



**Diseño de un prototipo de sistema de arado mecánico (Tipo Cincel) para terrenos franco-arenosos en la finca Las Flores de Villavieja (Huila)**

**Juan Diego Zambrano Medina**

20451516769

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022



**Diseño de un prototipo de sistema de arado mecánico (Tipo Cincel) para terrenos franco-arenosos en la finca Las Flores de Villavieja (Huila)**

**Juan Diego Zambrano Medina**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Mecánico**

Director (a):

Ing. Yeison Montealegre

Línea de Investigación:

Research in Energy and Materials REM

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022



## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

\_\_\_\_\_ ,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de \_\_\_\_\_ .

\_\_\_\_\_

Firma del Tutor

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

Neiva, 29 noviembre 2022.

# Contenido

Pág.

Resumen.....	15
Abstract.....	16
Introducción .....	17
<b>1. Capítulo 1: Marco referencial .....</b>	<b>20</b>
1.1 Antecedentes .....	20
1.2 Objetivos .....	25
1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	25
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	25
1.3 Justificación .....	26
1.4 Metodología.....	27
1.5 Marco teórico.....	30
1.5.1 <i>Los Arado de reja y vertedera</i> .....	30
1.5.2 <i>El arado de discos</i> .....	31
1.5.3 <i>Características dimensionales de sistemas de arado tipo Cincel.</i> .....	32
1.5.4 <i>Tipologías</i> .....	34
1.5.5 <i>Ancho de corte y eficiencia de operación</i> .....	35
1.5.6 <i>Condiciones operación estándar</i> .....	36
1.5.7 <i>Material de fabricación cincel para arado</i> .....	37
1.5.8 <i>Caracterización de suelo en Villavieja (Huila)</i> .....	37
1.5.9 <i>Técnicas de arado en finca las flores</i> .....	38
1.5.10 <i>Componentes de arado de cincel comercial</i> .....	38
<b>2. Capítulo 2: Concepto de diseño.....</b>	<b>40</b>
2.1. Componentes y Geometría del cincel .....	40
2.2. Requerimientos de diseño .....	41
2.3. Matriz morfológica para selección de prototipo.....	42
2.3.1. <i>Pesos por factor</i> .....	43
2.3.2. <i>Escala de evaluación</i> .....	44
2.4. Alternativas.....	45
2.4.1. <i>Alternativa 1</i> .....	45
2.4.2. <i>Alternativa 2</i> .....	46
2.5. Selección de alternativas.....	47
2.6. Desarrollo del concepto.....	49

<b>3. Capítulo 3: Cálculos y resultados del prototipo seleccionado .....</b>	<b>51</b>
<b>3.1. Caculo del cincel .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2. Análisis estático de cargas para cincel.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.1. Condiciones de cargas y análisis de sensibilidad .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.2. Análisis de tensión del cincel .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.3. Análisis de desplazamiento del cincel .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.4. Análisis de factor de seguridad de cincel.....</b>	<b>57</b>
<b>3.3. Análisis estático de cargas para chasis .....</b>	<b>59</b>
<b>3.3.1. Análisis de tensión del chasis .....</b>	<b>59</b>
<b>3.3.2. Análisis de desplazamiento del chasis .....</b>	<b>60</b>
<b>3.3.3. Análisis de factor de seguridad de chasis .....</b>	<b>61</b>
<b>3.4. Análisis de costos fabricación prototipo.....</b>	<b>63</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>66</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>68</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>79</b>



## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1.</b> Diseño de sistema subsolados biónico .....	21
<b>Figura 1-2.</b> Diseño Plough sistema de arado. ....	22
<b>Figura 1-3.</b> Diseño de sistema de arado de disco para tracción mediante motocicleta.....	23
<b>Figura 1-4.</b> Arado tipo cincel.....	24
<b>Figura 1-5.</b> Método propuesto Shigley .....	27
<b>Figura 1-6.</b> Inversión de suelos según el arado.....	30
<b>Figura 1-7.</b> Arado vertedera.....	31
<b>Figura 1-8.</b> Arado de disco .....	32
<b>Figura 1-9.</b> Tipos de arado cincel .....	34
<b>Figura 1-10.</b> Distancia entre cinceles es de 60 cm.....	36
<b>Figura 1-11.</b> Caracterización suelos departamento del huila.....	37
<b>Figura 1-12.</b> Parte de un arado tipo cincel .....	38
<b>Figura 2-1.</b> Medidas cincel para arado.....	41
<b>Figura 2-2.</b> Alternativa de configuración de sistema de arado tipo cincel .....	46
<b>Figura 2-3.</b> Alternativa 2.....	47
<b>Figura 2-4.</b> Prototipo de sistema de arado por cincel .....	49
<b>Figura 3-1.</b> Visualización torque de salida .....	52
<b>Figura 3-2.</b> Configuración de cincel (Estrella) .....	53
<b>Figura 3-3.</b> Análisis de sensibilidad.....	54
<b>Figura 3-4.</b> Comportamiento del cincel a esfuerzos de tensión. ....	55
<b>Figura 3-5.</b> Análisis de desplazamiento en la estructura del cincel. ....	56
<b>Figura 3-6.</b> Coeficiente seguridad cincel. ....	58
<b>Figura 3-7.</b> Comportamiento del chasis a esfuerzos de tensión.....	59
<b>Figura 3-8.</b> Análisis de desplazamiento en la estructura del chasis.....	60
<b>Figura 3-9.</b> Coeficiente seguridad chasis.....	61

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1.</b> Potencia requerida según tipo de cincel .....	35
<b>Tabla 2-1.</b> Peso factores de decisión.....	43
<b>Tabla 2-2.</b> Criterios de evaluación.....	44
<b>Tabla 2-4.</b> Evaluación y selección de propuestas.....	48
<b>Tabla 3-1.</b> Tabla apara selección de soldadura .....	63

## Lista de Símbolos y Abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	$m^2$	$\pi r^2$
F	Fuerza	N.m	M*a
N	Normal	N. m	
D	Diámetro	r	2r

### Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$S_{sy}$	Resistencia admisible de carga	$\frac{m^2}{g}$	
$\sigma$	Esfuerzo Normal	1	
$\tau$	Esfuerzo cortante	1	
$K_s$	Factor de servicio	1	
		1	

### Subíndices

### Superíndices

#### Superíndice Término

n	Exponente, potencia
---	---------------------

### Abreviaturas

#### Abreviatura Término

kg	Kilogramos
g	Fuerza de gravedad
gr	Gramos

*(Dedicatoria)*

*A Dios por darme perseverancia y sabiduría para lograr esta meta tan importante en mi formación profesional.*

*A mis padres, María del Carmen y Marco, por el apoyo incondicional que me brindaron durante todo este proceso universitario, por ser quienes están ahí para darme ánimos de lograr cada una de mis metas.*

## **Agradecimientos**

Mi más sincero agradecimiento a mi director Ph. D, Ingeniero Yeison Montealegre por su confianza y acompañamiento desde el inicio de este proyecto, quien siempre estuvo pendiente de nuestro proceso y nos brindó todo su apoyo y conocimiento para hacer de esto posible, a la ingeniera Martha Lucia Solano por su ayuda y respaldo al inicio de nuestro proyecto, ya que estuvo pendiente de nosotros y confió en nuestras habilidades, agradecemos a la Universidad y a todo el plantel docente por habernos formado profesionalmente, a todos, muchas gracias



## Resumen

Los sistemas de preparación mecánica de suelos a partir del uso de sistemas de arados constituyen una base tecnológica para mejorar la dinámica de desarrollo germinal de una planta y de los costos de producción, sin embargo actualmente la labor de preparación demanda altos jornales y por ende costos adicionales en el proceso; para solucionar estas problemáticas se desarrolló una propuesta de un “prototipo de sistema de arado mecánico (Tipo Cincel) para terrenos franco-arenosos en la finca Las Flores de Villavieja (Huila). La investigación es de tipo exploratoria-descriptiva y de fases. La evaluación de prototipos se realiza a partir de una matriz morfológica con dos alternativas de diseño, los cuales se enfocaron en ampliar el número de líneas de arado para aumentar el surcado de la tierra para posterior siembra, según lo anterior el prototipo de sistema de arado compuesto por 11 líneas cuya configuración de cincel tipo estrella es la opción más ajustada y conveniente para la finca; al analizar mediante método Von mises el cincel se concluyó que el máximo esfuerzo que soporta este es de 83,86 Mpa el cual genera un desplazamiento máximo de 0.2282 mm con un factor de diseño de 3,74; el estudio concluye que para lograr un diseño altamente eficaz se deben contemplar de forma conceptual los requerimientos del cliente.

Palabras clave: Maíz, arado tipo cincel, tensión, Bastidor,

### Abstract

Mechanical soil preparation systems based on the use of plow systems constitute a technological base to improve the dynamics of germinal development of a plant and production costs, however, currently the preparation work demands high daily wages and therefore additional costs in the process; to solve these problems, a proposal for a "prototype of a mechanical plow system (chisel type) for sandy loam soils in the Las Flores de Villavieja (Huila) farm was developed. The research is exploratory-descriptive and phased. The evaluation of prototypes is based on a morphological matrix with two design alternatives, which focused on increasing the number of plow lines to increase the furrowing of the soil for subsequent planting, according to the above, the prototype plow system composed of 11 lines with a star chisel configuration is the most suitable and convenient option for the farm; when analyzing the chisel using the Von Mises method, it was concluded that the maximum effort supported by it is 83.86 Mpa, which generates a maximum displacement of 0.2282 mm with a design factor of 0.2282 mm with a design factor of 3.74; the study concludes that in order to achieve a highly efficient design, the client's requirements must be considered conceptually.

Translated with [www.DeepL.com/Translator](http://www.DeepL.com/Translator) (free version)Key words: Corn, chisel plow, tension, frame,

## **Introducción**

El presente documento corresponde al diseño de un prototipo de sistema de arado mecánico para un terreno franco-arenoso ubicado en la finca Las Flores del municipio de Villavieja (Huila), específicamente vereda San Alfonso para la producción de Maíz Amarillo, como respuesta a la problemática identificada sobre la necesidad optimizar los costos de mano de obra empleada en la preparación del suelo, y la productividad de la operación que actualmente superan los 3 millones por Hectárea, ya que de acuerdo con el agricultor se tienen proyectados ampliar las áreas de siembra de dicho cultivo, por lo que es necesario evaluar este contexto en la finca.

Una de las actividades más importantes desarrolladas en cualquier finca corresponde a la preparación del suelo para su posterior siembra; el objetivo de este proceso es reducir el tamaño de la tierra para facilitar las labores de siembra, lo cual trae como ventaja una mayor absorción de componentes orgánicos fundamentales para el desarrollo radicular y de la planta; según lo anterior un factor clave en este proceso se relaciona con la profundidad de trabajo, el tipo de suelo, la geometría de la herramienta y la velocidad de corte (Moreno, 2022).

La problemática abordada parte de que uno de los patrones comunes en los procesos de preparación de suelos gira en torno a la capacidad de integrar tecnologías de arado para mejorar esta tarea; sin embargo, en el caso de pequeños agricultores esta posibilidad es inviable debido a que no se justifica la compra de un sistema que incluye el tractor (precio mayor a 50 millones COP) y aparte el sistema de arado (mayor a 5 millones COP).

Esta situación lleva a que en muchos casos se emplee un mayor número de jornales para la preparación manual del suelo, los cuales varían según el tipo de cultivo y la cantidad de suelo a preparar, lo que incrementa directamente los costos de preparación, ya que esta actividad depende de la habilidad del trabajador la cual se mide por jornal/día.

Para el caso de la finca las Flores ubicada en el municipio de Villavieja (Huila), esta dispone de un area de 2 Ha para cultivos temporales como el maíz propio de suelos de textura media (francos-arenosos); los costos de preparación del suelo por cada siembra son del orden de los 3 millones COP/Ha, lo cual depende del número de jornales y la productividad del operador, sin embargo esta actividad no se paga por rendimiento del trabajador sino por jornal día/ 10 horas; el arado es manual por consiguiente el nivel de esfuerzo físico es alto y representa un riesgo para la salud, el tiempo empleado por Ha es de 5 días con un mínimo de 7 trabajadores.

Según lo anterior, es necesario optimizar los costos y reducir el tiempo de preparación del suelo a un rango de 2 a 3 días, por lo que se deben contemplar otras opciones ya que sobre la zona como predominan pequeños productores no hay posibilidad de alquilar un tractor por lo que la mano de obra directa es necesaria; ahora bien, se tiene pensado por parte del agricultor aumentar el área sembrada con nuevos cultivos de maíz amarillo en 2 Ha adicionales (SIR-HUILA, 2022).

De acuerdo con lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación

¿El diseño de un sistema de arado tipo cincel permite mejorar las condiciones de preparación del suelo para hacerlo apto en la siembra, y por ende optimizar los costos y el tiempo de preparación de este?

El alcance del proyecto comprende el diseño de un prototipo de sistema mecánico de arado de 11 puntos o cinceles en acero al carbono accionados por un sistema de transmisión Eje-piñón-cadena. Sistema de paro de emergencia y brazo para graduar la altura de los cinceles para profundidad de arado. Bastidor tipo monochasis en acero al carbono u otro material más liviano de alta resistencia en su defecto; así como el diseño del sistema que soporta (Bastidor o chasis) la herramienta de arado, la herramienta tipo cincel, sistema transmisión de potencia, sistema de enganche, el cálculo de velocidad de corte, así como el análisis FEM (Tensión, desplazamiento, factor de seguridad, Fatiga) para chasis, herramienta de corte.

## **1. Capítulo 1: Marco referencial**

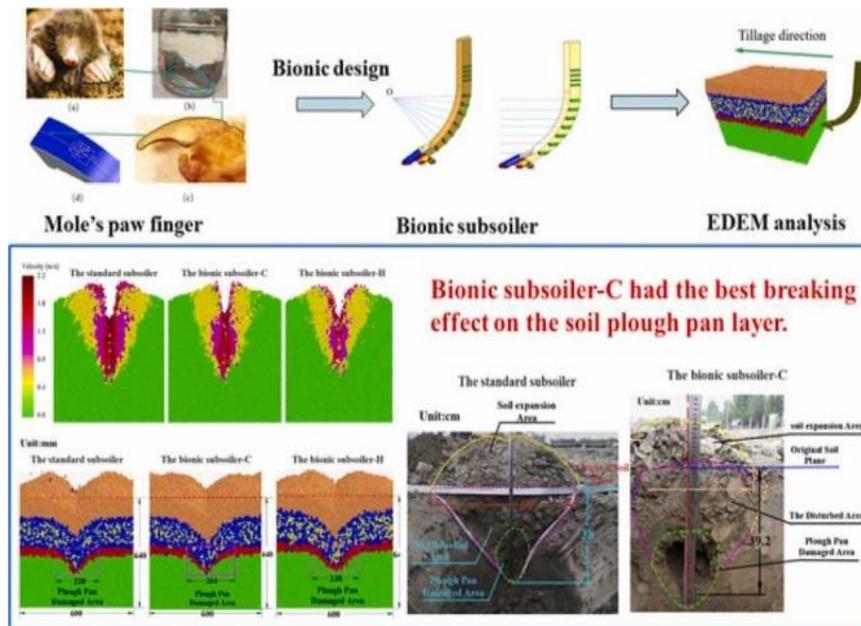
El capítulo presentado a continuación corresponde a una descripción de antecedentes, los objetivos de la investigación, la justificación y el marco teórico base para su ejecución, lo cual permite tener el contexto de aplicación del proyecto, para de esta manera establecer e identificar tendencias que puedan aportar para el proceso de diseño del presente proyecto.

### **1.1 Antecedentes**

Algunos de los antecedentes relacionados con diseño de sistemas de arados para optimizar el proceso de preparación de la tierra describen los siguientes aspectos:

Según, Song et al (2022 )en su artículo “ Aumento del ancho de perturbación de la bandeja de arado con subsoladores de inspiración biónica” en Changchun (China), propuso un diseño basado en un sistema de arado, en donde modifíco la herramienta de arado convencional por un sistema basado en un subsolador biónico haciéndola más ancha en la zona del topo o final de esta, con el fin de mejorar el efecto de subsolado en la preparación del suelo para aumentar la profundidad del suelo la cual aumentó un 18,2 %, respectivamente como se indica en la figura 4.

