valores de hasta 28,84. Verificando así que no encontramos problemas en el empotramiento.

Por otra parte, como vemos en la ilustración 32, las deformaciones son prácticamente despreciables y localizadas en la zona más alejada de la soldadura al acople tripuntal.

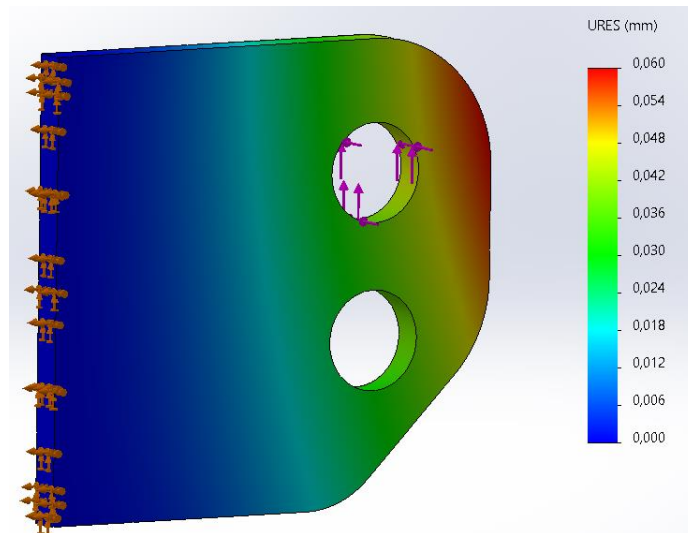


Ilustración 32. Simulación de desplazamientos en el apoyo B1, barra grande.

A diferencia de estas barras de menor área, las cuales sufren mayormente en la zona donde se ha colocado la restricción de punto fijo, con el mismo valor y dirección de las fuerzas, 5228 N en el eje z y 4060 N en el eje y.

En la ilustración 33, los valores en la escala de Von Mises no son cercanos al término de la tensión máxima del acero. El hecho de tener un doble agujero para posicionar en ambos el apero no suponen un problema.

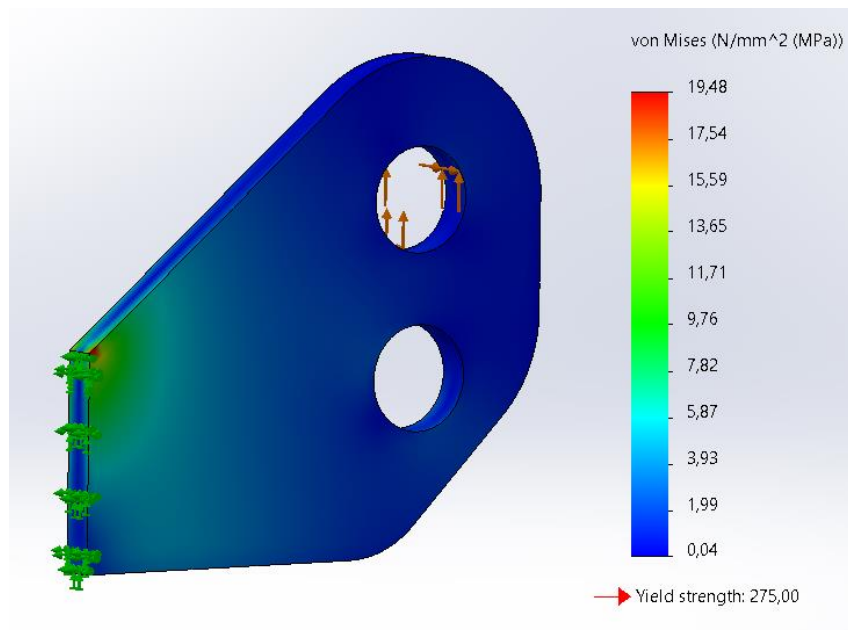


Ilustración 33. Simulación de las tensiones en el apoyo B, barra pequeña.

