

Trabajo Fin de Grado

Diseño y desarrollo de un cultivador viñado con intercepas

Design and development of a vineyard farmer with
interstrains

Autor

Eduardo Pablo Asin

Director

Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Grado en Ingeniería Mecánica

Noviembre - 2024

INDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Historia de la agricultura	6
1.2. Definición de cultivador	10
1.3. Uso del cultivador	10
1.4. Funcionamiento de un cultivador	11
1.5. Despiece de un cultivador	12
1.6. Tipos de cultivadores	13
1.6.1. Según el tipo de transporte	13
1.6.2. Según el peso	13
1.6.3. Según el tipo de brazo utilizado:	14
1.6.4. Según las rejas:	15
1.7. Tipos de tractores	16
1.7.1. Tipos de tractor según su uso	16
1.7.2. Tipos de tractor agrícola según su potencia	16
1.8. Tipos de aperos para trabajar el suelo	17
1.8.1. Muy profunda (40-60cm)	17
1.8.2. Profunda (20-35cm)	17
1.8.3. Superficial (5-15cm)	18
1.9. Intercepas	18
2. PREDISEÑO DEL CULTIVADOR	19
2.1. Condiciones de diseño	19
2.2. Materiales y coeficientes de seguridad del diseño	20
2.3. Chasis o bastidor	21
2.4. Tripuntal o sistema de enganche	23
2.5. Brazo completo con muelle	28
3. CÁLCULOS	34
3.1. Potencia tractor	34
3.2. Esfuerzos transmitidos por el suelo	35
4. ANALISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE COMPONENTES DEL CULTIVADOR.	37
4.1. Análisis y dimensionamiento del brazo como fusible mecánico: determinación de máxima fuerza en la reja	37
4.2. Análisis y dimensionamiento del resorte	40
4.3. Análisis y dimensionamiento enganche brazo	41

4.4.	Análisis y dimensionamiento enganche brazo-chasis	44
4.5.	Análisis y dimensionamiento del tripuntal	46
5.	SIMULACIONES	49
5.1.	ANÁLISIS DEL CONJUNTO DEL BRAZO	50
5.2.	ANÁLISIS EN EL ESTADO DE MÁXIMA SOLICITACIÓN	53
5.3.	ANÁLISIS DE TRABAJO EN PENDIENTE	56
5.4.	ANÁLISIS DE SOLICITACIÓN MÁXIMA DE LOS BRAZOS DELANTEROS	58
5.5.	ANÁLISIS DE TRABAJO NORMAL Y 3 BRAZOS CON MÁXIMA SOLICITACIÓN	60
6.	CONCLUSIONES	62
7.	MEJORAS	64
8.	BIBLIOGRAFÍA	67
	ANEXO I: FICHA TECNICA DE MATERIALES	70
	ANEXO II: ELEMENTOS NORMALIZADOS	74
	ANEXO III: PARAMETROS DE LA SIMULACIONES	82
	III.i. CONJUNTO DEL BRAZO	82
	III.ii. ESTADO DE MAXIMA SOLICITACIÓN	91
	III.iii. TRABAJO EN PENDIENTE	94
	III.iv. SOLICITACIÓN MÁXIMA BRAZOS DELANTEROS	96
	III.v. TRABAJO NORMAL Y MAXIMA SOLICITACION EN 3 BRAZOS	98
	ANEXO IV: INTERCEPAS	100
	IV.i. INTERCEPAS SELECCIONADO	100
	IV.ii. BENEFICIOS DEL USO DE INTERCEPAS	102
	ANEXO V: TRACTOR	106

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de fin de grado es el de diseñar un cultivador equipado con intercepas.

La elección de esta temática viene dada por la experiencia propia en el sector, el trabajo familiar muy relacionado con la viticultura y un entorno, con bodegas, vinos y mucha tradición agrícola. Estos factores fueron los que me motivaron a realizar este trabajo.

La herramienta estará optimizada para un tamaño de tractor determinado acorde a las tareas y tipo de cultivo para el que está pensado, así como, se estudiará a qué condiciones se somete durante las labores, en lo que respecta a tensiones y deformaciones para obtener los mejores resultados.

El cultivador es una herramienta agrícola que es utilizada en el laboreo del suelo agrícola, normalmente para quitar las malas hierbas, aunque también puede ser usado para revolver el terreno antes de plantar. Está formado por un chasis, donde se acoplan un número de brazos, que es determinado en función del tamaño del cultivador que, a su vez, está marcado por el tipo de cultivo en el cual va a ser utilizado. Este mismo chasis, está constituido por enganche o tripuntal para poder acoplar al tractor.

Además del enganche y como elemento extra para este cultivador, se incluirá un sistema llamado intercepas, este se encarga de limpiar las malas hierbas que aparecen entre cada cepa, lugar en donde no tendríamos acceso con un cultivador sin esta tecnología.

Se realizarán una serie de simulaciones con un programa de cálculo por elementos finitos, mediante el cual, simularemos diferentes situaciones de trabajo y veremos cómo se comporta el diseño realizado.

MEMORIA

**Diseño y desarrollo de un cultivador
viñado con intercepas**

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Historia de la agricultura

La historia de la agricultura es un testimonio de cómo la humanidad ha interactuado con el entorno para garantizar su supervivencia. Este contexto histórico es fundamental para el diseño de herramientas agrícolas, como un cultivador, ya que permite integrar lecciones del pasado con las necesidades tecnológicas modernas. La evolución histórica de los cultivadores refleja el ingenio humano en el diseño de herramientas agrícolas para optimizar el trabajo del suelo.

Se presenta una breve descripción cronológica en la que se explica la agricultura desde sus inicios hasta la actualidad.

- **Origen de la agricultura (10,000 a.C. aprox.)**

El origen de la agricultura se produjo con la revolución neolítica. La domesticación de plantas y animales fue un cambio radical en la manera de vivir de los seres humanos, pasando de ser cazadores y recolectores, a formar comunidades sedentarias, donde por medio de la agricultura podían sobrevivir.

Los primeros cultivos aparecen en diferentes regiones del mundo, incluyendo el trigo y la cebada en el Creciente Fértil, el arroz en Asia y el maíz y la papa en América [1].

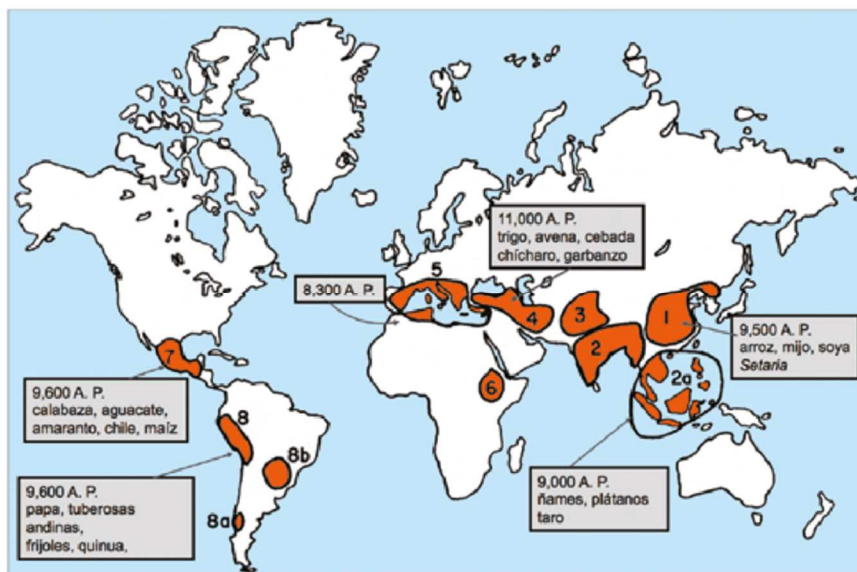


Ilustración 1. Orígenes de la agricultura

Como herramientas, son utilizados implementos rudimentarios como palos cavadores y piedras afiladas con las cuales pueden romper el suelo y remover las malas hierbas, lo que podemos denominar cultivadores, puesto que eran usados como tal.

- **Desarrollo de herramientas agrícolas (3000-500 a.C.)**

En la edad de bronce y del hierro, los materiales metálicos permitieron la construcción de herramientas más duraderas, como azadas y arados básicos, para trabajar el suelo.



Ilustración 2. Herramientas edad de bronce

Se desarrolla el cultivo sistemático, apareciendo sistemas como el barbecho y la irrigación en Egipto y Mesopotamia [1], que promovieron la eficiencia agrícola.

- **Agricultura medieval (500-1500 d.C.)**

El arado tirado por animales ya estaba implantado y durante esta época, se produjeron diferentes innovaciones tecnológicas. El arado de vertedera permitió voltear el suelo, airearlo y mezclar nutrientes de manera eficiente.

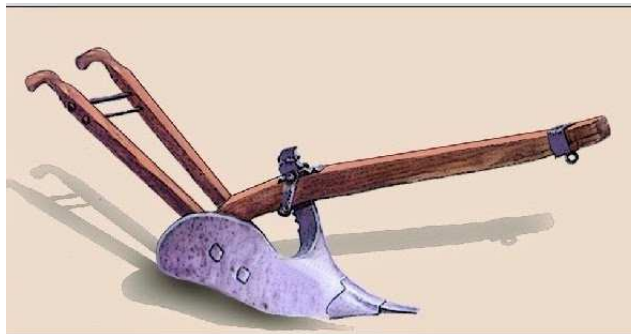


Ilustración 3. Arado de vertedera

Se implementa la rotación de cultivos, para mejorar la fertilidad del suelo.

- **Revolución agrícola moderna**

La agricultura sufrió una mecanización, y con la llegada de la tan aclamada revolución industrial, comenzaron a desarrollar cultivadores más sofisticados, como los tirados por los caballos con estructuras metálicas. Fue introducido el cultivador, que será capaz de realizar diferentes funciones al mismo tiempo, cómo preparar los diferentes surcos donde posteriormente se plantará, remover las malezas y eliminar las malas hierbas, ahuecar el suelo para favorecer la penetración de los nutrientes y la aireación del suelo.

Se empezaron a introducir herramientas mecánicas, como sembradoras y trilladoras, arrastradas por caballos, lo que generaba una gran productividad y un cambio significativo en la forma de plantar hasta el momento.



Ilustración 4. Sembradora arrastrada por animales

Con el aumento de la productividad, también existe la necesidad de la especialización, de tener máquinas más enfocadas en cada cultivo, por lo que comenzaron a diversificarse las herramientas según su uso, con diseños más específicos para cultivos como trigo o maíz. Además, las máquinas sufren una semi mecanización, puesto que se añaden ruedas y engranajes a estas, para mejorar su eficiencia y reducir el esfuerzo humano y animal durante el trabajo.



Ilustración 5. Primeros tractores agrícolas

- **Agricultura contemporánea**

Con la agricultura actual, la mecanización es total y existen multitud de innovaciones, tanto tractores como cultivadores son motorizados y reemplazan por completo a las herramientas manuales. Estos últimos son arrastrados por tractores, aumentando la velocidad y capacidad de labranza. Se comienzan a fabricar cultivadores con múltiples filas y diferentes ajustes para su optimización, que pueden ser mecánicos o hidráulicos.



Ilustración 6. Tractor moderno trabajando el suelo.

Actualmente, los agricultores tienen que lidiar con grandes desafíos, como son el cambio climático, la escasez de agua y la degradación del suelo, estos factores promueven las prácticas agrícolas sostenibles. Por lo tanto, los cultivadores agrícolas deben de ser diseñados para trabajar en diferentes condiciones de suelo y clima, dado esta variabilidad de las condiciones.

La innovación en tecnologías es clara, se utilizan sensores, GPS y análisis de datos que permiten a los cultivadores realizar prácticas más específicas y eficientes.



Ilustración 7. Tractor con sistema GPS y última tecnología en un viñado

Otro de los aspectos muy importantes en la actualidad es la ergonomía, las máquinas deben de ser fáciles de utilizar y de mantener, minimizando así la fatiga del trabajador, garantizando que sea accesible para agricultores de diferentes niveles de experiencia.

El cuidado del medio ambiente ha llevado a la necesidad de ser diseñados cultivadores que reduzcan el uso de químicos además de más eficientes, para reducir el consumo del tractor y por lo tanto la contaminación.

Tras realizar un repaso por la historia y la evolución de la agricultura, que cabe destacar que la evolución es prácticamente nula desde su aparición hasta la revolución industrial. El cultivador ha ido evolucionando desde sus inicios hasta hoy en día.

1.2. Definición de cultivador

Según la RAE, [9] un cultivador es un instrumento agrícola destinado a cultivar la tierra durante el desarrollo de las plantas.

Es una herramienta o maquina utilizada para labrar, airear y preparar la tierra para el cultivo. Su funcion principal es remover la capa superficial del suelo para facilitar la siembra, controlar la maleza y mejorar la estructura del terreno, permitiendo una mejor penetración del agua y los nutrientes.

La forma y el diseño del cultivador pueden variar, pero generalmente incluyen un conjunto de dientes, rejas o discos que penetran y desmenuzan el suelo.

Los cultivadores agrícolas se conectan al sistema hidráulico del tractor, y son operados por este mediante la elevación de la bomba, lo que permite elevar el apero para las diferentes maniobras a realizar, separando los brazos y las rejas de suelo, y permitiéndole realizar las maniobras de traslación cuando elevamos el apero y hundirlo en el suelo cuando queremos comenzar la labor.

1.3. Uso del cultivador

El cultivador agrícola es una herramienta esencial en el ámbito de la agricultura, capacitada para realizar diferentes trabajos en el suelo y asegurar un buen terreno para el crecimiento de los cultivos. Su utilidad es extendida en muchas tareas fundamentales para una agricultura productiva y sostenible. Analizando sus posibles aplicaciones, vemos que el cultivador agrícola no solo mejora la calidad del suelo, tambien gestionara las malezas y realizara una preparación eficaz del terreno para la siembra.

Una de las principales funciones del cultivador agrícola consiste en airear el suelo, para así facilitar la penetración de las raíces y mejorar la capacidad del suelo para retener el agua y los nutrientes. Un suelo con unas buenas propiedades y bien aireado será fundamental para un desarrollo optimo de las plantas, que les permitirá acceder de forma más sencilla a los recursos necesarios.



Ilustración 8. Suelo viñedo tras el uso del cultivador.

Con el objetivo de acabar con las malezas, el cultivador rompe y voltea el suelo, las raíces de las malezas se cortan y se exponen al sol, lo que paraliza su crecimiento sin el uso de productos químicos. Esta característica promueve la sostenibilidad reduciendo los herbicidas químicos.

Otra utilidad del cultivador agrícola es la capacidad de incorporar residuos de cosechas y fertilizantes orgánicos en el suelo. Esto contribuye a la mejora de la fertilidad del suelo, por medio de la descomposición de la materia orgánica.

1.4. Funcionamiento de un cultivador

El funcionamiento de un cultivador agrícola es el claro ejemplo de la implementación de la tecnología en la agricultura para optimizar y simplificar procesos fundamentales en el trabajo del suelo. Comprender su funcionamiento es esencial para maximizar de la manera más eficiente las prácticas agrícolas.

El cultivador agrícola, provisto de un sistema de enganche para acoplarse a un tractor, es usado principalmente para mejorar el suelo antes y después de la siembra, mejorando el crecimiento de los cultivos.

Su funcionamiento está basado en la utilización de rejas, las cuales tienen muchas formas y tamaños diferentes, que se introducen en el suelo a profundidad variable, que dependerá de la tarea que se quiere realizar. Con el avance de tractor y el cultivador, las rejas cortan, remueven y airean el suelo, rompiendo terrones y eliminando malezas, además de residuos de cultivos anteriores, proceso para mejorar el acceso de los nutrientes y el agua a las raíces, y mejorar la estructura del suelo acondicionándolo para una retención de la humedad y un buen drenaje.



Ilustración 9. Cultivador realizando labores en un viñedo

Los cultivadores agrícolas se clasifican en distintos tipos, cada uno diseñado para cumplir con funciones específicas dentro del manejo del suelo. Algunos están enfocados en la preparación inicial del suelo, rompiendo la capa superficial y permitiendo que el suelo respire y se caliente más rápidamente. Otros están diseñados para labores de cultivo intermedias, como el control de malezas entre las líneas de cultivo, donde la precisión y la capacidad para trabajar alrededor de las plantas sin dañarlas son esenciales.

La capacidad de adaptación del cultivador influirá en su eficacia, puesto que los agricultores pueden variar la profundidad y la distancia entre las rejas según el tipo de suelo y las condiciones del campo, para asegurar un trabajo óptimo del suelo y aumentar el rendimiento de los cultivos.

1.5. Despiece de un cultivador

Los cultivadores en la actualidad pueden estar compuestos por numerosas piezas, a continuación, se realiza una definición de las principales partes de un cultivador.

1. **Chasis:** Es una estructura metálica robusta, en la se fijan mediante uniones atornilladas el resto de los elementos del conjunto. Está fabricado con materiales resistentes como acero para soportar las constantes fuerzas de trabajo.
2. **Brazos:** Son los encargados de unir las rejas con el bastidor y estos van unidos al bastidor de muchas formas diferentes. Existe una amplia gama de productos y tipos de brazos, algunos con diferentes mecanismos, como pueden ser brazos rígidos, flexibles, con muelles, sensitivos, etc.
3. **Rejas:** Esta es la parte que trabaja directamente el suelo. Está sometida a un gran desgaste, por lo que se fabrica con materiales muy resistentes al desgaste, existe una amplia gama de rejas y hasta se pueden montar rejas reversibles.
4. **Tripuntal o sistema de enganche:** Es la pieza encargada de hacer posible el enganche del apero al tractor. Se engancha por medio de tres puntos.

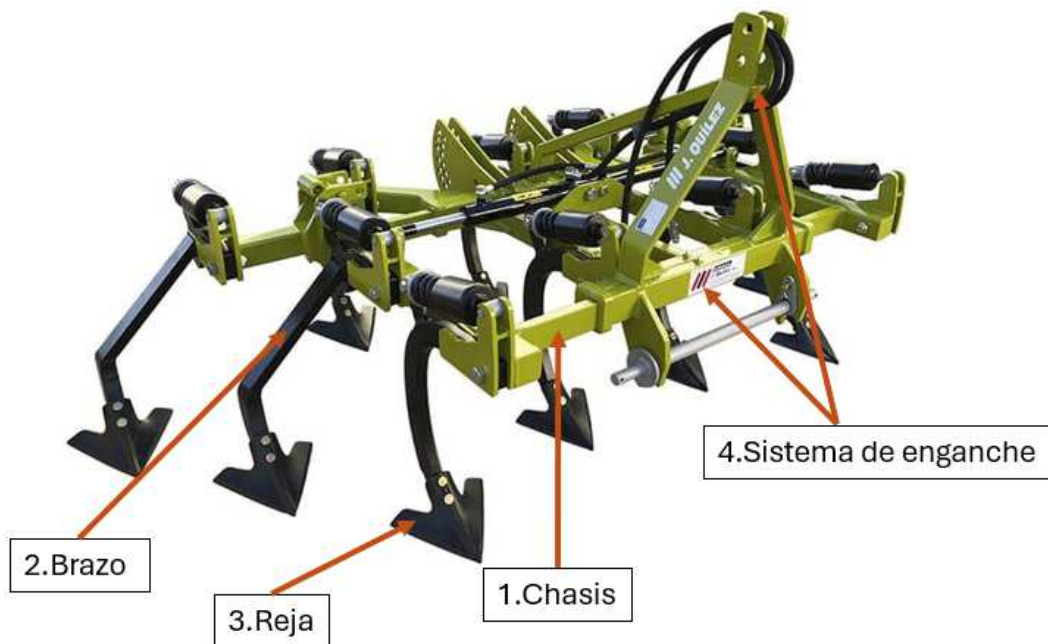


Ilustración 10. Partes de un cultivador.

1.6. Tipos de cultivadores

Existe una diferenciación de los diferentes tipos de cultivadores en diferentes categorías como veremos a continuación, en los cuales según sus componentes puede variar el sistema de basculación, el uso de ruedas o si es plegable, conservando la función y uso principal.

1.6.1. Según el tipo de transporte

- Suspendido: tiene el sistema de enganche como anclaje al tractor, por lo tanto, para el transporte, el cultivador debe de ser elevado para no ser arrastrado por el suelo.



Ilustración 11. Cultivador suspendido.

- Semisuspendido: provisto de ruedas en los laterales del chasis, que se usan para el transporte y además para la regulación de la profundidad de trabajo.



Ilustración 12. Cultivador semisuspendido.

1.6.2. Según el peso

- Cultivadores ligeros: utilizados para trabajos superficiales y de preparación para siembra. Tienen una altura de luz bajo el chasis que está comprendida entre los 40 y 0cm y la profundidad de trabajo suele ser alrededor de 15cm.



Ilustración 13. Cultivador ligero.

- Cultivadores pesados: Son herramientas con geometrías similares a los anteriores, pero con una estructura mucho más robusta, formados por una altura de bastidor de entre 60 y 75cm, estos cultivadores pueden trabajar a 30cm de profundidad.



Ilustración 14. Cultivador pesado y abatible.

1.6.3. Según el tipo de brazo utilizado:

- Brazos rígidos: son muy poco utilizados por los golpes y tirones que estos transmiten al bastidor, no tienen elasticidad, además de que para el correcto trabajo de la tierra es necesaria la vibración de los brazos.
- Flexibles de acero plano: realizan una amortiguación excelente de terreno, pero la profundidad de trabajo no es uniforme.



Ilustración 15. Brazo flexible de acero plano

- Flexibles en espiral: El brazo forma un bucle o espiral permitiendo el movimiento vertical y horizontalmente cuando se encuentra un obstáculo. Este movimiento se aprovecha para romper por completo todos los terrones que se encuentra en el terreno y mullir el terreno, el uso es para labores profundas



Ilustración 16. Brazo en espiral.

- Rígidos vibrantes con muelle: Con un eje transversal al sentido de la marcha al cual pueden girar y un muelle para comprimir este contra el terreno. Esta vibración favorece el desmenuzamiento de la tierra y la aireación de terreno, puesto que este queda más hueco.



Ilustración 17. Brazo vibrante con muelle.

- Brazos con palpador o brazos sensitivos: estos brazos, se acoplan en uno de los laterales del bastidor y van provistos de un sistema de accionamiento que puede ser mecánico, hidráulico de forma que cuando el palpador golpea una cepa o árbol, este se desplaza, girando para recoger el último brazo, reducir la anchura de trabajo y no dañar ninguna cepa o árbol. Este tipo de brazos se usa principalmente en viñedos,

aunque cada vez es más utilizado en olivos de tipo arbequín, por la forma de cultivar este tipo de olivos, y se pueden configurar de muchas maneras diferentes.

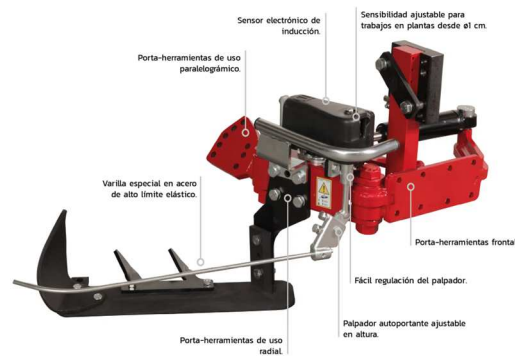


Ilustración 18. Brazo con palpador.

1.6.4. Según las rejillas:

- Rejas cavadoras: pueden o no llevar punta por ambos lados, en caso de llevarla existe la posibilidad de girarlas y usarlas cuando un lado se desgasta.
- Reja de cola de golondrina: se utilizan principalmente para las malas hierbas.
- Rejas apocadoras: se utilizan para formar caballones, que pueden ser utilizados por ejemplo para el guiado de agua durante el riego, se voltean la tierra a ambos lados.

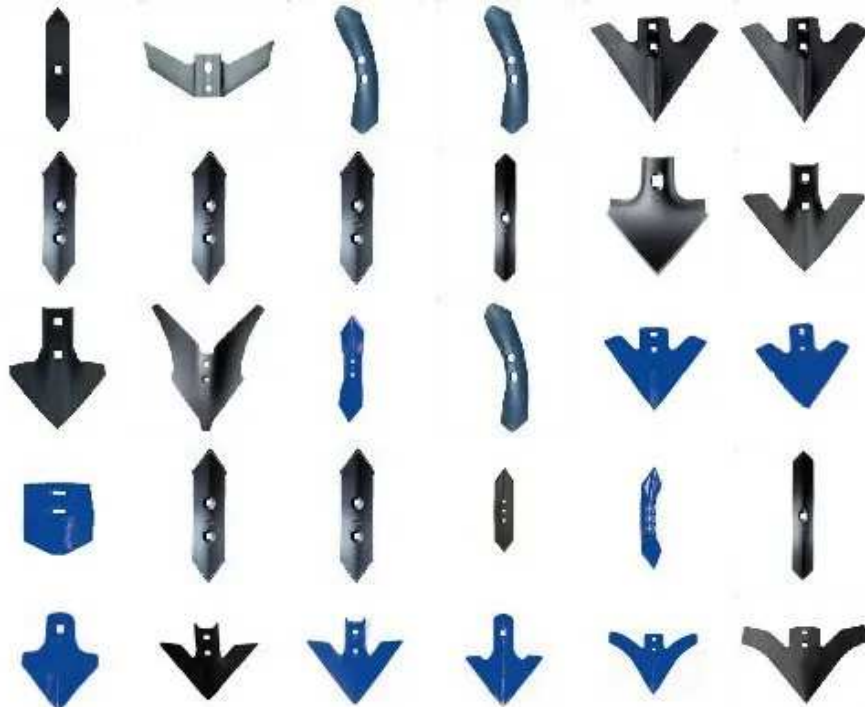


Ilustración 19. Tipos de rejas para cultivadores.

1.7. Tipos de tractores

1.7.1. Tipos de tractor según su uso

Podríamos realizar un listado y explicación con los diferentes tipos de tractores que existen, como pueden ser tractores oruga, tractores de ruedas articuladas, tractores de obras públicas, tractores de jardín, pero vamos a quedarnos con la diferenciación del siguiente tipo, los tractores agrícolas, los utilizados para el uso de este tipo de aperos como el cultivador.

Tractores agrícolas: Son los más comunes, utilizados para labores en el campo como arar, sembrar, cultivar, cosechar, entre otras. Tienen diversas configuraciones y pueden ser equipados con implementos agrícolas.



Ilustración 20. Tractor agrícola.

1.7.2. Tipos de tractor agrícola según su potencia

- Tractores agrícolas de categoría 1 (<48kW)

Son aquellos tractores de menor tamaño y potencia diseñada especialmente para realizar tareas de jardinería o funciones agrícolas muy básicas.

- Tractores agrícolas de categoría 2 (< 98kW)

Se podría decir que es el tipo de tractor más habitual. Posee la potencia suficiente para arrastrar remolques y otro tipo de herramientas, que son las tareas más comunes.

- Tractores agrícolas de categoría 3 (entre 80kW y 185kW)

Los tractores agrícolas con una potencia comprendida entre estas potencias son menos utilizados. Se emplean para tareas específicas en las que se requiere mayor potencia de lo normal.

- Tractores agrícolas de categoría 4 (entre 150kW y 350kW)

Son los menos habituales, ya que generalmente no se requiere de una potencia tan elevada. Especialmente pueden ser empleados en terrenos muy accidentados y donde se precisa de una gran capacidad de arrastre.

1.8. Tipos de aperos para trabajar el suelo

Un cultivador está dentro del grupo de diferentes aperos para el trabajo del suelo, vamos a destacar una serie de aperos que son usados para diferentes trabajos, según el estado de terreno, la finalidad del trabajo y lo que queremos conseguir con este. Los vamos a diferenciar por grupos según la profundidad de la labor que se realice [5].

1.8.1. Muy profunda (40-60cm)

- Subsolador – Descompactador: Su principal función es la de fisurar el suelo rompiendo capas compactadas sin que se produzca la inversión del perfil y deben de trabajar al menos 10 cm por debajo de la capa que se pretende romper. La diferencia de profundidad es la que establece estas dos categorías entre subsolador y descompactador, serán los subsoladores utilizados para un trabajo muy profundo mientras que el descompactador se utilizan para una menor profundidad.



Ilustración 21. Subsolador

1.8.2. Profunda (20-35cm)

- Vertedera: Formado por uno o más cuerpos, cada uno cortando y volteando el suelo. La función es el laboreo primario, formando un canal que permite la aireación y la circulación del agua de lluvia hasta las capas profundas.



Ilustración 22. Arado de vertedera

- Chisel: Formado por brazos o púas, resistentes y flexibles que producen con la vibración de estos un efecto de pulverización en el suelo. Su función es mantener en el suelo una

gran parte de rastrojo en la superficie, adecuado para el laboreo de conservación con residuo superficial.

1.8.3. Superficial (5-15cm)

- Cultivador: Formado por un bastidor en el cual se amarran los brazos, con la configuración deseada, realizan un control de las malezas y las malas hierbas, además de una aireación del terreno.
- Grada de discos: Discos verticales, montados con separadores en bloques, que giran sobre un eje común. Su principal función es la del laboreo superficial, a través de los discos verticales que se clavan en el suelo.



Ilustración 23. Grada de discos

1.9. Intercepas

Un intercepa es una herramienta útil en la gestión del suelo en viñedos, diseñada para trabajar entre las plantas en las hileras del cultivo. Su implementación en un cultivador para viñedos ofrece diversos beneficios, los cuales son destacados anexo IV, además de intercepas seleccionados.

El uso de un intercepa en un cultivador de viñedo optimiza la gestión del suelo y las prácticas agrícolas, fomentando un entorno favorable para el desarrollo de las vides mientras se reduce el impacto ambiental y los costos de mantenimiento.



Ilustración 24. Intercepas trabajando en viñedo.

2. PREDISEÑO DEL CULTIVADOR

2.1. Condiciones de diseño

El diseño de una máquina, en este caso un cultivador viñedo no solo involucra la creación de un conjunto de piezas y componentes, sino que es un proceso donde se combinan diferentes aspectos, como puede ser la creatividad, los conocimientos y la resolución de problemas. Este deberá de cumplir una serie de requisitos como los que nombramos a continuación.

El tipo de cultivador que se va a diseñar está enfocado para tractores de categoría 2 y en concreto viñedo, por lo tanto, podemos considerarlo de categoría 2N [2], puesto que los tractores viñedos están considerados tractores de categoría 2 por la potencia y estrechos por el tipo de tractor y dimensiones, como el seleccionado en esta ocasión en el anexo V.

Estas categorías están marcadas por la norma UNE 68006 y se recogen 4 diferentes categorías de tractores agrícolas:

- Categoría 1: <48kW
- Categoría 2: <92kW
- Categoría 3: De 80 a 185kW
- Categoría 4: De 150 a 350 kW

Siendo la categoría 2 la más común para la gran mayoría de trabajos.



Ilustración 25. Tractor viñedo.

El diseño de este cultivador está pensado para optimizar el proceso de labrado en cultivos viñedos, así que, como el ancho entre hileras de estos cultivos está en 2.5m, para un mayor aprovechamiento del terreno, el diseño de nuestro cultivador está enfocado en esas dimensiones, además vamos a incorporar un intercepa adaptado para viñedo, lo que nos permitirá trabajar las zonas inaccesibles para un cultivador tradicional.

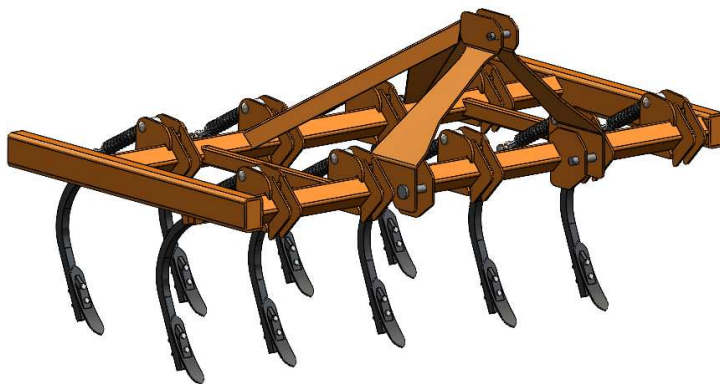


Ilustración 26. Cultivador diseñado.