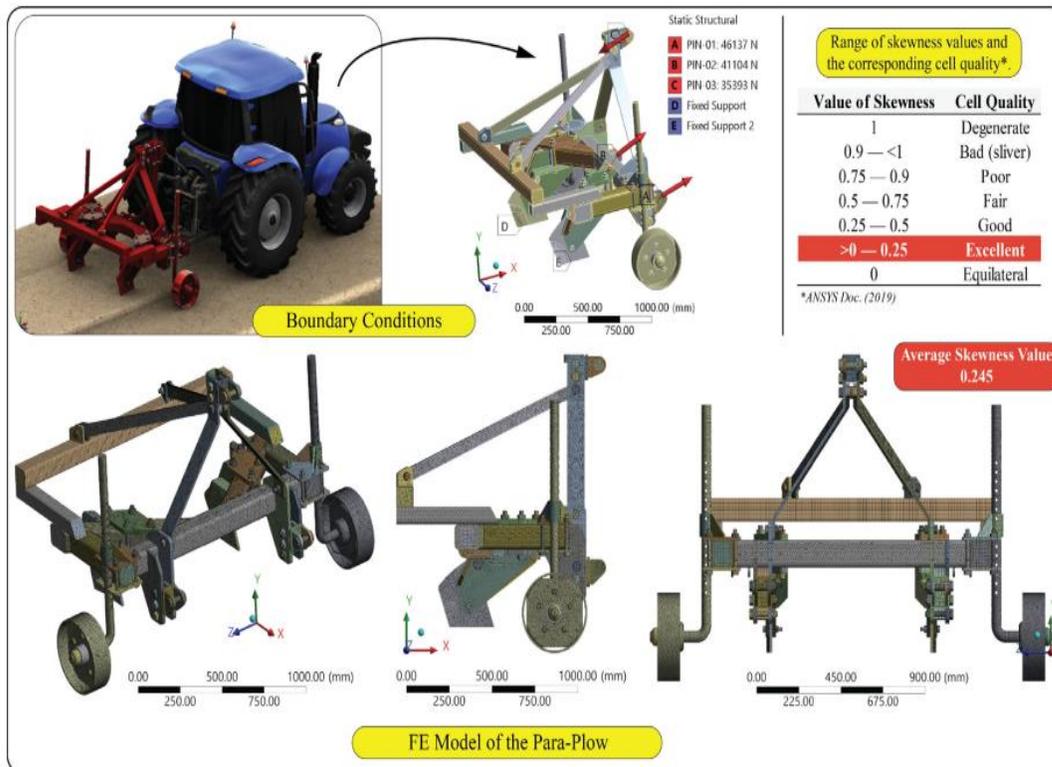
**Figura 1-1.** Diseño de sistema subsolados biónico



Nota. La figura 1-1 muestra las características de perforación en subsuelos para un sistema de arado por cincel, tomado de (Song, 2022).

Celik et al (2020) en su artículo “Análisis de diseño basado en la resistencia de una herramienta de labranza Para-Plough” en Akdeniz, Turquía diseñaron un sistema de arado basado en la resistencia de una herramienta de labranza para-Plough mediante herramienta CAD y CAE para mejorar los problemas de rotura de herramientas sometidas durante largas horas de trabajo, así como el area de barrido para preparación del suelo; el modelo desarrollado comprendió una estructura rectangular basado en dos elementos de apoyo para guiar las diferentes uñas de arado, se modificó el material de diseño por un acero de mayor resistencia (Ver figura 5).

**Figura 1-2.** Diseño Plough sistema de arado.



Nota. La figura1-2 muestra el diseño de un sistema de arado tipo plough el cual emplea dos guías móviles acopladas a un monochasis; tomado de (Celik, 2020).

En el contexto nacional algunos de los estudios relacionados con diseño de sistemas de arados indican:

Escobar (2020) en su artículo “Diseño de un sistema de grada de disco acoplable a una motocicleta y el respectivo sistema de sujeción” en Bogotá, planteo este prototipo como solución a los requerimientos de productores de papa en cuanto a la baja productividad y la imposibilidad de alquilar equipos agrícolas debido a su alto costo; la solución comprendió 6 discos acoplados a un bastidor recto, el cual este sujeto a un eje de arrastre guiado por dos ruedas que integran el sistema de transmisión de potencia de la motocicleta; este prototipo aplica para suelos arenosos, Franco arenosos y francos.

**Figura 1-3.** Diseño de sistema de arado de disco para tracción mediante motocicleta



La figura 1-3 muestra un diseño de un sistema de arado por doble disco guiado por una guía móvil tipo barra, tomada de (Escobar, 2020).

Morales (2015) en su tesis “diseño de un sistema de arado para la preparación del suelo en cultivos orgánicos dirigido a pequeños agricultores” en Bogotá planteo este diseño como solución para mejorar las condiciones de preparación del suelo haciéndolo más suelto para la siembra de cultivos orgánicos, para ello estableció un diseño basado en una herramienta tipo cincel el cual se acoplo al bastidor para realizar la tarea de arrastre y de esta manera mejorar el desempeño radicular del cultivo de lechuga y cebolla en la zona.

**Figura 1-4.** Arado tipo cincel



Nota. La figura 1-4 presenta un diseño de un sistema de arado tipo cincel adaptado a un tractor John Deere tipo montaña; tomada de (Morales, 2015).

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 *Objetivo General*

Diseñar un prototipo de sistema de arado mecánico tipo cincel para terrenos franco-arenosos en la finca Las Flores de Villavieja (Huila).

### 1.2.2 *Objetivos específicos*

- Determinar los criterios de diseño a partir del dimensionamiento de las variables de profundidad de trabajo, el tipo de suelo, la geometría de la herramienta y la velocidad de corte para la preparación del suelo.
- Desarrollar prototipos de sistema de arado en función de las variables dimensionadas.
- Detallar y simular el concepto seleccionado para hacerlo funcional evaluando su comportamiento mecánico (tensión, desplazamiento, factor de seguridad, fatiga) mediante el software autodesk Inventor® (versión 2020).

### 1.3 Justificación

El uso de herramientas manuales como palas, azadones, barretones exigen gran esfuerzo físico por parte del trabajador para realizar labores de preparación de suelos implica agotamiento físico el cual en muchas ocasiones puede desencadenar la aparición de varios tipos de enfermedades, traumas o lesiones a nivel osteomuscular.

La demanda de jornales para preparación del suelo previo a la siembra de un cultivo como el maíz, implica un mayor tiempo, costo y desgaste por parte del propietario de la finca.

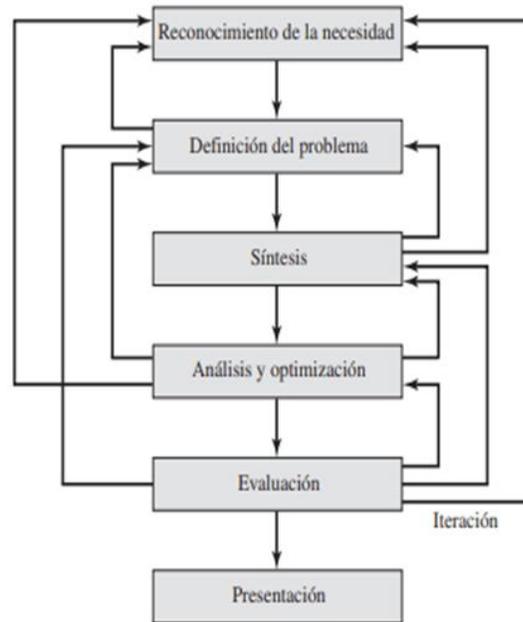
El uso de soluciones tecnológicas permite de cierta manera, cambiar los métodos de trabajo tradicionales o convencionales para tareas del campo por equipos tecnológicos que pueden contribuir con la optimización de tiempos para la planificación de siembras de cultivos como el maíz amarillo o la yuca; por otro lado, mejoran la calidad de vida del trabajador haciendo ver la labor como una actividad de fácil desarrollo y no una tarea de gran esfuerzo.

A pesar de que en el mercado hay sistemas manuales y equipos que requieren ser complementados por su naturaleza de trabajo como el caso del tractor y el sistema de arado, estos se hacen inviables para rangos de pequeños agricultores, tampoco es común encontrar soluciones focalizadas a este tipo de productor, ya que lo disponible contempla la producción a gran escala.

## 1.4 Metodología

La metodología empleada para el diseño es la propuesta por Shigley, 9 edición (Shigley, 2014); esta se compone de tres etapas establecidas a continuación.

**Figura 1-5.** Método propuesto Shigley



Nota. La figura 1-5 muestra las etapas que componen la metodología a emplear para el desarrollo del estudio según Shigley.

Según lo anterior se tienen las siguientes etapas y sus respectivas actividades para su aplicación.

### **Etapa 1 – Criterios de diseño**

En esta etapa se busca conocer los parámetros de diseño del sistema de arado en función de la profundidad de trabajo, el tipo de suelo (propiedades mecánicas), la geometría de la herramienta y la velocidad de corte para la preparación del suelo, así como la de definir principios de funcionamiento e identificar los elementos estructurales, así como su función, características de sistema de Arado, criterios normativos de diseño, identificación del

problema, la voz del cliente y la síntesis de requerimientos mediante matriz de calidad (QFD).

## **Etapas 2 – Análisis y optimización**

En esta etapa se establecen las actividades necesarias para alcanzar el objetivo; las actividades que la componen son:

**Realización de prototipos:** aquí se plantean soluciones a partir de la identificación de requerimientos o criterios de diseño condensados en la voz del cliente

**Análisis morfológico de prototipos:** Mediante el diseño de una matriz morfológica se evalúan las soluciones o prototipos diseñados para su posterior selección.

**Selección prototipo:** El prototipo seleccionado corresponde a la mayor ponderación dada en la matriz morfológica.

**Diseño al detalle del prototipo:** En esta actividad se realiza una explosión para caracterizar los componentes del prototipo seleccionado.

**Diseño de planos, la definición mecanismos y sistemas operación y la definición de variables** (potencia requerida, capacidad de Producción/ hectárea, Fuerza de corte, esfuerzo máximo, desplazamiento máximo, factor de seguridad, velocidad de transmisión de potencia, torque).

**Cálculos:** Esta actividad corresponde al cálculo de los sistemas empleados para la funcionalidad del prototipo de arado, incluye el análisis finito de elementos por el método Von Mises cuando se somete el prototipo a esfuerzo máximo, desplazamiento máximo y factor de seguridad.

### **Etapa 3 – Evaluación**

Una vez definido el concepto de solución se procederá al diseño detallado mediante el software CAD autodesk inventory® (versión 2020) de cada elemento que compone el sistema de arado, empezando por el sistema en función de la profundidad de trabajo, el tipo de suelo, la geometría de la herramienta y la velocidad de corte para la preparación del suelo; seguidamente se realizara un análisis de elementos finitos (FEM) que incluye datos sobre comportamiento de fatiga.

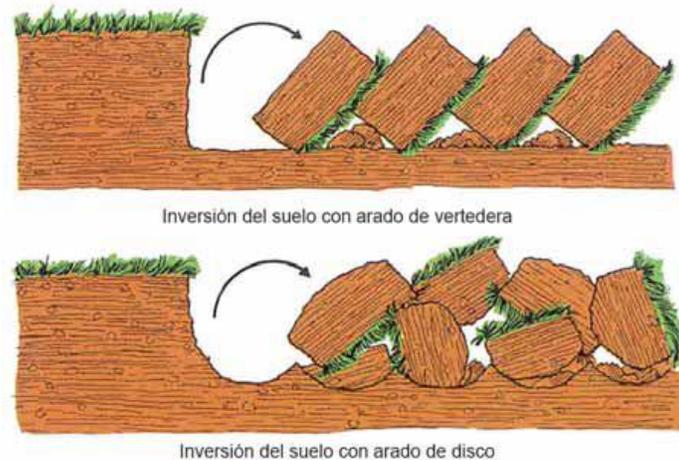
Tras el diseño detallado del prototipo del sistema de arado mecánico a escala, se procederá, en el mismo software, a la elaboración de los planos para su posterior fabricación y ensamble si así lo considera el agricultor, la elaboración del presupuesto y del manual de ensamble, operación y mantenimiento que serán finalmente entregados al dueño de la finca.

## 1.5 Marco teórico

Para atender este proceso se emplean métodos de arado que van desde el arado manual al mecánico y en este último diferentes sistemas que integran herramientas fijas o móviles para esta actividad (Agroptima, 2020).

Dentro de los tipos de arados de tracción mecánica se tienen según Cachón (2020) en su artículo de investigación “métodos de arado”, la siguiente clasificación como se indica a continuación:

**Figura 1-6.** Inversión de suelos según el arado



Nota. La figura 1-6 corresponde al tipo de inversión del suelo en función del sistema de arado empleado para su preparación; tomado de (Chávez, 2021).

### 1.5.1 Los Arado de reja y vertedera

Se componen de un sistema que integra una reja, la cual atraviesa la superficie produciendo el desprendimiento y corte de la tierra, la cual es volteada por la vertedera para la formación de surcos (ver figura 1-7); en función del ancho de las rejas estas pueden variar entre 25 y los 50 centímetros (Chacón, 2020).

**Figura 1-7.** Arado vertedera



Nota. La figura 1-7 corresponde a un sistema de arado por vertedera en v; tomado de (Almaraz, 2020)

### **1.5.2 El arado de discos**

Tienen forma de disco en forma de casquete esférico, lo que facilita el volteo, estos giran alrededor de ejes unidos a un bastidor (ver figura 1-8). Según Chacón, estos se recomiendan para terrenos pesados y adherentes, secos y duros o con gran cantidad de piedras y raíces y aquellos en los que el arado no debe invertir totalmente la capa de tierra, principalmente para evitar la erosión, también tienen un muy buen desempeño en terrenos abrasivos, ya que si no desgastarían rápidamente las piezas que no sean giratorias (Agronet, 2021) (FEDEFRUTA, 2017).

**Figura 1-8.** Arado de disco



Nota. La figura 1-8 muestra un sistema de arado de triple disco fijado a un monochasis; tomado de (Kobrick, 2019)

### ***1.5.3 Características dimensionales de sistemas de arado tipo Cincel.***

Dentro de las características generales de los sistemas de arado tipo cincel se tienen:

#### **Descripción general**

- El arado de cincel o chisel ha venido gradualmente sustituyendo a los arados de discos y de vertedera en la roturación del suelo.
- La preparación de suelos con este tipo de herramientas permite dejar protegida la superficie con restos vegetales contra la erosión hídrica sin mezclar notoriamente los diferentes estratos.
- El cincel puede romper este suelo compactado favoreciendo así la infiltración de agua.

- La labor del arado de cincel, se le identifica como labranza vertical, porque produce estallamiento (romper, quebrar) del suelo, con elementos operativos y soportes verticales.
- Es el apero agrícola que menos modificaciones ha tenido desde los tiempos en que el hombre comenzó a cultivar el suelo. Sin embargo, los materiales que se utilizan en la actualidad han venido a reforzar la durabilidad y la calidad de su trabajo.

### **Ventajas**

1. Ahorro energético. La fuerza de tracción requerida es prácticamente el 50 % de la potencia necesaria por un arado de vertederas o de discos (Montana S.A.S., 2020).
2. Mejora hídrica. Permite la buena filtración del agua, conservando la humedad en el terreno y también se consigue una buena aireación del suelo.
3. Elimina el estrato compactado. También denominado “pie de arado”, este es provocado por los arados de vertedera y discos trabajando siempre a una misma profundidad con una humedad del suelo inapropiada.
4. Minimiza la erosión. Al hacer una labor vertical, apenas desplaza los residuos de la cosecha anterior, de esta manera se consigue que el viento y el agua erosione mucho menos el terreno.
5. Poca maleza. Este sistema al no invertir el suelo ayuda a no poner las semillas de la maleza en posición de germinar. Un suelo trabajado con este arado acaba por disminuir la maleza.
6. No altera los niveles. Al no mover los estratos del suelo como lo hacen las vertederas o discos, ayuda a la mantención del nivel del suelo. Este arado de cincel o chisel es apropiado para operarios con menos horas de trabajo del suelo.

7. Mejora la estructura del suelo. Al ser un arado que hace su labor de forma vertical, no remueve los estratos del terreno, consiguiendo una mejor estructura en lo que refiere a físicas químicas y biológicas.