Como se ve en la simulación de la ilustración 34, las deformaciones no son nada notorias y aumentan a medida que nos alejamos de la zona del apoyo fijo.

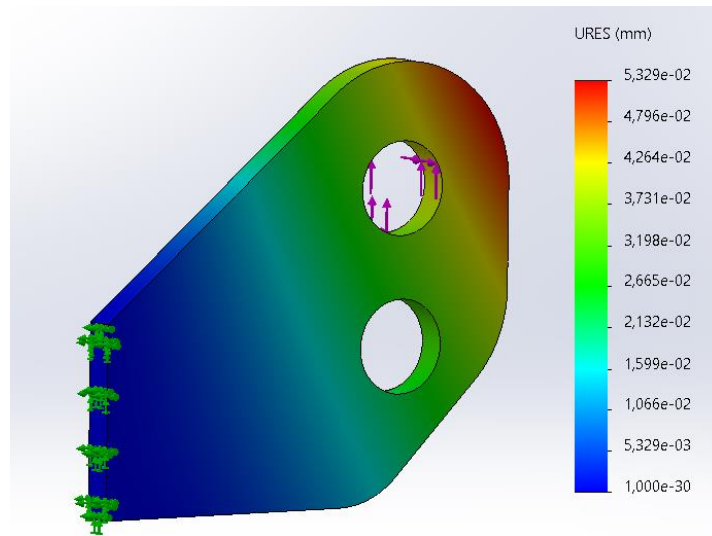


Ilustración 34. Simulación de desplazamientos en el apoyo B, barra pequeña.

- Apoyo B2

Por otro lado, el apoyo B2 sólo varía en los valores de fuerza que se le aplican siendo estos 5228 N en el eje z y 7488 N en el eje y.

En la ilustración 35 se ve reflejado el valor de Von Mises un poco mayor que en el caso del otro extremo del acople B1. De esta manera, también comprobamos que no existen problemas en la zona de apoyo, por lo que está bien definida.

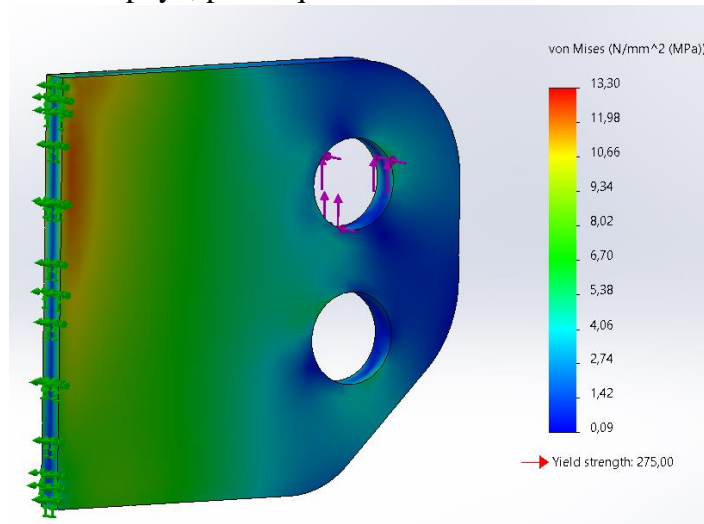


Ilustración 35. Simulación de las tensiones en el apoyo B2, barra grande.

Como se ve en la simulación de la ilustración 36, los valores de los desplazamientos se encuentran en la zona más alejada al apoyo y con valores muy pequeños.