2.2. Materiales y coeficientes de seguridad del diseño

Realizaremos una diferenciación de los materiales utilizados y los diferentes coeficientes de seguridad para cada pieza del diseño

Todas las piezas han sido diseñadas con acero estructural S355JR por las características, que podemos encontrar en el anexo I, que este material ofrece y para el uso que está indicado.

Dos de las piezas del cultivador están realizadas en acero al boro 15B30, las cuales son el brazo y la reja, por las propiedades que este material ofrece, que podemos verla en el anexo I, y la resistencia al desgaste que ofrece este material.

	Límite elástico (Rp)	Resistencia a tracción (Rm)
Acero S355JR	355 MPa	470 – 630 MPa
Acero aleado 15B30	320 MPa	410 – 550 MPa

Tabla 1. Principales propiedades mecánicas de los materiales utilizados

Los tornillos utilizados son de clase 8.8 y podemos encontrar sus características en el anexo II.

Respecto al coeficiente de seguridad utilizado, utilizaremos la teoría del cortante máximo para la comprobación del cumplimiento del coeficiente de seguridad utilizado.

Para todas las piezas, realizando alguna excepción que destacaremos a continuación, utilizaremos un coeficiente de seguridad de 2, mientras que, para el brazo, el cual como veremos a continuación actuará de fusible mecánico, utilizaremos un coeficiente de 1. Por otro lado, para una de las piezas más importantes del cultivador, el sistema de enganche, utilizaremos un coeficiente de seguridad de 3 para los elementos que lo componen que son la chapa y el pasador, estos últimos son elementos normalizados que encontramos en el anexo II.

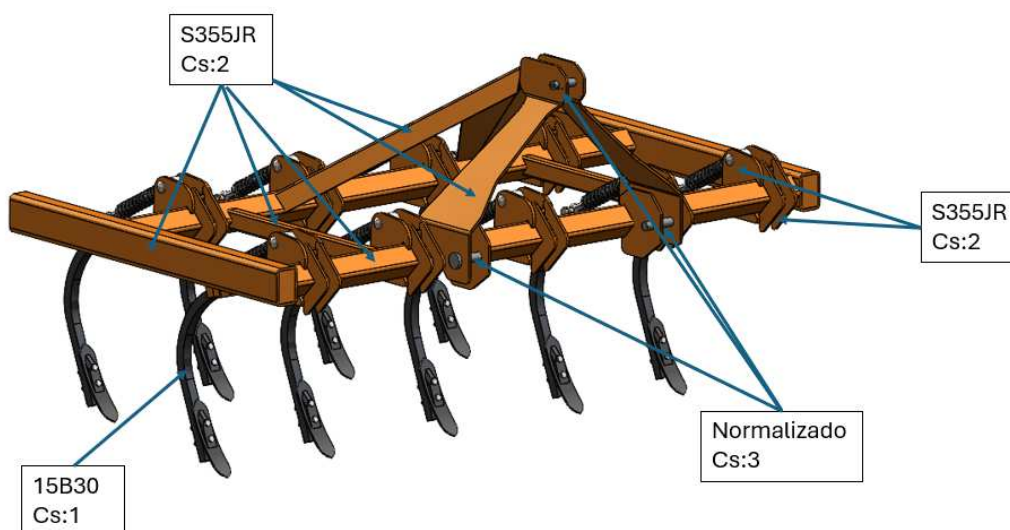


Ilustración 27. Diferenciación de los diferentes materiales y coeficientes de seguridad utilizados

2.3. Chasis o bastidor

La estructura del chasis está diseñada, dimensionada y pensada para el uso en viñedos, por lo que el ancho de este chasis es de 2060 mm y está formada por diferentes tipos de perfiles, en la imagen 28 se marcan los perfiles utilizados. En este chasis se soldará el tripuntal, el cual es el encargado de hacer posible que el apero pueda ser movido por el tractor.

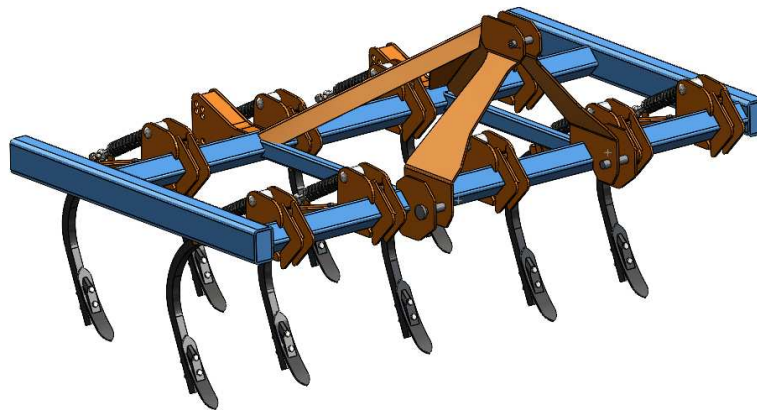


Ilustración 28. Diseño 3D con el chasis resaltado.

En base a la experiencia propia, la visualización de aperos similares y comparándolos con diferentes cultivadores de varios fabricantes [13],[14], se seleccionan los siguientes perfiles para realizar un primer diseño a analizar. Los perfiles longitudinales son tubos cuadrados de 80x80x4, están colocados de tal forma que así, el conjunto de brazo y reja transmitirá las fuerzas de forma más uniforme. Los perfiles transversales, son de dos tipos diferentes, en los laterales tenemos perfiles rectangulares de 120x80x3 que ensamblarán los perfiles longitudinales. Y, por otro lado, tenemos los perfiles rectangulares de 60x40x4 que son los perfiles que dan rigidez en la parte central del cultivador y unen como los anteriores, la parte delantera con la trasera.

En estos perfiles transversales colocados en los extremos del bastidor, se colocarán los dos brazos extra, denominados intercepas, un brazo especial con un palpador, para, como su propio nombre indica, realizar el laboreo en las partes que no podemos llegar con el resto de las rejas y trabajar la parte que queda oculta entre los tallos de cada cepa.

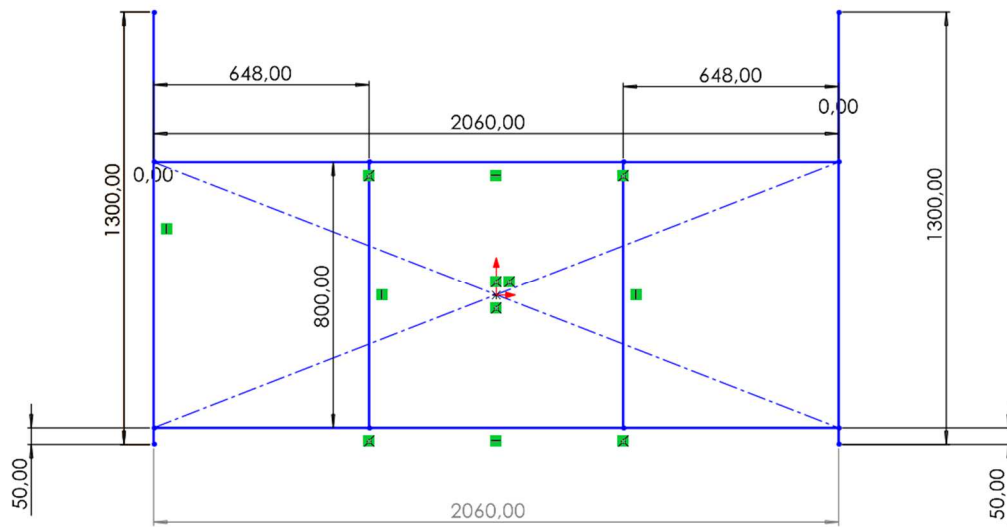


Ilustración 29. Croquis del chasis.

Mostramos en la siguiente imagen el chasis inicial, el cual se realizan una serie de cálculos para verificar su funcionalidad y funcionamiento.

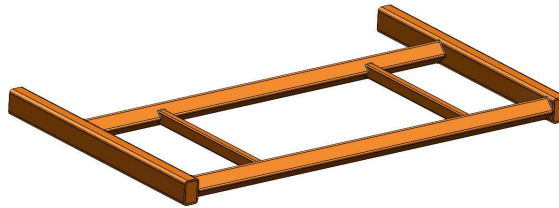


Ilustración 30. Chasis inicial.

2.4. Tripuntal o sistema de enganche

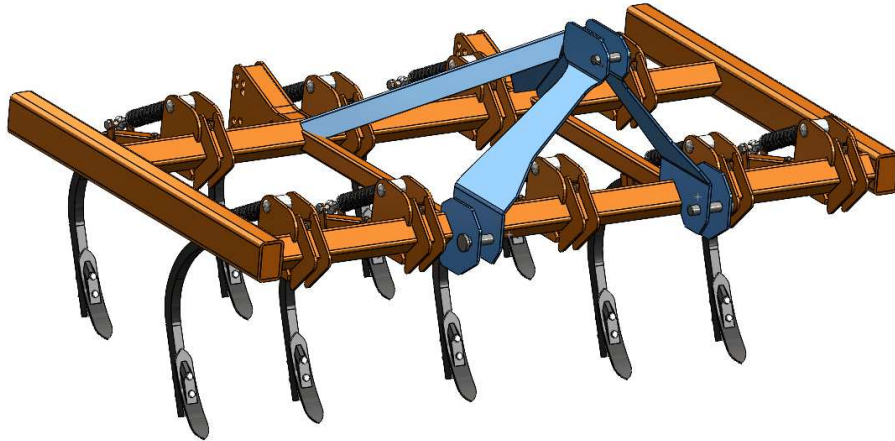


Ilustración 31. Diseño 3D con el sistema de enganche resaltado.

Son muchos los fabricantes de tractores y era necesario imponer una normalización para los enganches de los aperos, para que así pueda ser enganchado por diferentes tractores. El sistema es utilizado a todo tipo de tractores, y variara en función de la clase del tractor que se utilice, como veremos a continuación.

Se realiza una normalización del sistema de enganche para que se puedan compatibilizar los tres bulones con la geometría de los puntos de enganche, estos bulones hay que destacar que serán de inferior diámetro a las rotulas de tractor, pieza que nos permite el giro virtual que realiza el apero al ser elevado mediante la bomba hidráulica.

La diferencia de tamaño de los tractores, así como de las potencias de tiro, obliga a que se establezcan distintas categorías y así conseguir adecuar el sistema al tamaño del tractor con el de los aperos. La categoría afecta a las dimensiones del enganche, diámetro de paso, y la distancia entre brazos.

Conociendo la clase de tractor, que en nuestro caso es de categoría 2, concretamente de clase 2N puesto que se trata de un tractor viñado y es considerado de categoría estrecha, sumado a la potencia del tractor utilizada para el trabajo en viñedos y la norma UNE mostrada anteriormente, podemos diseñar la torreta que vamos a utilizar en nuestro apero, con unas dimensiones marcadas como podemos ver en las imágenes 32 y 33.

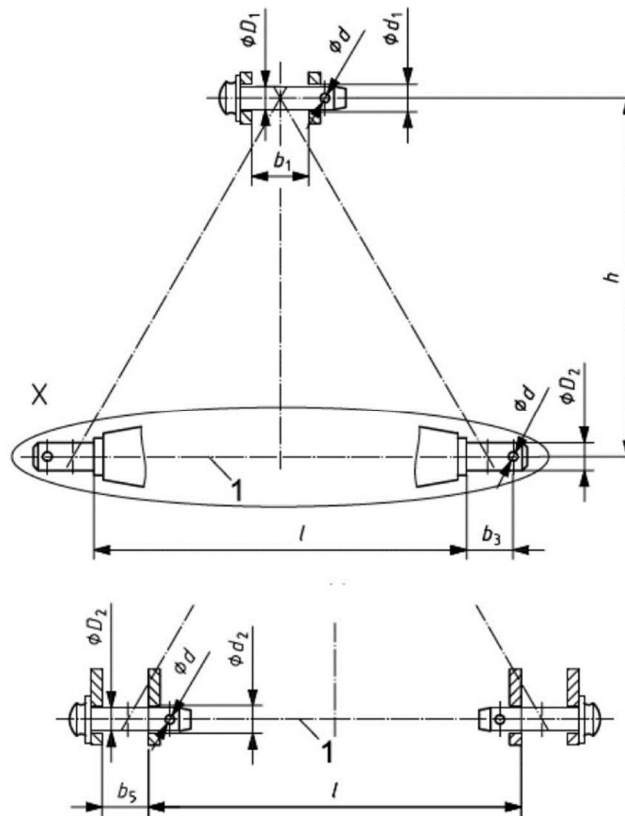


Ilustración 32. Dimensiones del sistema de enganche del cultivador.

	1N	1	2N	2	3N	3	4
Brazo superior (torreta)							
D1 (diámetro pasador)	19	19	25,5	25,5	31,75	31,75	45
b1 (anchura libre)	52 min.	52 min.	52 min.	52 min.	52 min.	52 min.	65 min.
Brazos inferiores							
D2 (diámetro pasador)	22	22	28	28	36,6	36,6	50,8
b3 (longitud pasador)	49 min.	49 min.	49 min.	49 min.	52 min.	52 min.	68 min.
b5 (espacio boca enganche)	65	65	65	65	72,5	72,5	96,5
I (separación)	400	683	683	825	825	965	1166,5
N de Narrow (estrecho); dimensiones en mm							

Ilustración 33. Tabla de dimensiones de sistema de enganche.

El sistema original Ferguson [4] ha ido evolucionando, pero este no ha sufrido una gran evolución. La idea es similar al original, un enganche que simula un triángulo, la forma más sencilla y estáticamente fija para enlazar dos cuerpos mecánicos. Con el tripuntal, se engancha el apero al tractor, de forma que la orientación de apero queda fija respecto al tractor, el cual puede arrastrar parte o el total del peso de apero.

Respecto a los componentes, como norma general, el enganche está formado por unos componentes mecánicos que trabajan unidos, los cuales son, el sistema hidráulico del tractor, los brazos portantes (2 inferiores y uno superior), las rotulas de enganche (una por brazo) y los estabilizadores.

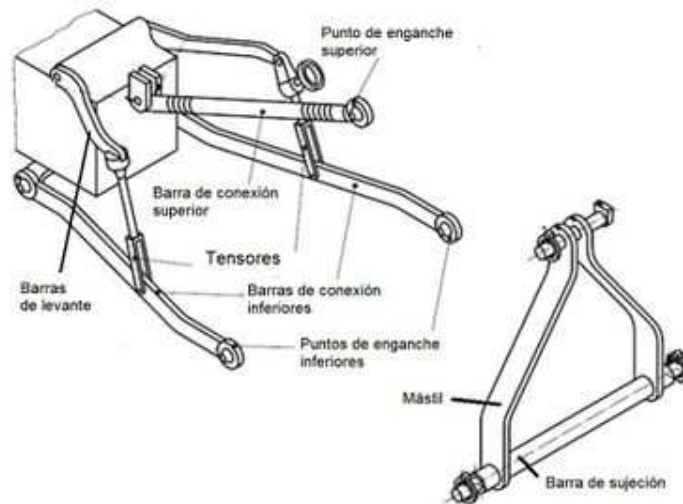
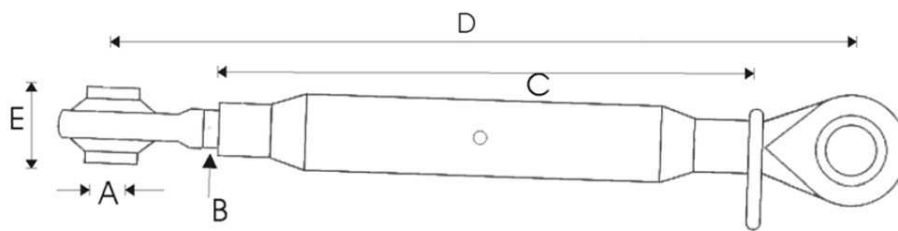


Ilustración 34. Sistema de enganche de un tractor

La pieza que mostramos a continuación es el enganche entre el tractor y el cultivador, denominado tercer punto, una pieza que podemos variar en altura por los enganches que el tractor tiene para este, en el caso del cultivador, este formara 0° con el suelo durante el desempeño de las labores.

Como cada tractor puede variar su altura y longitud de enganche, cuenta con un tensor para variar su longitud y por lo tanto el ángulo que formara con el apero.



TOP LINKS (WITH FORGED ENDS)						
CATEGORY	A	B	C	D MIN.	D MAX	E
0	5/8"	3/4"	7 1/2"	10 3/4"	16 3/8"	1"
1	3/4"	1 1/8"	16"	20 1/2"	29"	1 3/4"
2	1"	1 1/8"	20"	25"	37"	2"
3	1 1/4"	1 3/8"	19"	25 1/2"	36 1/2"	2"

Ilustración 35. Barra de conexión superior del tractor.

Por lo tanto, una vez conocidos todos los detalles anteriores, nos podemos meter de lleno en el diseño de nuestro sistema de enganche del cultivador, sabiendo que es una de las piezas más importantes en un cultivador, y además de dar la estética diferencia al resto en el mercado, puesto que da gran parte de la estética a nuestro cultivador.

El sistema de enganche estará formado por dos piezas diferenciadas, en primer lugar, la torreta, que por la experiencia y diferentes cultivadores analizados, se realiza un prediseño para poder realizar el primer análisis, partiendo de una chapa de 8mm de espesor, plegada y con una forma diferenciadora, para tener una estética diferente en el mercado. En la torreta se cortará con la forma del chasis para unirla por medio de soldadura.

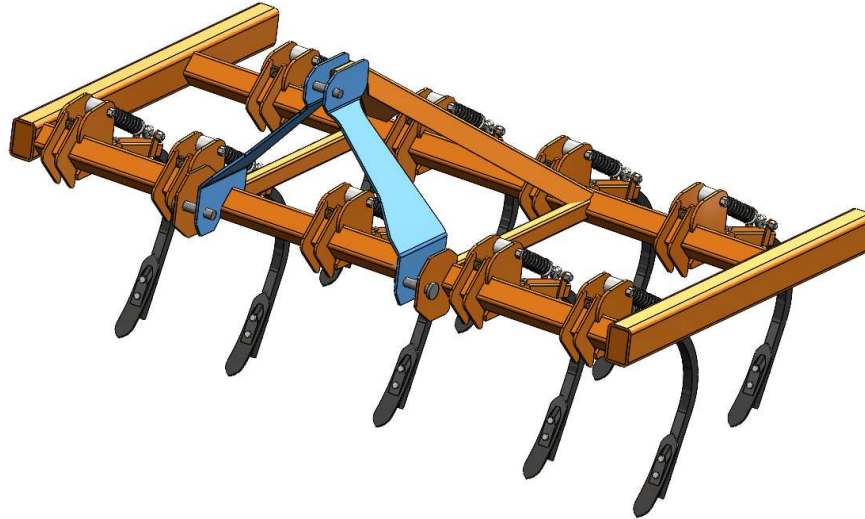


Ilustración 36. Torreta resaltada en el cultivador.

En la parte superior encontramos el tercer punto, una de las partes importantes a la hora de enganchar un apero suspendido con un tractor, puesto que le va a dar la inclinación necesaria durante las labores que realiza y en la parte inferior de la torreta, junto con la ayuda de las orejetas de la figura 40, se colocaran dos pasadores, de manera simétrica, donde tendremos los otros dos puntos de enganche para el tractor, los denominados estabilizadores.

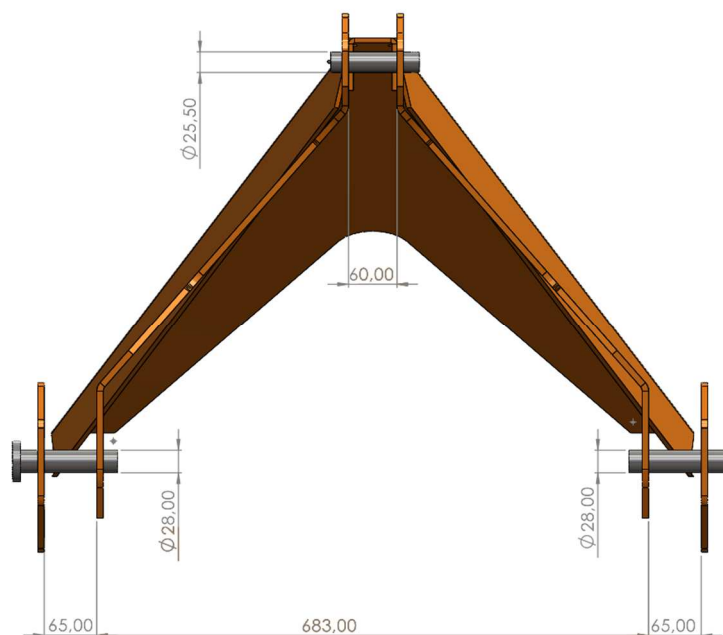


Ilustración 37. Dimensiones del sistema de enganche del cultivador.

El tirante, que será la pieza encargada de unir la torreta con la parte trasera del chasis y darles la rigidez y la estabilidad necesaria a las dos partes de la torreta. Está diseñada con chapa plegada, dándole una forma diferenciadora y se unirá al chasis y a la torreta mediante soldadura.

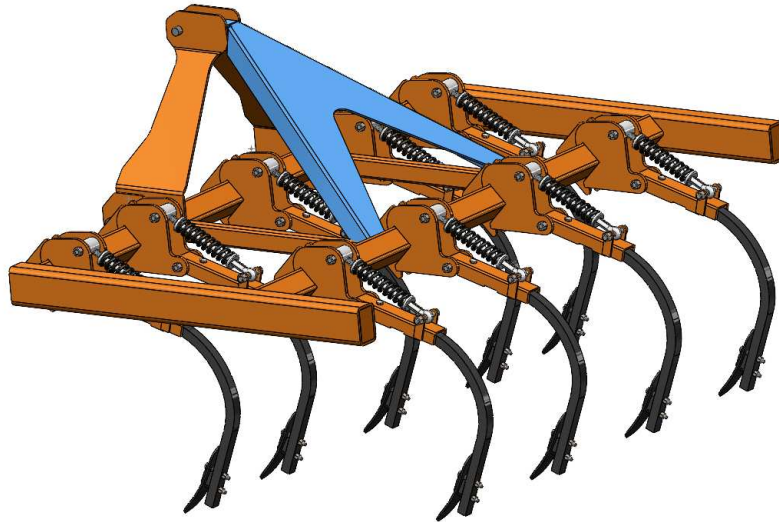


Ilustración 38. Tirante resaltado en el cultivador.

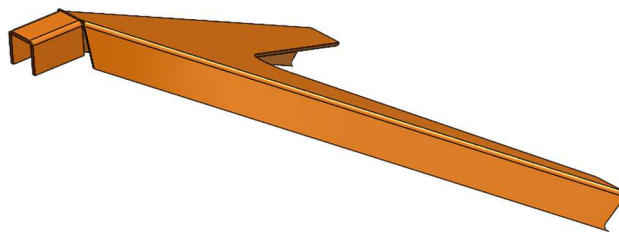


Ilustración 39. Tirante de union.

Por último, las dos orejetas, donde se colocan los pasadores para los enganches del tractor, que forman, junto con la parte baja de la torreta, los dos estabilizadores.

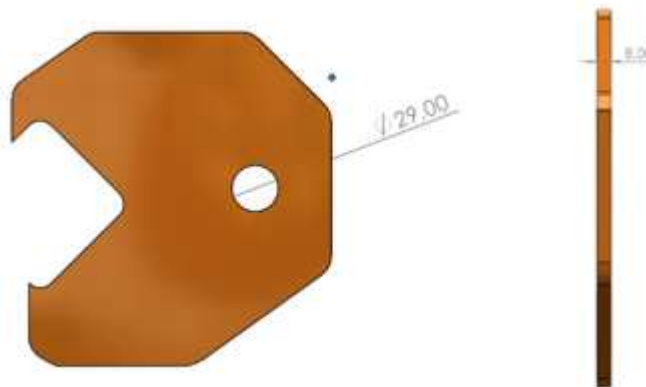


Ilustración 40. Orejeta del sistema de enganche.

2.5. Brazo completo con muelle

Como hemos visto antes, hay multitud de tipos de brazos, como pueden ser de brazos rígidos, vibrante con resorte, flexibles, etc. además de la multitud de rejas en función del tipo de labor que se va a realizar. En este caso, se ha elegido realizarlo con un brazo vibrante con resorte que comprime la reja contra el suelo, realizando una vibración y una labor muy eficaz.

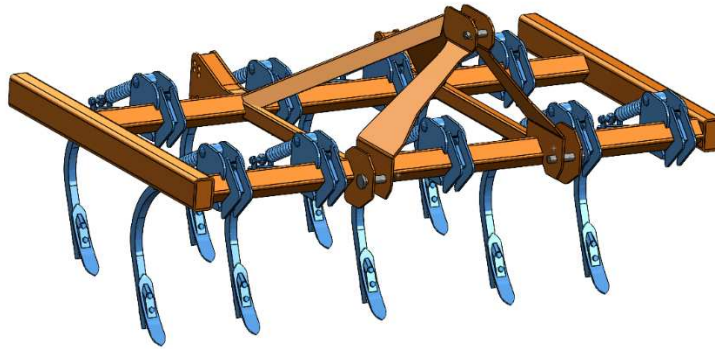


Ilustración 41. Cultivador completo con el conjunto del brazo resaltado.

Todos los brazos destacados en la imagen 41 son idénticos. Analizaremos los componentes de uno de ellos como el mostrado en la siguiente imagen.

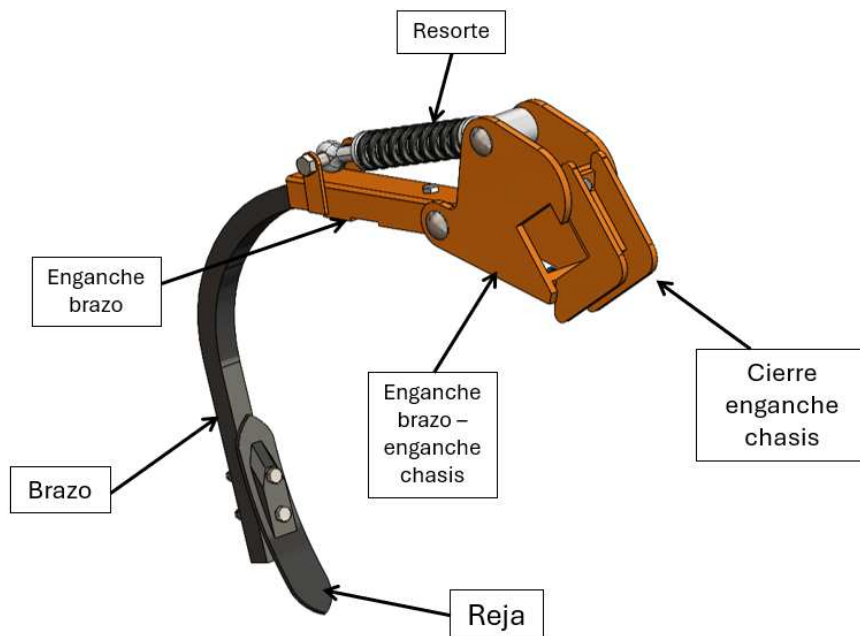


Ilustración 42. Conjunto completo del brazo del cultivador.

A continuación, se presentan las distintas piezas que conforman el conjunto mostrado en la imagen 42. Procederemos a diferenciarlas una a una:

- **Reja**

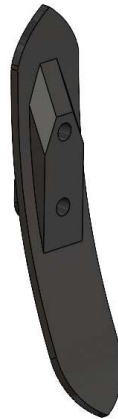


Ilustración 43. Reja.

La encargada de realizar la labor. Tiene dos orificios a través de los cuales la sujetamos en el brazo mediante dos tornillos de M10, que son avellanados para evitar la rotura de estos con el suelo, con una separación entre tornillos de 45mm, está fabricada en acero aleado al boro 15B30, puesto que es una pieza sometida a un alto nivel de desgaste, en el anexo II podemos encontrar la reja seleccionada.

- **Brazo**

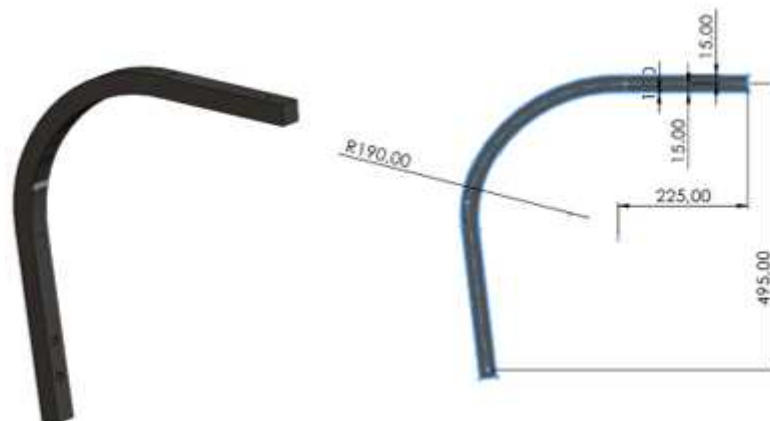


Ilustración 44. Brazo.

Es donde enganchamos la reja, nombrada anteriormente, a través de dos orificios pasantes que este posee. El brazo será enganchado mediante un orificio pasante y un tornillo de M12 a la pieza que mostramos en las figuras 45, 46 y 47.

La altura del brazo se selecciona tras revisar esta medida en de diferentes brazos en cultivadores reales.

Esta pieza actuará como fusible mecánico, para proteger el resto de las piezas frente a un enganchón en el terreno.

- Enganche brazo

Es la pieza que se encarga de unir el brazo con el resto de los elementos para poder unir este al chasis. Esta pieza es una de las piezas más importantes, puesto que en ella estará unido el muelle, y la pieza mediante luego uniremos este conjunto al chasis. En la parte de mayor sollicitación, se le añaden unas chapas a modo de refuerzo, para aumentar la resistencia a cortante de la pieza. El prediseño de esta pieza se realiza con el fin de poder amarrar tanto el brazo como el resorte y que estos dos vayan unidos a la pieza que se muestra en la figura 49.

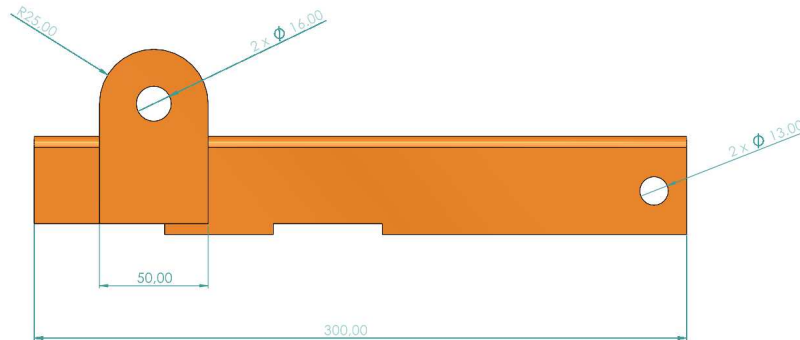


Ilustración 45. Vista lateral enganche-brazo.

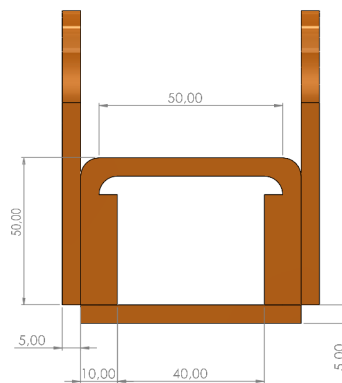


Ilustración 46. Vista frontal enganche-brazo.