#### 1.5.4 Tipologías

- El Arado de cincel rígido se fabrica en tres versiones: 3, 5 y 7 cinceles. Estos se diferencian no solo en el número de cinceles sino también por la separación entre ellos. Mientras en el arado de 3 cinceles la separación es de 60 cm., en los de 5 y 7 la separación es de 45 centímetros

Figura 1-9. Tipos de arado cincel



Nota. La figura 1-9 muestra los tipos de arado de sistema cincel existentes a nivel comercial.

En terrenos promedio, el Arado de cincel rígido requiere una potencia entre 15 y 20 HP por cincel. Para terrenos endurecidos o trabajos por encima del nivel del mar, es

necesario aumentar estos requerimientos según sean las condiciones como se estipula en la tabla 1-1.

**Tabla 1-1.** Potencia requerida según tipo de cincel

Cinceles	Ancho de trabajo (m)	Potencia requerida (HP)	Peso aproximado (Kg.)
3	0.9	35-45	250
5	1.5	50-65	300
7	2.1	70-85	380
9	2.7	90-110	510
11	3.3	110-130	570
13	3.9	130-140	1200
15	4.5	140-150	1320
17	5.1	150-160	1380

Nota. En la tabla 1-1 se presenta la relación de tres tipos de cinceles su ancho de trabajo, la potencia requerida y el peso aproximado; tomado de (Boletín Agrario, 2020).

### ***1.5.5 Ancho de corte y eficiencia de operación***

Para determinar el rendimiento de la máquina se utiliza la siguiente fórmula: R = Rendimiento en Ha/h (Hectáreas por horas) V = Velocidad avance en Km./h N = Número de cinceles A = Ancho de corte en centímetros.

$$R = \frac{V \cdot N \cdot A}{1000}$$

- Elementos auxiliares: Reversibilidad: mecánica, hidráulica.
- Enganche: generalmente semisuspendido o arrastrado, aunque también suspendido en arados con pocos cuerpos.

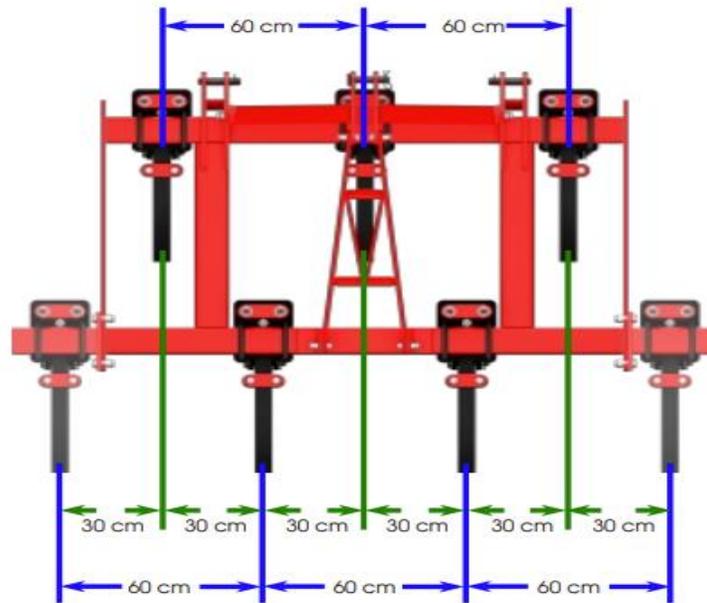
### 1.5.6 Condiciones operación estándar

Para suelos francos, con poca humedad, la profundidad de arado esta entre los 15 a 20 cm, aquí la humedad es directamente proporcional a la profundidad, aquí el valor limite es de 30 cm (Montana S.A.S., 2020).

La velocidad de trabajo promedio es de 8 km/h, lo cual contribuye a la descompactación por efecto vibratorio de los arcos.

En cuanto a la distancia entre cinceles se tiene

**Figura 1-10.** Distancia entre cinceles es de 60 cm



Nota. La figura 1-10 describe las distancias entre cinceles empleada para su fabricación; tomado de Montana Ltda.

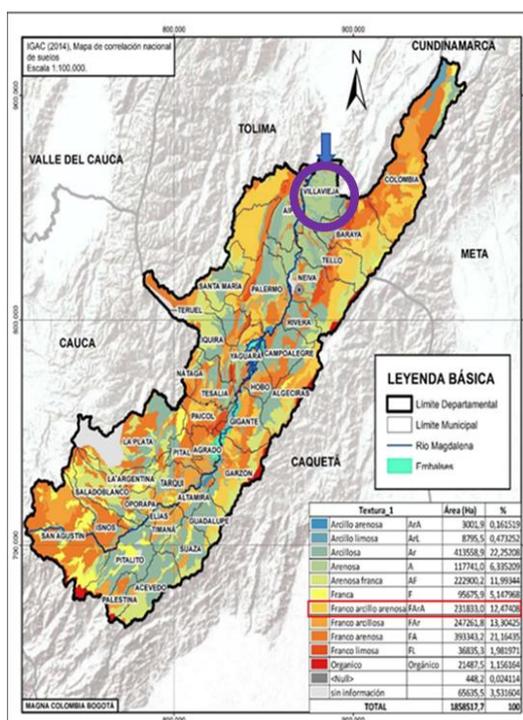
### 1.5.7 Material de fabricación cincel para arado

Acero de alto carbono (~0.70%) y aceros de medio carbono (~0.30%), con micro adiciones de boro y cromo, alcanzando microestructuras de martensita (Agudelo, 2013) (Sierra, 2020).

### 1.5.8 Caracterización de suelo en Villavieja (Huila)

De acuerdo con el IGAC la caracterización de suelos en el municipio de Villavieja (Huila) corresponde a franco-arenosos y arcillosos, lo que infiere suelos blandos para su preparación.

**Figura 1-11.** Caracterización suelos departamento del huila



Nota. La figura 1-11 muestra la clasificación de suelos en el departamento del huila; tomada de link

[file:///C:/Users/jumat/Downloads/Contexto%20Unidades%20de%20Tierras%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/jumat/Downloads/Contexto%20Unidades%20de%20Tierras%20(1).pdf)

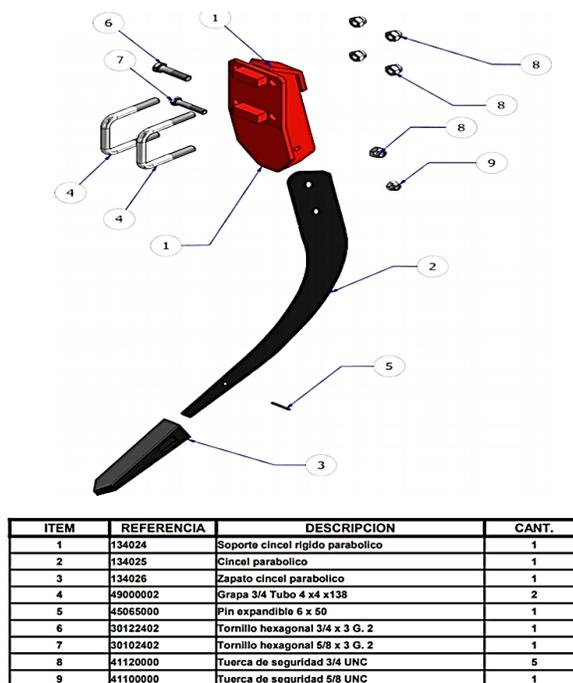
Según lo anterior estos suelos son aptos para el desarrollo de cultivos como el maíz, pastos, papaya, limón entre otros

### 1.5.9 Técnicas de arado en finca las flores

Por ser fincas de pequeños y medianos agricultores es decir menores a 4 y 7 Ha activamente, la totalidad de las labores de preparación de suelos, la realizan de forma manual, pese a que estos no son duros, poseen una textura media lo que facilita la tarea de preparación de esta; a excepción de la finca Las flores que dispone de su propio equipo para tareas de labranza de la tierra (CORPOICA, 2010).

### 1.5.10 Componentes de arado de cincel comercial

Figura 1-12. Parte de un arado tipo cincel



La figura 1-12 muestra los componentes principales de un sistema de arado tipo cincel comercial, como aspectos relevantes, este tipo de mecanismos cuenta con un cincel parabolico (Boletín Agrario, 2022).

### **Criterios para selección de un arado de cincel**

Dentro de los criterios más importantes a tener en cuenta al momento de seleccionar un sistema de arado son:

- Tipo de cultivo: determina la profundidad de arado del suelo, para el caso del maíz es de 5 a 8 cm
- Tipo de suelo: permite configurar el tipo de arado, la velocidad de penetración del cincel, así como la profundidad.

## 2. Capítulo 2: Concepto de diseño

El siguiente capítulo describe los requerimientos del agricultor, así como una caracterización geométrica del cincel, el análisis de prototipos a partir del uso de una matriz morfológica la cual tiene como fin, seleccionar la mejor alternativa en función de los requerimientos de diseño del dueño de la finca Las Flores de Villavieja (Huila), esta fase hace parte de la metodología propuesta por (Shigley, 2014) el cual propone un desarrollo por fases que parte de los criterios de diseño como se indica a continuación.

### 2.1. Componentes y Geometría del cincel

**Bastidor.** A esta estructura del chasis se acoplan los elementos del apero, posee una gran resistencia, según el peso, este puede contribuir a optimizar la potencia del tractor, los hay fijos o plegables según la distancia entre puntos del arado

**Brazos.** Los hay rígidos, semi y flexibles, estos últimos ideales para uso en suelos arenosos.

**Reja.** Es el elemento operativo, con diferentes formas y diseños, en función de los objetivos de laboreo, del tipo de suelo y del contenido de humedad. La reja pie de pato, su uso es para suelos arenosos o húmedos. La reja universal es empleada para roturar suelos muy duros de esta manera encuentra las condiciones idóneas para la vibración y por tanto buena labor.

**Ruedas Guías.** Como su nombre lo indica tiene como función la orientación de la profundidad del arado.

En cuanto a su geometría, se parte de un cincel rígido el cual tiene los siguientes parámetros.

**Figura 2-1.** Medidas cincel para arado.



Nota. se muestra en la figura 2-1 un cincel rígido con un ancho de 55 mm, ángulo de ataque de 0,785 rad: tomado de (Camacho, 2007)

## **2.2.Requerimientos de diseño**

La identificación de los requerimientos de diseño comprende la primera fase para el desarrollo del prototipo; de acuerdo con lo anterior al realizar la entrevista con el dueño de la finca; se logró identificar dos factores claves para su desarrollo, los cuales se presentan a continuación:

Los requerimientos técnicos establecidos por el cliente para el diseño son:

### **Respecto al area de arado**

- Que el surco sea mayor a 5 cm
- Que el arado no deje secciones grandes de terrones.

- Que pueda emplearse más adelante para preparar suelos para otro tipo de cultivos.
- Que sus componentes sean comercialmente fáciles de conseguir.
- Que se pueda adaptar a cualquier tipo de sistema de arrastre.

### **Respecto al prototipo**

- Que tenga un acabado delgado para corte de las áreas barrenadas
- Su mantenimiento sea económico.
- Que no se oxide por efecto de la humedad de la tierra.
- No represente un peligro en su manejo.
- De fácil mantenimiento.

### **2.3. Matriz morfológica para selección de prototipo**

Para la selección del prototipo se deben contemplar factores acordes a los requerimientos concertados por parte del agricultor como se estableció en el numeral 2.2.

Estos requerimientos corresponden a:

**Area de barrido:** Que sea mayor a 10 cm, ya que esto permite cubrir la semilla con holgura, al tener un mayor área de tierra suelta se facilita el desarrollo radicular.

**Mantenimiento:** De fácil mantenimiento en los elementos de acople, que se puedan conseguir a nivel comercial las piezas

**Materiales:** Según este requerimiento se requiere que la herramienta no se oxide por efecto del uso y la humedad de la tierra, ya que esto afecta la composición de esta.

**Sistema de funcionamiento:** Este criterio es clave para acoplarse con facilidad al bastidor y los elementos de acople.

**Peso cincel:** Este factor es importante debido a que permite realizar un proceso de arado con una determinada profundidad de entrada, lo que facilita la acción.

**Facilidad de uso:** Desde la perspectiva del agricultor es de gran importancia ya que es aquí donde se identifica la capacidad y facilidad para operar el sistema de arado sin que represente un proceso de capacitación complejo y de muchos elementos de accionamiento para su uso.

Descritos los factores que componen la matriz morfológica, de acuerdo con la metodología propuesta, se deben establecer los pesos porcentuales de cada factor para efectos de construcción y ponderación de estos como se indica a continuación

### 2.3.1. Pesos por factor

Los pesos por factor se emplean para el proceso de puntuación de la alternativa; cada factor tiene un valor según su importancia de acuerdo con los requerimientos del productor; de acuerdo con lo anterior se tiene:

**Tabla 2-1.** Peso factores de decisión.

Factores	Mantenimiento	Area de barrido	Material	Sistema de funcionamiento	Peso Cincel	Facilidad Uso
Criterios de evaluación	Materiales comerciales	Menor al requerimiento	AISI Acero	Manual	menor a 250 Kg	Acople y adaptación sencilla en un solo paso
	Valor comercial	Igual al requerimiento		Accionamiento Mecánico	entre 250 y 500 Kg	Dos o tres pasos para su uso
		Mayor al requerimiento	Acero al carbón			mayor a 500 Kg
Peso (%) Factor	Σ 15%	Σ 25%	Σ 20%	Σ 15%	Σ 10%	15%

Nota. La tabla describe los factores empleados para establecer criterios de decisión en cuanto al prototipo de cincel.

En la tabla se observan los factores de decisión ubicados en la primera fila, los cuales se evalúan de acuerdo con los criterios definidos en la columna; los mayores pesos se asignaron al área de barrido con un 25%, tipo de materiales (20%), facilidad de uso (15%) que hace referencia a la manipulación del cincel en forma fácil en su uso, mantenimiento de tipo sencillo que no requiera mecánica especializada; el sistema de funcionamiento (15%), el peso de la cincel (10 %) el cual es relevante cuando se trata de movilizar el equipo a otras áreas de siembra.

Con los factores definidos se establece la escala de medición como se indica en el ítem 2.3.2 a continuación.

### **2.3.2. Escala de evaluación**

La escala de evaluación comprende los parámetros con los cuales se calificarán los criterios identificados en los requerimientos de diseño por parte del agricultor; esta evaluación se aplica con los pesos de los factores; de acuerdo con lo anterior la mayor ponderación, producto de la sumatoria de los factores evaluados corresponde a la decisión de diseño del prototipo para el proyecto; estos criterios comprenden 3 tipos de calificación asociados a criterios como se indica a continuación en la tabla 2-2.

**Tabla 2-2.** Criterios de evaluación.

Calificación	Criterio de evaluación
1	No cumple criterio
3	El criterio está condicionado por otros factores
105	Cumple con todo el criterio

Nota. La calificación dada por cada criterio que compone el factor se multiplica por el peso de este; la sumatoria total de los criterios da el valor final del mismo factor, el prototipo que obtenga el factor total mayor es el considerado para el desarrollo.

La temática de evaluación de factores a partir de los criterios comprende la interpretación del factor cuando no cumple, depende de otros factores o cumple; en ese sentido las puntuaciones asignadas son 0, 5 y 10 dependiendo de las variables asignadas. Este paso es muy importante, ya que es a partir de este que se pondera y se selecciona la propuesta para su desarrollo.

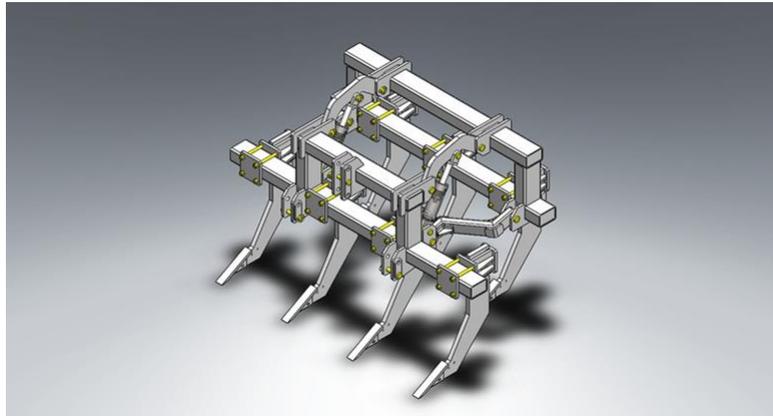
## **2.4. Alternativas**

Para plantear opciones se consideraron todas las configuraciones de sistemas de arado empleados en operaciones de preparación mecánica de suelos, sin embargo, al considerar los criterios sugeridos por el agricultor, fue necesario delimitar a un sistema de arado de múltiples líneas de arado, así entonces las alternativas a evaluar se refieren a estas consideraciones y el diseño del cincel; producto de esto se plantearon prototipos con el fin de tener una mejor operación de preparación de suelos tipo franco arenosos a partir de sistemas tipo cincel.