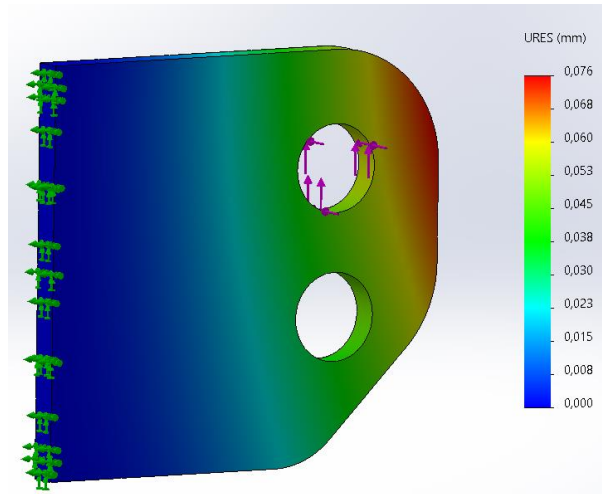


Ilustración 36. Simulación de desplazamientos en el apoyo B2, barra grande.

Por otro lado, dentro del acople B2 se ha estudiado la barra pequeña. Como podemos comprobar en la ilustración 37, alcanza un valor de tensión de 20,25 MPa la mayor con respecto a las simulaciones de los demás apoyos de B. Comprobamos también así que no existen problemas en la zona de apoyo, por lo que está bien definida.

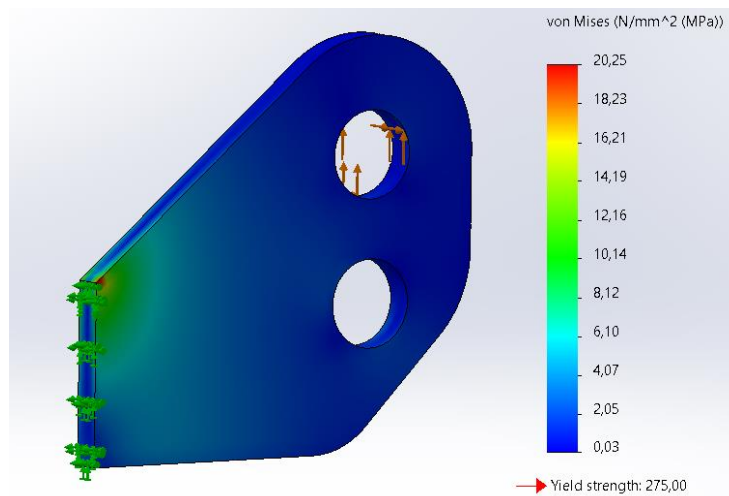


Ilustración 37. Simulación de las tensiones en el apoyo B2, barra pequeña.

Por último, en la ilustración 38, los valores de desplazamiento, prácticamente despreciables.

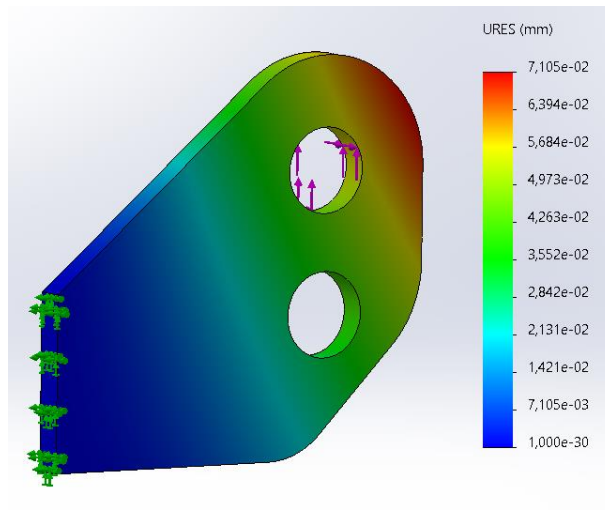


Ilustración 38. Simulación de desplazamientos en el apoyo B2, barra pequeña.

6.3 Estudio apoyo C

En el caso del apoyo C, encontramos una zona central en la que se ha eliminado material para favorecer el aligeramiento de las piezas y disminuir así, en peso y volumen. Estos cambios afectan a una disminución de la resistencia y un cambio de la zona afectada. Como se comprueba en las simulaciones mostradas más adelante aun aplicando los criterios de diseño basados en el análisis de tensiones, en todo momento se cumple con los cálculos hallados en los apartados anteriores.