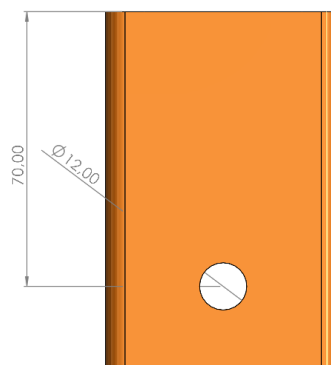


Ilustración 47. Vista de planta del orificio para el brazo.

- Resorte

Pieza que trata de comprimir el brazo frente al suelo, para evitar que este flexione y no realice la labor que le corresponde. Podremos variar la fuerza que ejerce mediante el tensor de muelle. Estará unido a las piezas enganche brazo mediante un tornillo pasante de M16 y a el enganche brazo – enganche chasis mediante perno de diámetro 16mm

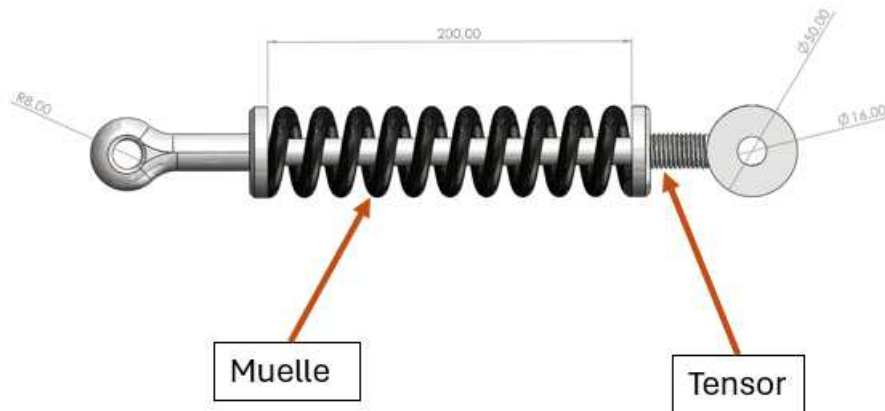


Ilustración 48. Conjunto completo del muelle con el tensor.

Esta compuesta por dos partes diferenciales, el muelle, que se encarga de comprimir el brazo y la reja al terreno para que esta realice la labor que deseamos y el tensor, mediante el cual podemos, como su propio nombre indica, tensar o destensar, reduciendo o ampliando la longitud del muelle para que la fuerza que este realiza sea mayor o menos.

En el anexo II encontramos el muelle seleccionado con las especificaciones de este.

- Enganche brazo – enganche chasis

La geometría de esta pieza está diseñada de tal forma que permite unir el conjunto de brazo a los perfiles, colocados con un giro de 45º, para mejorar el reparto de las fuerzas y poder transmitir las acciones del resorte de una forma óptima.

Unirá el brazo al chasis de cultivador, mediante la pieza que une el brazo. Estará unida a la anterior mediante un pasador de diámetro 16mm y también se unirá a esta misma pieza el muelle en la parte superior, a través del tensor y por medio de un pasador de diámetro 16mm, para que las fuerzas del muelle sean transmitidas correctamente al chasis.

Mediante la pieza que explicamos a continuación, a la que uniremos con dos tornillos de M12, serán las encargadas de que este conjunto este unido al chasis o bastidor.

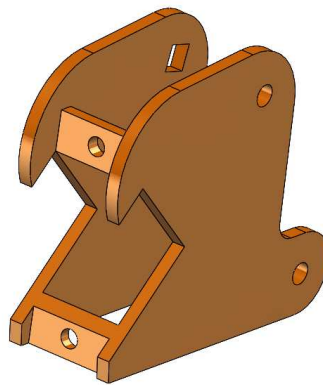


Ilustración 49. Vista 3D de enganche brazo-chasis

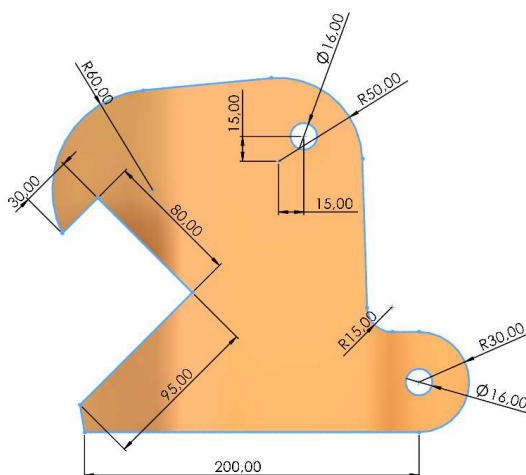


Ilustración 50. Vista frontal de enganche brazo-chasis.

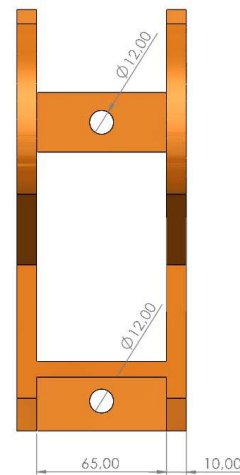


Ilustración 51. Vista alzado de enganche brazo-chasis.

- Cierre enganche chasis

El prediseño de este componente esta realizado en base a que su geometría nos permita realizar una union rígida de enganche al perfil del chasis, mediante una union atornillada.

Está formada por dos pletinas de 8mm que estan mecanizadas con forma de boomerang, para poder adaptarse a la pieza de la figura 49 y a su vez a los perfiles cuadrados del bastidor que estan colocados a 45º, estas estan unidas por una pletina de 8mm con una forma similar que une estas dos pletinas y dando la rigidez necesaria, terminando en dos pletinas verticales, con dos orificios mediante los cuales se unirá, por medio de dos pernos de M12 al enganche brazo-enganche chasis y realizará la fuerza necesaria para el amarre del conjunto del brazo al chasis.

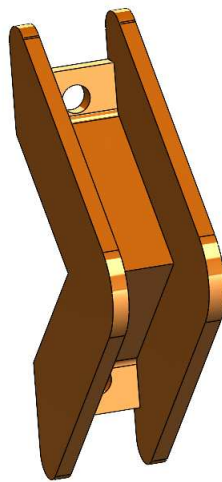


Ilustración 52. Vista 3D cierra enganche-chasis

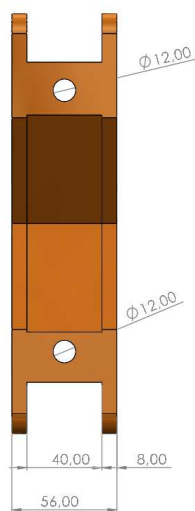


Ilustración 53. Vista alzado enganche-chasis.

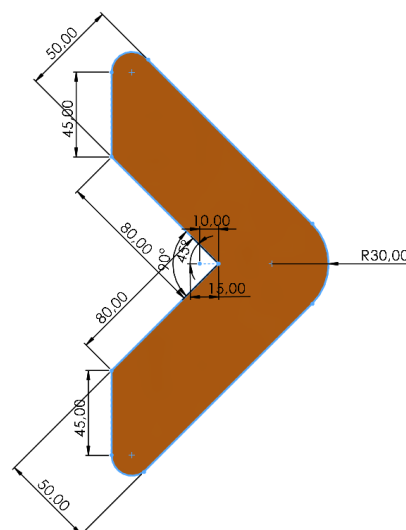


Ilustración 54. Vista frontal enganche-chasis.

3. CÁLCULOS

La resistencia que ofrece el suelo durante las labores realizadas por el apero unido al tractor, viene determinado por el tipo de suelo que escogemos y la profundidad de trabajo necesaria para realizar las diferentes labores. En nuestro caso, necesitamos tener una profundidad de trabajo de alrededor de 15cm y la resistencia que ofrece el suelo, considerando un suelo medio es de 60kPa [2], valor de fuerza obtenida en la tabla Excel que ofrece la plataforma para el medio rural y pescado en el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

3.1. Potencia tractor

La potencia a desarrollar por un tractor dependerá de la función que vaya a desempeñar, no será igual el arrastre de un remolque vacío, de un remolque cargado o los diferentes tipos de aperos que pueden realizar diferentes funciones, como en este caso el cultivador realizando la labranza.

Para calcular la fuerza de arrastre que es transmitida por nuestro tractor, el seleccionado en el anexo V, realizamos los siguientes cálculos:



Ilustración 55. Tractor John Deere viñado

En primer lugar, presentamos la característica conocida de nuestro tractor:

$$Potencia = 75cv$$

Respecto al par motor, se realiza una estimación en base a los conocimientos y la velocidad de trabajo a la que este realiza las tareas de labranza, que si es un parámetro conocido por la experiencia.

$$Par\ motor = 220\ Nm$$

$$Revoluciones\ de\ trabajo = 2000\ rpm$$

$$W_m = 2000rpm \cdot \frac{2\pi}{1} \cdot \frac{1}{60} = \frac{209.44rad}{s}$$

$$P_m = T_m \cdot W_m = 220Nm \cdot 209,44 \frac{rad}{s} = 46076.8\ w = 62.7cv$$

En todo tractor, se generan pérdidas a través de todos los órganos del sistema de transmisión que componen la cadena cinemática del tractor.

En la mayoría de los tractores con transmisión clásica, el rendimiento se encuentra entre un 80%-90%, por lo que consideraremos un rendimiento de 85%.

$$\eta_t = \frac{P_r}{P_m}; P_r = \eta_t \cdot P_m = 0.85 \cdot 46076.8 = 39165.28 \text{ W}$$

La relación de transmisión en la marcha de trabajo, una marcha corta dentro del grupo de velocidades de modo corto es de 200:1 [4].

$$W_r = \frac{W_m}{200} = \frac{209.44}{200} = 1.05 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T_r = \frac{P_r}{W_r} = \frac{39165.28}{1.05} = 37300.26 \text{ Nm}$$

Es el par de tiro que realiza el tractor.

3.2. Esfuerzos transmitidos por el suelo

La velocidad de trabajo para realizar el trabajo de labranza, es decir, en el cual utilizaremos nuestro cultivador es de 4km/h a 5km/h, por lo tanto, tomaremos una velocidad de trabajo de 5km/h, también una correcta velocidad de trabajo el intercepas. Se escoge un suelo medio, por la zona en la que va a ser usada dicho apero, por lo tanto, la resistencia de suelo es de 60kPa [2].

El cultivador está compuesto por 9 rejas en total, distribuidas en 5 brazos en la parte delantera del bastidor y 4 en la parte trasera del bastidor, en el cual, se añaden a los laterales dos brazos especiales llamados intercepas.

Para calcular los esfuerzos que son transmitidos por el suelo, realizaremos los siguientes cálculos:

$$\text{Area de cada reja: } 12880.35 \text{ mm}^2$$

En base a lo conocido, el área del intercepas, la obtenemos de las dimensiones que tiene el intercepas del anexo IV y de la configuración que nosotros deseamos para distancia entre hileras para la cual vamos a optimizar el intercepas. Por la forma de cuchilla que este tiene, y la superficie que apoya el suelo, su superficie útil de corte serán 400mm para una altura de 75mm.

$$\text{Area reja intercepas: } 30000 \text{ mm}^2$$

Calculamos el área total:

$$\text{area total rejas: } 9 \times 12880 = 115920 \text{ mm}^2$$

$$\text{area total intercepas: } 2 \times 30000 = 60000 \text{ mm}^2$$

$$\frac{5 \text{ km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ seg}} = 1.4 \text{ m/s}$$

Fuerza que realiza el terreno:

$$60kPa = 0.06 \frac{N}{mm^2} \cdot 0.06 \frac{N}{mm^2} \cdot 115920 mm^2 = 7010 N$$

$$0.06 \frac{N}{mm^2} \cdot 60000 mm^2 = 3600 N$$

$$Fuerza total: 7010 N + 3600 N = 10610 N$$

Cálculo de la potencia necesaria:

$$P = 10610 \cdot 1.4 = 14854 W = 20.2 cv$$

4. ANALISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE COMPONENTES DEL CULTIVADOR.

Para el dimensionamiento del cultivador, comenzaremos realizando el cálculo en un conjunto de brazo junto con su enganche al bastidor, que luego podremos extrapolar al resto del diseño, puesto que todos estos brazos son idénticos y transmitirán las mismas fuerzas al chasis.

4.1. Análisis y dimensionamiento del brazo como fusible mecánico: determinación de máxima fuerza en la reja

Para la elección de muelle, realizamos el siguiente cálculo para comprobar cuál es la fuerza necesaria que este tiene que realizar.

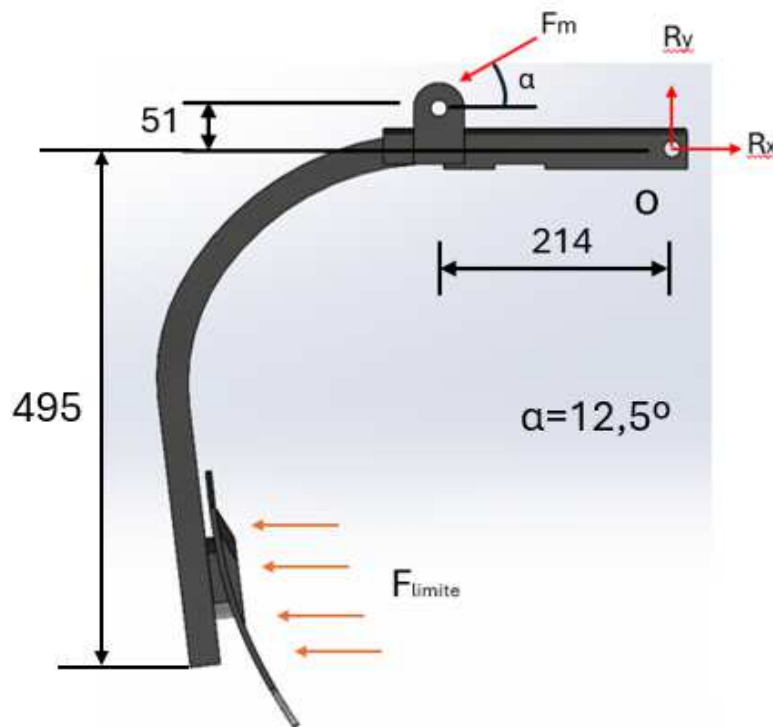


Ilustración 56. Diagrama de esfuerzos para la fuerza límite.

$$M_z(O) = 0; -F_{\text{terreno}} \cdot 495 + F_{\text{muelle}} \cdot (214 \cdot \sin(12.5) + 51 \cdot \cos(12.5))$$

$$F_{\text{muelle}} = 4017.30 \text{ N} = 410 \text{ kg} \rightarrow \text{Fuerza necesaria}$$

Vamos a descartar esta fuerza necesaria calculada, para considerar que el conjunto de brazo-reja actúa como “fusible mecánico”, por lo tanto, tenemos que considerar la fuerza máxima que podemos aplicar a este material antes de que alcance el límite elástico. Es diseñado de esta forma, puesto que, de esta manera, en caso de un enganchón bien sea con una raíz, una rama, una piedra o cualquier variación muy grande que se pueda encontrar el cultivador en el terreno.

Entonces en caso de rotura, esta pieza será la primera en romper, por diseño, funcionalidad, sencillez en cuanto a su reparación y evitar una mayor rotura en cualquier otra pieza del cultivador, siendo esta ese fusible mecánico que nombramos anteriormente.

El material utilizado para este brazo es Acero aleado al boro 15B30 con un límite elástico de 320MPa y consideraremos un coeficiente de seguridad de 1.

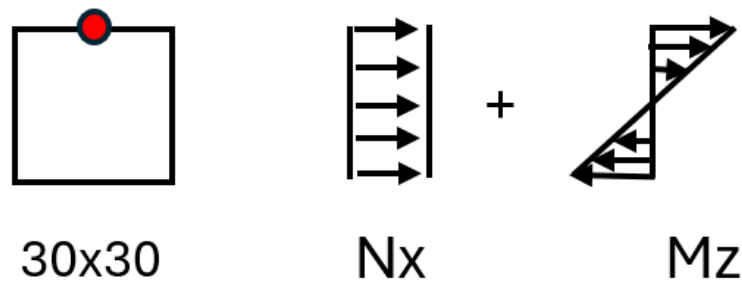


Ilustración 57. Distribución de tensiones en sección cuadrada.

Conociendo la sección de máxima sollicitación y el límite elástico del material, realizamos el cálculo de la máxima fuerza que podrá soportar el brazo, sabiendo que este está sometido en el punto de máxima sollicitación a una flexión compuesta.

$$\sigma = \frac{\sigma_f}{C_s}; \sigma = 320 \text{ Mpa};$$

$$\sigma = \frac{N_x}{A} + \frac{M_z}{W_z}; 320 = \frac{N_x}{30 \cdot 30} + \frac{N_x \cdot 395}{30 \cdot \frac{30^2}{6}}; N_x = 2880 \text{ N}$$

Esta fuerza, sería la fuerza limite que podría soportar el brazo antes de romper, así que, calcularemos el diseño para una $F_{\text{terreno}} = 2880 \text{ N}$, la cual será la fuerza más crítica.

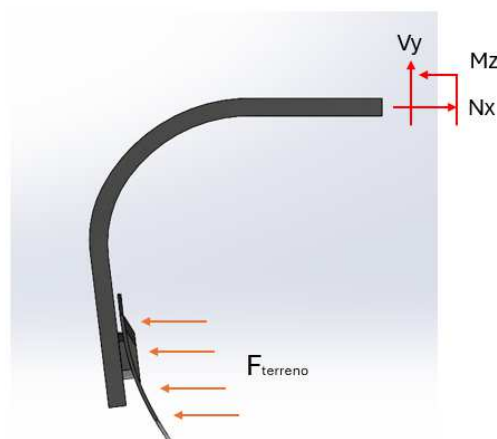


Ilustración 58. Diagrama de esfuerzos de la reja más brazo.

$$\text{Eje X: } N_x - F_{\text{terreno}} = 0;$$

$$N_x = 2880 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{N_x}{A} + \frac{M_z}{W_z} = \frac{2880}{30 \cdot 30} + \frac{2880 \cdot 495}{30 \cdot \frac{30^2}{6}} = 320 \text{ MPa} = \sigma_{f \text{ material}}$$

Comprobación del perno que engancha el brazo con la pieza de union o enganche-brazo.

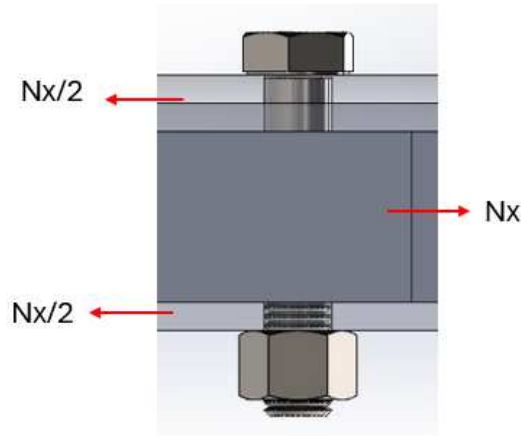


Ilustración 59. Fuerzas aplicadas en la union del brazo con el enganche de brazo.

- Diámetro: cortadura

$$\tau = \frac{F_{\text{pasador}}}{n^{\circ} \text{planos} \cdot A_{\text{pasador}}} = \frac{2880}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4}} = 12.73 \text{ MPa} \leq \frac{\frac{\sigma_E}{2}}{C_S} = \frac{640/2}{2} = 160 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

- Espesor: aplastamiento

$$\sigma = \frac{F_{\text{placa}}}{d \cdot e} = \frac{\frac{2880}{2}}{12 \cdot 10} = 12 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_{f, \text{min}}}{C_S} = \frac{355}{2} = 177.5 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

4.2. Análisis y dimensionamiento del resorte

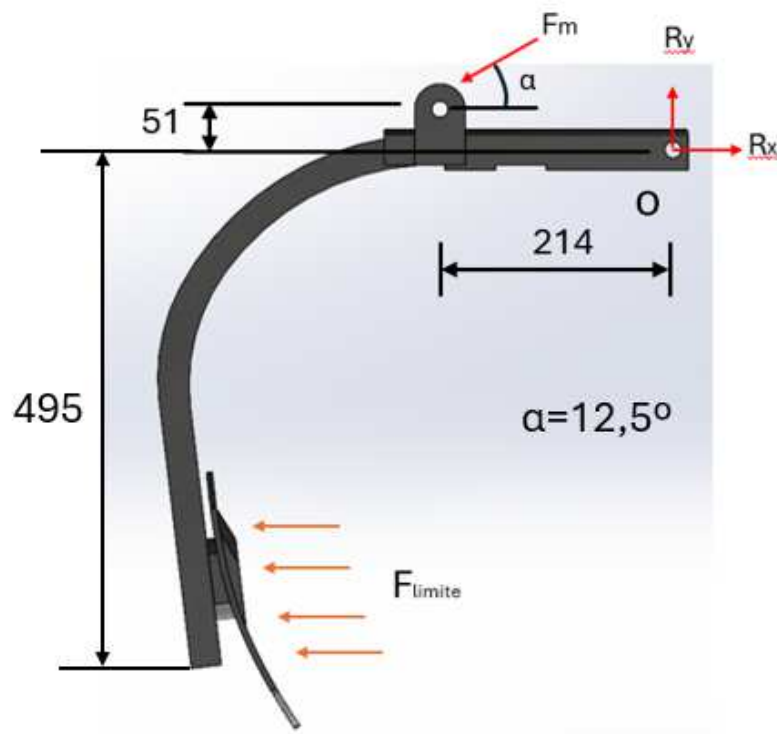


Ilustración 60. Diagrama de esfuerzos para el cálculo del muelle.

Cálculo de la fuerza del muelle:

$$M_z(O) = 0; -2880 \cdot 495 + F_m \cdot (214 \cdot \text{sen}12.5 + 51 \cdot \text{cos}12.5) = 0;$$

$$F_m = 14833.13 \text{ N}$$

$$F_{\text{muelle}} = 14833.13 \text{ N} = 1513.58 \text{ kg}$$

Esta sería la fuerza del muelle en el punto más crítico y el muelle escogido tiene una carga máxima de 1557 kg

4.3. Análisis y dimensionamiento enganche brazo

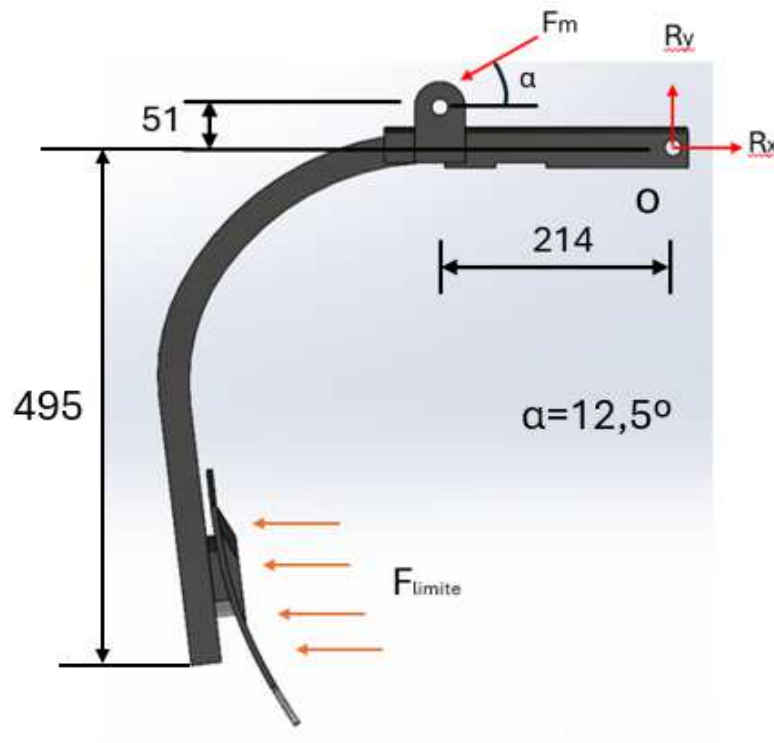


Ilustración 61. Diagrama de esfuerzos para el dimensionamiento del enganche brazo

- Dimensionamiento de la orejeta conociendo la fuerza del muelle

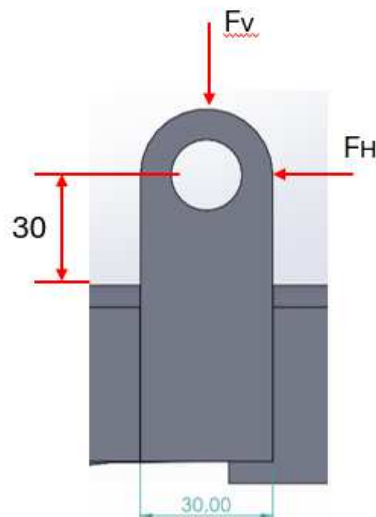


Ilustración 62. Orejeta de la pieza enganche brazo

$$N_x = F_v = 14833.13 \cdot \sin 12.5 = 3210.47 N \cdot \frac{1}{2} = 1605.24 N$$

$$M_z = F_H \cdot H = 14833.13 \cdot \cos 12.5 \cdot 30 = 434445.76 Nmm \cdot \frac{1}{2} = 217222.89 Nmm$$

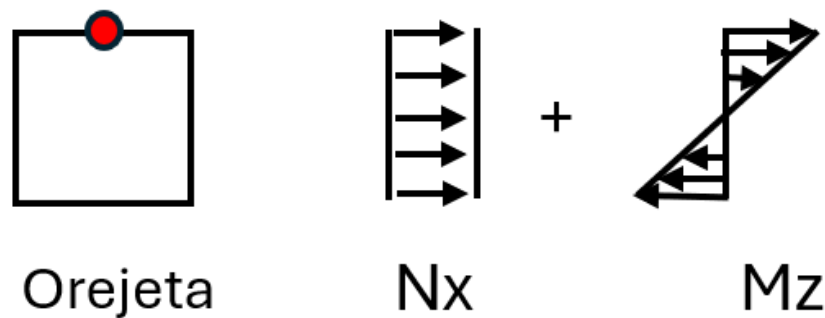


Ilustración 63. Distribución de tensiones en la orejeta.

Está sometida a flexión compuesta en el punto de máxima solicitación, para su comprobación realizamos el siguiente cálculo.

$$\sigma = \frac{N_x}{A} + \frac{M_z}{W_z} = \frac{1605.24}{5 \cdot 30} + \frac{217222.89}{5 \cdot \frac{30^2}{6}} = 300 \text{ MPa} \rightarrow \text{No cumple}$$

Cambio de la anchura de la orejeta de 30mm a 50mm

$$\sigma = \frac{N_x}{A} + \frac{M_z}{W_z} = \frac{1605.24}{5 \cdot 50} + \frac{217222.89}{5 \cdot \frac{50^2}{6}} = 110.69 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_f}{C_s} = \frac{355}{2} = 177.5 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

Oreja inicial tiene un ancho de 30mm, tras los cálculos, se comprueba que la anchura deberá ser de 50mm

Comprobación del pasador y el espesor de la chapa para unir las piezas enganche-brazo y enganche-chasis.

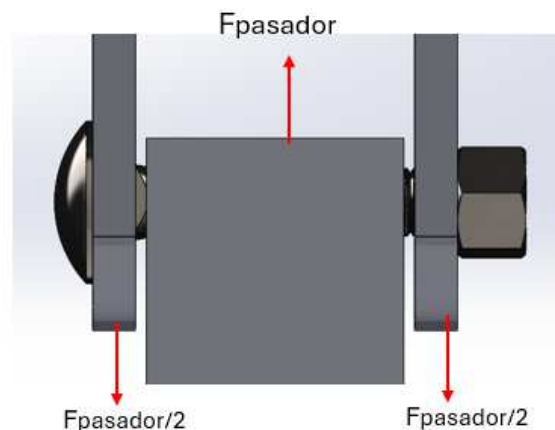


Ilustración 64. Fuerzas aplicadas en el pasador del enganche brazo.

- Cálculo de las reacciones en el pasador

$$\text{Eje X: } -F_{\text{terreno}} - F_{\text{muelle}} \cdot \cos 12.5 + R_x = 0; -2880 - 14833.13 \cdot \cos 12.5 + R_x = 0;$$

$$R_x = 17361.52 \text{ N}$$

$$\text{Eje Y: } -F_{muelle} \cdot \text{sen}12.5 + R_y = 0; -14833.13 \cdot \text{sen}12.5 + R_y = 0; R_y = 3210.47 \text{ N}$$

Dimensionamiento del diámetro y el espesor

$$R_{resultante} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{17361.52^2 + 3210.47^2} = 17655.55 \text{ N}$$

○ Diámetro: cortadura

$$\tau = \frac{F_{pasador}}{n^{\circ} \text{planos} \cdot A_{pasador}} = \frac{17655.55}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4}} = 43.90 \text{ MPa} \cdot \frac{640/2}{2} = 160 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

○ Espesor: aplastamiento

$$\sigma = \frac{F_{placa}}{d \cdot e} = \frac{17655.55/2}{16 \cdot 10} = 55.17 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_f}{C_s} = \frac{355}{2} = 177.5 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

4.4. Análisis y dimensionamiento enganche brazo-chasis

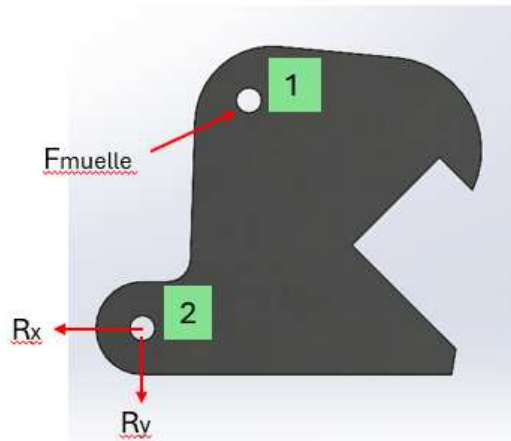


Ilustración 65. Diagrama de esfuerzos del enganche brazo-chasis

Para este apartado, no es necesario el cálculo de ninguna fuerza, ya son conocidas todas con los cálculos realizados en los apartados anteriores.

$$R_{resultante} = 17655.55 \text{ N}$$

$$F_{muelle} = 14833.13 \text{ N}$$

- Dimensionamiento del pasador y la placa del punto numero 1 indicado en la imagen 65.

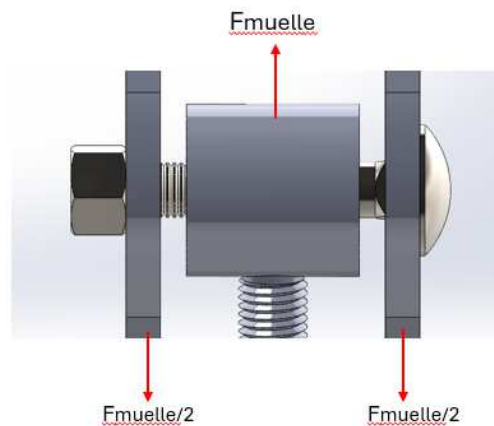


Ilustración 66. Fuerzas aplicadas por el muelle en el enganche-chasis

- Diámetro: Cortadura

$$\tau = \frac{F_{pasador}}{n^{\circ}planos \cdot A_{pasador}} = \frac{14833.13}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4}} = 36.88 \text{ MPa} \leq \frac{\frac{\sigma_f}{2}}{C_s} = \frac{640/2}{2} = 160 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

- Espesor: Aplastamiento

$$\sigma = \frac{F_{placa}}{d \cdot e} = \frac{14833.13/2}{16 \cdot 10} = 46.35 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_f}{C_s} = \frac{355}{2} = 177.5 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

- Dimensionamiento de pasador y la placa del punto numero 2 indicado en la imagen 65.