### ***2.4.1. Alternativa 1***

En este concepto de prototipo, la principal función que debe realizar es que el mecanismo de paralelogramo pueda variar la profundidad de penetración de los brazos traseros, también se necesita acomodar los brazos a diferentes distancias entre ellas para hacer pruebas con diferentes configuraciones.

**Figura 2-2.** Alternativa de configuración de sistema de arado tipo cincel



Nota. en la figura 2-2 se observa un prototipo de sistema de arado con un arreglo de 4 - 3 brazos con separación de 40 cm.

### **Ventajas**

- Fácil sistema de enganche
- Arreglo con la altura de elevación máxima para los brazos traseros.
- Ideal para todo tipo de terrenos.
- Se puede limpiar con agua sin afectar los componentes.

### **Desventajas**

- Los brazos son simétricos y no se pueden ajustar sus distancias
- Peso por cincel es mayor a 330 Kg.

#### ***2.4.2. Alternativa 2***

Esta alternativa comprende 11 canales de arado distribuidos uniformemente sobre un eje acoplado a un bastidor o chasis tipo enganche.

### **Ventajas**

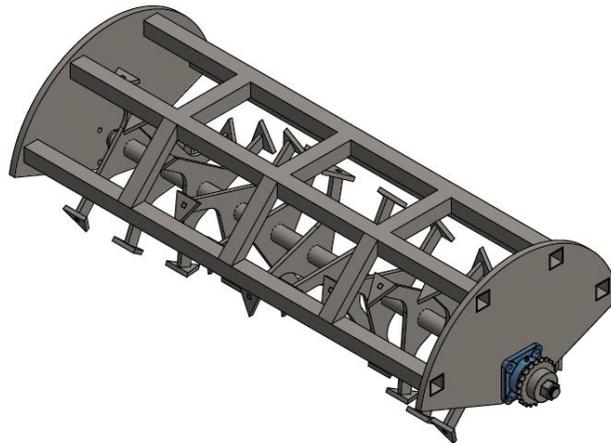
- Funcionan indistintamente con cualquier tipo de corriente.
- Poseen un elevado par de arranque.

- Mantenimiento no especializado.
- La velocidad depende del tractor.
- Múltiples canales de arado.
- Ideal para trabajo en terrenos no preparados.

### Desventajas

- Mayor línea de arado mayor potencia.
- Menos durabilidad de elementos por desgaste.

**Figura 2-3.** Alternativa 2.



Nota. la figura 2-3 muestra una configuración

## **2.5. Selección de alternativas**

Para la identificación de características de las alternativas se empleó una matriz morfológica, la cual corresponde a un método de calidad que busca determinar a partir de una evaluación sistemática de factores, la mejor alternativa de diseño; por lo anterior al comparar estos, según el tipo de sistema a emplear se establecen los elementos diferenciadores como se indica a continuación en la tabla 2-4.

**Tabla 2-3.** Evaluación y selección de propuestas.

Ítem	Criterio	Peso Factor	Propuesta 1		Propuesta 2	
		%	Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado
1	Mantenimiento	15%	1	0,15	5	0,75
2	Area de barrido	25%	3	0,75	3	0,75
3	Material	20%	5	1	5	1
4	Sistema de funcionamiento	15%	3	0,45	5	0,75
5	Peso Cíncel	10%	5	0,5	5	0,5
6	Facilidad Uso	15%	5	0,75	5	0,75
Σ Total		100%		3,60		4,50

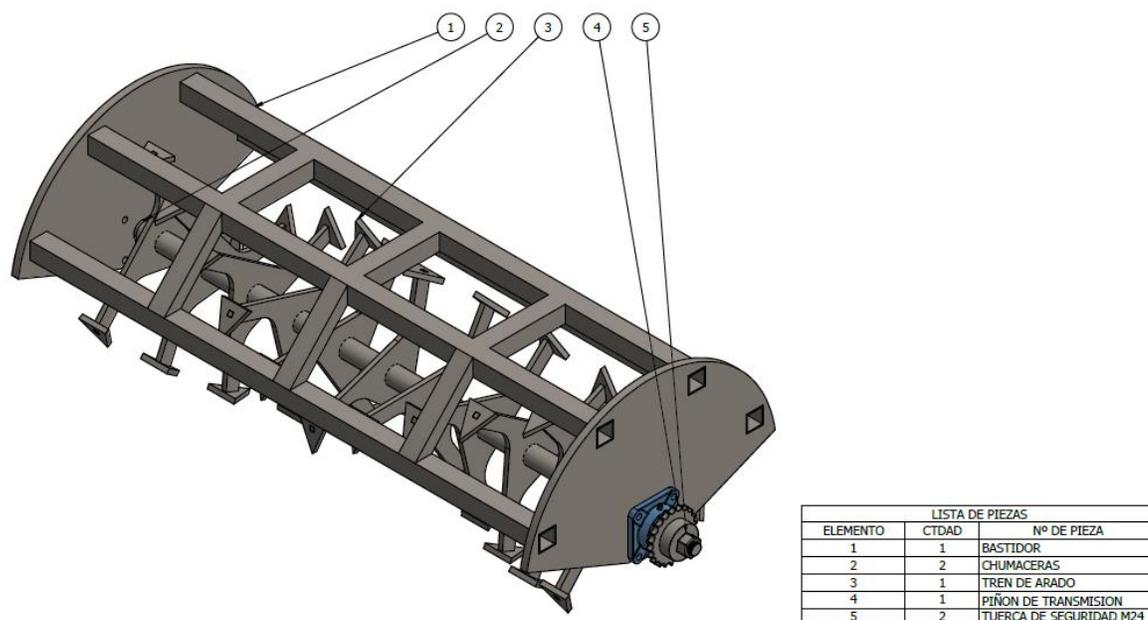
Nota. Se muestra en la tabla 2-4 la estructura de una matriz morfológica en la que se evalúan y ponderan dos prototipos de sistemas de arado tipo cíncel.

El proceso de evaluación se realizó mediante valoración de criterios presentados en la columna 2 “Criterio” de la tabla 2-4, la cual emplea una escala ordinal de 1,3 y 5, que se asignan a las columnas de evaluación, del producto de peso del factor y cada columna de evaluación correspondiente a cada prototipo se obtiene el resultado para cada criterio; seguidamente se suma los resultados de forma vertical obteniendo así el total de la evaluación; según lo anterior la propuesta 2 obtuvo una calificación de 4,5; los criterios de mayor incidencia en la selección de la propuesta corresponden a mantenimiento en donde la evaluación fue de 5, así como el de sistema de funcionamiento en donde su evaluación es de 5, estos factores fueron diferenciadores; de acuerdo con lo anterior se procede a realizar el desarrollo de concepto del prototipo mecánico como se indica a continuación en el ítem 2.6.

## 2.6.Desarrollo del concepto

Seleccionado el prototipo, se desarrolló del concepto a nivel de diseño mediante programa Autodesk Inventor (versión 2020), arrojando los siguientes resultados, los cuales se muestran en la figura 2-5 y el detalle en los anexos del 1 al 10.

**Figura 2-4.** Prototipo de sistema de arado por cincel



Nota. La figura 2-5, corresponde a un isométrico del prototipo seleccionado con sus correspondientes componentes.

De acuerdo con la anterior figura los componentes del prototipo seleccionado son:

Bastidor (1): Mono chasis recto , diseñado en material AISI 1045, el cual se selecciona siguiendo las recomendaciones del Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI), el cual indica que un acero de esta denominación (1045) posee una alta resistencia a la corrosión, ideal para diseño de equipos y máquinas de trabajo pesado o que están en

contacto con superficies como la tierra que cuenta con un determinado grado de humedad que puede generar un proceso de oxidación irreversible, sin embargo, este material posee recubrimiento para evitar precisamente dicha oxidación.

Singh (2019) indica en su estudio sobre propiedades de materiales en acero para el diseño de equipos, plantea que el uso de material AISI 1045 en el diseño de máquinas garantiza la resistencia al desgaste en condiciones como la corrosión, la abrasión y la erosión. En segundo lugar, las propiedades dependientes del volumen, como la resistencia, la dureza y muchas más. Los componentes que tienen revestimiento son relativamente más capaces de realizar cualquier tarea inequívoca en un entorno adversario durante un tiempo comparativamente largo, lo que infiere una mayor durabilidad de este (Singh, 2020)

### 3. Capítulo 3: Cálculos y resultados del prototipo seleccionado

En el capítulo 3 se establecen y determinan los cálculos correspondientes a las fuerzas y momentos que intervienen en el cincel y el chasis; el método empleado para el análisis del chasis incluye un análisis de Von Mises, el cual toma el cuerpo rígido y lo diagrama a partir de las fuerzas que actúan sobre el en estado de equilibrio; de acuerdo con lo anterior se tiene.

#### 3.1. Cálculo del cincel

El cincel para su operación se somete a una fuerza generada por la transmisión del tractor expresada de la siguiente manera.

$$T \text{ generado por la transmisión a las ruedas} = 19000 \text{ N.m}$$

El anterior valor es tomado en función del torque generado por el motor y la transmisión del tractor en él toma fuerza que lleva dentro de la misma transmisión, para el montaje de sistemas de arado para herramienta motorizada; es decir se determina mediante el torque de salida que tiene el tractor en las ruedas, ya que la salida siempre va conectada al PTO o toma fuerza para transmitir la torsión a la herramienta motorizada, como se ilustra a continuación en la figura 3-1.

**Figura 3-1.** Visualización torque de salida



Nota . la figura 3-1 muestra el origen del torque de salida suministrada a una bomba.

Para el cálculo del cincel se despeja la fuerza generada en la punta del arado, esto debido a que esta se hace en función de la conexión que trae el tractor en la parte trasera de enganche para herramienta motorizada; según lo anterior se tiene:

El radio de la estrella de cincelado es de 187 mm; de acuerdo con lo anterior al despejar la fuerza según (Myszca, 2012) de la ecuación 3.1 se obtiene:

$$T = F \cdot r \quad \text{Ecu. (3.1)}$$

De donde:

F= Fuerza

T= torque generado por la transmisión.

R= radio de la estrella de cincelado

Al despejar la fuerza se tiene:

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{19000 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.187 \text{ m}} = 101604.27 \text{ N}$$

$$F = 10357 \text{ Kg}$$

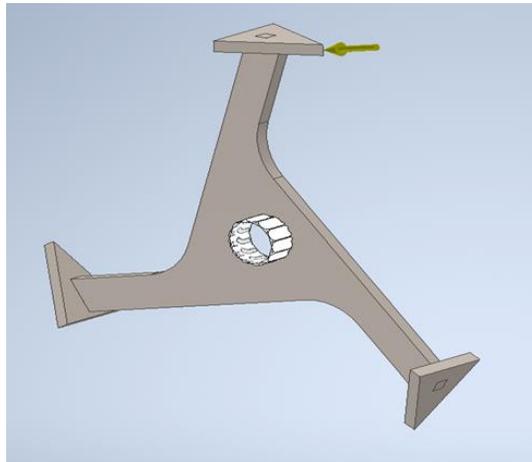
Partiendo de la configuración descrita en el ítem 2.4.2. en donde se establece que la configuración del sistema arado se compone de 11 estrellas, lo que infiere sobre una carga distribuida la cual se determina la ecuación (3.1), puesto que se conoce la fuerza y el número de estrellas, lo cual al reemplazar estos valores se tiene la fuerza del cincel como se indica a continuación:

$$F_{estrella} = \frac{10357 \text{ Kg}}{11} = 941.5 \text{ Kg}$$

$$F_{estrella} = 9236.1 \text{ N}$$

Al aplicar la carga en la estrella y restringir ésta en el acople del eje como se indica en la figura 3-1 se tiene:

**Figura 3-2.** Configuración de cincel (Estrella)



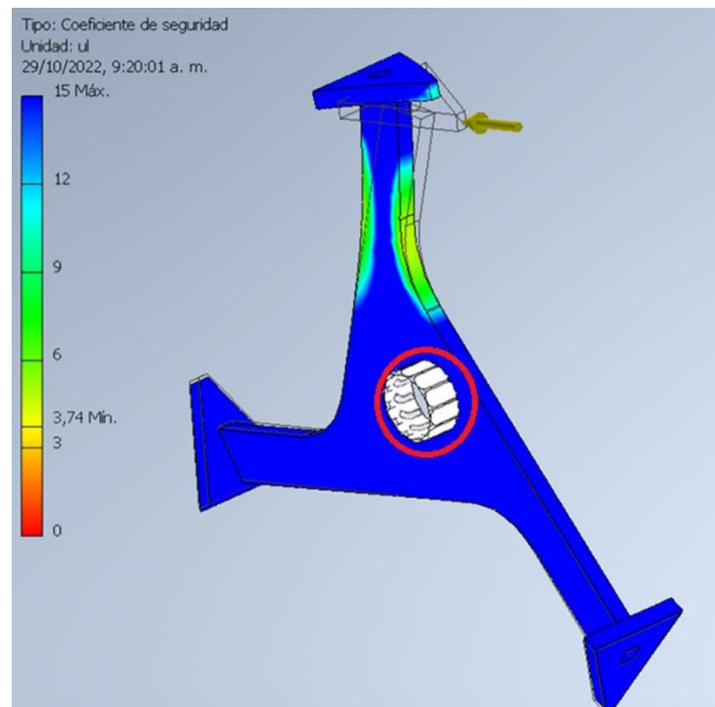
Nota. En la figura 3-1 se presenta un isométrico del cincel diseñado y la fuerza que actúa sobre esta.

### 3.2. Análisis estático de cargas para cincel

#### 3.2.1. Condiciones de cargas y análisis de sensibilidad

La restricción de la estrella de arado se encuentra en el acople de la estrella y el eje como se evidencia en la figura 3-3 en el círculo rojo, la fuerza despejada por formula está determinada según la flecha amarilla con la magnitud despejada por formula. El material que corresponde es acero estructural 10-45 y las puntas en acero 10-20 con cementación.

**Figura 3-3.** Análisis de sensibilidad



Nota. En la figura 3-3 se presenta un isométrico del cincel diseñado y la fuerza que actúa sobre esta.