Una vez aplicadas las fuerzas en el hueco en el que se ubica el bulón con las direcciones halladas, 5228 N en el eje z y 3018 N en el eje y.

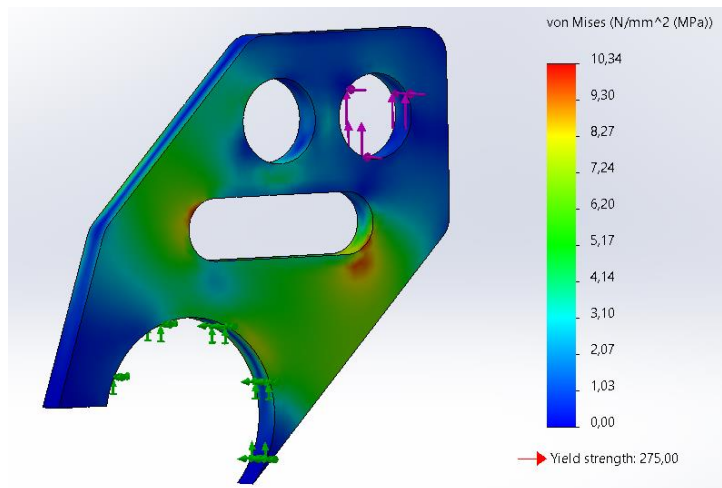


Ilustración 39. Simulación de las tensiones en el apoyo C.

En la ilustración 39, se observa que los valores máximos de tensión que afectan al acople alcanzan valores superiores a la unidad del coeficiente de seguridad, 26,6. Dicha zona afectada se ubica en el hueco creado tras aplicar los criterios de diseño. En la ilustración también se muestra que las tensiones en la zona de la unión son bajas.

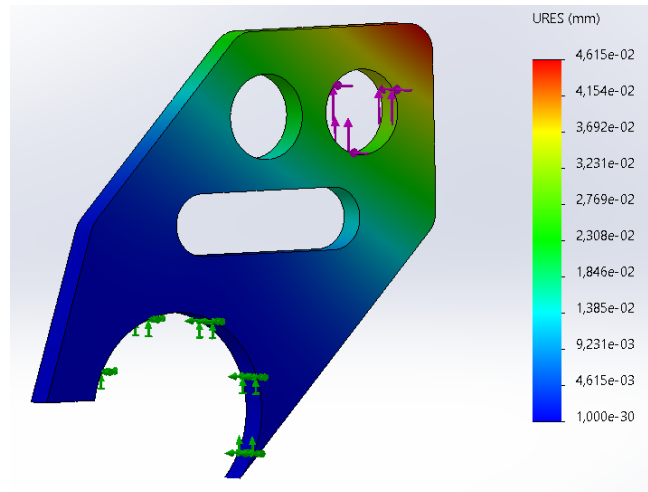


Ilustración 40. Simulación de desplazamientos en el apoyo C.

Por otro lado, los desplazamientos mostrados en la ilustración 40 adquieren valores un poco más significantes, pero en una zona pequeña y alejada del punto fijo que ha sido colocado en la zona de soldadura con el acople tripuntal.

6.4 Martillos

Una vez realizado el cálculo de la fuerza que afecta al martillo, elemento principal de la trituradora, procedemos a efectuar la simulación para comprobar cómo afecta a su estructura.

Aplicando, en primer lugar, el valor de la fuerza externa, 1105,94 N en la zona que se encuentra en contacto con los restos a triturar, parte inferior del martillo y en dirección opuesta a la de rotación. Y, por otro lado, se ha ubicado el apoyo fijo en el agujero donde se sitúa el bulón, simulando así la situación más restrictiva.

En la simulación de la ilustración 41, podemos observar que alcanza valores que equivalen a un coeficiente de seguridad de 10,83. Donde, su zona más desfavorable y alcanzada por el coeficiente, se encuentra en el nervio central del elemento.