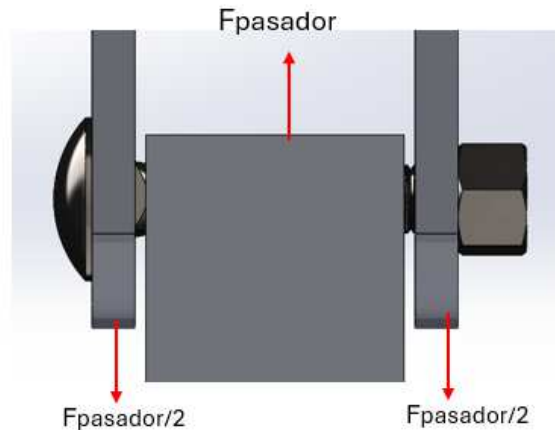


Ilustración 67. Fuerzas aplicadas en el pasador del enganche-chasis

- Diámetro: cortadura

$$\tau = \frac{F_{pasador}}{n^{\circ}planos \cdot A_{pasador}} = \frac{17655.55}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4}} = 43.90 \text{ MPa} \leq \frac{640/2}{2} = 160 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

- Espesor: aplastamiento

$$\sigma = \frac{F_{placa}}{d \cdot e} = \frac{17655.55/2}{16 \cdot 10} = 55.17 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_f}{C_s} = \frac{355}{2} = 177.5 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

4.5. Análisis y dimensionamiento del tripuntal

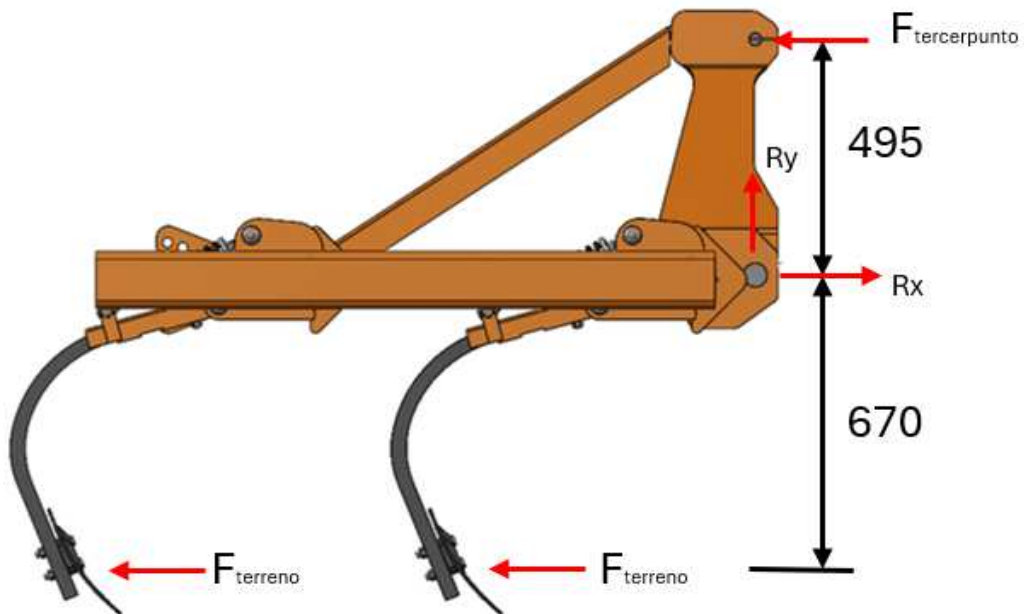


Ilustración 68. Fuerzas aplicadas y reacciones en el sistema de enganche.

$$F_{\text{terreno}} = 2880 \text{ N}$$

$$F_{\text{terreno total}} = 2880 \text{ N} \times 9 \text{ rejas} = 25920 \text{ N}$$

Calculamos la fuerza que realiza el intercepas, con el área de esta reja y la resistencia que ofrece el terreno.

$$\text{Area}_{\text{reja intercepas}} = 400 \cdot 75 = 30000 \text{ mm}^2$$

$$60 \text{ kpa} = 0.06 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{intercepas}} = 0.06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 30000 \text{ mm}^2 \cdot 2 \text{ rejas} = 3600 \text{ N}$$

$$F_{\text{total}} = F_{\text{terreno total}} + F_{\text{intercepas}} = 25920 + 3600 = 29520 \text{ N}$$

Consideramos que la fuerza que realizara el tercer punto (nombre que tiene punto más alto en el tripuntal) será horizontal al bastidor, con un ángulo 0° que es la posición óptima de trabajo, mientras que los otros ángulos que puede formar el enganche del tractor con el tercer punto del tripuntal, son obtenidos durante el transporte del apero, ya que este va suspendido.

$$\text{Eje X: } -F_{\text{total}} + R_x - F_{\text{tercer punto}} = 0; -29520 + R_x - F_{\text{tercer punto}} = 0; R_x = 69476 \text{ N}$$

$$M_z(O) = 0 - F_{\text{total}} \cdot 670 + F_{\text{tercer punto}} \cdot 495 = 0;$$

$$F_{\text{tercer punto}} = \frac{29520 \cdot 670}{495} = 39956.36 \text{ N}$$

Comprobación del pasador del tercer punto y dimensionamiento de la chapa.

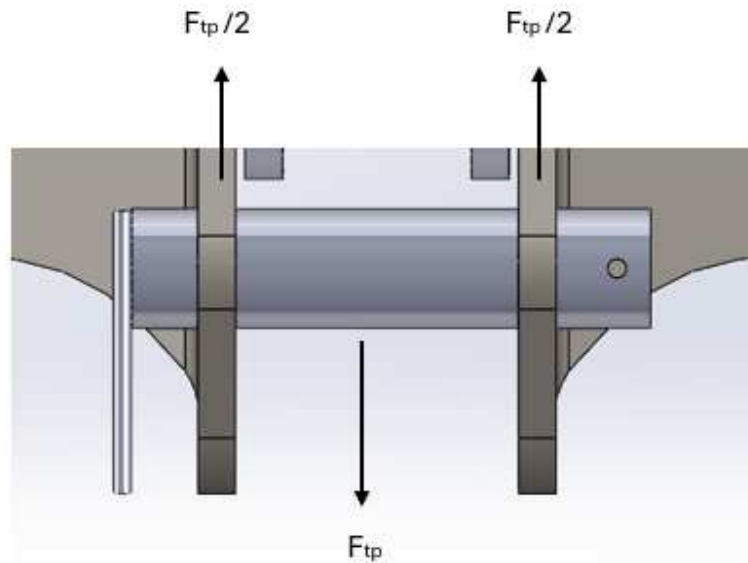


Ilustración 69. Fuerzas aplicadas en el tercer punto.

- Diámetro: cortadura

$$\tau = \frac{F_{pasador}}{n^{\circ}planos \cdot A_{pasador}} = \frac{39956.36}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 25.5^2}{4}} = 39.11 \text{ MPa} \leq \frac{640/2}{3} = 106.67 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

Se realiza la comprobación de diámetro, que está estandarizado en función del tamaño del tractor para el sistema de enganche, como hemos visto en la figura 33.

- Espesor: aplastamiento

$$\sigma = \frac{F_{placa}}{d \cdot e} = \frac{39956.36/2}{25.5 \cdot 8} = 97.93 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_f}{C_s} = \frac{355}{3} = 118.3 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

Comprobación de los enganches del tractor y como está formado por dos enganches, la fuerza se reparte en estos dos enganches para esta comprobación y dimensionamiento de la chapa.

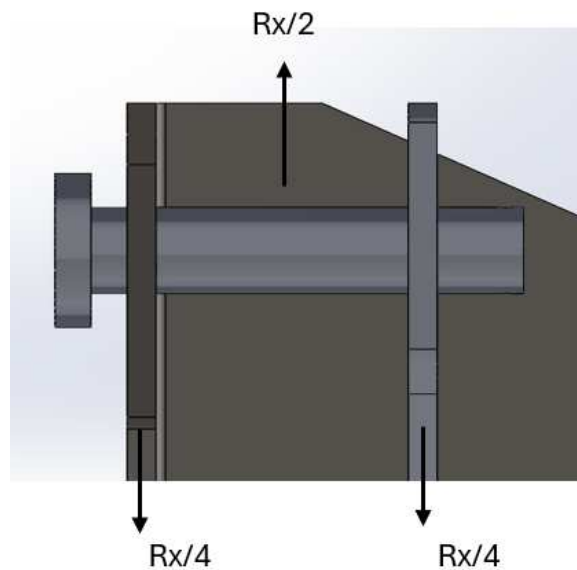


Ilustración 70. Fuerzas aplicadas en uno de los estabilizadores

$$R_x = 69476 \cdot \frac{1}{2} = 34738 \text{ N}$$

- Diámetro: cortadura

$$\tau = \frac{F_{pasador}}{n^{\circ}planos \cdot A_{pasador}} = \frac{34738}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 28^2}{4}} = 28.20 \text{ MPa} \leq \frac{640/2}{3} = 106.67 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

Se realiza la comprobación de diámetro, que está estandarizado en función del tamaño del tractor para el sistema de enganche, como hemos visto en la figura 33.

- Espesor: aplastamiento

$$\sigma = \frac{F_{placa}}{d \cdot e} = \frac{34738/2}{28 \cdot 8} = 77.54 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_f}{C_s} = \frac{355}{3} = 118.3 \text{ MPa} \rightarrow OK$$

5. SIMULACIONES

Las simulaciones se van a llevar a cabo con el programa SolidWorks, que se realizan mediante el uso de su herramienta integrada llamada SolidWorks Simulation. Esta herramienta permite realizar análisis estructurales, que son los estudios que vamos a realizar.

En primer lugar, prepararemos el modelo 3D del sistema, realizando diferentes modelos en función de la parte del cultivador que queremos analizar.

Configuraremos el tipo de simulación que queremos realizar, que en nuestro caso será un análisis estático, mediante el cual estudiaremos las deformaciones y los esfuerzos que sufren los diferentes componentes bajo la acción de cargas estáticas.

Definiremos los materiales que son utilizados para cada elemento por el cual está formado nuestro modelo, aplicaremos las condiciones de contorno, en nuestro caso serán fuerzas y las diferentes restricciones que tiene el sistema, para realizar uniones, articulaciones y unir piezas en el sistema y, por último, definiremos la malla, para obtener los resultados lo más ajustados posibles.

Una vez realizado el análisis, ya podremos realizar el análisis de los resultados, como veremos a continuación.

Estudiaremos el conjunto del brazo, una de las piezas más importantes del sistema y que va unida al chasis, con estos cálculos definidos, estudiaremos cómo se comporta el chasis. Para este último caso, se van a estudiar situaciones de trabajo diferentes que pueden suceder durante las labores de un cultivador.

5.1. ANALISIS DEL CONJUNTO DEL BRAZO

En el apartado número i del anexo III, se muestra el procedimiento realizado para la obtención de los resultados que analizaremos.

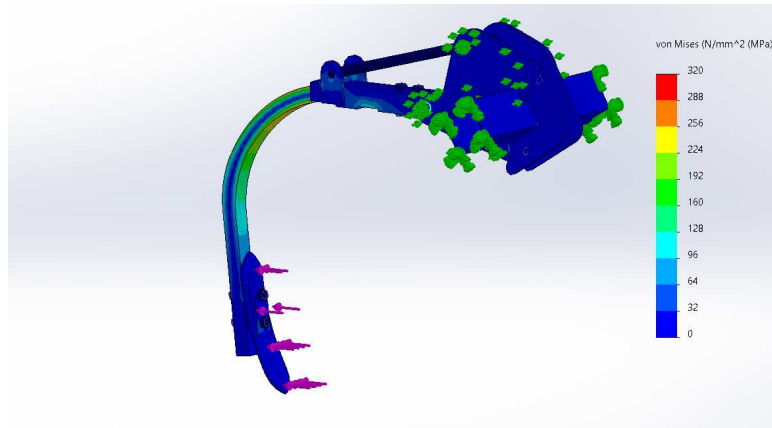


Ilustración 71. Distribución de tensiones de Von Mises en el brazo.

Podemos observar en la imagen anterior, que el brazo se comporta muy bien frente a esta fuerza limite, pero es en el punto medio de la sección del brazo donde encontramos la máxima sollicitación, en esta imagen se ha aplicado un coeficiente de seguridad de 1 que es el que aplicaríamos al conjunto de brazo y reja.

No se alcanzarán los 320MPa esperados, como se observa en la imagen 72, que puede darse debido a las pequeñas diferencias que existen entre el modelo analítico y numérico empleado donde se tienen en cuenta la interacción del brazo junto con otros componentes, pero si podemos afirmar, que la máxima sollicitación está en la zona media del perfil cuadrado, donde se obtienen las mayores tensiones de Von Mises.

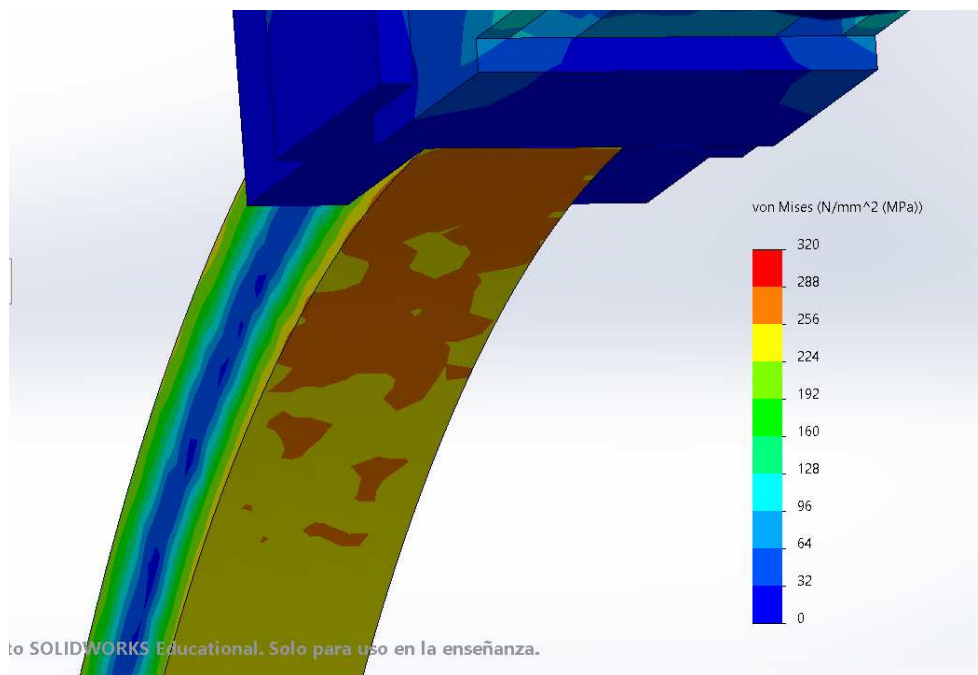


Ilustración 72. Detalle del punto crítico.

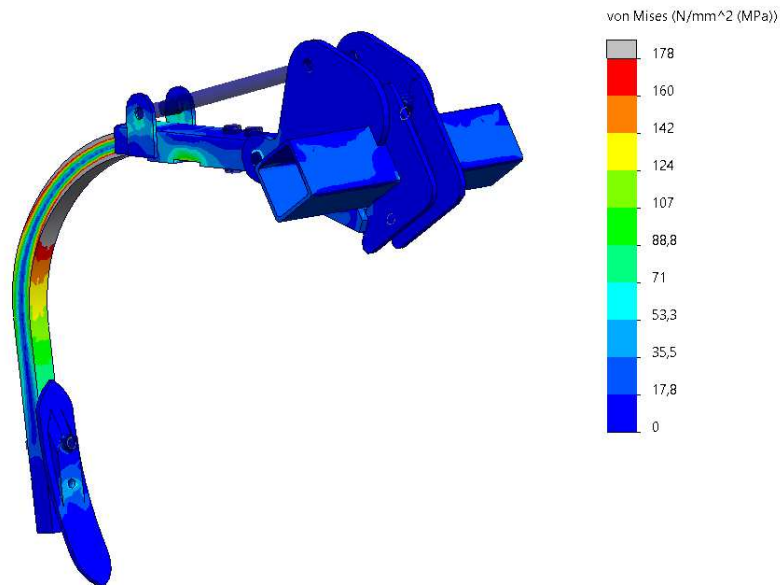


Ilustración 73. Distribución de tensiones de Von Mises con un coeficiente de seguridad de 2

En la imagen 73, se muestra la distribución de tensiones de Von Mises para el conjunto de brazo con todos sus elementos, en el cual, el coeficiente de seguridad aplicado es de 2, el que afectaría a todos los componentes excepto a los nombrados anteriormente, que como se puede observar están con color gris, puesto que superarían el límite elástico con el coeficiente de seguridad considerado.

Respecto a los desplazamientos, como era de esperar, el desplazamiento máximo lo encontramos en la reja, la cual lo transmitirá al brazo y este, por medio de la cinemática, comprime el muelle, este movimiento es el que producirá esa vibración en el terreno. Esta deformación está en un rango entre 22mm y 23mm.

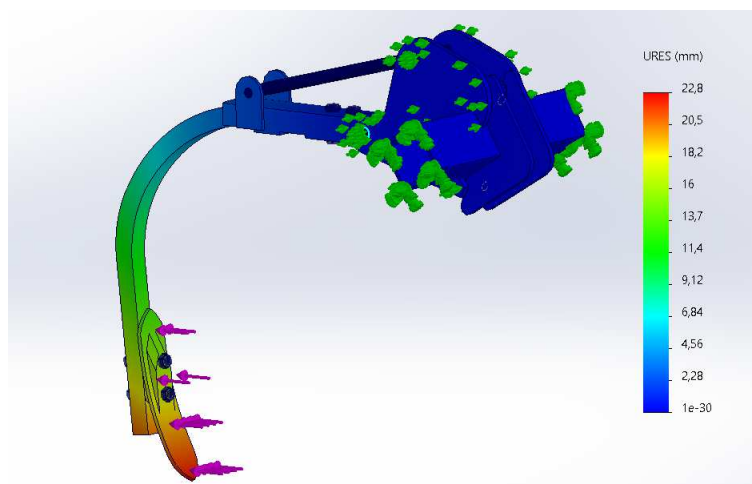


Ilustración 74. Distribución de desplazamientos en el brazo.

Analizando las fuerzas resultantes obtenidas de forma analítica y en el modelo, podemos ver que el resultado de la fuerza de muelle es muy similar, en cambio, sí que existe una mayor variación en los resultados obtenidos en el pasador, esto es debido a las conexiones y acciones que tenemos en el modelo y la simplificación que se realiza en los cálculos analíticos.

	Modelo	Analítica
F_{muelle}	14064 N	14833 N
$R_{\text{pasador (x)}}$	16825 N	17361 N
$R_{\text{pasador (y)}}$	2598 N	3210 N

Tabla 2. Resultados obtenidos en el modelo y de forma analítica

5.2. ANÁLISIS EN EL ESTADO DE MÁXIMA SOLICITACIÓN

Situación crítica para el cultivador, en la cual todos sus brazos están sometidos a la fuerza límite, esta situación podría ser más fruto de estar realizando una tarea para la cual no está diseñado el cultivador, puesto que todos sus brazos estarían expuestos a una fuerza límite, podría darse en un terreno de barbecho o realizando funciones más propias de un subsolador.

Analizamos esta situación y comprobamos los comportamientos que sufre el cultivador frente a esta situación.

En el apartado 2 del anexo III, se muestra la simulación y podemos ver los parámetros seleccionados, sujeciones y la aplicación de las fuerzas para la obtención de los siguientes resultados.

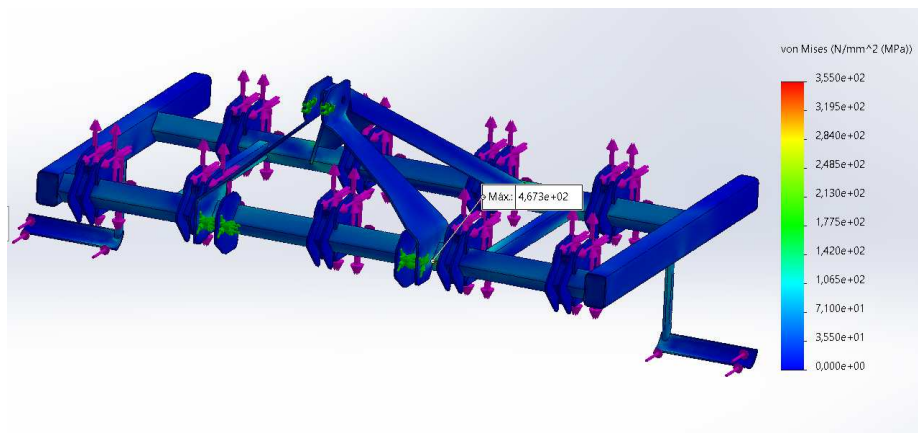


Ilustración 75. Distribución de tensiones de Von Mises.

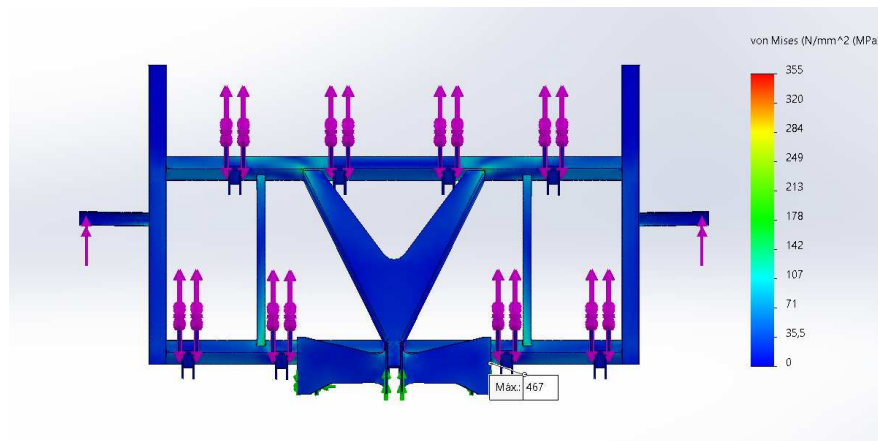


Ilustración 76. Vista de planta de la distribución de los perfiles.

Como podemos observar en las imágenes 73 y 74, la distribución de los perfiles transversales del chasis no es la adecuada y este alcanzaría valores superiores al límite elástico, por lo tanto, realizamos una modificación en el chasis del cultivador, para variar la posición de los perfiles y que aumente de esta forma la rigidez.

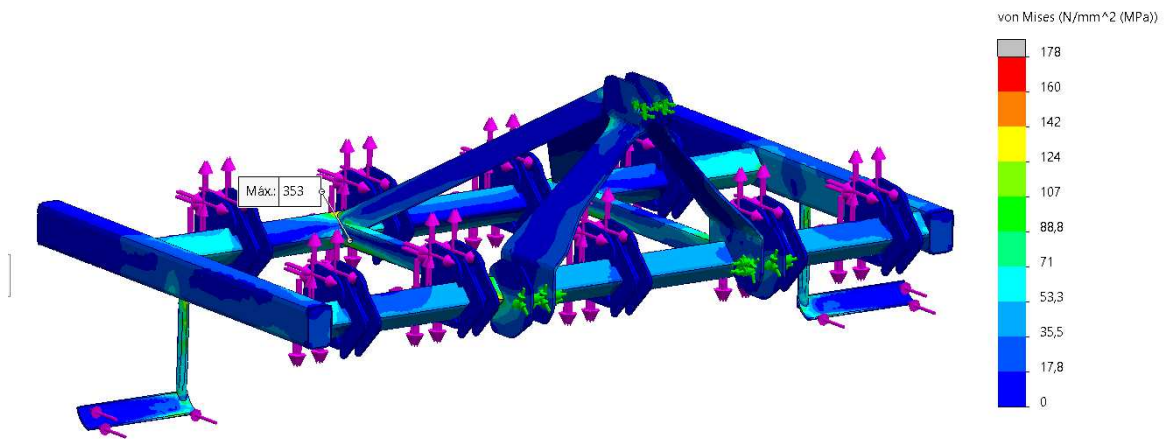


Ilustración 77. Distribución de tensión de Von Mises en el nuevo chasis.

Las tensiones obtenidas son muy buenas, con una buena distribución de fuerzas a lo largo de todo el chasis, se puede verificar la correcta disposición de los perfiles, transmitiendo estos las fuerzas de manera óptima al sistema de enganche. A destacar, la zona en gris que vemos en la imagen 78, en la cual superaríamos los valores del límite elástico aplicando un coeficiente de seguridad de 2, pero esto puede ser dado por la falta de coincidencia de los nodos y el mallado en la union, lugar en el cual también habría un cordón de soldadura el cual no está considerado.

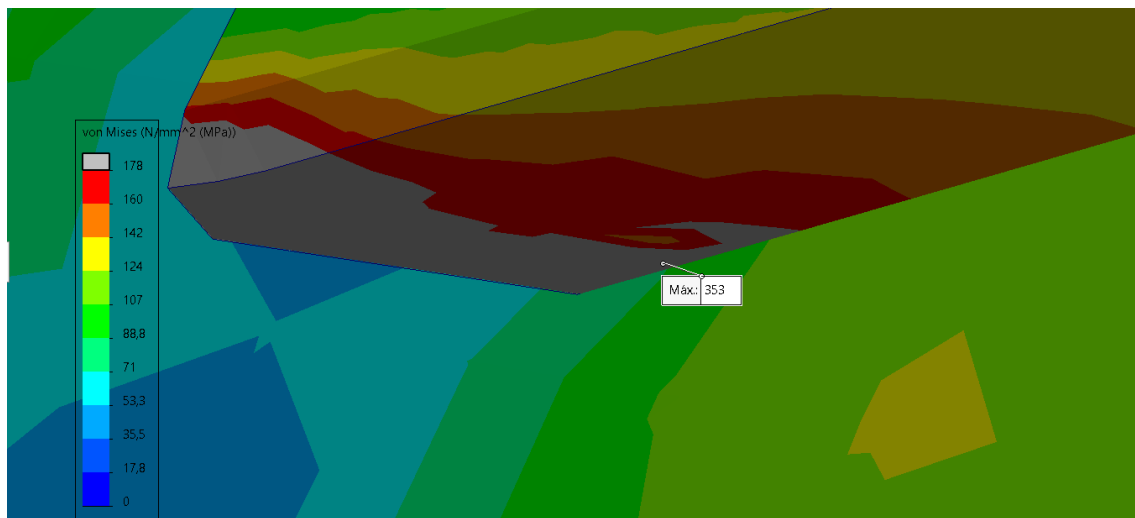


Ilustración 78. Vista detalle de la unión crítica

El punto máximo, lo encontramos en la unión de los perfiles de la parte delantera y trasera, pero este puede ser fruto de una malla generada con poca resolución en la zona de unión, una concentración de tensiones en ese punto concreto por la falta de comprobación o cualquier otro aspecto no relevante en el diseño, puesto que se ve un correcto funcionamiento en el requerimiento de mayor sollicitación del sistema.

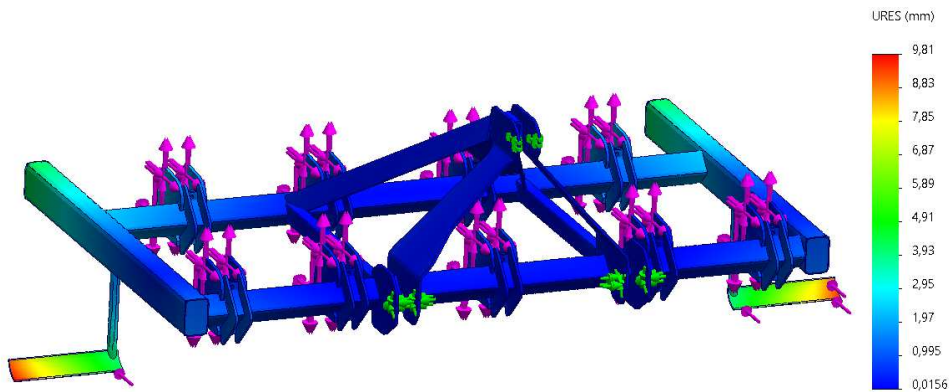


Ilustración 79. Desplazamientos en el nuevo chasis.

Respecto a los desplazamientos, podemos encontrarlos en la parte más lejana al punto central del chasis, es decir, en los brazos intercepas, el desplazamiento que sería “absorbido” por el sistema de muelles que lleva el mecanismo.

	Modelo	Analíticos
Rx	69239 N	69476 N
Ftercerpunto	39722 N	39956 N

Tabla 3. Resultados obtenidos en el sistema de enganche para la máxima sollicitación

Como se observa en la tabla 3, los resultados obtenidos en la simulación y en el modelo analítico son prácticamente iguales, por lo tanto, la simplificación del modelo para poder realizar los cálculos es correcta.

5.3. ANÁLISIS DE TRABAJO EN PENDIENTE

Otra de las situaciones que pueden darse es el trabajo en pendiente, trabajos en terrenos montañosos, campos no nivelados correctamente, lluvias torrenciales, el trabajo de otras maquinas, la recolección de la cosecha durante días húmedos generando grandes trías en el terreno son factores que pueden provocar un desnivel en el terreno y que el cultivador tenga que estar trabajando en esta situación, en la cual el cultivador apoyara en uno de sus lados y no realizara labor con todos de sus brazos.

En el apartado 3 del anexo III, se muestra la simulación y podemos ver los parámetros seleccionados, sujeciones y la aplicación de las fuerzas para la obtención de los siguientes resultados.

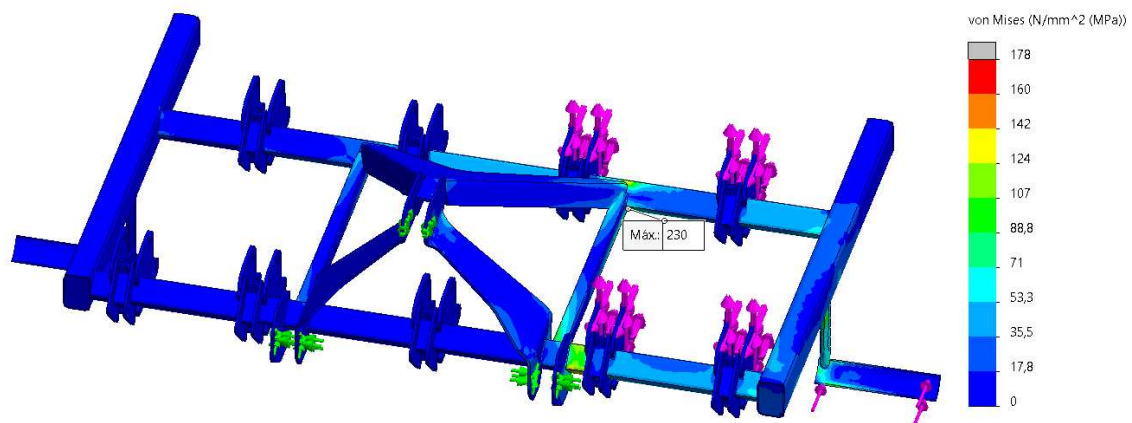


Ilustración 80. Distribución de tensiones de Von Mises durante el trabajo en pendiente.

Como observamos en la imagen 80, las tensiones se concentrarán en el lateral en el cual el cultivador está trabajando. El punto de máxima tensión se encuentra entre la union de los dos perfiles, que como hemos nombrado anteriormente, puede ser causa del mallado del sistema, puesto que, el resto de sistema se comporta muy bien y tiene una buena distribución de tensiones en comparación con ese punto, fruto de la union de ambos perfiles y el mallado generado. Encontraríamos un punto de concentración de tensiones, dado por la union de los dos perfiles, union en la cual habría un cordón de soldadura el cual no está considerado y esta tensión puede ser por el mallado y la no coincidencia de nodos.