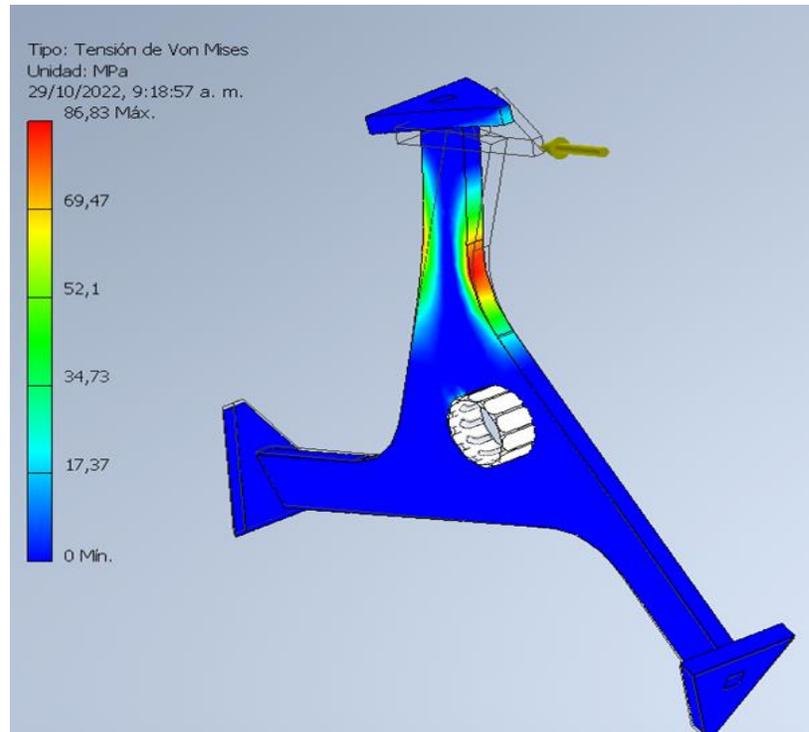
Según lo anterior la sensibilidad de la malla es de 0.1 mm

El análisis realizado comprende esfuerzos máximos, los elementos usados son la estrella de arado y su estructura, la calidad de malla usada es de sensibilidad 0.1mm

### 3.2.2. Análisis de tensión del cincel

Para realizar este cálculo, se parte de fuerza ejercida al cincel; la cual es de 9236.1 N, de acuerdo con lo anterior al someter este elemento a su máximo esfuerzo, el resultado del análisis por el método de Von Mises, indica:

**Figura 3-4.** Comportamiento del cincel a esfuerzos de tensión.



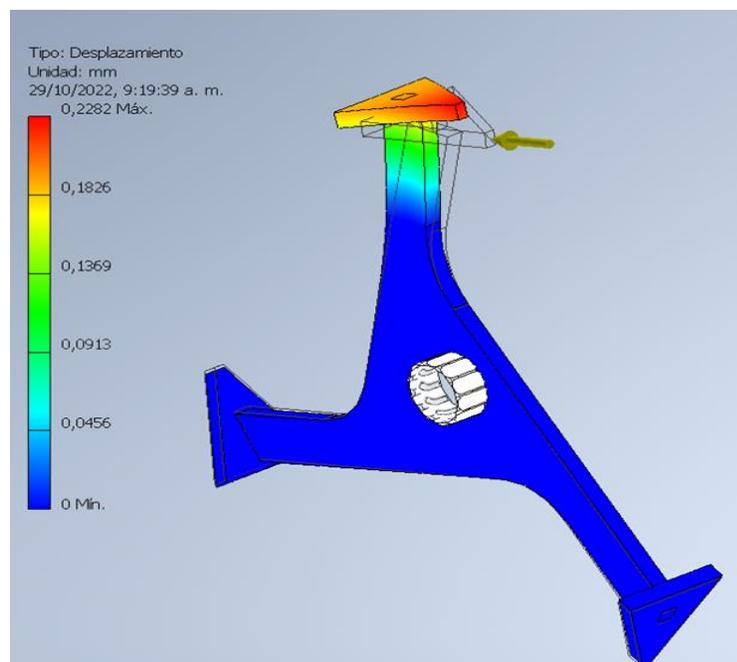
Nota. Se presenta una configuración de un cincel tipo estrella sometido a máxima tensión, el cual se simula mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

En la figura 3-2 se observa un diagrama de calor el cual indica que en las zonas de color azul se presenta las áreas de menor tensión a la que se somete el cincel, las de color verde indican un mayor tensión; sin embargo el esfuerzo máximo que soporta el cincel trabajando en condiciones de tensión es de 86,83 MPa y se concentra en las áreas de curvatura de la estrella; por lo tanto, se concluye que el elemento no presentara fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se somete.

### 3.2.3. Análisis de desplazamiento del cincel

En la figura 3-3, se puede apreciar el desplazamiento máximo del cincel cuando trabaja esfuerzos máximos la cual se identifica con el color rojo; la figura muestra como de forma progresiva a medida que el elemento es sometido a una fuerza de tensión, las áreas azules y verdes muestran una menor desplazamiento del material; sin embargo este comportamiento cambia drásticamente cuando la tensión se aplica sobre el soporte superior de las puntas del cincel, ya que es en esta zona en donde dicho elemento sufre un mayor desplazamiento del material cuyo valor es de 0.2282 mm.

**Figura 3-5.** Análisis de desplazamiento en la estructura del cincel.



Nota. Se presenta la configuración de un cincel tipo estrella sometido a máximas cargas cuyo desplazamiento se obtiene de la simulación mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

Como se indicó la importancia de este dato, radica en que permite validar si el prototipo puede llegar a sufrir un desplazamiento de la estructura que afecte o modifique su

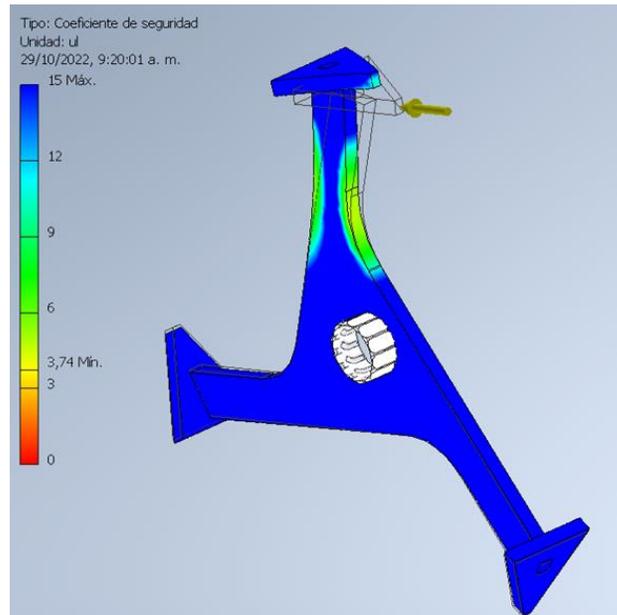
rendimiento en función de su propia configuración, razón por la cual se deben considerar para su diseño materiales de alta resistencia como la familia de aceros AISI 420

En conclusión se estima que el valor del desplazamiento calculado es bueno si este está asociado a un esfuerzo por debajo del esfuerzo de rotura del material, a medida que aumenta el desplazamiento, aumenta el esfuerzo tendiendo al límite plástico y no elástico. Ya se evidenciaría rotura de material o deformación permanente.

#### ***3.2.4. Análisis de factor de seguridad de cincel***

El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 3,74 lo cual quiere decir que soporta 3,7 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que el cincel presentado mediante análisis en autodesk inventory versión 2020, cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas, y se garantiza la durabilidad que permita, bajo un buen esquema de uso y mantenimiento (limpieza y ajustes preventivos periódicos), alcanzar una vida útil extendida.

**Figura 3-6.** Coeficiente seguridad cincel.



Nota. Se presenta la configuración de un cincel tipo estrella en donde se evalúa el factor de diseño mediante simulación Software Autodesk Inventor versión 2020

De acuerdo con los análisis realizados se puede concluir que la estrella en el momento hipotético que presente una frenada entre el terreno que va a arar y la transmisión del tractor, esta presenta un esfuerzo máximo de 86.8 MPa, un desplazamiento máximo de 0.22 MPa y un factor de precarga o de seguridad de 3.74. la estrella de cincelado trabaja en condiciones de atascamiento de manera adecuada, y no va a presentar fatiga de material.

Para determinar el esfuerzo máximo por fatiga, se multiplica el esfuerzo máximo de del cincel por el factor de seguridad.

$$\sigma_{fatiga} = 3,74 * 86,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fatiga} = 324,63 \text{ MPa}$$

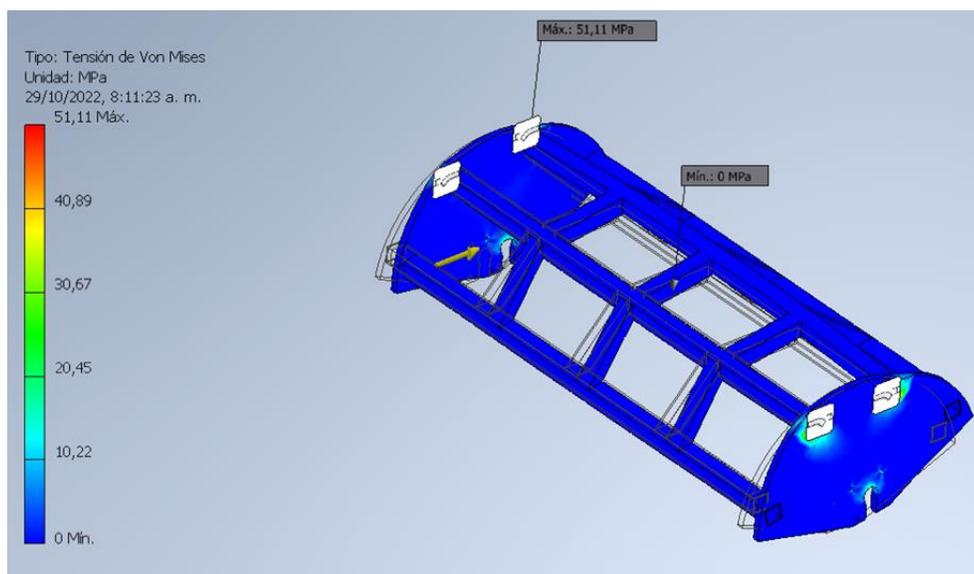
### 3.3. Análisis estático de cargas para chasis

Al someter el chasis a dos cargas puntuales de 500 Kg en cada uno de los puntos donde va conectada la chumacera de rodamiento, aquí se deja restringido el punto de apoyo donde se acopla al arado; a partir de ello al ingresar estos datos al módulo de simulación elementos finitos (FEM) se obtienen los siguientes resultados analizados en los ítems siguientes.

#### 3.3.1. Análisis de tensión del chasis

Para realizar este estudio, se parte de las cargas puntuales aplicadas al chasis las cuales se indicaron anteriormente; el material empleado en el chasis es el AISI 1045, el cual como se ha indicado posee una alta resistencia a la oxidación, lo que permite dar confiabilidad al componente; según lo anterior al someter este elemento a su máximo esfuerzo, el resultado del análisis por el método de Von Mises, indica:

**Figura 3-7.** Comportamiento del chasis a esfuerzos de tensión.



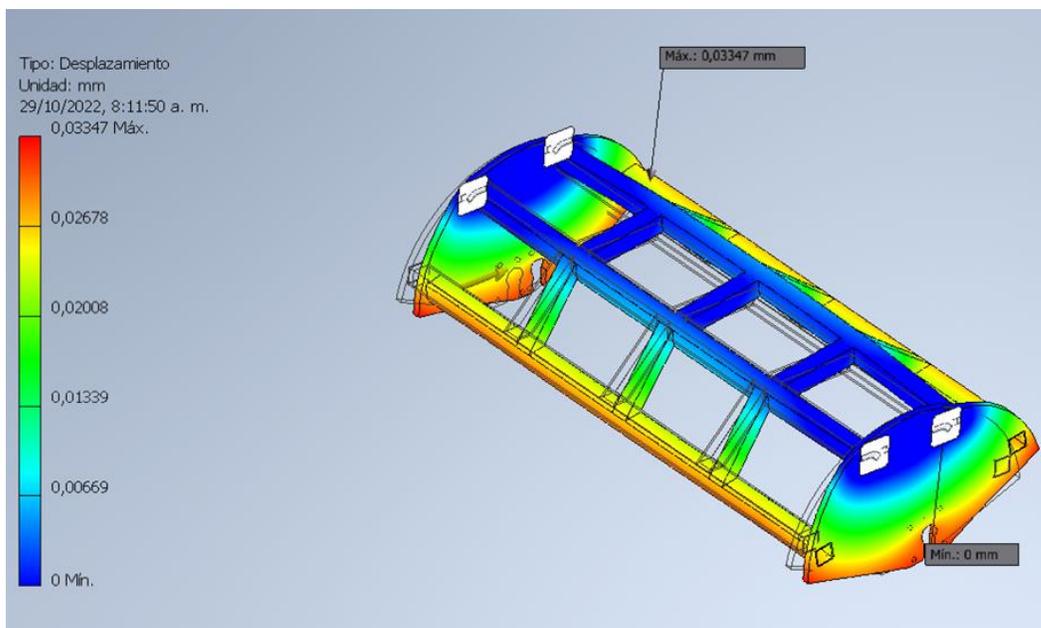
Nota. Se presenta una configuración de un chasis sometido a máxima tensión, el cual se simula mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

Este valor de tensión o esfuerzo que soporta el chasis, trabajando en condiciones de tensión o esfuerzo máximo es de 51,11 MPa, muy por debajo; por lo tanto, se concluye que el elemento no presentará fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se somete.

### 3.3.2. *Análisis de desplazamiento del chasis*

En la figura 3-6, se puede apreciar el desplazamiento máximo del chasis indicado por el color rojo sobre la parte superior del soporte de esta, cuando es sometido a cargas o esfuerzos máximos de 500 kg, en la figura se observa que tiene un desplazamiento máximo de 0.03347 mm.

**Figura 3-8.** Análisis de desplazamiento en la estructura del chasis.



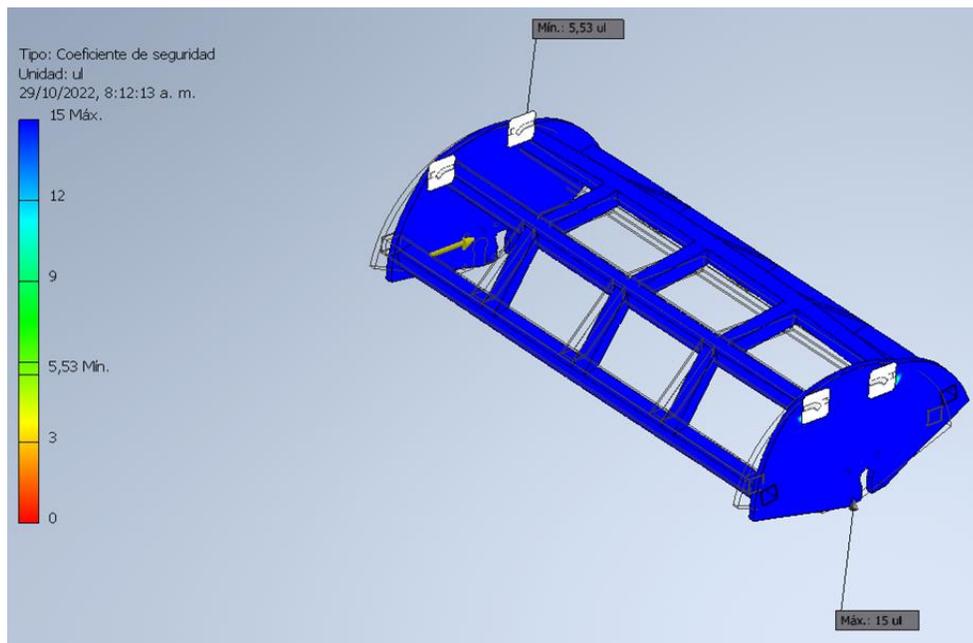
Nota. Se presenta la configuración de un chasis sometido a máximas cargas cuyo desplazamiento se obtiene de la simulación mediante Software Autodesk Inventor versión 2020

La importancia de este parámetro se fundamenta en que permite identificar si este prototipo al trabajar al máximo de carga aplicada puede presentar algún tipo de desplazamiento de la estructura que modifique su propia configuración o rendimiento e inclusive la rotura de la pieza, a lo cual como se evidencia no representa un riesgo la estructura, por lo tanto, es confiable su desempeño.

### 3.3.3. *Análisis de factor de seguridad de chasis*

El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 5,53 ul, lo cual quiere decir que soporta 5,5 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que el chasis, cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas. La figura 3-11 pretende presentar la distribución de los menores factores de seguridad, pero se verifica que resultan ser bastante altos, por lo que se ratifica la seguridad de la pieza diseñada.

**Figura 3-9.** Coeficiente seguridad chasis.



Nota. Se presenta la configuración de un chasis en donde se evalúa el factor de diseño mediante simulación Software Autodesk Inventor versión 2020

Al analizar el esfuerzo máximo por fatiga del chasis se tiene:

$$\sigma_{fatiga} = 5,53 * 51,11 MPa$$

$$\sigma_{fatiga} = 282,63 MPa$$

Una vez obtenidos los resultados, concluimos que la estructura trabaja óptimamente con las cargas a la que se le someterá en su trabajo, esta presenta un esfuerzo máximo de 51.11 MPa y un desplazamiento máximo por flexión de 0.03 mm, así su factor de precarga o de servicio es de 5.53.

Tanto para el cincel como para el chasis se concluye que los resultados son buenos ya que estos se validan en el momento de ingresarlos al programa Autodesk Inventor, nos arroja un factor de seguridad en el análisis mayor a 1, indicando que dichos elementos funcionan correctamente.