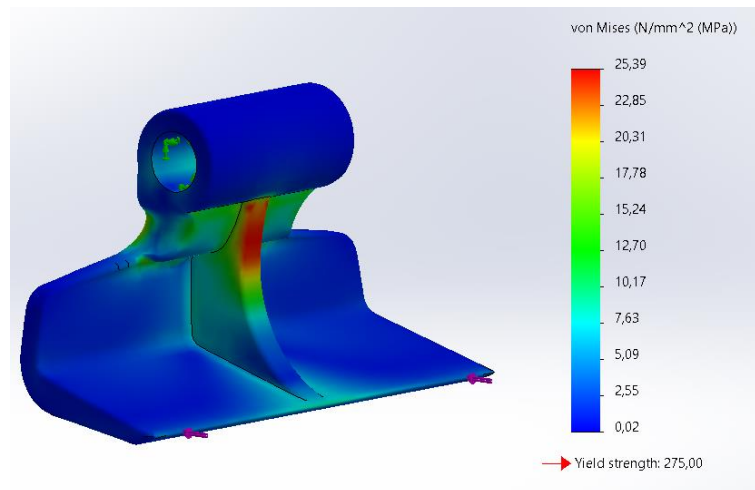


Ilustración 41. Simulación de la tensión del martillo.

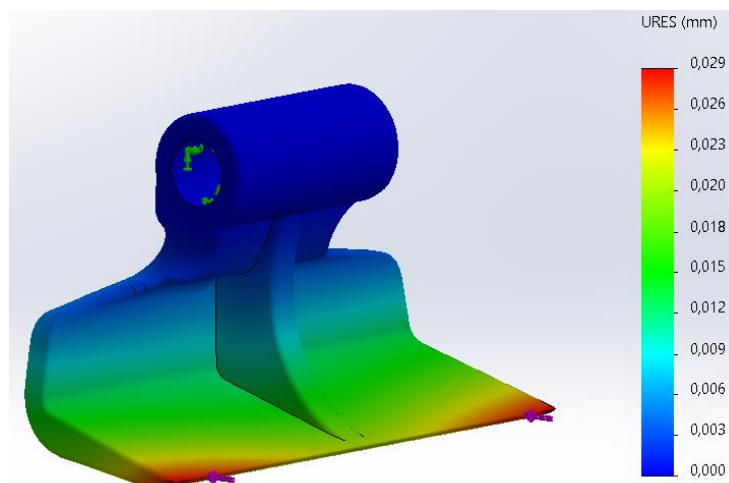


Ilustración 42. Simulación de desplazamientos del martillo.

Los desplazamientos reflejados en la ilustración 42 son muy reducidos, prácticamente despreciable, y se encuentran en los extremos de la pala del martillo, zona en la que el nervio no hace tanto efecto.

6.5 Eje principal

La simulación del eje principal se ha realizado mediante una aproximación, en esta, se ha dividido el eje principal en siete tramos para facilitar el posicionamiento de las fuerzas, a las cuales se les ha variado su dirección. Además de cuatro líneas de partición en la cara curva a lo largo del cilindro para mayor aproximación.

Uno de los extremos del cilindro se ha posicionado fijo en los tres ejes, a diferencia del otro al que se le ha aplicado fijación tipo deslizamiento por rodillos. Las fuerzas han sido posicionadas en las particiones imitando las diferentes posiciones de los 14 martillos. El valor que se aplica en la posición de los martillos equivale al calculado mediante la fórmula de fuerza 1105,95 N.