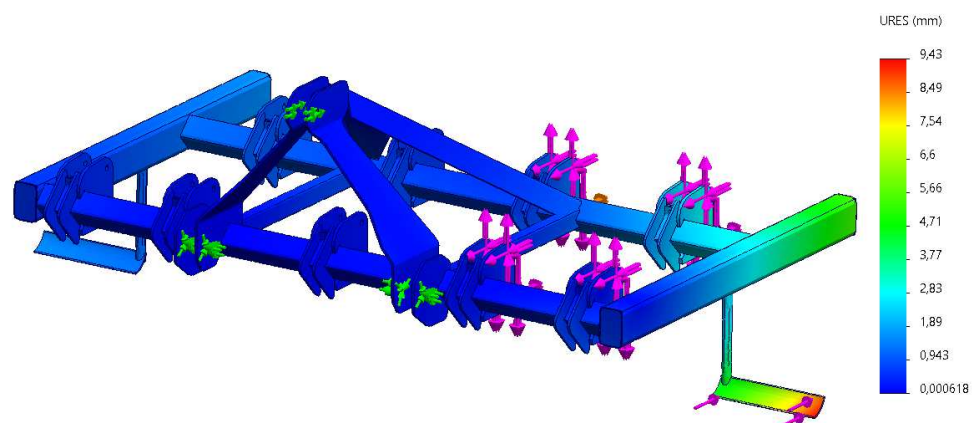


Ilustración 81. Desplazamientos durante el trabajo en pendiente.

Respecto a los desplazamientos, el mayor desplazamiento lo encontraríamos en el intercepas que está trabajando, pero sabemos que, por la tecnología de este sistema, es capaz de adaptarse al terreno y reducir ese desplazamiento.

	FUERZA
Tercer punto	24264 N
Estabilizador 1	3763 N
Estabilizador 2	28058 N

Tabla 4. Fuerzas del sistema de enganche trabajando en pendiente

En los resultados de la tabla 4, podemos ver una clara diferencia en función de los brazos que están trabajando en el cultivador, por lo tanto, obtenemos una fuerza mayor en el estabilizador 2, dado que la zona del cultivador que no apoyaría con el suelo es la más cercana a el estabilizador 1.

5.4. ANÁLISIS DE SOLICITACIÓN MÁXIMA DE LOS BRAZOS DELANTEROS

Esta situación en la cual los brazos delanteros acaban sufriendo una máxima sollicitación tras estar realizando un trabajo normal, puede darse en un terreno excesivamente húmedo, lo que genera una gran masa de tierra húmeda que el cultivador no es capaz de voltear, ni achicar a los lados, lo que termina formando es un gran impedimento, haciendo que los brazos traseros dejen de tener ningún trabajo sobre el terreno y pudiendo provocar un atasco en el tractor por este impedimento generado en la parte delantera, que para poder continuar su labor, este deberá elevar la bomba hidráulica y retomar la marcha una vez salvado impedimento.

En el apartado 4 del anexo III, se muestra la simulación y podemos ver los parámetros seleccionados, sujeciones y la aplicación de las fuerzas para la obtención de los siguientes resultados.

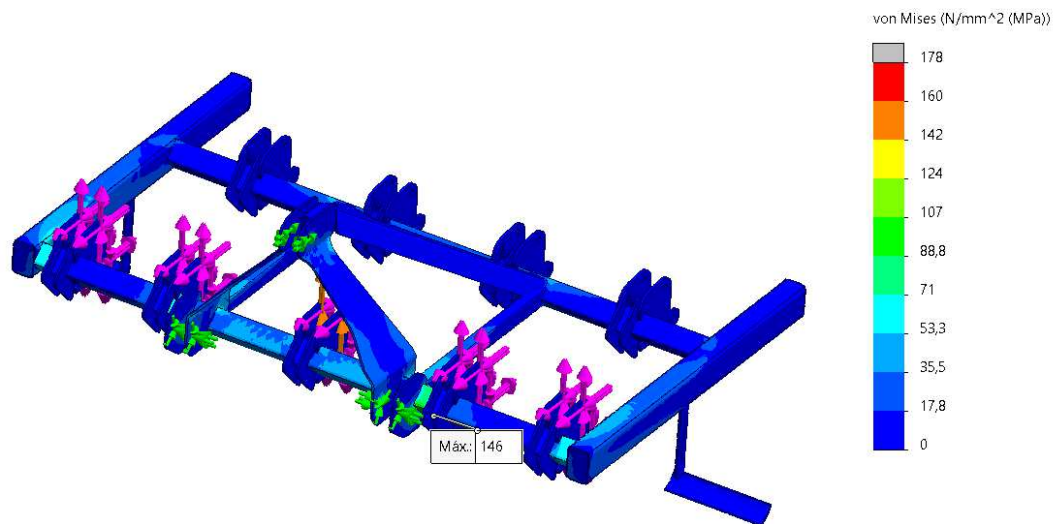


Ilustración 82. Distribución de tensión de Von Mises con máxima sollicitación en brazos delanteros.

En la imagen 82, vemos la distribución de tensiones de Von Mises, produciéndose un valor máximo de 146 MPa en la zona de sistema de enganche con el chasis, frente a una de las situaciones que pueden llegar a ocurrir de una manera habitual, por lo tanto, tenemos una muy buena respuesta del sistema frente a esta situación.

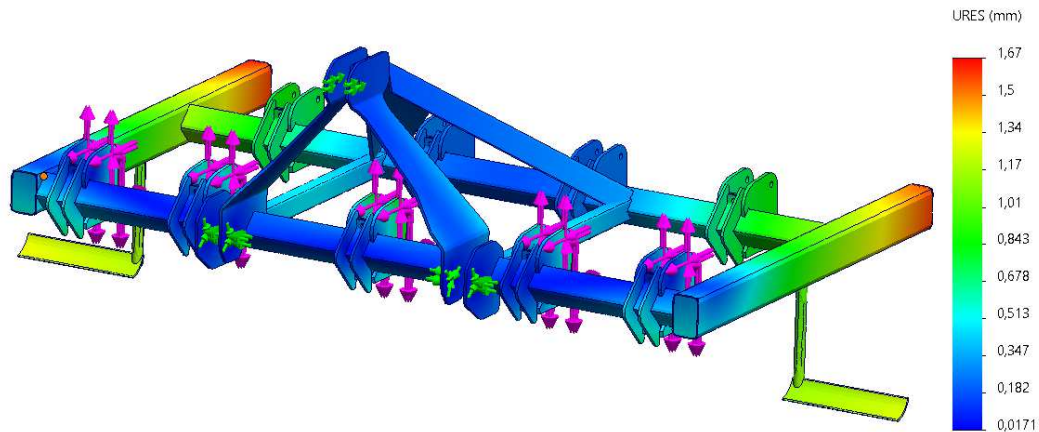


Ilustración 83. Desplazamientos obtenidos con máxima sollicitación en brazos delanteros

En lo que respecta a la distribución de desplazamientos mostrada en la imagen 83, el desplazamiento máximo sería menor a 2mm, por lo tanto, podemos decir que este desplazamiento es prácticamente nulo, siendo el perfil en el que se produce de una longitud de 1300mm.

	FUERZA
Tercer punto	20768 N
Estabilizador 1	19303 N
Estabilizador 2	19281 N

Tabla 5. Resultados obtenidos en el sistema de enganche para sollicitación máxima en brazos delanteros

Las fuerzas obtenidas estarían dentro de lo esperado, reduciéndose estas considerablemente frente a la situación de máxima sollicitación en todos los brazos de cultivador.

5.5. ANÁLISIS DE TRABAJO NORMAL Y 3 BRAZOS CON MÁXIMA SOLICITACIÓN

En este caso estudiaremos una situación en la cual el cultivador trabajara de forma normal y fruto de una piedra, raíz o alteración del terreno, puede tener alguno de los diferentes brazos en un estado de solicitación máxima y darse la siguiente situación.

Esta es muy habitual en el laboreo de un cultivador, que por diferentes aspectos del terreno, alguno de los brazos sufre un “enganchón”, fruto de una piedra más grande de los normal, un terrón o incluso una raíz, que no quiere decir que esta sea del cultivo actual del terreno, en muchas ocasiones, esta raíz puede ser por cultivos antiguos que habia en el mismo terreno.

En el apartado 5 de anexo III, se muestra la simulación y podemos ver los parámetros seleccionados, sujeciones y la aplicación de las fuerzas para la obtención de los siguientes resultados.

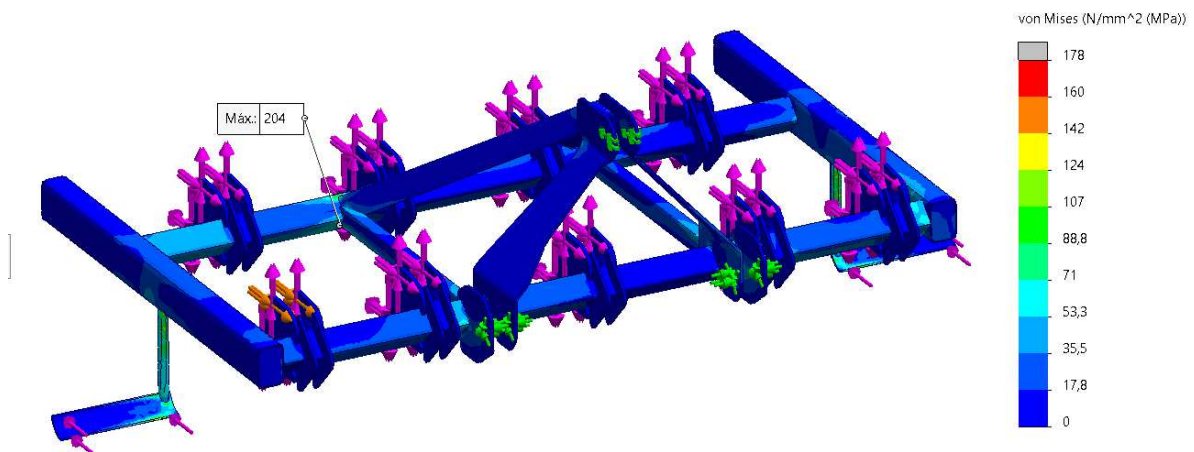


Ilustración 84. Distribución de tensión de Von Mises frente a un trabajo normal y esfuerzo máximo tres brazos.

Como se observa en la imagen 84, el chasis no sufre ninguna alteración frente a esta situación, la cual puede ser muy habitual. Se obtiene una distribución de tensiones de Von Mises muy uniforme, sin verse afectado el chasis frente a esta variación a la hora de aplicación de las fuerzas y verse sometido por no ser simétrica la aplicación.

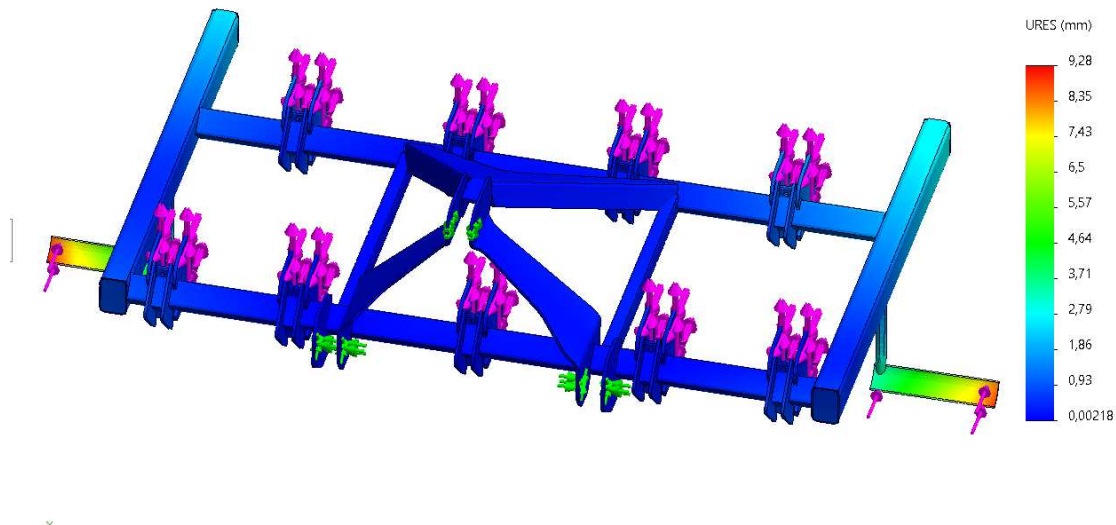


Ilustración 85. Distribución de desplazamientos frente a un trabajo normal y esfuerzo máximo en tres brazos.

En lo que respecta a los desplazamientos, el desplazamiento máximo se produce en los puntos más lejanos al sistema de enganche, en los intercepas, y como hemos nombrado anteriormente, este sistema tiene la capacidad de adaptarse al terreno y de regularse y girar sobre el eje que este tiene para evitar sobre esfuerzos o desplazamientos muy grandes, que por simplificación no se realiza en el programa de simulación.

	FUERZA
Tercer punto	21981 N
Estabilizador 1	17031 N
Estabilizador 2	21981 N

Tabla 6. Resultados obtenidos para un trabajo normal y fuerza límite en tres brazos seleccionados

Los resultados obtenidos para ambos estabilizadores son muy similares, siendo el estabilizador 2 el que recibe una mayor fuerza, dado que, dos de los brazos que están sometidos a una fuerza límite están muy cercanos a este punto de sistema de enganche.

6. CONCLUSIONES

En primer lugar, se realiza la modificación de la distribución de los perfiles, para obtener una mejor distribución de las fuerzas obtenidas en el cultivador.

Como hemos visto en los cálculos realizados, se comprueba que no es óptima la distribución de los perfiles centrales del chasis, por lo tanto, se cambia la distribución de estos para que nuestro sistema cumpla con los requisitos de material. En la imagen 86 se muestra la distribución final de los perfiles para mejorar la transferencia de las fuerzas por los diferentes brazos.

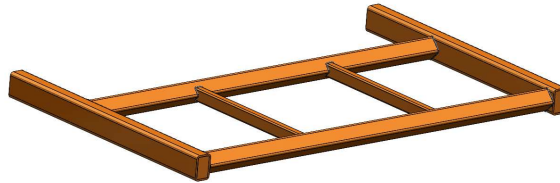


Ilustración 86. Chasis rediseñado.

Por otro lado, la orejeta, que se muestra en la imagen 87, donde va amarrado el muelle pasara de tener una anchura de 30mm para tener una anchura de 50mm y poder soportar los esfuerzos a los que está sometida añadiéndole un coeficiente de seguridad.

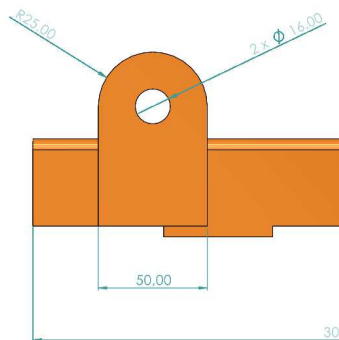


Ilustración 87. Orejeta rediseñada

Tras estas modificaciones que se realizan, podemos afirmar que la elección de los perfiles ha sido acertada y el diseño de la pieza que amarra el brazo con el chasis, distribuye las fuerzas a el chasis de manera distribuida, como preveíamos al realizar esa forma de la pieza y evitando aristas vivas en los puntos de amarre, pero hay que destacar que se han realizado modificaciones en dos piezas del cultivador.

Respecto a los cálculos en la simulación por elementos finitos, se obtienen los resultados que preveíamos tras realizar el cálculo analítico, diseñando el conjunto de brazos y reja para que actúe de fusible mecánico y proteja el resto de las piezas frente a una situación crítica, reduciéndose la fuerza tras la actuación del fusible.

La situación más crítica de las simulaciones realizada es la situación de máxima sollicitación, en la cual, como se ha comentado, puede ser fruto de una tarea no adecuada para un cultivador, los valores máximos obtenidos en esta simulación sería de 353 MPa utilizando la teoría de Von Mises y 9.81mm de desplazamiento en los intercepas, el punto más alejado del tripuntal, fruto

de la simplificación de este mecanismo para llevar a cabo el cálculo, puesto que no se aplica la tecnología que este tiene en la simulación.

Observando el resto de las simulaciones que pueden darse frecuentemente en la realidad, vemos que el cultivador se comporta muy bien, verificando que se ha realizado un diseño adecuado para las tareas a realizar por el apero.

Una futura mejora para incluir en el cultivador sería un rulo, lo que optimiza las funciones que realiza el cultivador.

7. MEJORAS

El rulo en un cultivador para viñedo es un accesorio o implemento diseñado para trabajar el suelo de manera eficiente. Su función principal es compactar o nivelar ligeramente el terreno después de haber sido removido por las herramientas del cultivador.

Existen diferentes tipos de rulos, como pueden ser los rulos de discos, rulo liso, rulo dentado, en nuestro caso, para el cultivador viñedo, seleccionaremos el rulo de jaula, frente a los otros tipos de rulos, ofrece una serie de ventajas, alguna de ellas, como su ligereza, muy interesantes para este tipo de labores, puesto que, comparado con rodillos sólidos, es mucho más liviano, lo que reduce el consumo de combustible por el aumento de ligereza.

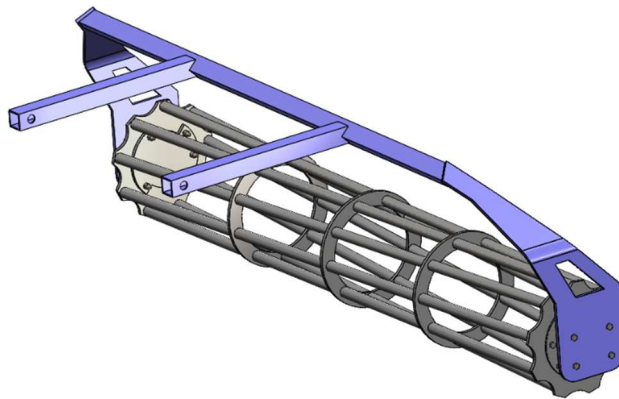


Ilustración 88. Rulo de jaula diseñado.

Un rulo de jaula, como el mostrado en la imagen 88, se trata de un rodillo con una estructura metálica en forma de jaula, diseñada para compactar ligeramente el suelo mientras permite que la tierra pase entre los espacios de las barras. Es una herramienta versátil que complementa el trabajo del cultivador, mejorando la calidad del suelo, optimizando el manejo del agua y facilitando otras prácticas agrícolas. A destacar de rulo de jaula, es que las barras metálicas están dispuestas de forma helicoidal, para evitar una compactación excesiva de suelo, mejorando la aireación y el drenaje.

Su uso es fundamental en varias etapas del manejo del suelo en los viñedos, y ofrece los siguientes beneficios [8]:

- **Nivelación del suelo:** Después del paso del cultivador, el rulo ayuda a nivelar la superficie del suelo, dejando un terreno uniforme que facilita otras labores agrícolas, como la aplicación de fertilizantes o la recolección.
- **Compactación ligera:** Compacta ligeramente la capa superficial del suelo, lo que puede ser beneficioso para evitar la erosión en terrenos inclinados y mejorar la estabilidad del suelo.
- **Conservación de la humedad:** Al compactar suavemente el suelo, reduce la evaporación del agua al sellar la superficie y protegerla del viento o el sol.

- **Eliminación de malas hierbas:** si tras el paso del cultivador, restos de malas hierbas no se ha eliminado por completo o alguna hierba es excesivamente grande para el cultivador, este es capaz de eliminarlas o aplastarlas para reducir su efecto en el cultivo.
- **Control de terrones:** Tritura o aplasta los terrones de tierra grandes que pueden quedar después de la labranza, dejando una textura más fina en la superficie.
- **Estabilidad en terrenos con pendiente:** Ayuda a redistribuir y compactar el suelo en zonas inclinadas, reduciendo el riesgo de escorrentías y pérdida de suelo durante lluvias.

Respecto como afectaría en el diseño del cultivador la instalación de este rulo, deberíamos de calcular el enganche que se muestra en la imagen 89, al cual irá amarrado el rulo mediante un pasador en el punto más cercano al chasis. El resto de los agujeros que este enganche tiene es para ajustar el rango de trabajo de rulo en función de la profundidad de trabajo de cultivador, por lo tanto, tendrá un punto de giro, el amarre nombrado anteriormente y estos pasadores solo harán de límites para el trabajo a realizar. Por lo tanto, lo que este generaría en el cultivador, sería una resistencia en función de peso y el coeficiente de rodadura frente al terreno.

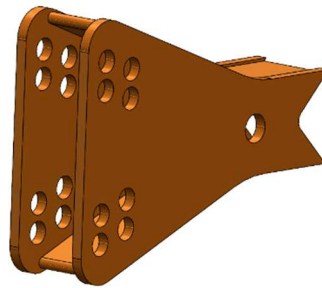


Ilustración 89. Enganche de chasis para el rulo.

Es ideal para trabajos donde se necesita un acabado más suelto y aireado. Es muy bueno en terrenos con pendientes. Contribuye a una mejor estética y funcionalidad del viñado al dejar un suelo bien preparado y “ordenado” entre hileras.

Por lo tanto, esta es el tipo de rulo escogido para esta mejora, por las ventajas que ofrece frente a otros para el uso de viñedos.

Se muestra a continuación una imagen final de la implementación del rulo de jaula en el cultivador.

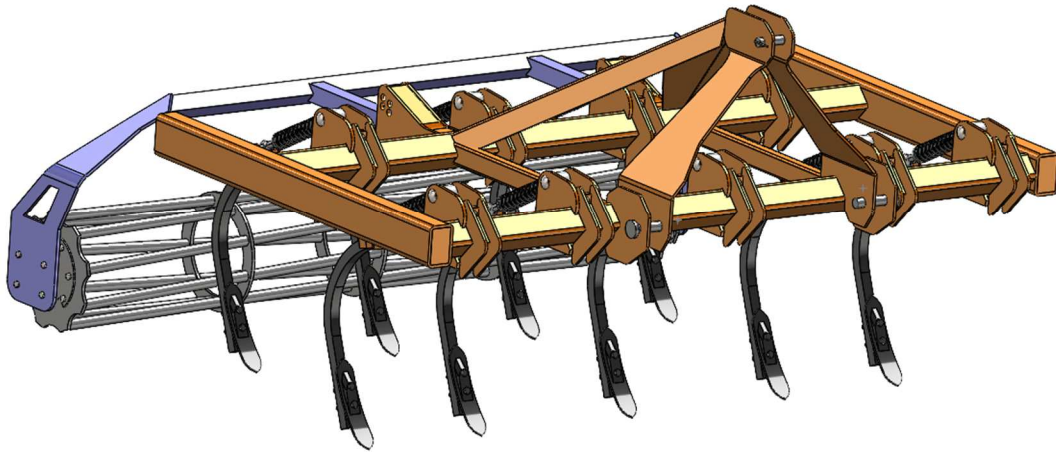


Ilustración 90. Diseño final del cultivador con el rulo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Shaw, G. B. (1969). *La historia de la agricultura*. Editorial Grijalbo.
- Libro que trata sobre la historia de la agricultura, abarcando desde sus inicios hasta los desarrollos más modernos.
- [2] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s. f.). <https://www.mapa.gob.es/es/>
- [3] Hernández Ayala. (2024, 11 julio). *Hernández Ayala - Maquinaria agrícola, suministros y neumáticos*. <https://www.hernandezayala.com/>
- [4] Agrícolas, M.Q.M. (s.f.). Más que Máquinas Agrícolas. <https://www.masquemaquina.com/>
- [5] Sánchez, J. A. (2010). *Tecnología agrícola: Maquinaria, equipos e instalaciones*. Editorial Paraninfo.
- Una referencia sobre el uso de maquinaria agrícola, entre ellos los aperos y su clasificación, función y aplicación en la agricultura moderna.
- [6] John Deere. (s. f.). <https://www.deere.es/es/index.html>
- [7] Llorente-Bousquets, J. A., & González-Moreno, L. (2012). *Control biológico de plagas en sistemas agrícolas sostenibles*. Ediciones Mundi-Prensa
- Para ver cómo reducir los pesticidas mediante prácticas sostenibles, incluida la eliminación mecánica de malezas.
- [8] Sánchez, R. (2015). *Tecnología de Maquinaria Agrícola: Teoría y Práctica*. Editorial Agropecuaria.
- Técnicas y manejo del suelo, incluyendo elementos como el rulo en cultivadores.
- [9] Real Academia de la Lengua - <https://www.rae.es/>
- [10] Agrorepuestos. (2024, 21 noviembre). *Repuestos y recambios agrícolas | Tienda online barata*. Agrorepuestos. <https://agrorepuestos.es/>
- [11] Bricoex. (2024, 19 noviembre). *Inicio - Bricoex*. <https://bricoex.com/>
- [12] Suministros Urquiza. (s. f.). <https://www.suministrosurquiza.com/>

[13] GmbH, P. L. (s. f.). El especialista para innovadora técnica agrícola en forraje, suelo y siembra. | PÖTTINGER España. PÖTTINGER Landtechnik GmbH. https://www.poettinger.at/es_es/

[14] Agromet Ejea. (2023, 3 febrero). *Agromet Maquinaria Agrícola - Grada rápida, Viña, Chisel, Semichisel*. Agromet Maquinaria Agrícola. <https://agromet.net/>

ANEXOS

ANEXO I: FICHA TECNICA DE MATERIALES

- Acero estructural S355JR

Technical data sheet – S355JR (1.0045)

- Unalloyed mild steel with guaranteed minimum mechanical values
- With special cold formability also 1.0551; S355JRC
- Easily weldable

Applications: simple applications in mechanical engineering

Chemical composition (acc. DIN EN 10025-2 (10/2019))

S355JR	mass fraction in %			
	C [%] ≤ 0,24	Si [%] ≤ 0,55	Mn [%] ≤ 1,60	Cr [%] ≤ 0,29
	P [%] max. 0,035	S [%] max. 0,035	Mo [%] ≤ 0,11	N [%] ≤ 0,012
	Ni [%] ≤ 0,42	Cu [%] ≤ 0,55		

Mechanical properties (acc. DIN EN 10025-2 (10/2019))

Dimensions	Yield strength (Re)	Temperature
<= 16 mm	>= 355 MPa	~ 20 ° C
16 - 40 mm	>= 345 MPa	~ 20 ° C
40 - 63 mm	>= 335 MPa	~ 20 ° C
63 - 80 mm	>= 325 MPa	~ 20 ° C
80 - 100 mm	>= 315 MPa	~ 20 ° C
100 - 150 mm	>= 295 MPa	~ 20 ° C
150 - 200 mm	>= 285 MPa	~ 20 ° C
200 - 250 mm	>= 275 MPa	~ 20 ° C
250 - 400 mm	>= 265 MPa	~ 20 ° C

Dimensions	Tensile strength (Rm)	Temperature
<= 3 mm	510 - 680 MPa	~ 20 ° C
3 - 100 mm	470 - 630 MPa	~ 20 ° C
100 - 150 mm	450 - 600 MPa	~ 20 ° C
150 - 250 mm	450 - 600 MPa	~ 20 ° C
250 - 400 mm	450 - 600 MP	~ 20 ° C

Elongation (A 5,65)

Dimensions	Value	Sample location	Temperature
3 - 40 mm	>= 22 %	longitudinal	~ 20 ° C
3 - 40 mm	>= 20 %	transversal	~ 20 ° C
40 - 63 mm	>= 21 %	longitudinal	~ 20 ° C
40 - 63 mm	>= 19 %	transversal	~ 20 ° C
63 - 100 mm	>= 20 %	longitudinal	~ 20 ° C
63 - 100 mm	>= 18 %	transversal	~ 20 ° C
100 - 150 mm	>= 18 %	longitudinal	~ 20 ° C
100 - 150 mm	>= 18 %	transversal	~ 20 ° C
150 - 250 mm	>= 17 %	longitudinal	~ 20 ° C
150 - 250 mm	>= 17 %	transversal	~ 20 ° C
250 - 400 mm	>= 17 %	longitudinal	~ 20 ° C
250 - 400 mm	>= 17 %	transversal	~ 20 ° C

- Acero aleado 15B30



Data sheet 15B30 2018-09-12

15B30

General Product Description

15B30 is a carbon-boron steel produced in accordance with the American Iron and Steel Institute (AISI) and the Society of Automotive Engineers (SAE) chemical composition limits. 15B30 is a carbon steel with boron added to enhance the hardenability, strength and wear resistance compared to plain carbon steels of the same carbon content.

SSAB supplies 15B30 in the as-rolled, non-heat treated condition. 15B30 is vacuum degassed as part of the secondary steelmaking process to reduce the dissolved gasses (hydrogen, nitrogen, oxygen) in the molten steel and promote enhanced cleanliness and improved properties.

Applications:

Common applications for 15B30 include ground engaging tools and agricultural components such as tiller disks, sweeps and spikes.

Dimension Range

The following 15B30 product sizes are available:

Product type	Thickness (in)	Width (in)	Length (in)
Coils	0.188 - 0.375	60 - 96	—
Discrete Plate	0.500 - 3.00	72 - 103	240 - 1020

Coil width: Narrower width multi produced by slitting coils are available, edge condition will be cut edge/slit edge, inquire widths.

Discrete plate width: Inquire for widths >103" to 120".

Mechanical Properties

15B30 is produced to a specified chemical composition only. Please inquire for applications requiring specific mechanical properties.

Chemical Composition

(Based on ladle analysis.)

C (wt %)	Mn (wt %)	P (max wt %)	S ¹⁾ (max wt %)	Si (wt %)	B (wt %)
0.27 - 0.35	0.70 - 1.20	0.030	0.010	0.15 - 0.35	0.0005 - 0.0030

¹⁾ Note that SSAB's sulfur (S) level is more restrictive than AISI or SAE specification requirements for 15B30.

Through ladle refining, the sulfur (S) content of SSAB 15B30 is typically reduced to ≤0.005% for improved cleanliness. Additional compositional limits are available by request and subject to review.

Tolerances

Thickness, width, and length tolerances for 15B30 steel plate and coil are in accordance with the requirements of ASTM A6. The flatness tolerance for as-supplied plate is ½ ASTM A6.

Fabrication and Other Recommendations

15B30 steel in the as-rolled condition can be machined and mechanically cut in similar fashion as structural steels of similar strength level. Mechanical cutting of heat-treated or hardened 15B30 steel will be more difficult. Machining or drilling of hardened 15B30 will also be more difficult and require robust machinery, hard bits, high speed tooling, and proper fluid selection. Thermal cutting of 15B30 should be performed in the as-rolled condition. As a result of the carbon content and additional hardenability from the boron content, the plate should be preheated uniformly to 200°F prior to thermal cutting to decrease the cooling rate in the heat-affected zone and thereby reduce the heat-affected zone hardness. Immediately following thermal cutting, while the plate is still hot, the plate should be stress relieved to soften the cut edges and reduce the risk for cracking in the heat-affected zone. Stress relieving may be accomplished by heating the plate to 1100°F to 1200°F, holding ½ hr./in., and cooling in air. Annealing (critical or sub-critical) may also be used following thermal cutting. Thermal cutting of heat-treated or hardened 15B30 steel may alter the hardness and mechanical properties of the material.