Los sistemas de arado no tienen ninguna condición de fabricación ya que son elementos artesanales diseñados en función de la necesidad del agricultor. Lo único que se estandariza es el enganche con el tractor, los cuales son elementos que ya venden en el mercado para adaptar al sistema de arado fabricado.

Con respecto al proceso de soldadura es MIG y se determina mediante la siguiente tabla de aplicación.

**Tabla 3-1.** Tabla para selección de soldadura

Espesor en Gauge	Espesor en pulg.	Espesor en mm.	Ø Electrodo en mm.	Amperajes en C.C.	Voltaje en C.C.	Velocidad avance m/min.	Gas en PCH.	Litros por min.
22		0,77	0,8	35 - 60	16 - 17,5	0,50	15 - 20	7 - 9
20		0,92	0,8	40 - 70	17 - 18	0,70	15 - 20	8 - 9
8		1,25	0,9	70 - 90	18 - 19	0,50 - 0,70	15 - 20	8 - 9
14	5/64	2,1	0,9	120 - 130	20 - 21	40 - 0,50	20 - 25	9 - 12
11	1/8	3,17	1,2	120 - 180	20 - 23	0,37 - 0,50	20 - 25	9 - 13
7	3/16	4,76	1,2	190 - 200	21 - 22	0,60 - 0,70	25 - 30	12 - 14
	1/4	6,25	1,2	160 - 180	22,5 - 23	0,35 - 0,45	25 - 30	12 - 14
	5/16	7,93	1,2	200 - 210	23 - 23,5	0,30 - 0,50	25 - 30	12 - 14
	3/8	9,5	1,2	220 - 250	24 - 25	0,30 - 0,40	25 - 30	12 - 14
	1/2	12,5	1,2	280	28 - 29	0,35	25 - 30	12 - 14
	3/4	19	1,6	300	32	0,25	30 - 35	14 - 16

Nota. En la tabla 3-1 se presenta los parámetros técnicos en función de la soldadura MIG para determinar el alambre de aporte.

El alambre de aporte es de 0.8 mm

### 3.4. Análisis de costos fabricación prototipo

Para la comparación se emplea un sistema de arado tipo cincel de 7 puntos y los costos de fabricar este prototipo en pesos colombianos los cuales se indican a continuación:

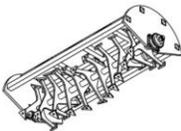
**Figura 3-10.** Cotización fabricación sistema de arado (Ver anexo 11)

**C & S**  
INGENIERIA ESTRUCTURAL SAS  
NIT: 901311723-1

COTIZACION 001-155

28 DE NOVIEMBRE DEL 2022  
En atención a su necesidad, ofrecemos la siguiente propuesta comercial.

ITEM 1.  
SISTEMA DE ARADO PARA HERRAMIENTA MOTORIZADA PARA JOHN DEERE S310 SEGÚN PLANOS.



ESTRUCTURA	\$3'950.000 + IVA
EJE	\$1'850.000 + IVA
ESTRELLA DE ARADO CANTIDAD 11	\$2'100.000 + IVA
SISTEMA DE ACOPLAMIENTO PARA HERRAMIENTA MOTORIZADA	\$1'200.000 + IVA
MANO DE OBRA	\$4'000.000 + IVA
VALOR TOTAL	\$11'900.000 + IVA

Nota. La figura presentada corresponde a la cotización realizada por Ingeniería estructural SAS para el prototipo de arado cincel 11 puntos.

Según cotización el costo de fabricación es de \$11.900.000 + IVA es decir \$14.161.000 COP, las partidas de mayor valor corresponden a la fabricación de la estructura y la mano de obra.

Al comparar el valor del prototipo, por ejemplo con un sistema de arado tipo cincel como se indica en la figura 3-11, se evidencia un menor valor en el prototipo, esta relación es de un 15% con respecto al valor comercial del sistema de arado de 7 puntos, es decir cuesta 3 veces más este sistema de arado sin contemplar el tractor.

**Figura 3-11.** Valor comercial Arado tipo cincel de 7 puntos



**19.000 €**  
Precio bruto, IVA – 20%  
≈ 19.710 US\$  
≈ 96.280.000 COP

Contacte con el vendedor

**15.833,33 €**  
Precio neto

Marca : ALPEGO

Modelo : Super craKer KF 7-300

Tipo : arado de cincel

Año de fabricación : 2022

Ubicación :  Ucrania  
Luck

Fecha de publicación : hoy

Agriline ID : WE30932

#### Descripción

Ancho de alcance : 3 m

Profundidad de procesamiento : 550 mm

Potencia del tractor requerida : 240 Hp

#### Estado

Estado : nuevo

Nota. Se presenta un sistema de arado tipo cincel de 7 puntos cuyo valor comercial a tasa de cambio es de \$ 96.290.000 COP; tomado y adaptado de <https://agriline.com.co/-/venta/arados-de-cincel/ALPEGO/Super-craKer-KF-7-300--22102617243461158500>.

El valor comercial de este sistema tipo cincel puesto en Bogotá es de \$ 96.280.000; el cual es bastante representativo.

Claramente el valor del prototipo es mucho menor, esta inversión de realizarla el agricultor la recuperación en un año y medio; quedando como valor agregado el sistema para uso en otros cultivos que demanden preparación de suelos franco-arenosos.

## Conclusiones

Con respecto al primer objetivo, los criterios de diseño comprenden el número de puntos para ampliar los surcos de arado, este paso de 5 puntos a 11 de arado, duplicando las líneas de siembra; el peso del cincel, el material el cual se diseñó en AISI 1045 en el diseño de máquinas garantiza la resistencia al desgaste en condiciones como la corrosión, la abrasión y la erosión.

Los prototipos presentados como alternativas de diseño comprenden configuraciones que emplean como en el caso de la alternativa 1 un sistema de brazo para regulación de las posiciones de arado del cincel de 4 puntos, resistente a la corrosión, los brazos de cincel son fijos, lo que limita su flexibilidad para ajustar distancias; la alternativa 2 muestra 11 puntos para arado, lo que permite tener un mayor número de líneas de arado o surcos, optimizando el proceso de siembra.

Se diseña un sistema de arado de cincel de 11 puntos cuya configuración integra un bastidor, chumaceras, tren de arado, piñón de transmisión y tuerca de seguridad M24; el cual al realizar el análisis estático de elementos finitos muestra a nivel de cincel un esfuerzo máximo de 86.8 MPa, un desplazamiento máximo de 0.22 MPa y un factor de precarga o de seguridad de 3.74, lo que indica que la estrella de cincelado trabaja en condiciones de atascamiento de manera adecuada, y no va a presentar fatiga de material; de igual forma para el caso del chasis del sistema de arado, se tiene que la estructura trabaja óptimamente con las cargas a la que se le someterá en su trabajo, esta presenta un esfuerzo máximo de 51.11 MPa y un desplazamiento máximo por flexión de 0.03 mm, así su factor de precarga o de servicio es de 5.53 ul.

## **Recomendaciones**

Evaluar otros materiales alternativos para el diseño del cincel.

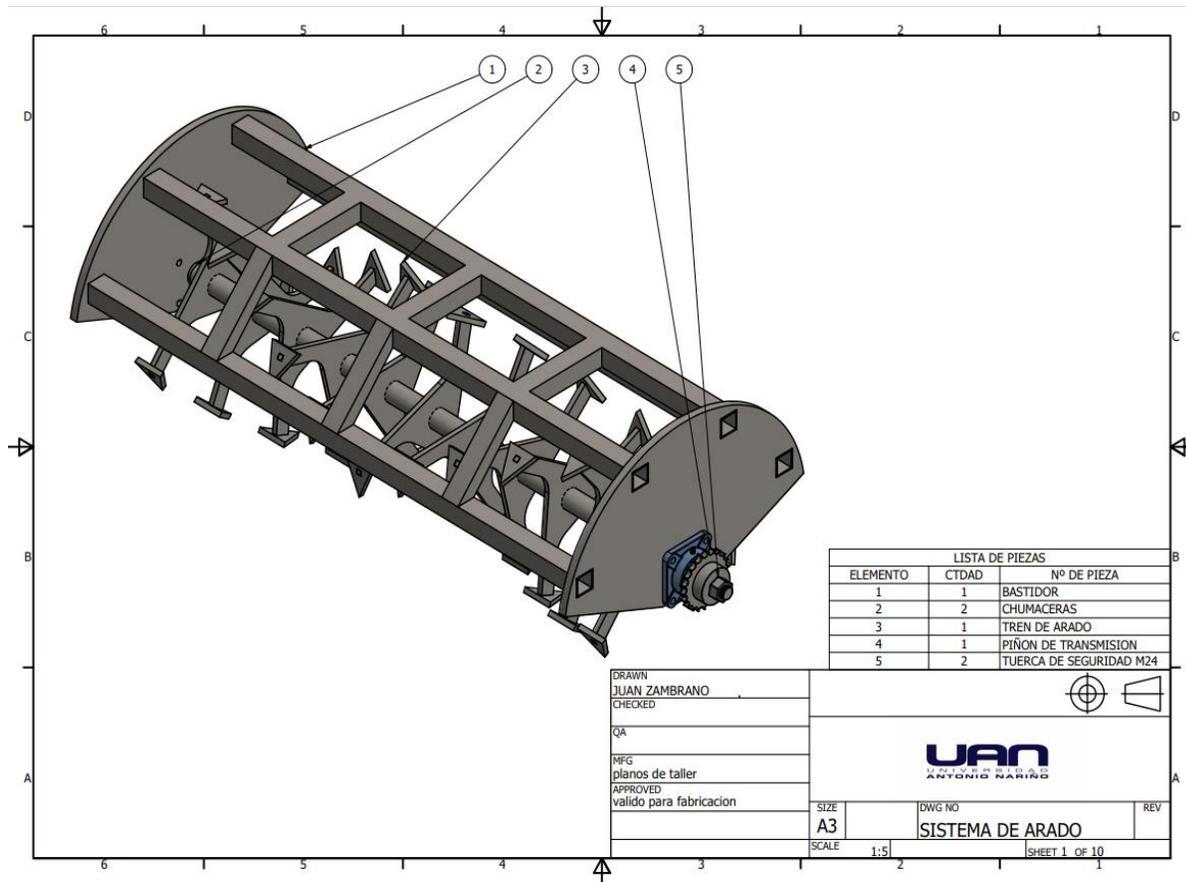
Implementar la automatización para el control y programación de la profundidad y velocidad del sistema de arado.

Elaborar el manual de operación y funcionamiento del sistema de arado.

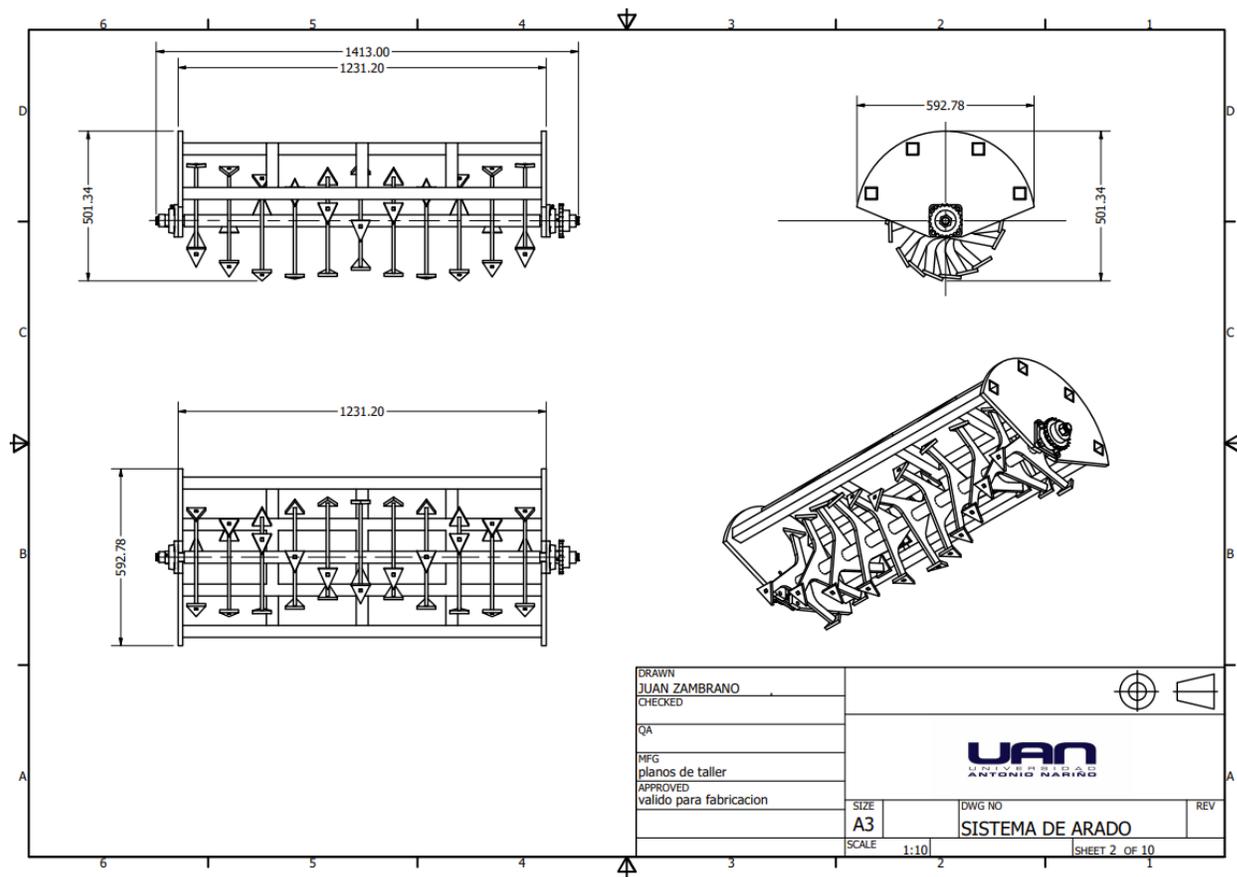
Implementar un sistema de señalización sonora y visual para operación del equipo.