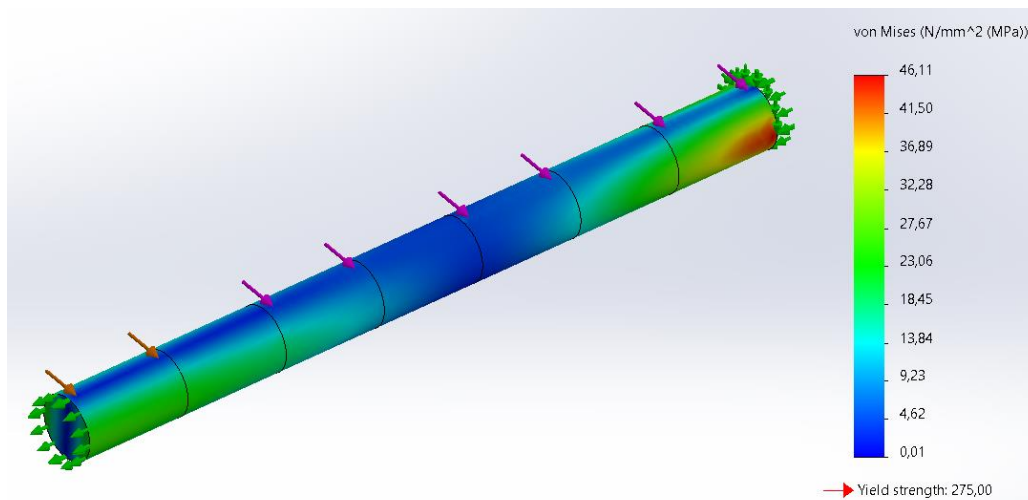


Ilustración 43. Simulación de la tensión del eje principal.

Como se puede comprobar en la ilustración 43, se aprecia que la tensión máxima de Von Mises no supera los valores máximos del límite elástico y cumple con un coeficiente de seguridad de 6.

En la ilustración 44 se muestran las deformaciones en la dirección del eje principal, eje z.

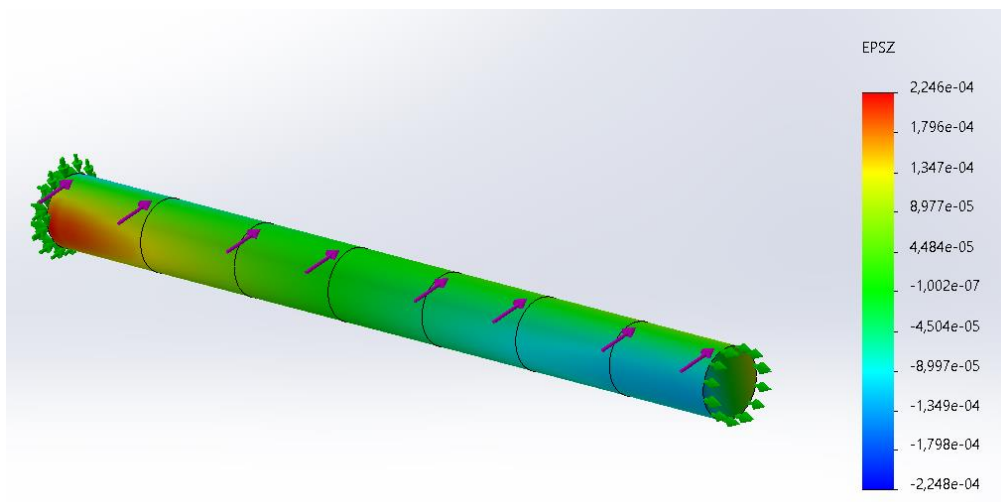


Ilustración 44. Simulación de las deformaciones en el eje z del eje principal.

7. CONCLUSIONES

El objetivo principal del apero es desmenuzar los rastrojos que se encuentran en el suelo tras la poda de los árboles, para agregarlos nuevamente al campo y que sirvan como abono contando con una visión del residuo como fuente de biomasa. La aplicación de este apero en nuestras actividades agrícolas nos proporcionan una eliminación de hongos y plagas que contiene la madera y que se quedan en el campo. Lo que conlleva a un menor uso de sulfatos que aportar al terreno. Ayudando así de alguna manera a la mejora de la calidad del trabajo en el campo.