- Acero aleado 51CrV4 (muelle)

Material specification sheet

Saarstahl - 51CrV4 (50CrV4)

Material No.:	Former brand name:			International steel grades:		
1.8159	F2K			BS:	735A51, 735M50, 735H51	
				AFNOR:	50CrV4, 51CrV4	
				SAE:	6150	
Material group: Steel for quenching and tempering according to DIN EN 10083						
Chemical composition: (Typical analysis in %)	C	Si	Mn	Cr	V	other
	0,50	0,25	0,90	1,10	0,12	(Pb)
Application: Alloyed heat treatable steel with a typical tensile strength of 900 - 1200 N/mm². For automotive and mechanical engineering components as gear parts, pinions, shafts.						
Hot forming and heat treatment:	Forging or hot rolling:			1050 - 850°C		
	Normalising:			870 - 900°C/air		
	Soft annealing:			680 - 720°C/furnace		
	Hardening:			820 - 860°C/oil		
	Tempering:			540 - 680°C/air		
Mechanical Properties:	Treated for cold shearability +S:			See condition A		
	Soft annealed +A:			max. 248 HB		
Quenched and tempered, +QT:						
Diameter d [mm]	< 16	>16 – 40	>40 – 100	>100 – 160	>160 – 250	
Thickness t [mm]	< 8	8<t<20	20<t<60	60<t<100	100<t<160	
0,2% proof stress R _{p0,2} [N/mm²]	min. 900	min. 800	min. 700	min. 650	min. 600	
Tensile strength R _m [N/mm²]	1100 - 1300	1000 - 1200	900 - 1100	850 - 1000	800 - 950	
Fracture elongation A _s [%]	min. 9	min. 10	min. 12	min. 13	min. 13	
Reduction of area Z [%]	min. 40	min. 45	min. 50	min. 50	min. 50	
Notch impact energy ISO-V [J]	min. 30	min. 30	min. 30	min. 30	min. 30	

ANEXO II: ELEMENTOS NORMALIZADOS

- Propiedades mecánicas de tornillos

PROPIEDADES MECÁNICAS DE TORNILLOS

Propiedades mecánicas exigibles de tornillos y piezas análogas

Según ISO 898-1

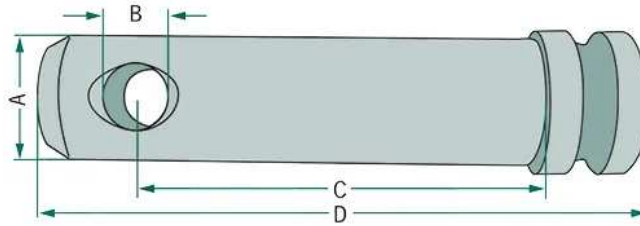
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS		CLASE DE CALIDAD							
		4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		10.9	12.9
Resistencia tracción R_m (N/mm ²)	nominal	400	500	500	600	$d \leq 16 \text{ mm}^{*1}$	$d > 16 \text{ mm}^{*1}$	1000	1200
	mín. ^{*2}	420	500	520	600	800	830	1040	1220
Dureza Vickers HV $F \geq 98 \text{ N}$	mín.	130	155	160	190	250	255	320	385
	máx.	250				320	335	380	435
Dureza Brinell HB $F = 30 \text{ D}^2$	mín.	124	147	152	181	238	242	304	366
	máx.	238				304	318	361	414
Dureza Rockwell HR	mín. HRB	71	79	82	89	-	-	-	-
	mín. HRC	-	-	-	-	22	23	32	39
	máx. HRB	99,5				-	-	-	-
	máx. HRC	-	-	-	-	32	34	39	44
Límite elástico inferior R_{el} ^{*3} (N/mm ²)	nominal	320	300	400	480	-	-	-	-
	mín.	340	300	420	480	-	-	-	-
Límite elástico al 0,2% $R_{p0.2}$ (N/mm ²)	nominal	-	-	-	-	640	640	900	1080
	mín.	-	-	-	-	640	660	940	1100
Alargamiento %	mín.	14	20	10	8	12		9	8
Resiliencia J.	mín.	-	25	-	-	30		20	15

*1 Para la tornillería destinada a estructuras metálicas el límite es 12 mm.

*2 Las características de tracción mínimas se aplican a los productos con una longitud nominal $L \geq 2,5 d$. La dureza mínima se aplica a los productos con una longitud nominal $L < 2,5 d$, y a otros productos que no pueden ser ensayados a tracción debido a su forma, ej.: por la configuración de la cabeza.*3 En el caso de que el límite elástico inferior R_{el} no se pueda determinar, se permite medir el límite elástico $R_{p0.2}$.

- Bulón Enganche inferior Cat.2 | Perno 28X120 mm [10]

Bulón o perno del enganche inferior Cat. 2 para tercer punto. Realizado en materiales de alta resistencia y calidad. 28X120



- Descripción

Descripción

Bulón o perno del enganche inferior Cat. 2 para tercer punto. Realizado en materiales de alta resistencia y calidad.

Estos bulones son perfectos para asegurar los implementos al tercer punto y a los otros dos puntos de conexión en el tractor. Además de ser cruciales para la seguridad y la eficacia del enganche, ya que deben soportar el peso y la tensión generados durante el trabajo.

Este perno de enganche está diseñado para resistir el desgaste diario y mantener su integridad estructural en cualquier condición. Se adapta a tractores de categoría dos. Es ideal para una amplia variedad de implementos agrícolas, desde arados hasta segadoras. Con capacidad para soportar cargas pesadas y garantizar una conexión segura, este bulón de enganche te proporcionará la confianza y el rendimiento necesario.

Categoría:2

A (mm):28

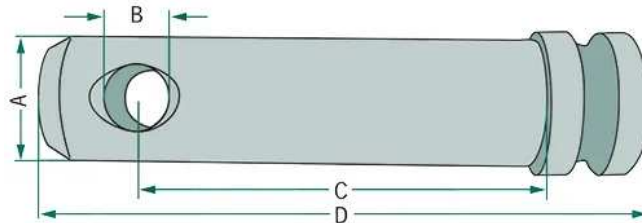
B (mm):12

C (mm):95

D (mm):120

E (mm):34

- Bulón Cat-2. Perno para tripuntal 25X125 mm [10]



Bulón para Tercer punto. Perno universal (ohne Kette) de categoría 2ª.

Este perno o bulón es perfecto para fijar y asegurar los implementos al tercer punto del sistema de enganche. El bulón para tercer punto de cat-2 es esencial para garantizar la conexión estable de implementos y accesorios al sistema de enganche de tres puntos, lo que permite que la maquinaria agrícola funcione eficientemente en diversas tareas agrícolas.

Conexión Resistente: Nuestro bulón para tripuntal ofrece una fijación robusta, asegurando la conexión estable entre tu tractor y una variedad de implementos agrícolas.

Instalación Sencilla: Con su diseño intuitivo, la instalación del bulón es rápida y sencilla. Ahorra tiempo en tus tareas agrícolas, manteniendo el enfoque en lo que realmente importa.

Construcción Duradera: Fabricado con materiales de alta resistencia, este bulón está diseñado para resistir las demandas del trabajo agrícola diario, garantizando un rendimiento duradero temporada tras temporada.

Categoría:2

A (mm):25

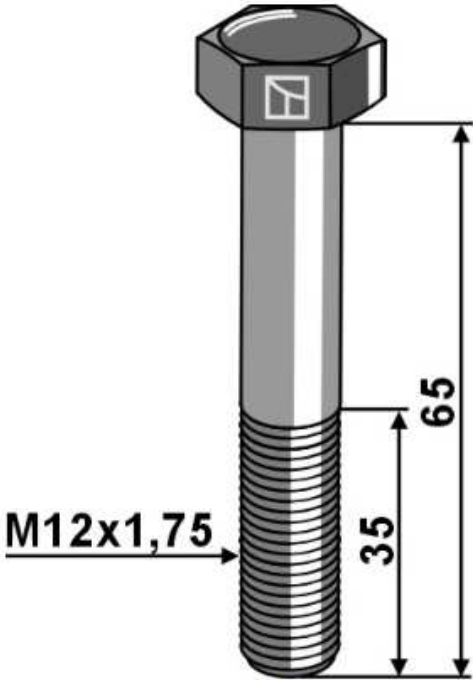
B (mm):12

C (mm):110

D (mm):125

- Tornillo M12 [10]

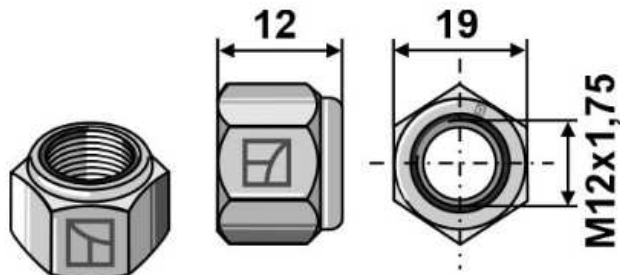
Tornillo de cabeza hexagonal M12x1,75x65 galvanizado - rosca izquierda



-/No son piezas originales -
[El número de pieza original se indica solo a fines de comparación]
Cualquier reproducción ilegal de los dibujos va en contra de los derechos de autor
y cualquier infracción será procesada

Referencia	126593188LHV
Peso	0.070 kg
Calidad	8.8
Filete	M12x1,75 - rosca izquierda
Longitud	65
Longitud del filete	35
Apertura de la llave	19
Fabricante	Referencia original
Lemken	3013401

Tuerca autoblocante M12 [10]

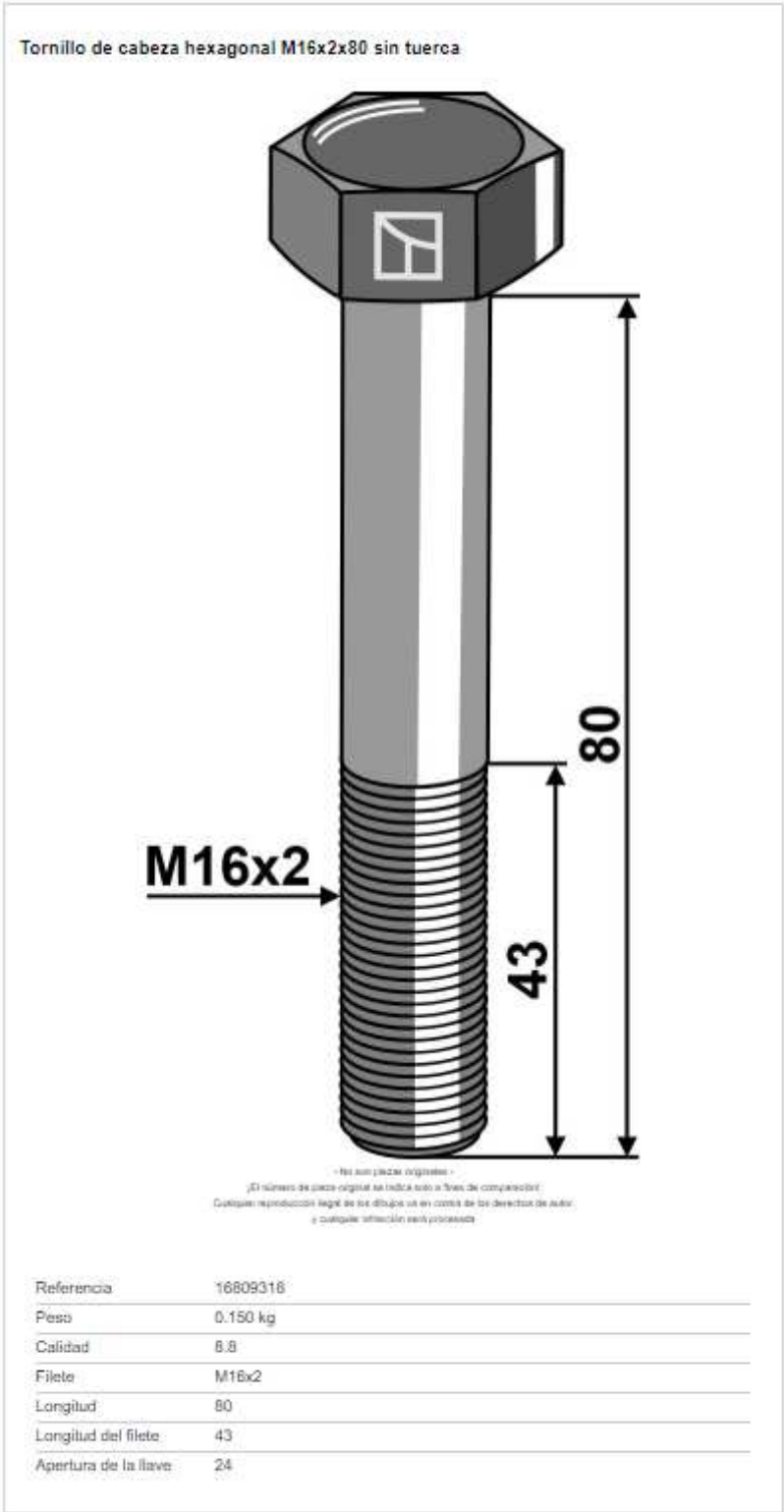


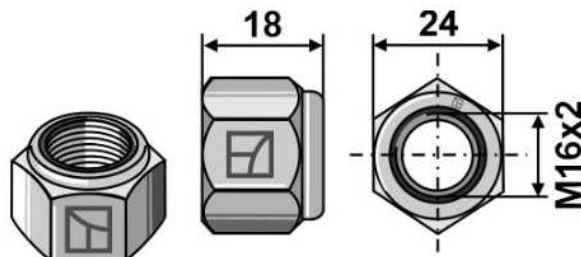
- No son piezas originales -
(El número de pieza original se indica solo a fines de comparación)
Cualquier reproducción ilegal de los dibujos va en contra de los derechos de autor,
y cualquier infracción será procesada

Referencia	30-MU12-2
Peso	0.016 kg
Calidad	8.8
Filete	M12x1,75
Modelo de máquina	FC 200 - 202 - 250 - 300
Modelo de máquina	RO166(80-), RO167, RO186(80-), RO187, RO211(80-), RO212, RO211F(80-), 301, RO212FB(80-), RO170, 190, 230, RO271
Modelo de máquina	KM166/191/250F - KM166A/KC - KM192

Fabricante	Referencia original
Kuhn	80201240
Niemeyer	510517
Lemken	3030934
Bednar	KM000325
GreenTec	8482008

- Tornillo de cabeza hexagonal M16 [10]



Tuerca autoblocante - M16x2 [10]

- No son piezas originales -

(El número de pieza original se indica solo a fines de comparación)
 Cualquier reproducción ilegal de los dibujos va en contra de los derechos de autor,
 y cualquier infracción será procesada

Referencia	30-MU16-2
Peso	0.030 kg
Calidad	8.8
Filete	M16x2
UE	50

Fabricante	Referencia original
Lemken	3030935
Strom	KM000057
Bednar	KM000057

- Reja [12]

Reja cultivador Surco 1639

Reja cultivador de la marca Surco fabricada en acero al boro.
 Temple integral que evita deformaciones y roturas.
 Espesor 7 mm.
 Distancia entre agujeros 45 mm.
 Tornillo utilizado DIN 607, cuello cuadrado y cabeza ovalada 10x40.

Sku: 0201.001901

Referencia Original: 1639

Gtin: 8414299057379

Peso: 0,62 kg

Anchura: 56 milímetro(s)

Longitud: 230 milímetro(s)

- Tornillos y tuerca para reja [12]



**Tornillo Din 607 8:8 cuello cuadrado cabeza ovalada
M10 x 45**

Tornillo con tuerca para repuesto agrícola de acero.
800 (N/mm²) de resistencia a la tracción y 640
(N/mm²) de límite elástico.

Se utilizan este tipo de tornillos avellanados puesto que de esta forma son protegidos frente a las acciones de suelo, piedras y diferentes impedimentos, protegiendo su cabeza.

- Muelle [11]

El muelle seleccionado es el que se muestra a continuación, el fabricante es bellota y es el muelle:

MUELLE 18X200X98 P/MORDAZA 30X30

Ref: MU332-30X30



Kg/mm	L. de bloque	Carga máx. Kgs
10,72	200	1589

ANEXO III: PARAMETROS DE LA SIMULACIONES

III.i. CONJUNTO DEL BRAZO

La distribución de mallas es la mostrada en la imagen 91, en la cual se puede ver cómo se realiza una malla con una calidad muy fina en el brazo, para buscar el punto de máximo esfuerzo que se produce en el brazo, mientras que en el resto de los componentes que forman el sistema, se realiza una malla con una calidad inferior para que el programa tenga la capacidad de calcularlo.

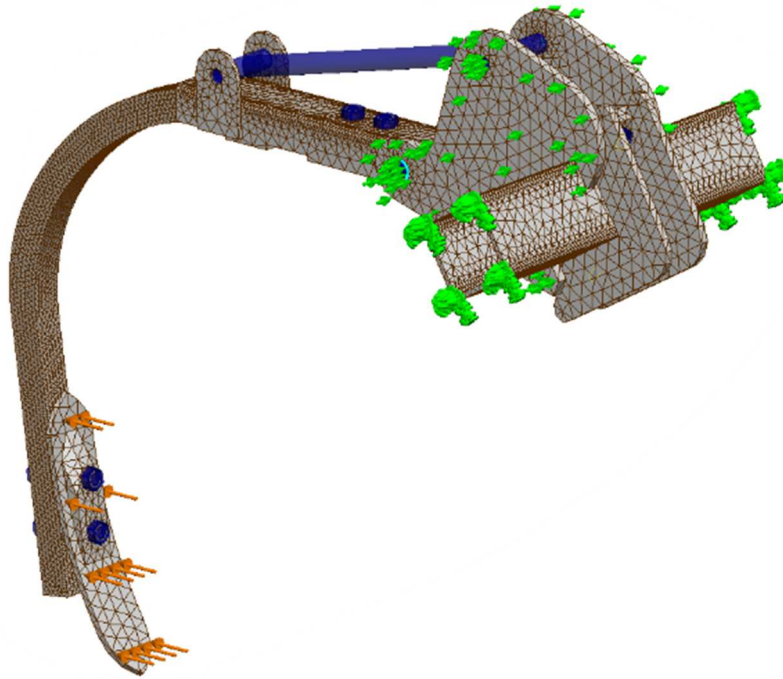


Ilustración 91. Mallado del conjunto de brazo

Para todos los elementos, excepto el brazo, todos los elementos del conjunto tienen las siguientes características de malla, en la cual la densidad de malla seleccionamos lo más fino posible, el tamaño máximo de los elementos será de 15mm y el tamaño mínimo de 1.70mm.

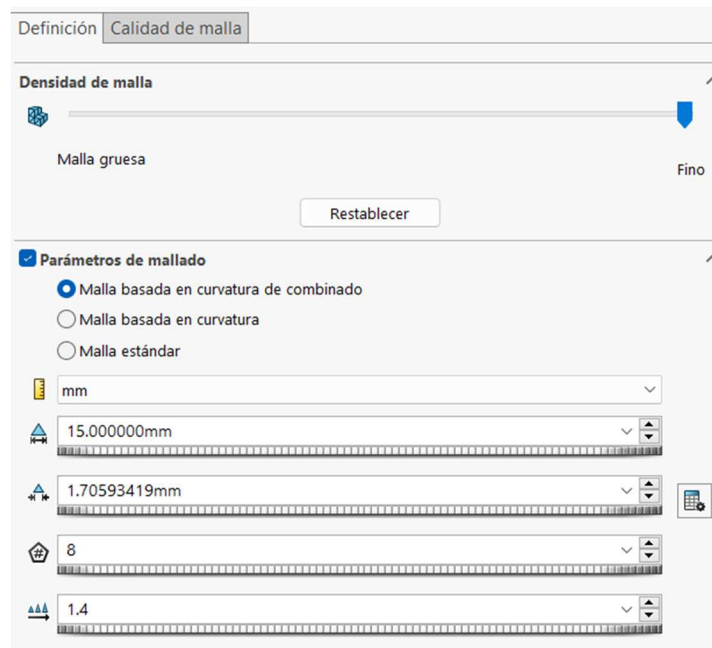


Ilustración 92. Características del mallado para el conjunto brazo con muelle

Para poder alcanzar resultados a través de programa de simulación SolidWorks, se colocan todos los elementos en modo borrador para realizar su mallado y que este sea más simplificado, reduciendo así el número de elementos.

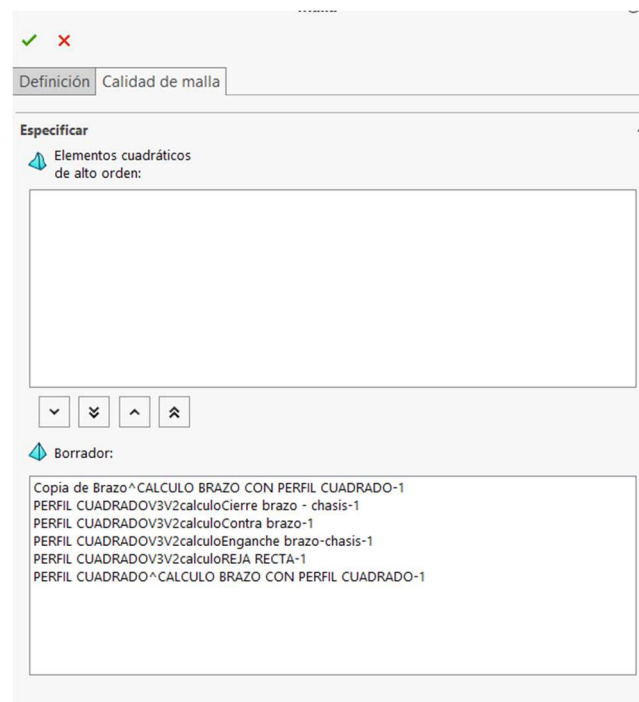


Ilustración 93. Mallado en modo borrador

Respecto a las características de mallado de brazo, que como podemos ver en la imagen 94, es mucho más fina, para así poder alcanzar tensiones más similares a los cálculos realizados analíticamente, se realiza un control de malla por elemento y se selecciona la configuración mostrada en la imagen 92.

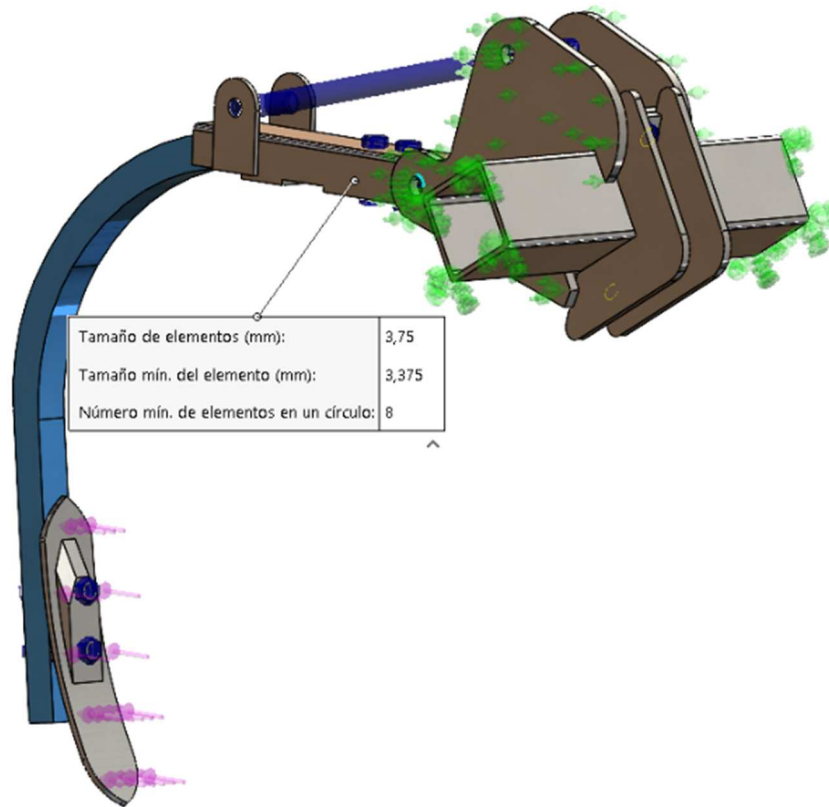


Ilustración 94. Parámetros de mallado de brazo

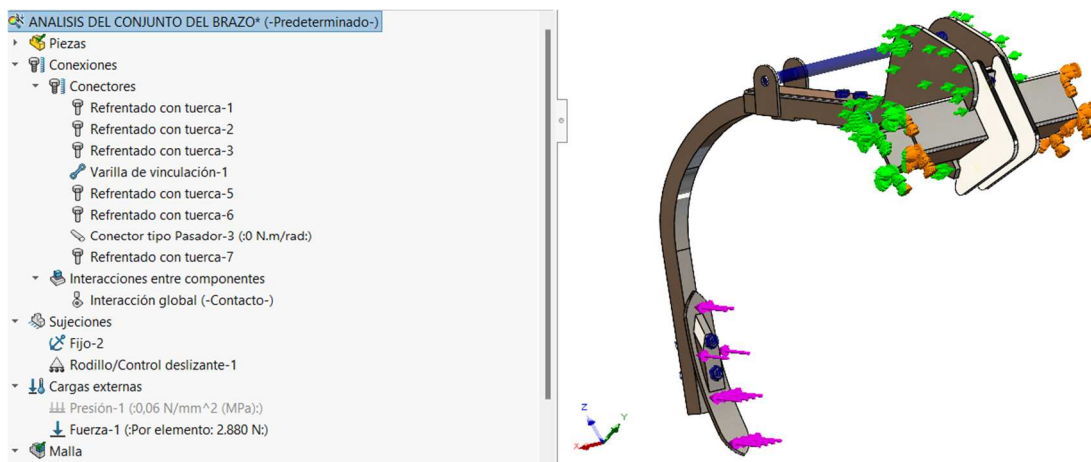


Ilustración 95. Conexiones y cargas aplicadas en el conjunto del brazo

Respecto a las conexiones entre elementos, la interacción entre todos los elementos será global, los conectores serán tornillos y tuercas, un pasador entre el enganche brazo y el enganche brazo-chasis y se cambia el muelle por una varilla de vinculación para realizar una simplificación de muelle.

Las sujeciones determinadas son, puntos fijos en los laterales de perfil, y una sujeción de rodillo en los laterales de la pieza enganche-chasis para que esta no se mueva lateralmente y no se obtengan los resultados que estamos buscando.

La fuerza aplicada será la fuerza límite de trabajo a la cual se ha diseñado el sistema, esta fuerza será la fuerza a la cual el brazo, fabricado en acero aleado al boro 15B30 alcanzara su límite elástico, funcionando como fusible mecánico y evitando la rotura de cualquier otra pieza de nuestro cultivador que tenga una reparación más costosa o que pudiera a causar una rotura significativa en la estructura o incluso en los enganches del tractor frente a un enganchón, atasco de la herramienta o cualquier variación de un trabajo normal que podamos experimentar.

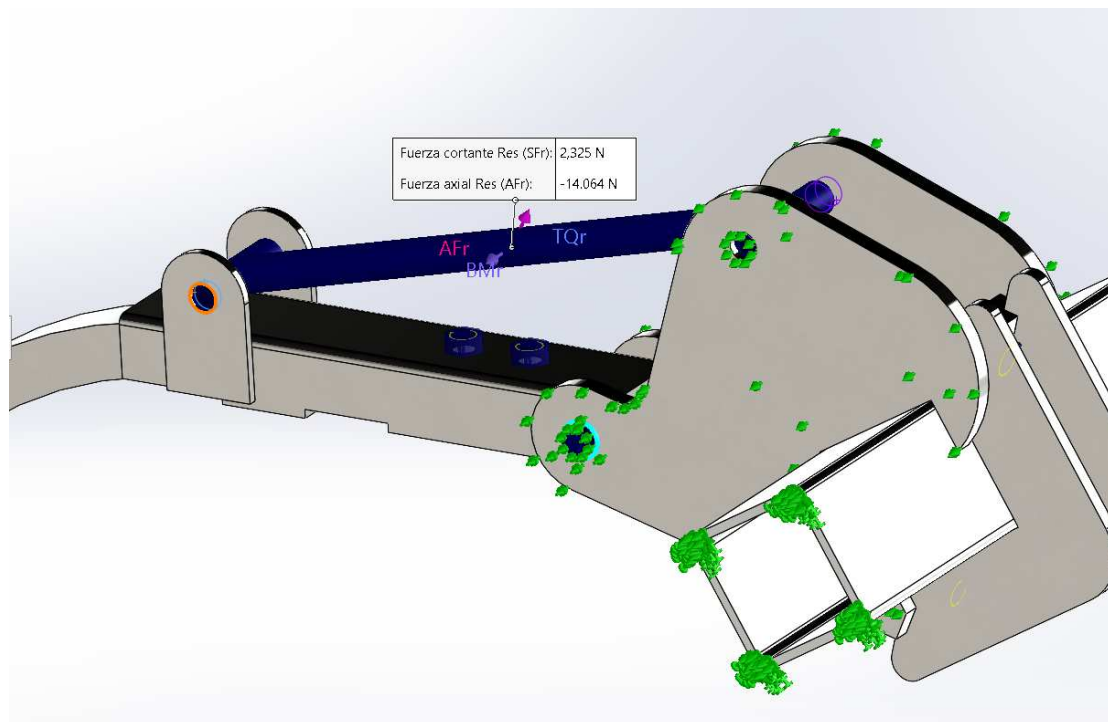


Ilustración 96. Fuerza resultante en el muelle

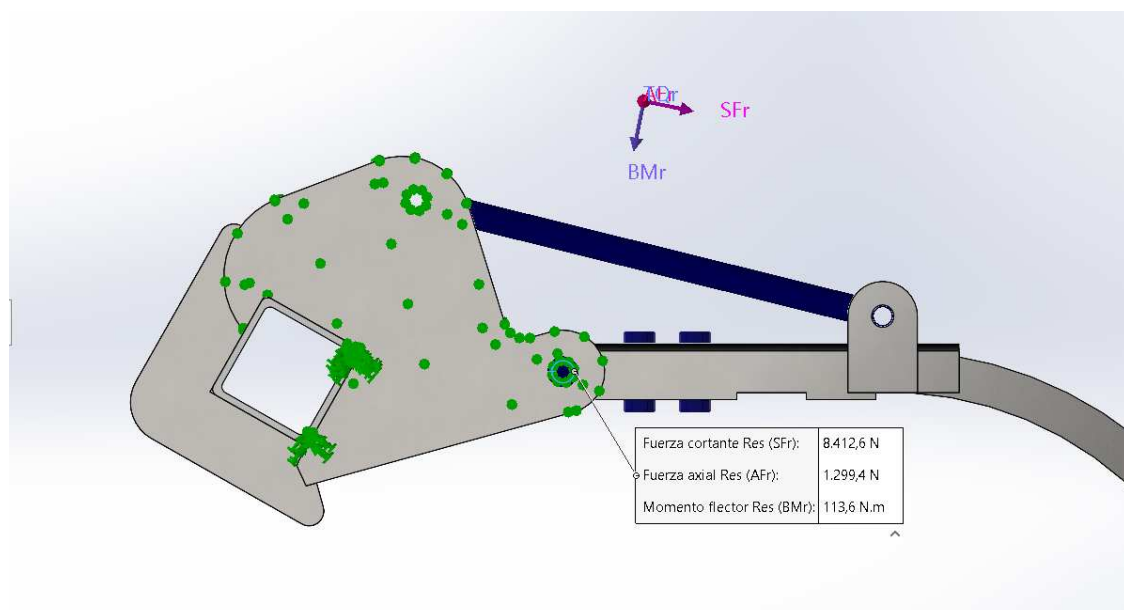


Ilustración 97. Fuerza resultante en uno de los lados de pasador

Una vez analizado el conjunto del brazo, podemos llevar estas fuerzas obtenidas a el chasis, realizando una simplificación de modelo para facilitar el cálculo, eliminaremos la reja, el brazo, el enganche, el resorte y dejaremos únicamente la pieza que une el conjunto del brazo al chasis, aplicando las fuerzas en esta pieza.

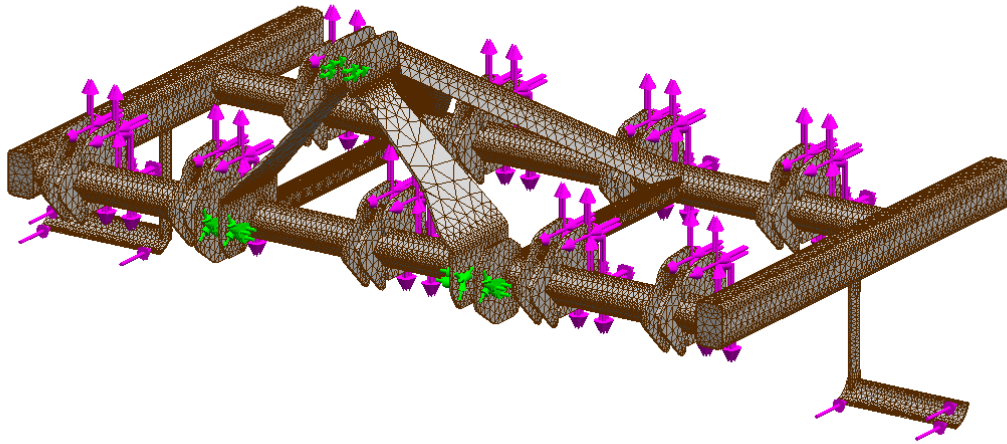


Ilustración 98. Mallado de completo

Todos los elementos se pasan a modo mallado borrador, para reducir los puntos de la malla y poder alcanzar un cálculo a través del programa de simulación de Solid Works.