### Anexos

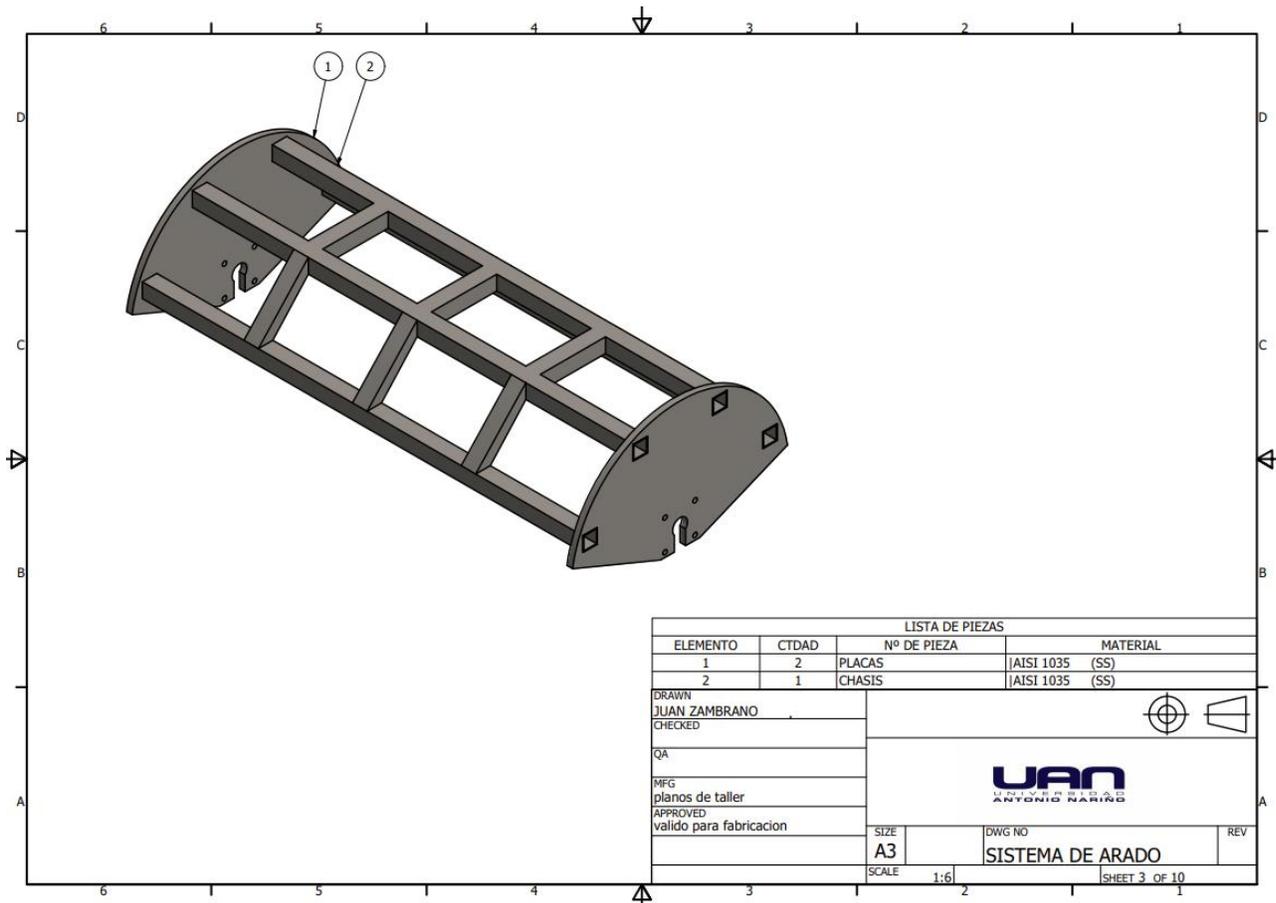
Anexo. 1. Isométrico de sistema de arado



Anexo. 2.vistas latera, frontal y vertical sistema de arado



Anexo. 3. Isométrico bastidor

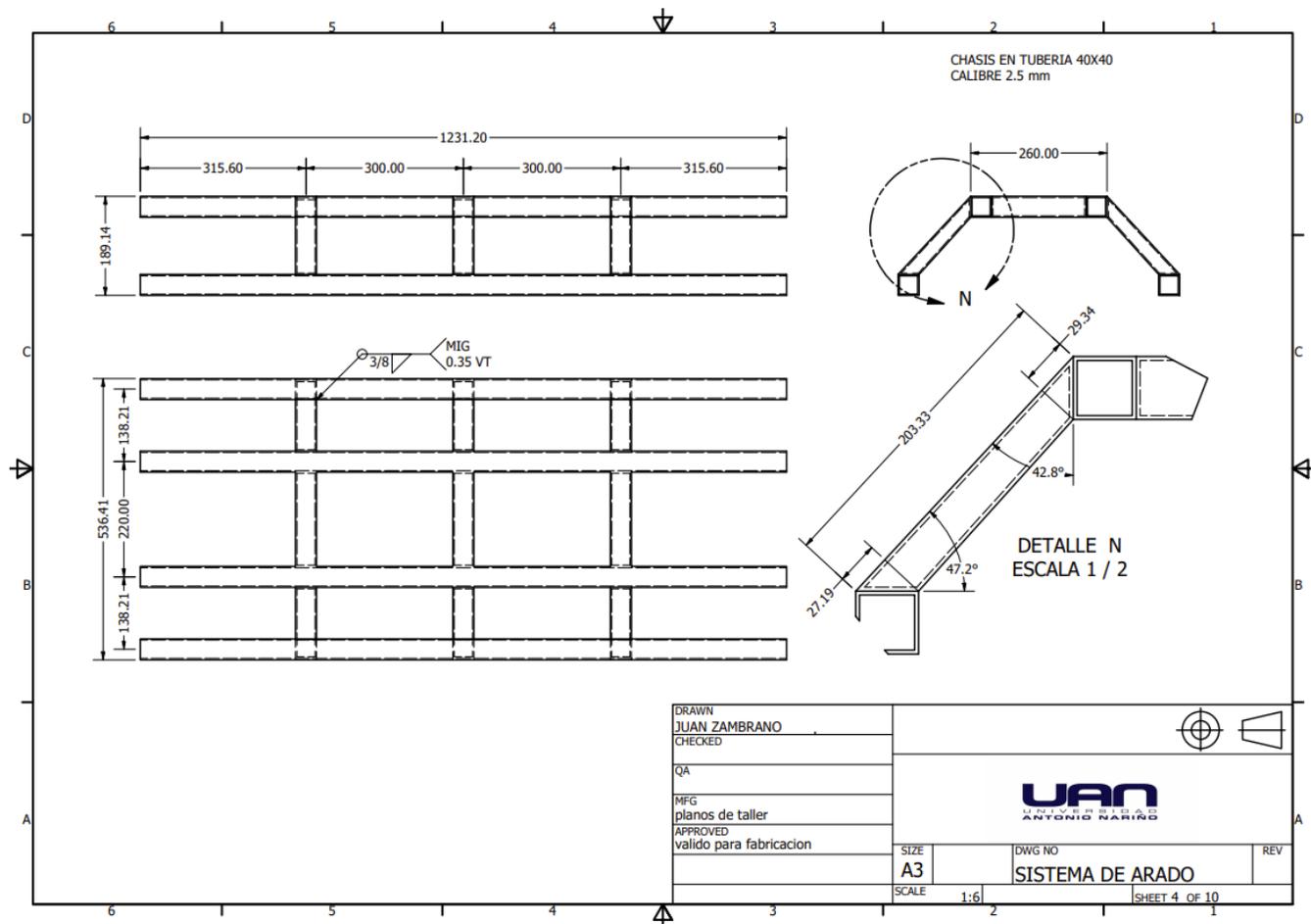


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL
1	2	PLACAS	AISI 1035 (SS)
2	1	CHASIS	AISI 1035 (SS)

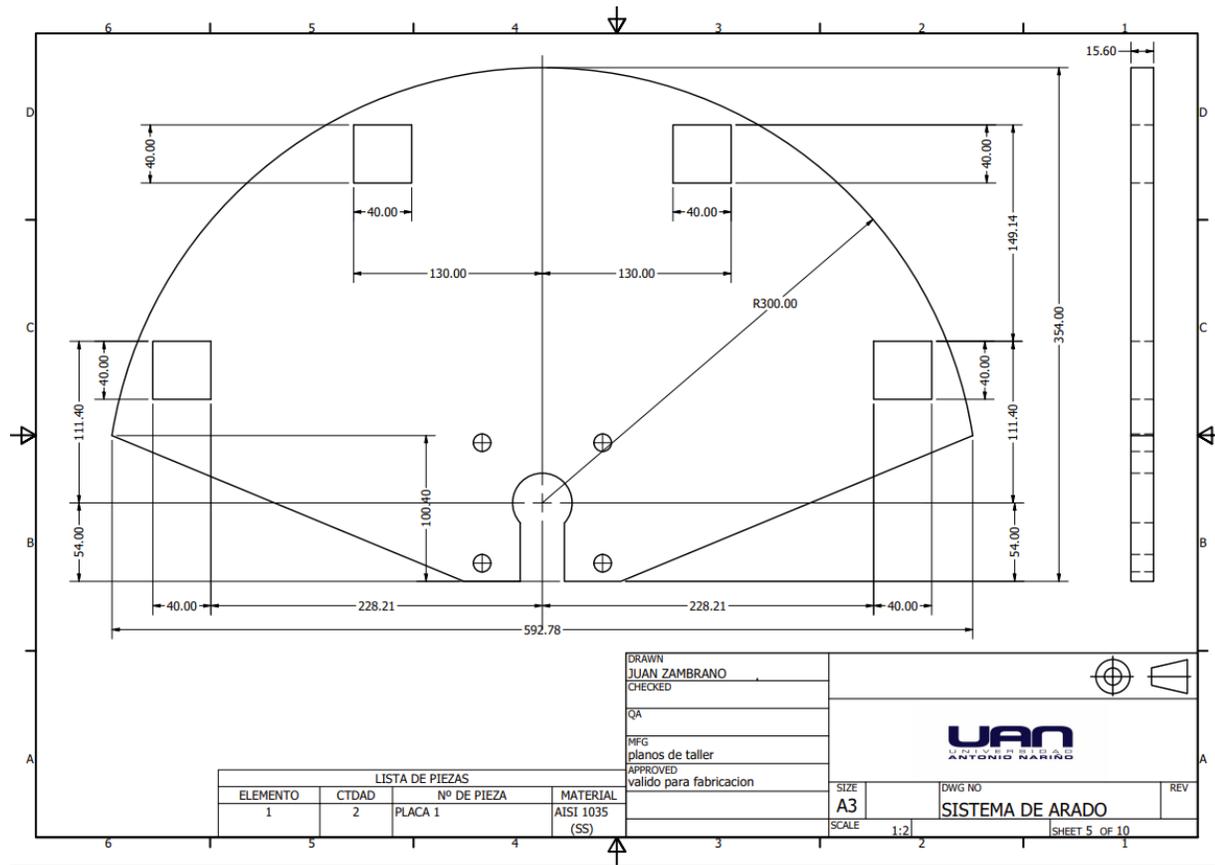
  

DRAWN JUAN ZAMBRANO	 		
CHECKED			
QA			
MFG planos de taller			
APPROVED valido para fabricacion	 UAN ANTONIO NARRIG		
	SIZE A3	DWG NO SISTEMA DE ARADO	REV
	SCALE 1:6	SHEET 3 OF 10	