Se han podido obtener una serie de conclusiones enlazadas con los objetivos al comenzar dicho proyecto. Partiendo de información proporcionada por el fabricante y de la toma de dimensiones del apero, la modelización de la trituradora pieza a pieza en el software elegido aporta mayor claridad a la hora de explicar el funcionamiento.

Se han obtenido los coeficientes de seguridad de las uniones y comprobado que alcanzaban valores muy altos. De igual manera, con las simulaciones halladas en el mismo programa mediante técnicas numéricas basadas en el Método de Elementos Finitos se ha estudiado el caso de los fallos en los empotramientos de los apoyos, difíciles de estudiar analíticamente. También se ha analizado el cilindro necesario para cumplir las características de cargas requeridas y la aproximación de una fuerza de empuje que será la aplicada en los martillos.

Dentro de las posibles facilidades para que el trabajo del agricultor sea más cómodo a la vez que eficiente y óptimo, se van a enumerado algunas opciones que mejoran las prestaciones.

En primer lugar, el emplazamiento de un sensor para la detección de posibles elementos en el camino. Y como solución que la máquina se pare automáticamente y vuelva a su posición inicial. Esta mejora surge de la facilidad de arrastras un árbol si estos no están totalmente alineados y el tractor se desvía acercándose demasiado.

Otra posible mejora es una modificación en el diseño del apero capacitándolo de mayor anchura en la parte delantera del chasis, zona más cercana al tractor, y menor en la parte trasera. De esta manera, se abarcaría más terreno productivo para la recogida de los restos y estos serían agrupados en un sitio más pequeño, si luego lo que se desea es recogerla.

Las opciones de mejora de prestaciones planteadas deberían cumplir satisfactoriamente con los criterios de seguridad y ergonomía que decretan las normas UNE, además priorizando en todo momento la seguridad e integridad del trabajador.

En lo personal, la ejecución de dicho proyecto ha supuesto ampliar los conocimientos tanto en la asignatura de “Criterios de diseño de máquinas” como en el programa informático de SolidWorks, hasta entonces desconocido. Así como la aplicación de los conceptos adquiridos durante la carrera en un caso real. Además del aprendizaje de una parte relacionada con la mecánica en el mundo de la agricultura.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Documentación sobre trituradoras:

<https://www.maquinasyherramientasonline.com/blog/clasificacion-de-las-trituradoras-y-sus-usos/>

<http://www.grupotatoma.com/noticia.php/es/>

<https://www.maquituls.es/noticias/la-lena-de-poda-no-se-quema-se-tritura-consejos-varios/>

<https://jardinessinfronteras.com/2019/10/06/residuos-de-poda-trituracion-y-compostaje/>

<https://www.qimingcasting.com/es/crusher-hammer-characteristics/>

- Definición de la máquina:

Página web del proveedor: <http://www.maquinariafernandez.com/Agricola.html>

<https://www.parro.com.ar/definicion-de-uni>

<http://www.masquemaquina.com/2018/01/trituradoras-de-restos-de-poda-i-parte.html>

<https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/>

- Definición toma de fuerza, junta cardan, sistema hidráulico:

Libro en línea. Martín Díaz Ulises, Martín Navarro, José, Águeda Casado, Eduardo y Gómez Morales, Tomás (2018) Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje. (“Todos los libros del autor Martín Díaz Ulises Águeda Casado Eduardo ...”)

<https://www.tractoresymaquinas.com/transmision-de-potencia-en-el-tractor/>

<https://www.udocz.com/apuntes/199801/el-tractor>

<https://www.itson.mx/micrositios/plazas/administrativas/Documents/>

<https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/>

<http://www.masquemaquina.com/2013/04/sistema-hidraulico-centro-abierto-o.html>

Libro impreso. Masey Ferguson. Tractores serie 300. Manual del usuario.