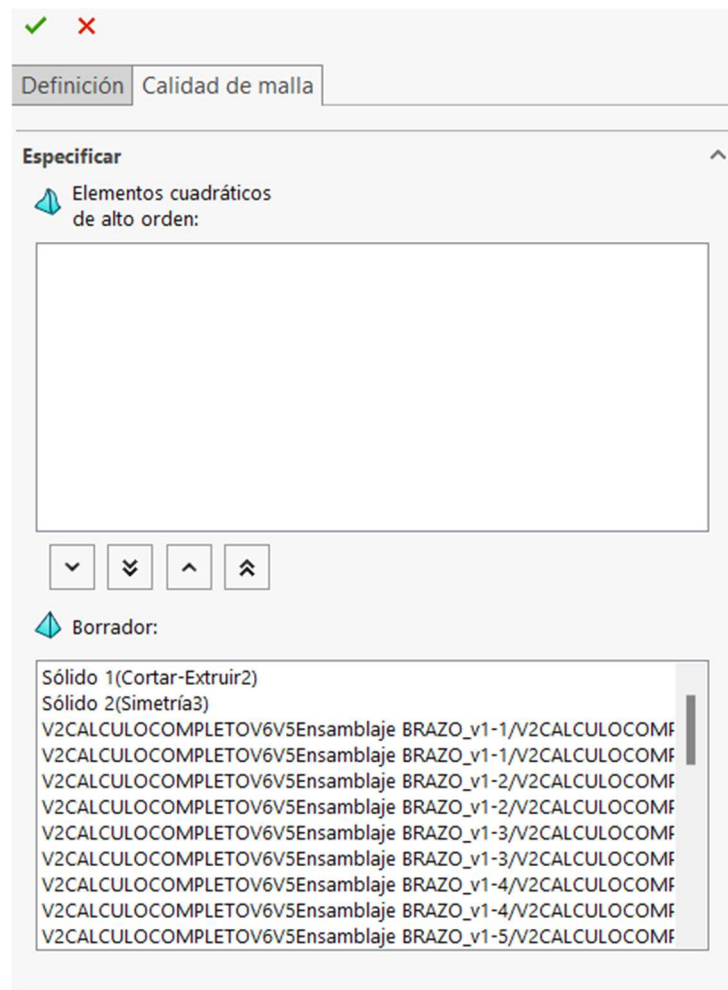


Ilustración 99. Elementos en modo borrador

Los parámetros de la malla son los mostrados en la siguiente imagen, teniendo un tamaño máximo de elementos de 100mm y un tamaño mínimo de 5mm, con un número mínimo de elementos de 8 intrínsecos en cada círculo.

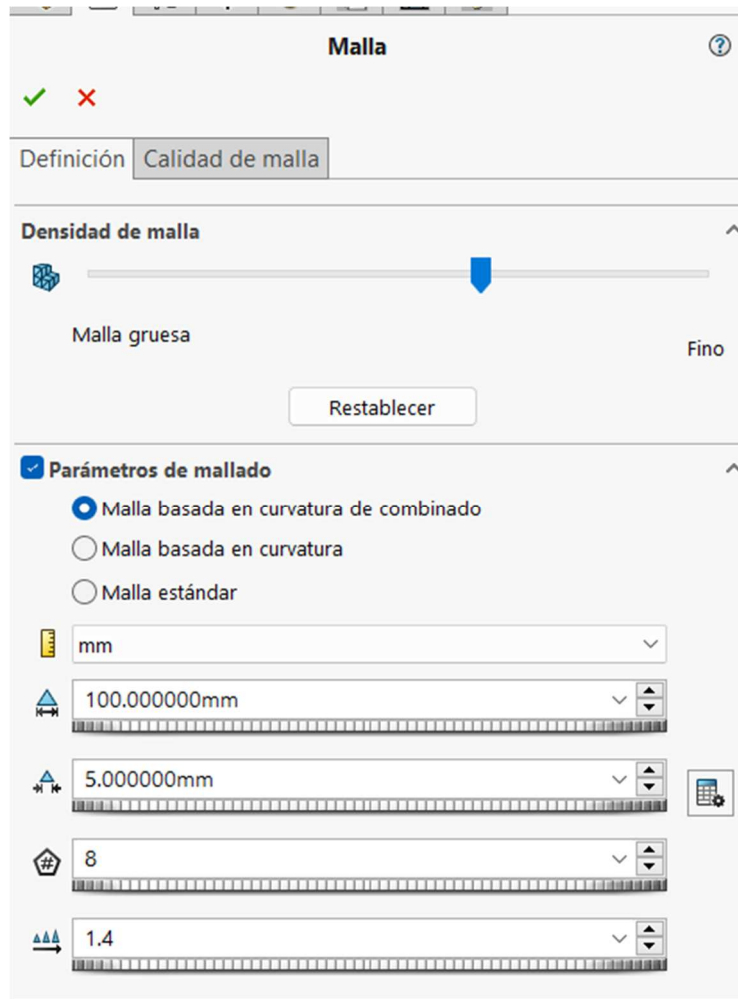


Ilustración 100. Parámetros para el mallado del modelo completo

Respecto a las conexiones, todas estas son rígidas, como ya hemos hablado antes, para la simplificación de modelo y poder alcanzar los resultados que estamos buscando, evitando la colocación de conectores en las piezas que amarran el brazo al chasis.

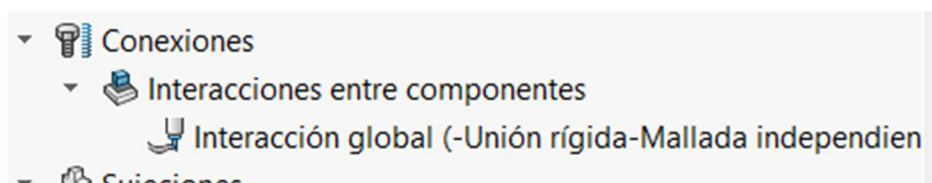


Ilustración 101. Conexiones en el modelo completo

Por último, la sujeción que realizamos en cada una de las siguientes simulaciones son las siguientes.

En el tercer punto se utiliza una sujeción avanzada, utilizando una geometría avanzada para su restricción, esta será en el eje en la cual está aplicándose la fuerza de tercer punto.

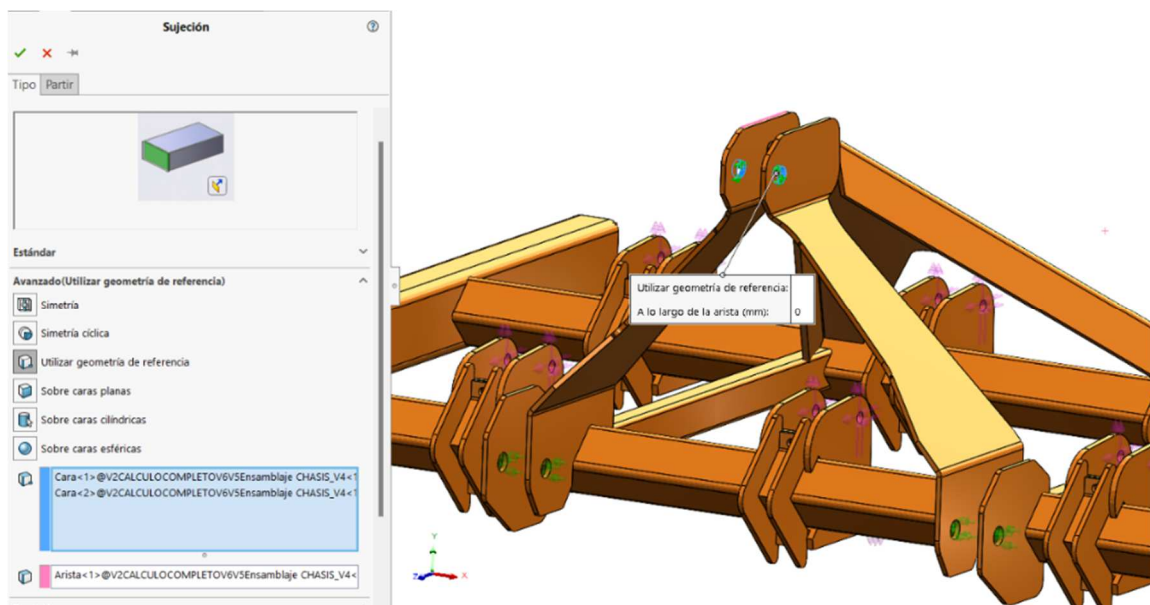


Ilustración 102. Sujeción avanzada en el tercer punto

En los dos estabilizadores de sistema de enganche, usamos sujeciones tipo bisagra fija, solo permitiendo el movimiento de rotación, simulando el enganche que se realiza en la realidad.

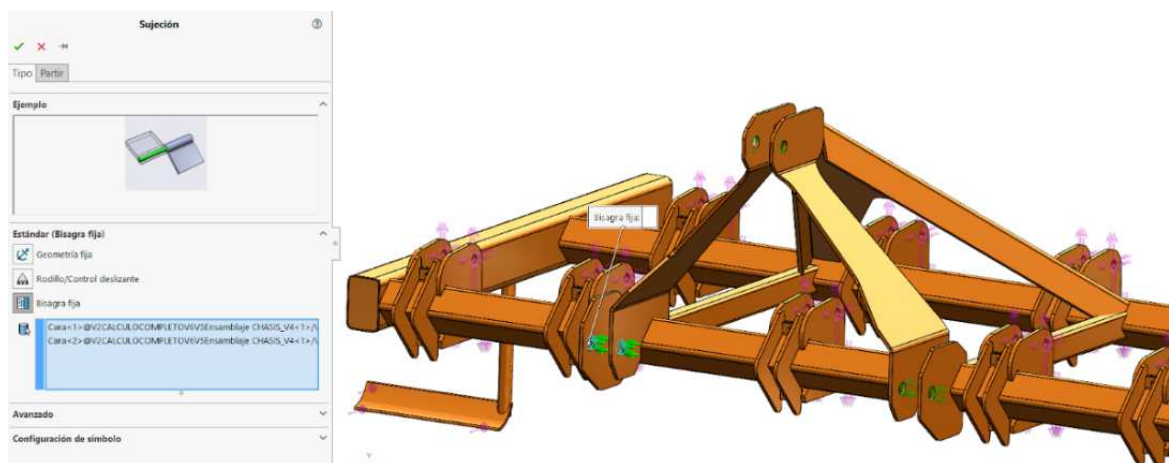


Ilustración 103. Sujeción tipo bisagra fija en el estabilizador 1

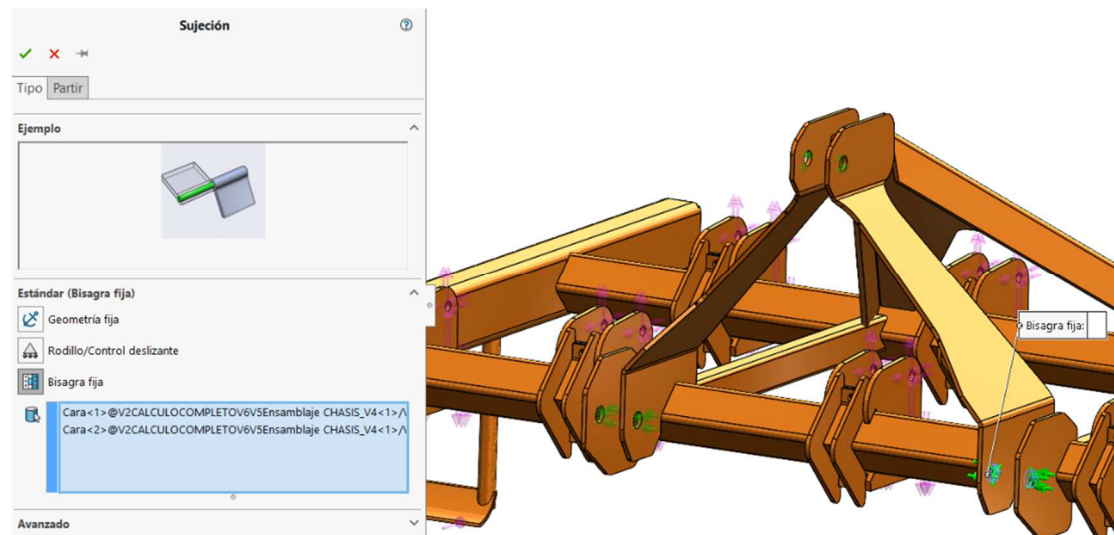


Ilustración 104. Sujeción tipo bisagra fija en el estabilizador 2

III.ii. ESTADO DE MAXIMA SOLICITACIÓN

Las fuerzas aplicadas para esta simulación son la máxima admitida por el conjunto del brazo, se muestran en la siguiente imagen, y se aplica la fuerza calculada en el pasador y en el muelle, de la pieza que engancha el brazo al chasis, repartida en los dos puntos de aplicación de las dos, puesto que el pasador lo reparte en los dos puntos.

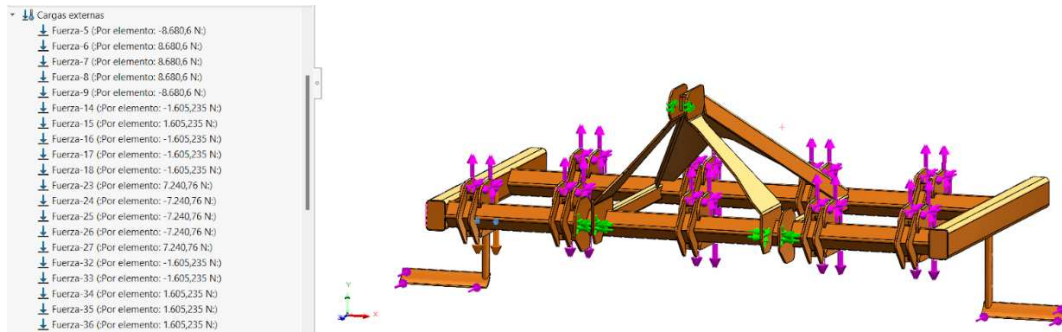


Ilustración 105. Fuerzas aplicadas (1) en el estado de máxima solicitación

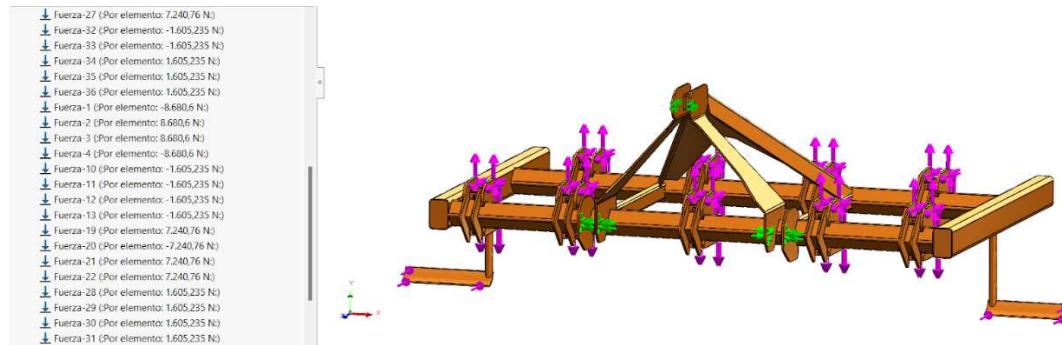


Ilustración 106. Fuerzas aplicadas (2) en el estado de máxima solicitación

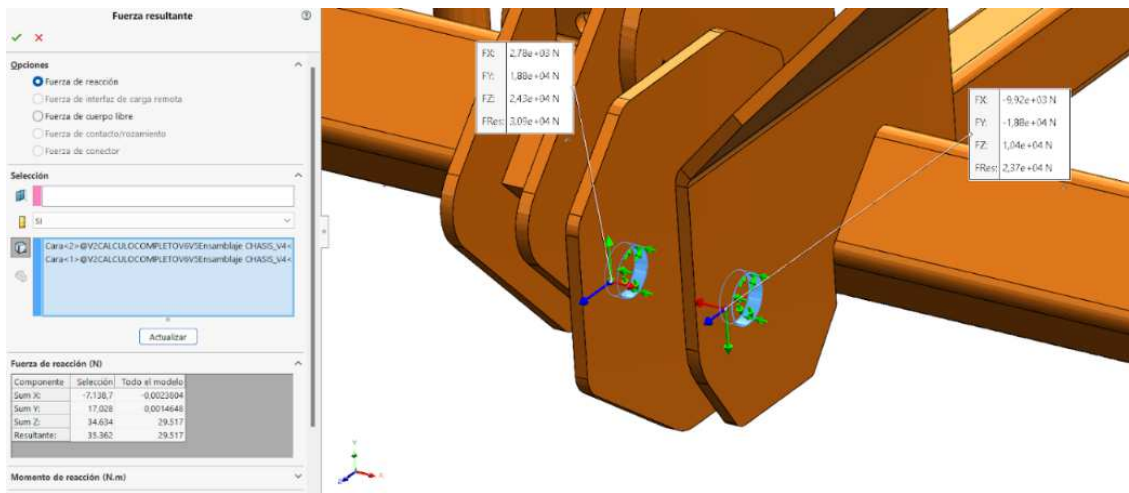


Ilustración 107. Fuerza resultante en el estabilizador 1, para máxima sollicitación.

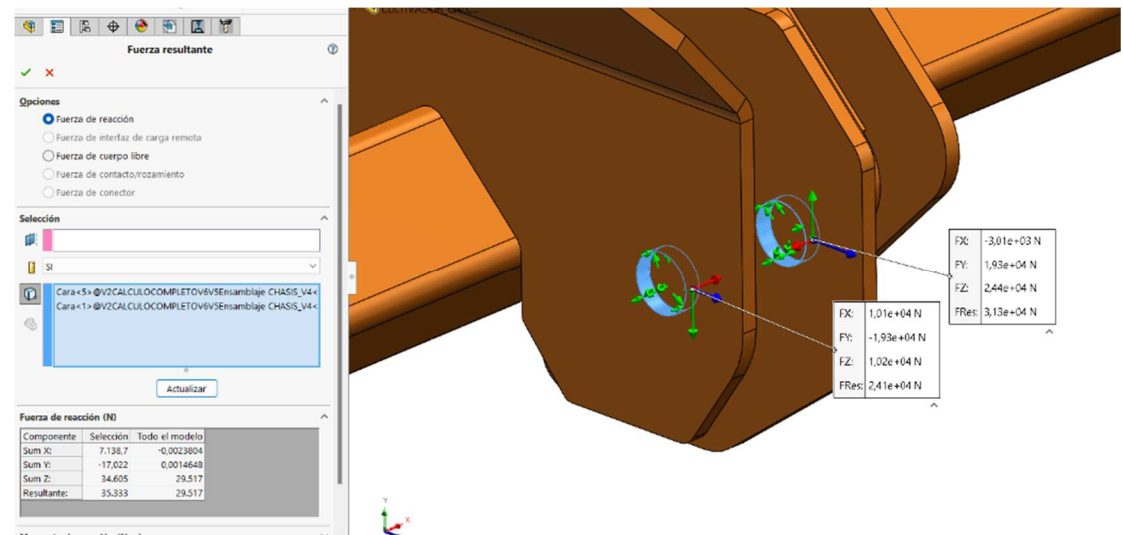


Ilustración 108. Fuerza resultante en el estabilizador 2, para máxima sollicitación.

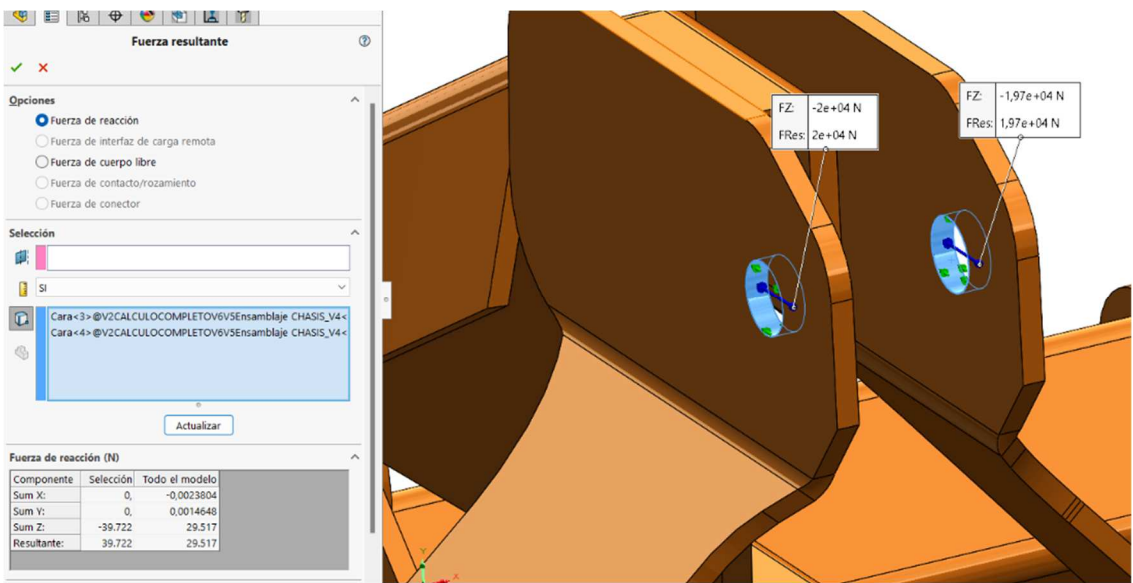


Ilustración 109. Fuerza resultante en el tercer punto, para máxima solicitud.

III.iii. TRABAJO EN PENDIENTE

En este estudio solo se aplican las fuerzas que se pueden ver en la figura 110, puesto que una parte del cultivador no está apoyando en el suelo, por la pendiente de este. La fuerza que se aplica en cada uno de los modelos simplificados del brazo, son las máximas admitidas por este.

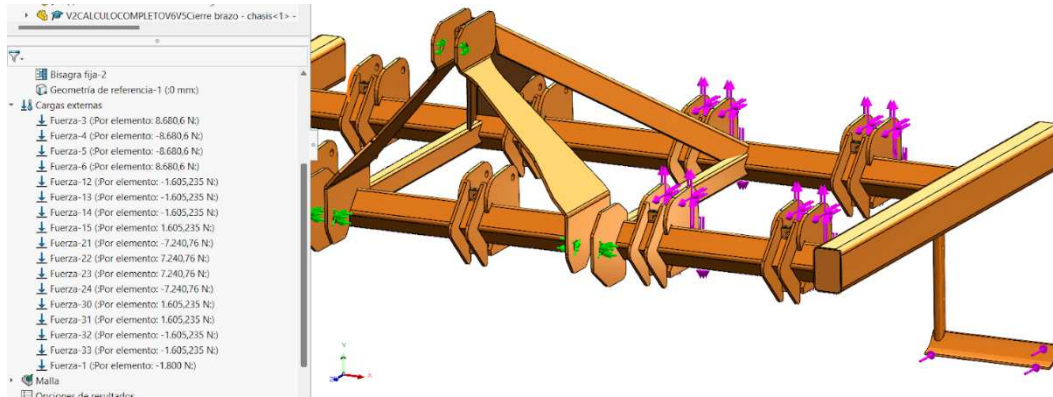


Ilustración 110. Fuerzas aplicadas en el estudio de trabajo en pendiente.

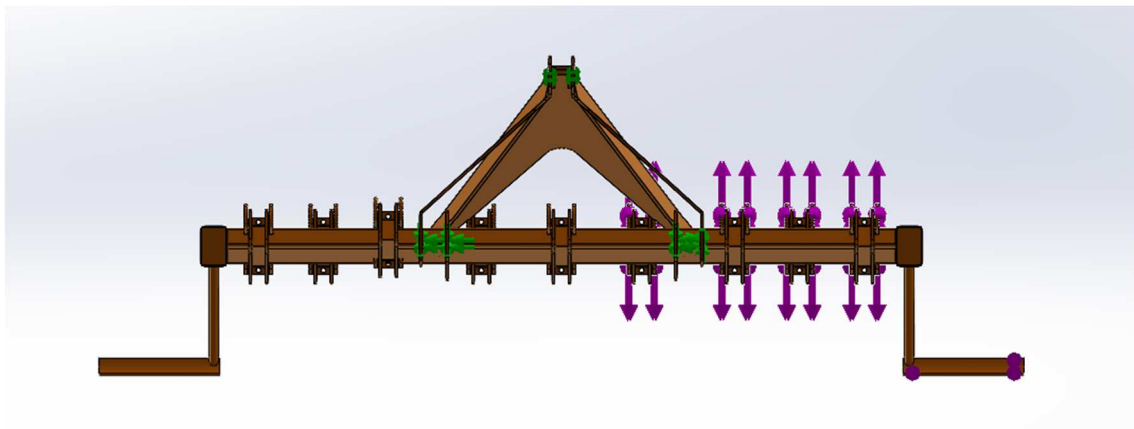


Ilustración 111. Vista alzado de las fuerzas aplicadas en trabajo en pendiente

Tras realizar el cálculo, las fuerzas obtenidas son las que se muestran en las siguientes imágenes.

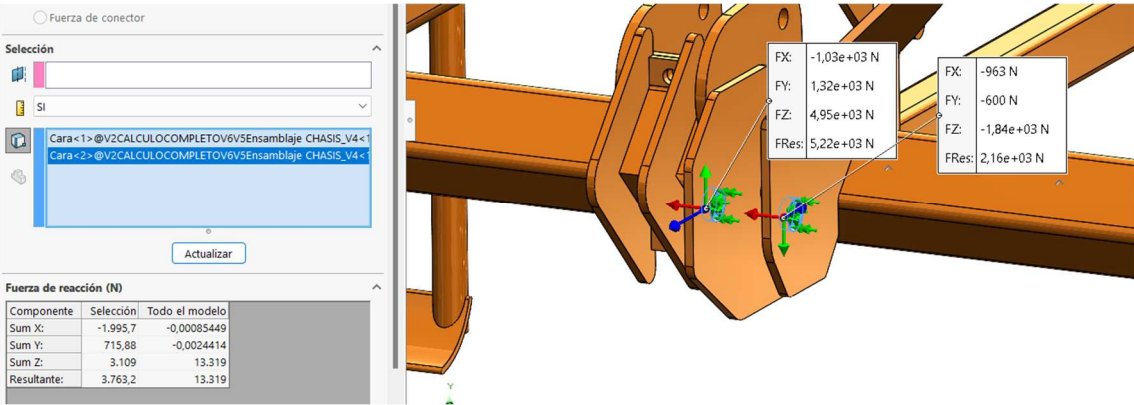


Ilustración 112. Fuerza resultante en el estabilizador (1) durante el trabajo en pendiente

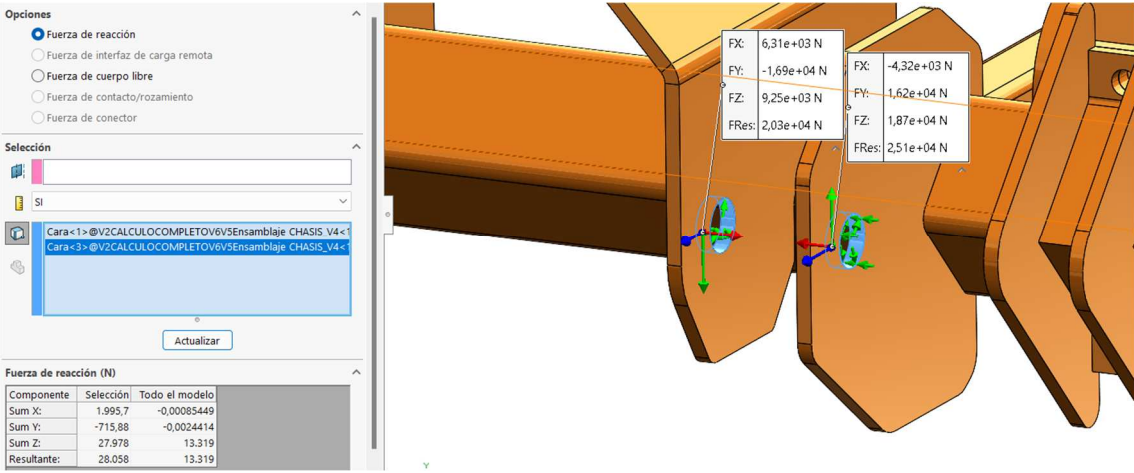


Ilustración 113. Fuerza resultante en el estabilizador (2) durante el trabajo en pendiente

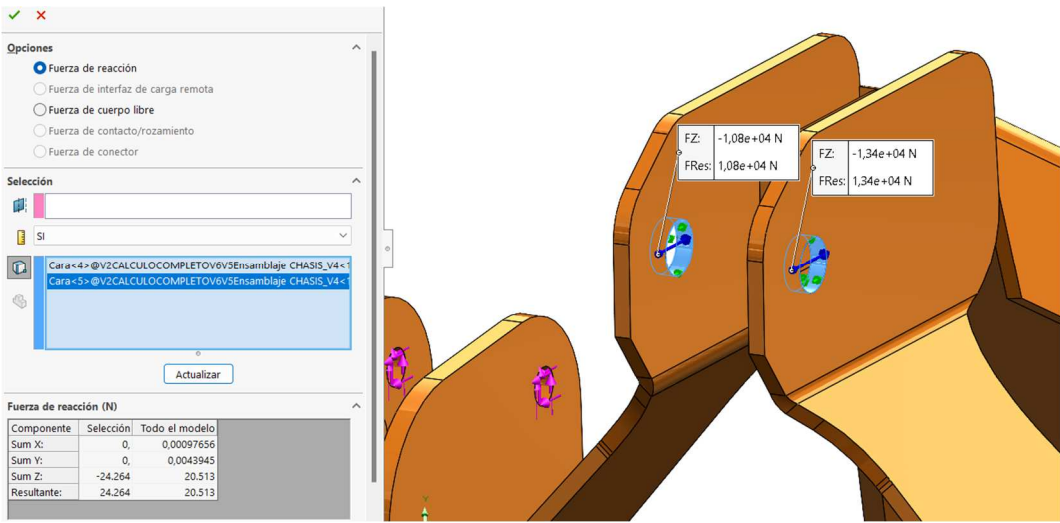


Ilustración 114. Fuerza resultante en el tripunjal durante el trabajo en pendiente

III.iv. SOLICITACIÓN MÁXIMA BRAZOS DELANTEROS

En el estudio de este apartado, solo se aplican fuerzas en los brazos delanteros de cultivador. Las fuerzas aplicadas es la fuerza limite aplicada en cada uno de los brazos.

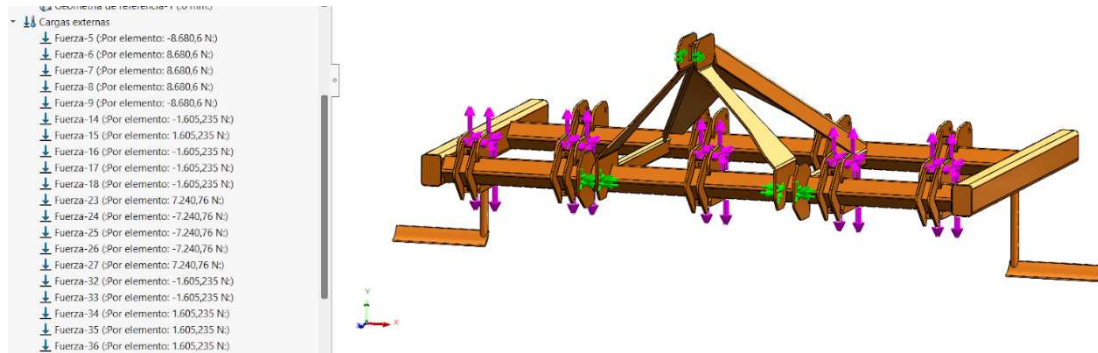


Ilustración 115. Fuerzas aplicadas en los brazos delanteros

Cuando se realiza la simulación, tras la aplicación de las fuerzas de la imagen 115 y las condiciones del sistema nombradas anteriormente, como la conexión global y las sujeciones, obtenemos los siguientes resultados.