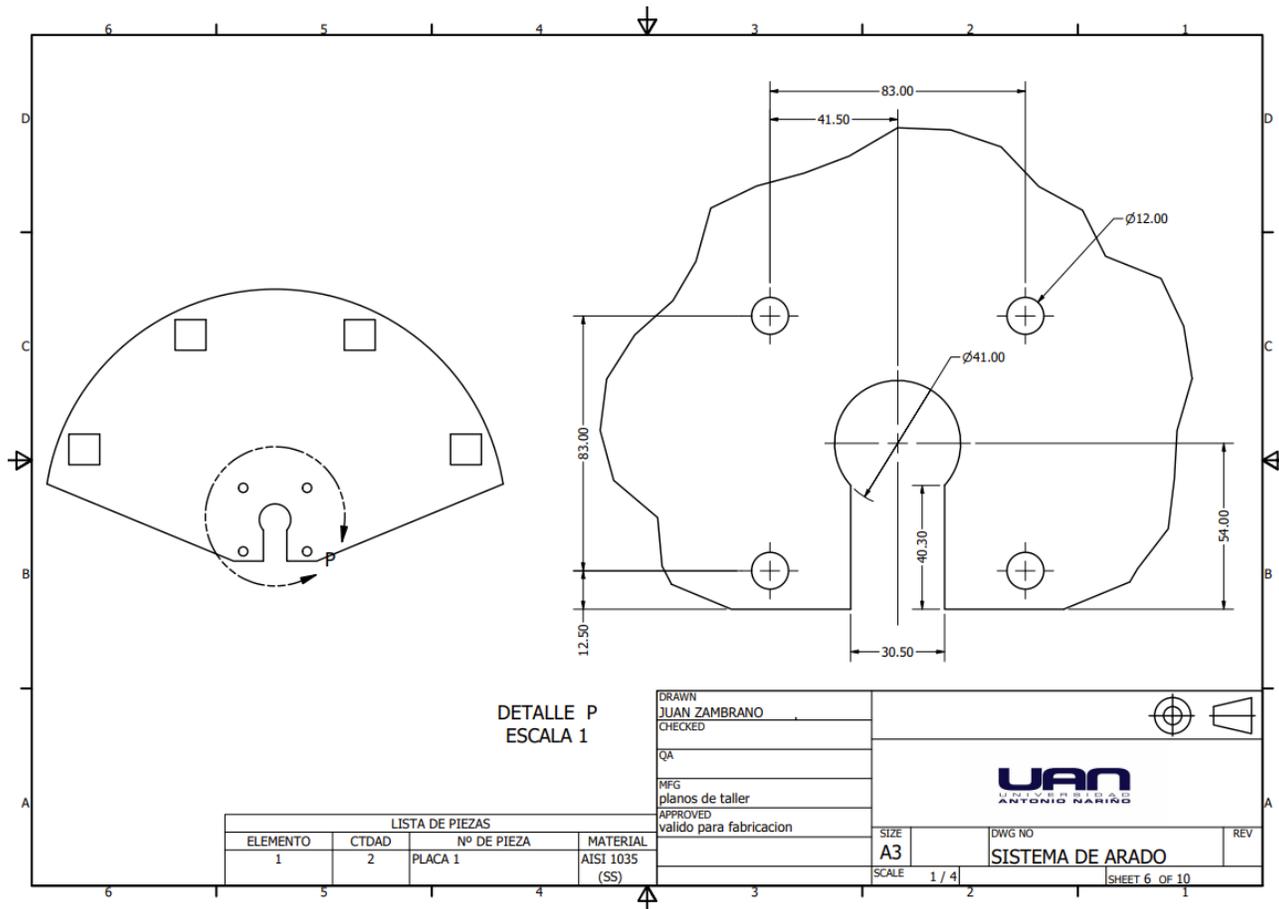
Anexo. 4. Detalle chasis



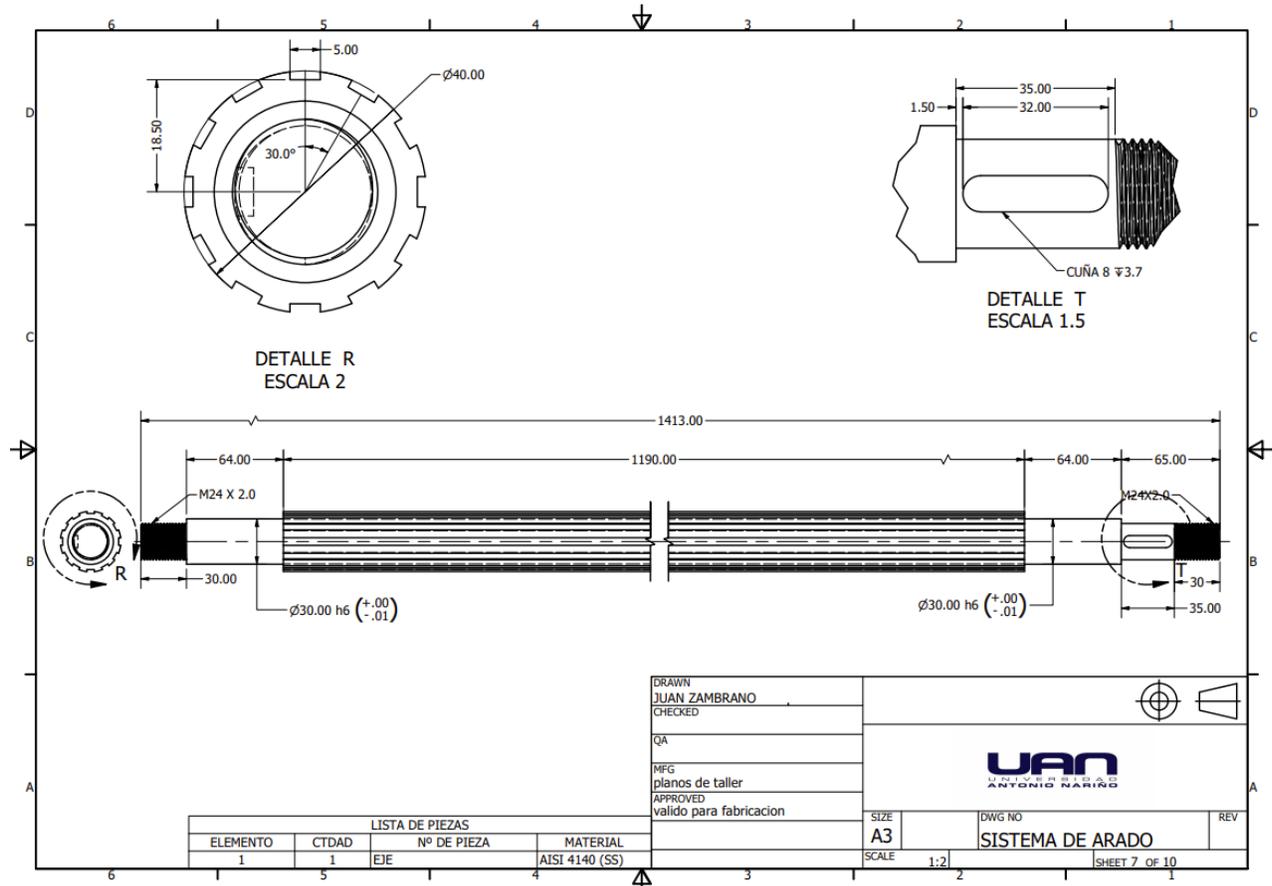
Anexo. 5. Detalle Placa



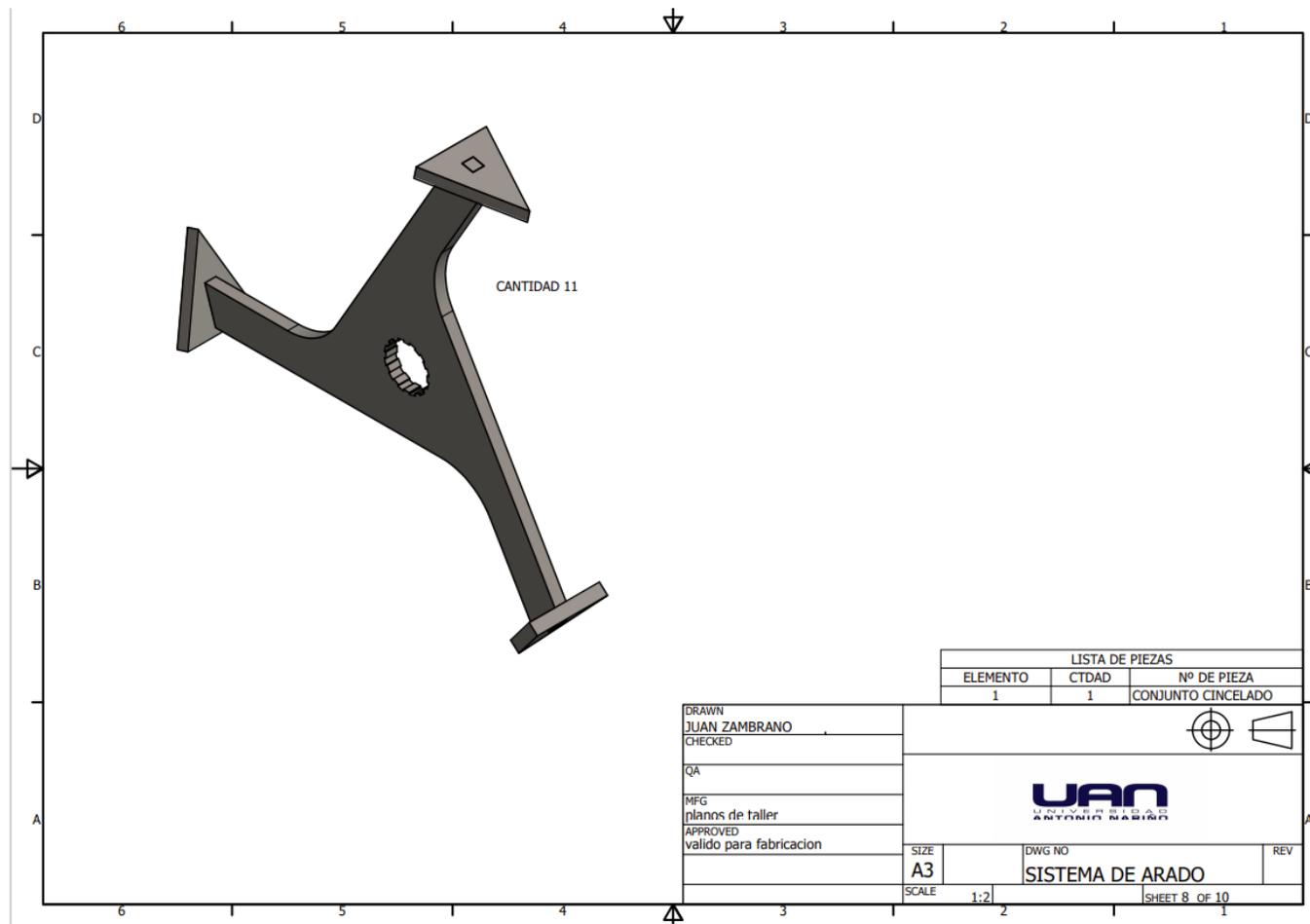
Anexo. 6. Corte vista lateral placa



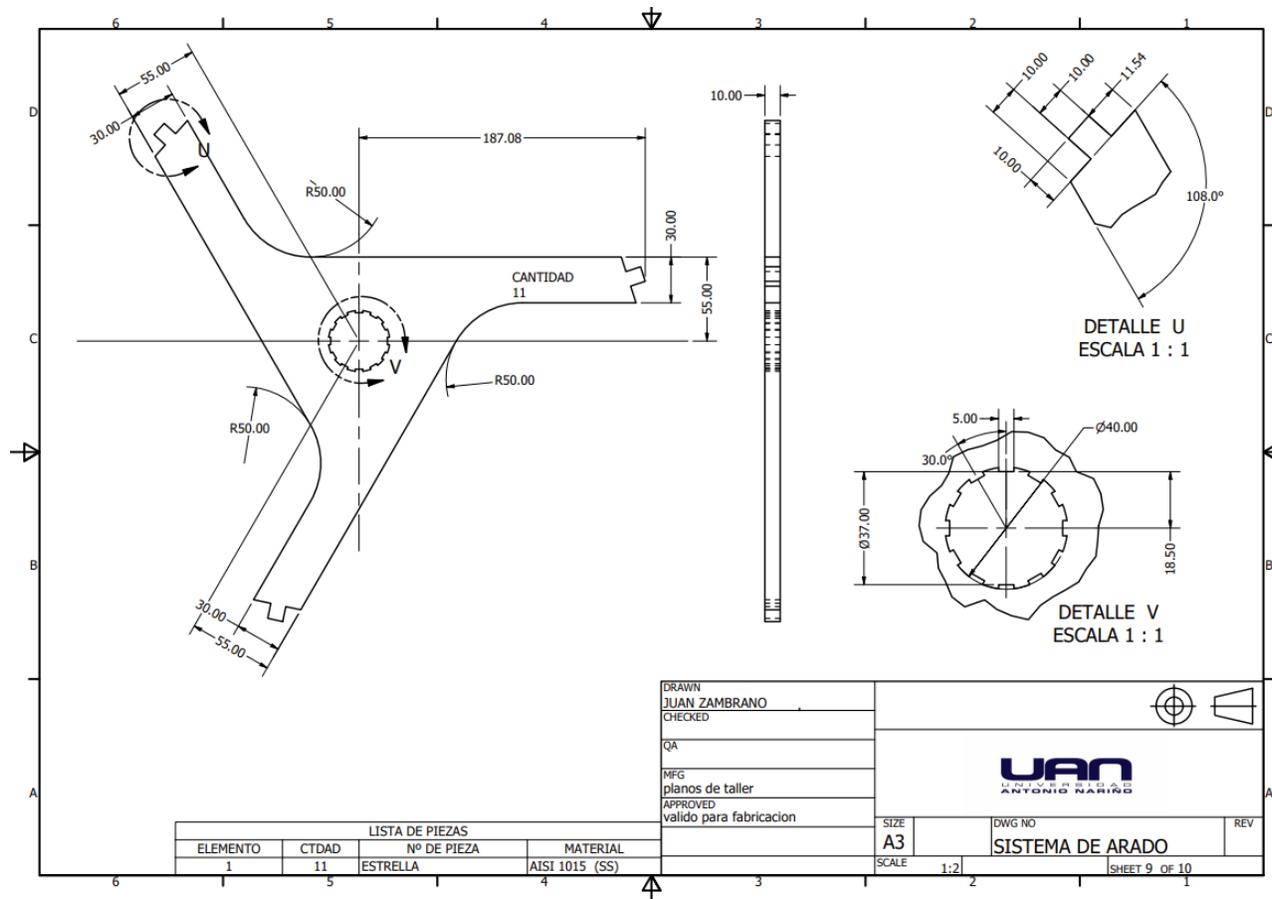
Anexo. 7. Detalle eje



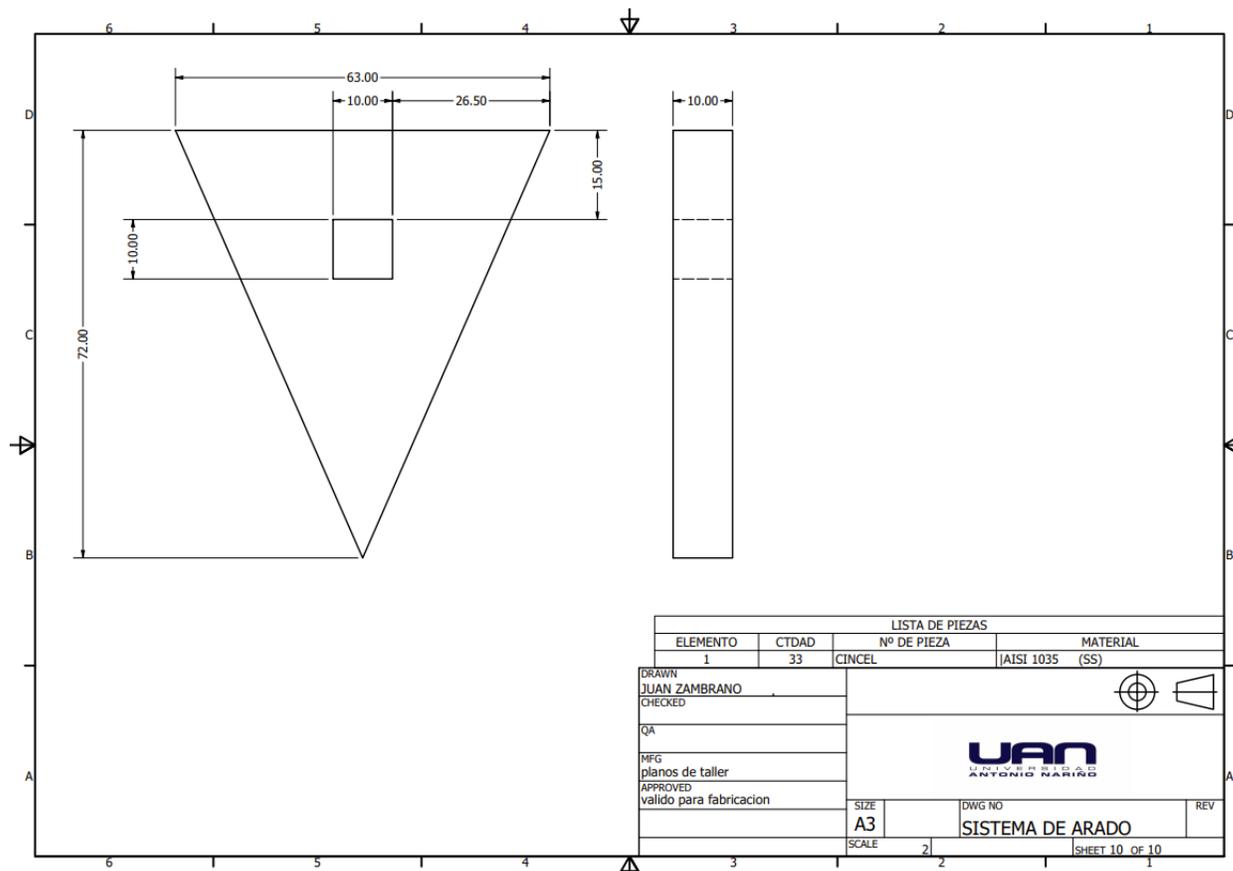
Anexo. 8. Isométrico de cincel triangular tipo estrella



Anexo. 9. Vista lateral cincel tipo estrella



Anexo. 10. Vista vertical cincel



Anexo. 11. Cotización fabricación sistema arado cincel

# C&S

**INGENIERIA ESTRUCTURAL SAS**

**NIT: 901311723-1**

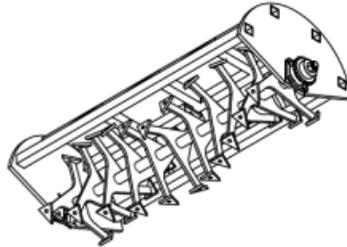
COTIZACION 001-155

28 DE NOVIEMBRE DEL 2022

En atención a su necesidad, ofrecemos la siguiente propuesta comercial.

ITEM 1.

SISTEMA DE ARADO PARA HERRAMIENTA MOTORIZADA PARA JOHN DEERE 5310 SEGÚN PLANOS.



ESTRUCTURA	\$3'950.000 + IVA
EJE	\$1'850.000 + IVA
ESTRELLA DE ARADO CANTIDAD 11	\$2'100.000 + IVA
SISTEMA DE ACOPLAMIENTO PARA HERRAMIENTA MOTORIZADA	\$1'200.000 + IVA
MANO DE OBRA	\$4'000.000 + IVA
VALOR TOTAL	\$ 11'900.000 + IVA

CALLE 26 SUR N° 27-23 BARRIO SANTANDER (BOGOTÁ)

[csingenieriaestructural@gmail.com](mailto:csingenieriaestructural@gmail.com)

[comercial.csingenieriasas@gmail.com](mailto:comercial.csingenieriasas@gmail.com)

3108634975

## Referencias Bibliográficas

- Agronet. (12 de Abril de 2021). Recuperado el 12 de Agosto de 2022, de <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Estos-son-los-tipos-de-labranza-que-usted-puede-utilizar-en-su-predio.aspx>
- Agroptima. (22 de Julio de 2020). Recuperado el 21 de Agosto de 2022, de <https://www.agroptima.com/es/blog/arados-agricolas/>
- Agudelo, P. (2013). *Estudios de desgaste de recubrimientos duros*. Medellín: Universidad Nacional.
- Almaraz, Á. (12 de Enero de 2020). Recuperado el 24 de Agosto de 2022, de <https://www.reparatucultivador.com/arado-de-vertederas/>
- Boletín Agrario. (15 de Agosto de 2020). Recuperado el Septiembre de 2022, de <https://boletinagrario.com/f826,arado-chisel-cinzel.html>
- Boletín Agrario. (12 de Octubre de 2022). Recuperado el 12 de Agosto de 2022, de <https://boletinagrario.com/f824,arado-discos.html>
- Celik, K. (2020). *Strength-based design analysis of a Para-Plow tillage tool*. Akdeniz (Turquia): Science direct.
- Chacón, G. (2020). *Sistemas de arado*. Buenos aires: Universidad Nacional.
- Chávez, R. (2021). *Investigaciones científicas y agrotecnológicas*. Ciudad de Mexico: UAM.
- CORPOICA. (2010). *CARCATERIZACION DE SUELOS PARA SIEMBRA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA*. Neiva: CORPOICA.
- Escobar, S. (2020). *Diseño de un sistema de grada de disco acoplable a una motocicleta*. Bogotá: Universidad de los ANdes.
- FEDEFRUTA. (2017). *Manual técnico de arado para agricultor*. Bogotá: FEDEFRUTA.
- Kobrick, A. (2019). *Los arados en la agricultura*. Santiaho de Chile: INIA.
- León, P. (2019). *Método Convencional de preparación del suelo. Cuatro aspectos que lo caracterizan*. Bogotá: Corpoica. Recuperado el 12 de Noviembre de 2022, de <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/ACUNAH/article/view/1038>

- Montana S.A.S. (2020). <http://www.maquinariamontana.com/images/manuales/AR.pdf>. Bogotá: Montana.
- Morales, O. (2015). *Diseño de un sistema de arado para la preparación del suelo en cultivos orgánicos*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Moreno, J. (2022). *Análisis mecánico y de desgaste en un arado de vertedera universal por medio de la dinámica de fluidos computacional*. Ciudad de México. Recuperado el 12 de Noviembre de 2022, de <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3653>
- Myszca, D. (2012). *Maquinas y Mecanismos*. MEXICO D.F.
- Shigley. (2014). *Diseño mecanico*. Bogotá: Researchgate.
- Sierra, H. (2020). *Propiedades mecanicas de los aceros*. Bogota: EAFIT.
- Singh, T. (2020). *GMAW cladding on metals to impart anti-corrosiveness: Machine, processes and materials*. Jaipur (India): Science direct.
- SIR-HUILA. (2022). *Costos producción Maíz Amarillo*. Neiva: SIR. Obtenido de <https://www.sirhuila.gov.co/socio-economica/economicas/agropecuario/agropecuario-2018/agropecuario-2020/>
- Song, W. (2022). *Increasing the width of disturbance of plough pan with bionic inspired subsoilers*. Changsha (China): Science direct.