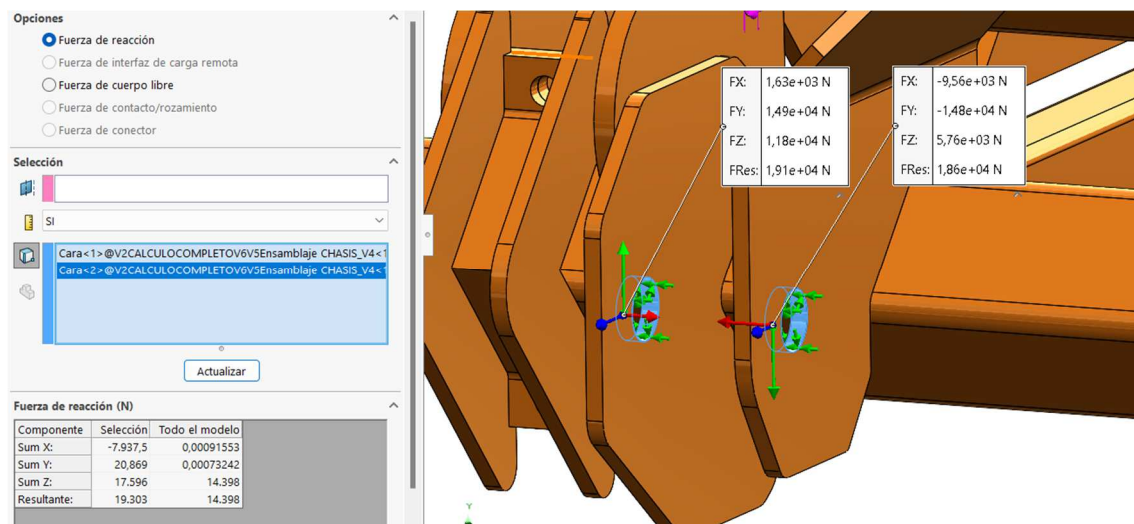


Ilustración 116. Fuerza resultante en el estabilizador 1 en el estudio de brazos delanteros

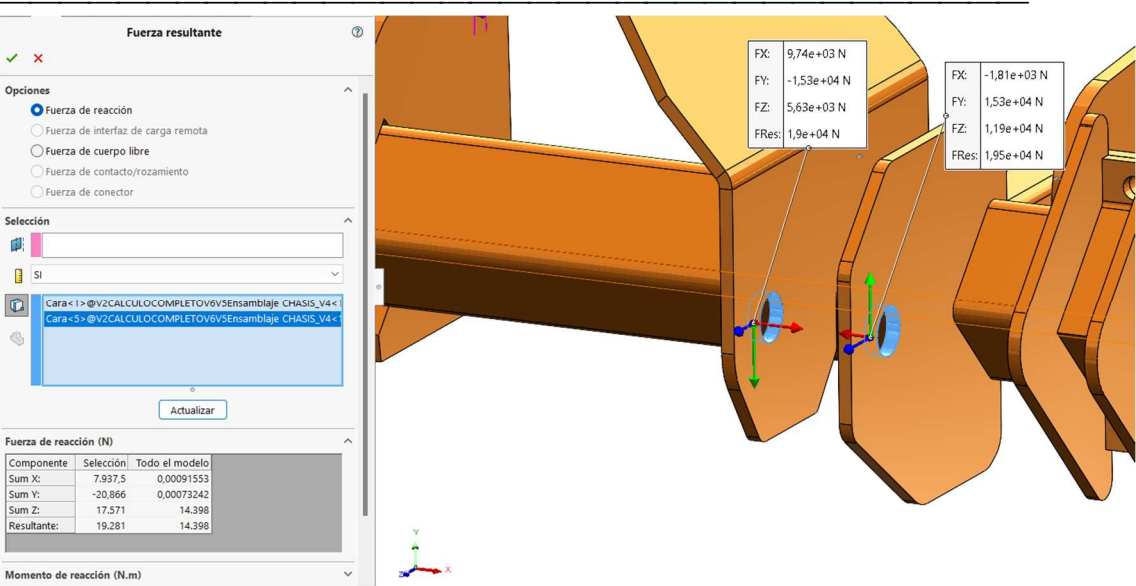


Ilustración 117. Fuerza resultante en el estabilizador 2 en el estudio de brazos delanteros

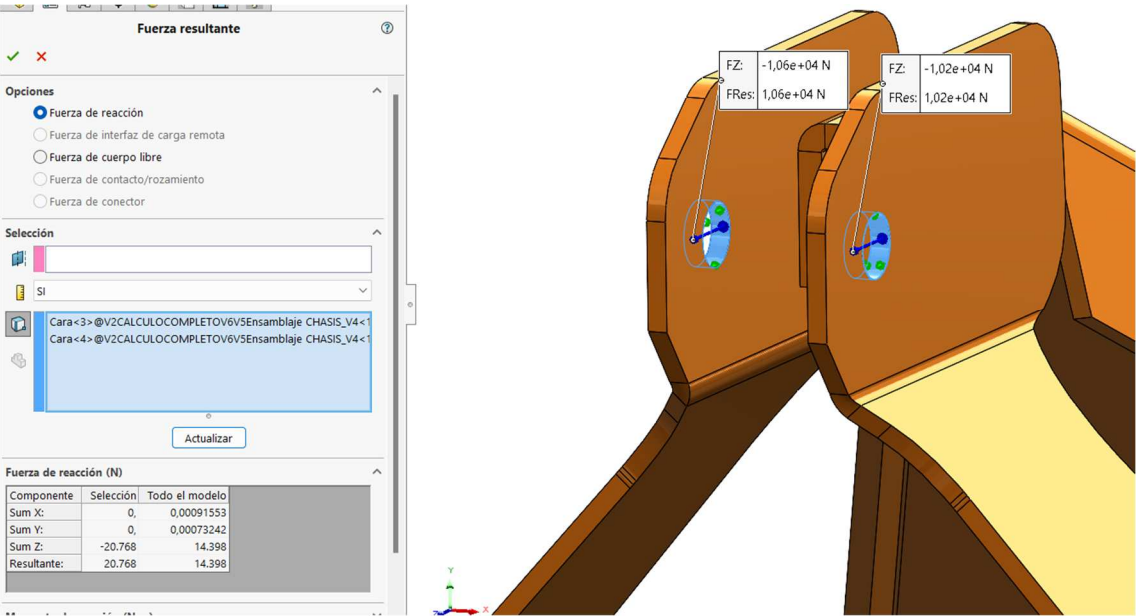


Ilustración 118. Fuerza resultante en el tercer punto en el estudio de brazos delanteros

III.v. TRABAJO NORMAL Y MAXIMA SOLICITACION EN 3 BRAZOS

En la imagen 119 podemos ver los brazos a los cuales se les somete a una fuerza límite, mientras que el resto de los brazos están sometidos a una fuerza normal, como podemos ver en las imágenes 120 y 121, estas fuerzas se aplican tras calcular las reacciones en el pasador y la fuerza del muelle para una resistencia de suelo normal.

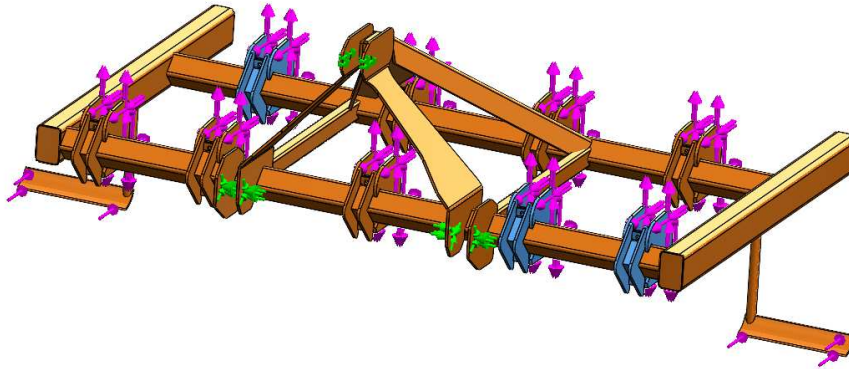


Ilustración 119. Brazos con fuerza límite resaltados

Cargas externas

Fuerza-1 (Por elemento: 8.680,6 N)
Fuerza-2 (Por elemento: 2.351 N)
Fuerza-3 (Por elemento: 2.351 N)
Fuerza-4 (Por elemento: -2.351 N)
Fuerza-5 (Por elemento: -8.680,6 N)
Fuerza-6 (Por elemento: 8.680,6 N)
Fuerza-7 (Por elemento: 2.351 N)
Fuerza-8 (Por elemento: 2.351 N)
Fuerza-9 (Por elemento: -2.351 N)
Fuerza-10 (Por elemento: -1.605,235 N)
Fuerza-11 (Por elemento: -435 N)
Fuerza-12 (Por elemento: -435 N)
Fuerza-13 (Por elemento: -435 N)
Fuerza-14 (Por elemento: -1.605,235 N)
Fuerza-15 (Por elemento: 1.605,235 N)
Fuerza-16 (Por elemento: -435 N)
Fuerza-17 (Por elemento: -435 N)
Fuerza-18 (Por elemento: -435 N)
Fuerza-19 (Por elemento: 7.240,76 N)
Fuerza-20 (Por elemento: 1.961,5 N)
Fuerza-21 (Por elemento: -1.961,5 N)
Fuerza-22 (Por elemento: 1.961,5 N)
Fuerza-23 (Por elemento: 7.240,76 N)
Fuerza-24 (Por elemento: -7.240,76 N)

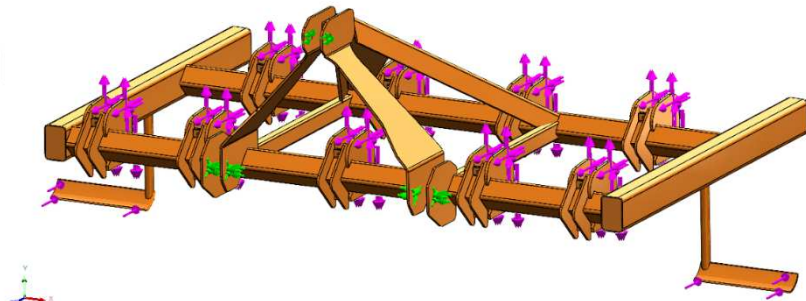


Ilustración 120. Fuerzas aplicadas (1) con trabajo normal y fuerza límite en 3 brazos

Malla

Trazado de calidad de malla

Fuerza-18 (Por elemento: -435 N)
Fuerza-19 (Por elemento: 7.240,76 N)
Fuerza-20 (Por elemento: 1.961,5 N)
Fuerza-21 (Por elemento: -1.961,5 N)
Fuerza-22 (Por elemento: 1.961,5 N)
Fuerza-23 (Por elemento: 7.240,76 N)
Fuerza-24 (Por elemento: -7.240,76 N)
Fuerza-25 (Por elemento: -1.961,5 N)
Fuerza-26 (Por elemento: -1.961,5 N)
Fuerza-27 (Por elemento: 1.961,5 N)
Fuerza-28 (Por elemento: 1.605,235 N)
Fuerza-29 (Por elemento: 435 N)
Fuerza-30 (Por elemento: 435 N)
Fuerza-31 (Por elemento: 435 N)
Fuerza-32 (Por elemento: -1.605,235 N)
Fuerza-33 (Por elemento: -1.605,235 N)
Fuerza-34 (Por elemento: 435 N)
Fuerza-35 (Por elemento: 435 N)
Fuerza-36 (Por elemento: 435 N)
Fuerza-37 (Por elemento: -3.600 N)

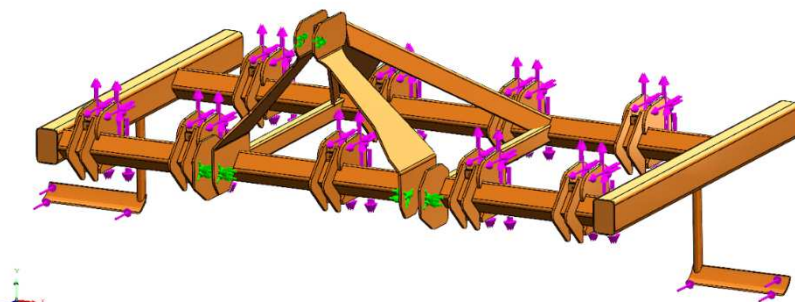


Ilustración 121. Fuerzas aplicadas (2) con trabajo normal y fuerza límite en 3 brazos

Tras realizar la configuración del sistema con las fueras nombradas, las sujeciones y la malla, se realiza la simulación y se obtienen los resultados que mostramos en las siguientes imágenes.

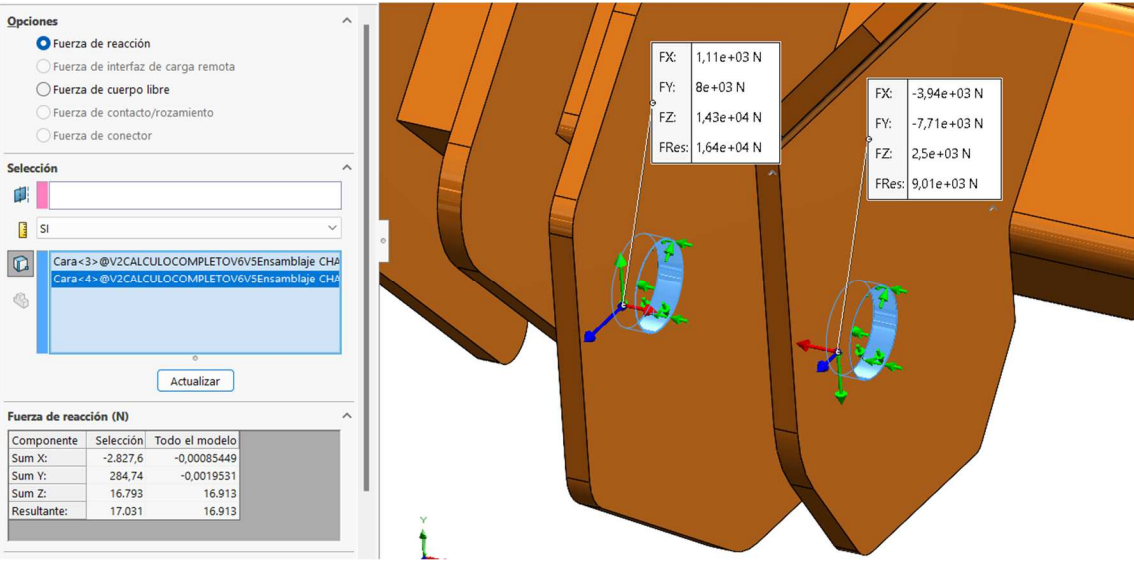


Ilustración 122. Fuerza resultante en el estabilizador 1

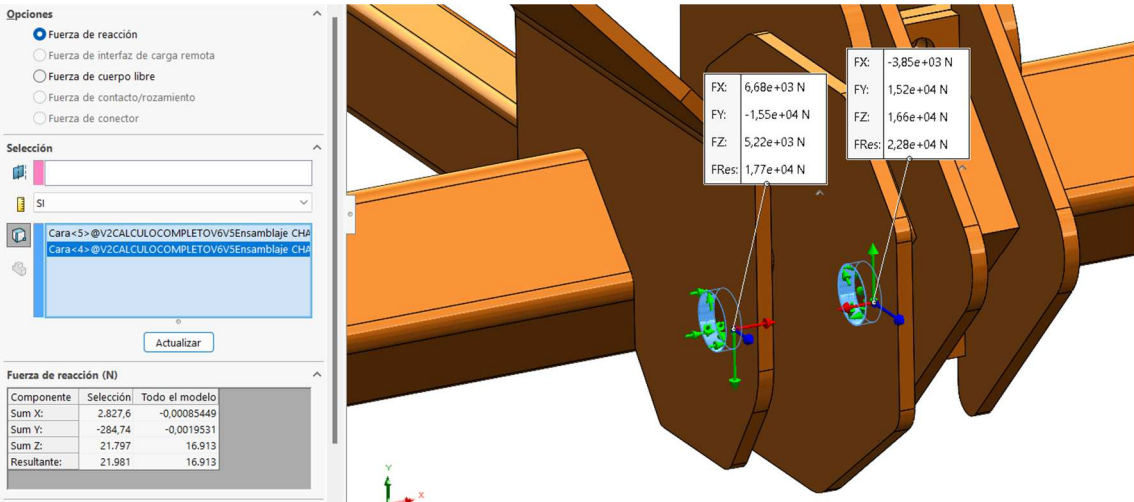


Ilustración 123. Fuerza resultante en el estabilizador 2

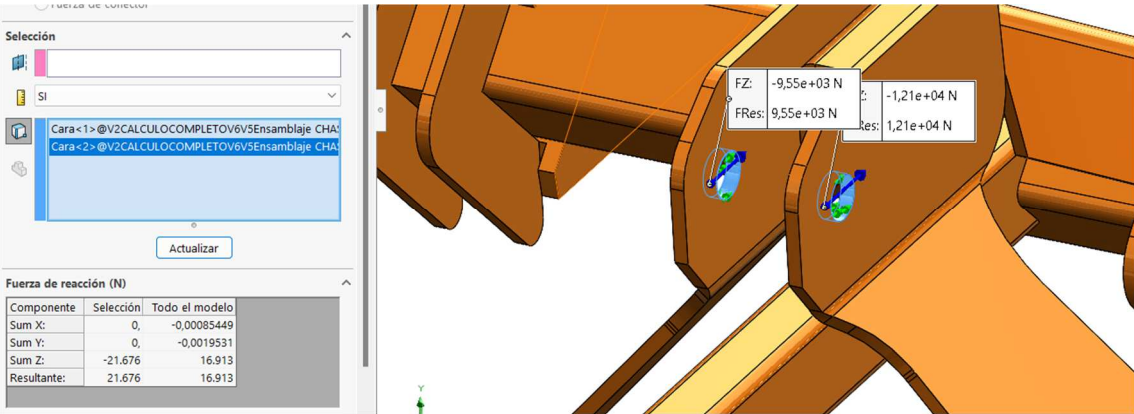


Ilustración 124. Fuerza resultante en el tercer punto

ANEXO IV: INTERCEPAS

IV.i. INTERCEPAS SELECCIONADO

Se trata de un intercepas mecánico-hidráulico con palpador, que podemos encontrar en la página web de Hernández Ayala [3].

Este modelo de intercepas tiene la particularidad de que el trabajo lo realiza un sistema hidráulico, el cual irá controlado por el tractor, para el retroceso de la cuchilla cuando el palpador (varilla) contacta con la planta, sumado a un sistema mecánico que ofrece resistencia a la cuchilla que trabaja el suelo, pudiendo controlar la resistencia de esta a través de un muelle que podremos regular dependiendo de la dureza del terreno que vayamos a trabajar. El intercepas está disponible en dos versiones distintas según el tipo de cultivo: cuchilla corta para viña y cuchilla larga para árboles como olivo, almendro o pistacho. Económico, sencillo en su construcción y funcionamiento, pero sobre todo tremendamente eficaz para eliminar cualquier tipo de mala hierba sin la utilización de herbicidas.



Ilustración 125. Intercepas con sus partes diferenciadas

1. Pieza mediante la cual amarramos el intercepas al chasis del cultivador
2. Varilla que detecta cuando hay cepas en “su camino” y recoge la cuchilla
3. Cuchilla que realiza la labor
4. Distribuidor hidráulico que va conectado al tractor
5. Cilindro hidráulico que abre o cierra según lo que le indica el palpador para que la cuchilla esta recogida o extendida
6. Muelle de tracción como segunda opcion para el mecanismo del palpador y trabajar solo de forma mecánica
7. Tuerca reguladora de presion, para regular la fuerza que realiza el palpador

Las características principales de este intercepas son las siguientes:

- Sistema mixto (hidráulico-mecánico) patentado.
- Se puede trabajar de forma independiente con el sistema mecánico (solo muelle), tanto como con el sistema mixto (hidráulico+mecánico).
- La presión del aceite se regula en función de la dureza del suelo permitiendo una mejora del rendimiento del aceite hidráulico al trabajar mejor a baja presión.
- Chasis y conjunto cuchilla reforzados.
- Disponible en dos versiones tanto para lado izquierdo como derecho y dos longitudes de cuchilla según el tipo de cultivo o características de la explotación.
- Fácil y rápida regulación de la altura.
- Palpador o varilla hidráulico, progresivo y de sensibilidad variable.
- El intercepas mixto es una máquina adaptable y de fácil montaje a cualquier apero agrícola o chasis.
- La gran ventaja sobre otros intercepas es su sistema mixto (hidráulico-mecánico) que no calienta tanto el aceite del tractor.
- Incluye latiguillos hidráulicos necesarios para su instalación y los soportes para acoplarlo a cualquier chasis de cultivador.
- Opcionalmente se le puede equipar con central hidráulica a toma de fuerza 540 R.P.M.
- Intercepas valido para cultivos de viña, olivar, almendros, pistachos y otros frutales.
- Producto fabricado en España con homologación CE.



Ilustración 126. Intercepas amarrado a chasis

IV.ii. BENEFICIOS DEL USO DE INTERCEPAS

El intercepas es una herramienta cada vez más utilizada por los agricultores e incluida en diferentes aperos o en el propio tractor. Se utiliza en cultivos como la viña, olivos, almendros, etc.... con diferentes medidas, en función del cultivo en el cual va a ser aplicado y se usa sobre todo en cultivos ecológicos. Con la experiencia en el cultivo de viñedos y añadiendo el uso de libros para profundizar con datos más técnicos, destacamos las principales ventajas de utilizar esta herramienta son:

- **Aumenta la productividad:**

Se mantiene limpio el espacio alrededor de los cultivos, en nuestro caso particular, alrededor de cada cepa, lo que reduce esa competencia por el agua y los nutrientes, aumentando el rendimiento.

- **Eliminación de malezas en zonas complicadas:**

Eliminar malezas de zonas de difícil acceso, reduciendo la competencia que estas realizan con las vides, por lo tanto, se mejorará el crecimiento y la salud de estas.



Ilustración 127. Viñedo antes de paso de un cultivador con intercepas

- **Se reduce el uso de herbicidas:**

Puesto que eliminamos las malas hierbas de forma mecanizada, se reduce el uso de productos químicos que afectan al medio ambiente, por lo tanto, es especialmente útil en este tipo de cultivos donde se busca la eliminación de este tipo de productos, cultivos ecológicos.

- **Conservación del suelo:**

Proporciona una buena aireación del suelo entre plantas, reduciendo la compactación entre las zonas de difícil acceso, las zonas de raíces, lo que facilitará la penetración del agua y nutrientes en estas zonas, y mejorará la calidad de suelo.

- **Adaptabilidad al terreno y protección de las vides:**

Los intercepas son ajustables y sensibles al entorno, permitiendo trabajar en terrenos accidentados o con pendiente sin dañar las plantas, no hay problema en trabajar con estos

en, por ejemplo, viñedos de monte. Por su adaptabilidad, también están diseñados para evitar dañar las cepas, gracias a sus sistemas de sensores, como el palpador.

- **Prácticas sostenibles:**

Reduce la dependencia de químicos para el manejo de las malezas, alineándose con estrategias de viticultura sostenible y ecológica. En el ámbito de los viñedos, se reduce cada vez más el uso de químicos, utilizando cintas de olor y diferentes técnicas no tan agresivas, para generar áreas de olor en las cuales el fruto y la vid están protegidas frente a las plagas y sumado a esto, se utilizan los depredadores naturales (por ejemplo, las mariquitas para el control de pulgones) para con insectos u otros organismos combatir las posibles plagas y realizar un cultivo mucho más sostenible por un uso muy reducido de químicos.

- **Ahorro en la mano de obra:**

Se ahorra en la mano de obra, ya que automatiza una labor que de otra forma requería de un trabajo manual intensivo. Sin el uso de intercepas hay que hacer uso de máquinas manuales o máquinas muy específicas, como la de la imagen 128 para la eliminación de las malas hierbas que aparecen en un sitio inaccesible para el cultivador.



Ilustración 128. Máquina manual para la aplicación de herbicida

En lo que respecta a el cuidado del medio ambiente, hay que tener en cuenta, que este tipo de herramientas, aunque su principal función es el manejo mecánico de las malezas y la mejora del suelo, tiene implicaciones directas e indirectas en la reducción del uso de productos químicos. Este afecta principalmente a las prácticas de control de malezas, tiene una clara relación indirecta y favorece a ese cuidado del medio ambiente y a la reducción del uso de insecticidas y herbicidas, puesto que su uso tiene una relación indirecta con el uso de estos productos por los siguientes motivos:

Insecticidas que suelen reducirse o evitarse [7]:

- **Insecticidas dirigidos a insectos asociados con malezas:**
 - Malezas como refugio: Las malezas en el suelo pueden servir como refugio para plagas como pulgones, trips o saltamontes. Al eliminar estas malezas con un intercepas, se reduce la necesidad de insecticidas específicos para controlar estos insectos secundarios.
- **Insecticidas no selectivos de amplio espectro:**
 - Al promover un manejo más sostenible del suelo y fomentar un ecosistema equilibrado, se puede reducir el uso de insecticidas de amplio espectro que afectan a insectos beneficiosos.
- **Insecticidas específicos en cultivos con coberturas vegetales eliminadas:**
 - En viñedos donde las malezas son eliminadas mecánicamente, algunas plagas que dependen de estas como hábitat, como los nemátodos o insectos que viven en zonas húmedas, pueden disminuir.



Ilustración 129. Tractor aplicando herbicida en la "tira"

Puesto que se produce una reducción significativa del uso de productos químicos como son los herbicidas y los insecticidas, esto tiene un beneficio en el ecosistema, puesto que se promueven los “enemigos naturales”. El intercepas, como hemos nombrado anteriormente, fomenta el manejo mecánico que no perturba la fauna benéfica como sí pueden hacerlo los pesticidas, reduciendo la necesidad de controlar las plagas con químicos, porque el propio ecosistema se regula.

Independientemente de todo, hay insecticidas que siguen siendo necesarios, puesto que el uso de intercepas no elimina la necesidad de manejar las plagas directamente relacionadas con los viñedos, como pueden ser [7]:

- Polilla del racimo (*Lobesia botrana*).
- Araña roja o amarilla.
- Mosquito verde (*Empoasca vitis*).

Estas plagas suelen requerir insecticidas específicos o biológicos independientemente del manejo de malezas.

Por lo tanto, después de todos los puntos nombrados anteriormente, podemos decir que el uso de un intercepas está más relacionado con la eliminación de herbicidas, pero puede influir indirectamente en la reducción del uso de algunos insecticidas específicos, especialmente los que están asociados con el control de plagas ligadas a las malezas o al desequilibrio ecológico del viñedo.

ANEXO V: TRACTOR

El tractor seleccionado se muestra en este anexo, se trata de un tractor de la marca John Deere, específico para trabajos de alto valor, como en este caso serie la viticultura, de la serie 5000.



Ilustración 130. Tractor seleccionado

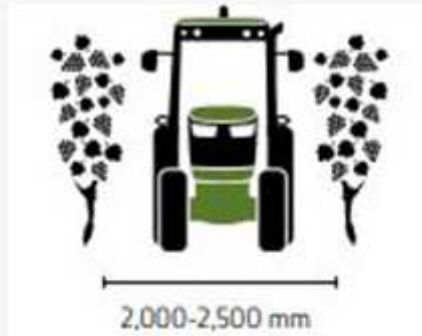
5075GN

Tractor

- Motor de 3,4 l
- Potencia neta 75 hp (55 kW) (ECR-R120)
- Tecnología de motor diésel solo
- Distancia entre ejes: 2148 mm
- Anchura: 1,3-1,7 m
- Cabina estrecha o muy estrecha

Ilustración 131. Principales características del tractor seleccionado

5GN



Para trabajar en viñedos con hileras anchas

5GN (CABINA ESTRECHA)



Para trabajar en viñedos con hileras estrechas

Ilustración 132. Configuraciones de la serie 5000

UNIDAD	5075G				5090G				5105G				5115G		
	5075GV	5075GN	5075GF	5075GL	5090GV	5090GN	5090GF	5090GL	5105GV	5105GN	5105GF	5105GL	5115GV	5115GN	5115GF
SISTEMA HIDRÁULICO															
Tipo de sistema	Sistema hidráulico de circuito abierto														
Bomba de serie – caudal por minuto al régimen nominal	I	27													
2.ª bomba de serie – caudal por minuto al régimen nominal	I	60													
3.ª bomba opcional – caudal por minuto al régimen nominal	I	27													
N.º máximo de VMD		4		3		4		3		4		3		4	
N.º máximo de acopladores de VMD traseros		7-9		7		7-9		7		7-9		7		7-9	7
N.º máximo de enchufes de VMD ventrales		0-7		ND		0-9		ND		0-9		ND		0-9	
PUESTO DE CONDUCCIÓN															
Plataforma de conducción abierta (OOS)				x	x			x	x			x	x		
Cabina estrecha, 1,25 m de ancho, con aire acondicionado de cat. 2			x	x			x	x			x	x		x	x
Cabina muy estrecha, 1 m de ancho, con aire acondicionado de cat. 2		x	opcional			x	opcional			x	opcional			x	opcional
Cabina de perfil bajo, con aire acondicionado de cat. 2					x										
Sistema de filtración de la cabina de categoría 4				ND			opcional		ND		opcional		ND		opcional
Luces de trabajo LED (8)				ND			opcional		ND		opcional		ND		opcional
EJE DELANTERO															
Simple tracción			x	x	x										ND
Tracción en las cuatro ruedas			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Suspendido con tracción en las cuatro ruedas			x	x	x	ND	x	x	x	ND	x	x	x	ND	x
ENGANCHE TRIPUNTAL – TRASERO															
Tipo de control de enganche de tres puntos trasero	Mecánico de serie / electrónico opcional (solo cabina)														
Categoría		I	I/II			I	I/II			I	I/II			I	I/II
Capacidad de elevación máx. al punto de enganche	kN		25,4			26	25,4 (OOS) / 26 (cabina)			25,4	26			25,4 (OOS) / 26 (cab)	26
Capacidad de elevación máx. al punto de enganche con cilindro de elevación adicional	kN		ND	30,4		ND	30,4 (OOS)			ND	30,4 (OOS)			ND	
ENGANCHE TRIPUNTAL – DELANTERO – CAPACIDAD DE ELEVACIÓN															
Categoría	II														
Capacidad de elevación máx. al punto de enganche	kg		1.680	1.700		1.680	1.700		1.680	1.700		1.680	1.700		1.680
TDF TRASERA															
Tipo de embrague	Embrague seco monodisco / embrague en baño de aceite multidisco (solo con 24F / 12R PR y 30F / 15R PR)														
540/540E	x														
540 / 1.000	x														
TDF sincronizada con el avance	opcional														
Régimen motor a régimen nominal de TDF (TDF trasera 540/540E/1.000)	rpm	1.938 / 1.648 / 1.962				1.938 / 1.648 / 1.962 (OOS) – 1.917 / 1.643 / 1.962 (cabina)									
TDF FRONTAL															
Tipo	Conexión electrohidráulica														
540E / 1.000	x														
Estrías	6														

Ilustración 133. Tabla de características del tractor