

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PALA MECÁNICA CON ACOPLE
INTERCAMBIABLE PARA LA RECOLECCIÓN DE MATERIAL AGRÍCOLA,
EN TRACTOR SEDE GUATIGUARA.**

**CARLOS ARTURO CABRA SANCHEZ
ELIASIB PICO QUINTERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PALA MECÁNICA INTERCAMBIABLE
PARA LA RECOLECCIÓN DE MATERIAL AGRÍCOLA, EN TRACTOR DE
SEDE GUATIGUARA.**

**CARLOS ARTURO CABRA SÁNCHEZ
ELIASIB PICO QUINTERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Mecánico**

Director

**RICARDO ALFONSO JAIMES ROLON
Ingeniero Mecánico M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

Primero que nada, doy gracias a Dios por su infinito amor y su bendición para alcanzar esta meta. Segundo, a mis padres Luz Stella y Carlos Alfredo por el apoyo y la confianza depositada en mí, como también sus palabras de aliento en los momentos difíciles y la oportunidad brindada de llevar acabo mis sueños. Tercero, a mi hermana Luz Helena por estar siempre acompañándome en esta meta. Cuarto, agradezco a mis familiares y amigos que estuvieron pendientes para alcanzar este logro aportándome sus buenos consejos para no desfallecer. Por último, le agradezco especialmente a Solly Clarena por ser mi mano derecha y estar siempre apoyándome en todo momento de este ciclo de mi vida.

CARLOS ARTURO CABRA SANCHEZ

Æ Dios por todas las bendiciones y acompañamiento para conmigo y con mi familia, siempre ha sido y será quien me brinda las oportunidades de alcanzar mis metas y salir adelante.

Æ mis padres, Gustavo Pico y Amparo Quintero infinitas gracias por su incondicional apoyo durante toda mi vida, gracias por el amor, los consejos y esas fuerzas que me brindan para salir adelante y hacer bien las cosas.

Æ mis hermanas que tanto quiero, gracias por estar ahí y de una u otra forma hacer esto posible.

Æ mi esposa muchas gracias por el empuje, paciencia y apoyo en esta etapa tan importante, gracias por esa ayuda y compromiso para culminar este proyecto, gracias por el amor y la tranquilidad que todos los días llena nuestro hogar.

Æ mi hijo gracias por llenar de amor ternura y paz mi corazón, gracias por ser la inspiración y fortaleza para los retos del día a día.

ELIASIB PICO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander por abrirme las puertas y brindarme una excelente formación académica. Gracias a mis profesores que se convirtieron en un pilar fundamental en la enseñanza de aprendizaje para mi vida profesional y cumplir con un reto personal.

De igual manera, agradezco a mi director de proyecto Ricardo Jaimes por su orientación, paciencia y compromiso para sacar adelante este trabajo de grado y al señor Gonzalo Calderón por las accesorias realizadas para diseño y montaje del producto final, que sin sus conocimientos nada de esto hubiera sido posible.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	20
3.MARCO DE REFERENCIA	22
3.1 MAQUINARIA AGRÍCOLA	22
3.1.1 Evolución	23
3.1.2 El tractor.....	23
3.1.3 Pala cargadora.....	24
3.1.4 Balde mordaza	24
4. ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	26
4.1 ALTERNATIVAS DE SOLUCION	26
4.1.1 Pala mecánica	27
4.1.2 Mordaza.....	29
4.2 ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN.....	31
5. DISEÑO DE DETALLE	34
5.1 FACTOR DE SEGURIDAD	34
5.2 DISEÑO PALA MECÁNICA	36
5.2.1 Dimensionamiento	36
5.2.2 Análisis estático	37
5.2.3 Análisis de resistencia	40
5.3 DISEÑO DE LA MORDAZA	41
5.3.1 Dimensionamiento	41
5.3.2 Análisis estático	42

5.3.3 Análisis de resistencia	44
6. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS.....	45
6.1 ETAPA CONSTRUCCIÓN.....	45
6.2 PRUEBAS.....	47
6.2.1 Pruebas pala mecánica.....	47
6.2.2 Pruebas mordaza.....	48
6.3 RESULTADOS.....	49
7. PRESUPUESTO.....	50
8 PROYECTO VS MAQUINARIA NUEVA	51
9 CONCLUSIONES	52
10 RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFIA	54

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1	Tipos de máquinas agrícolas22
Tabla 2	QFD Pala y Mordaza30
Tabla 3	Factores del método de Pugsley35
Tabla 4.	Pesos específicos.38
Tabla 5.	Resistencia del suelo38
Tabla 6.	Madera Vs Piedra43
Tabla 7.	Resultados49
Tabla 8.	Presupuesto.....50
Tabla 9.	Comparación costo con similar51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Granja UIS Guatiguará	20
Figura 2. Tipos de máquinas agrícolas	22
Figura 3. Tractor Same110	23
Figura 4. Pala cargadora CAT	24
Figura 5. Balde mordaza HEROVIAL.....	25
Figura 6. Prototipo A de Pala	27
Figura 7. Prototipo B de Pala	28
Figura 8. Prototipo C de Pala.....	28
Figura 9. Prototipo A de Mordaza.....	29
Figura 10. Prototipo B de Mordaza.....	30
Figura 11. Ensambls Pala y Mordaza	31
Figura 12. Estructura disponible	31
Figura 13. Soporte en L.....	32
Figura 14. Pala mecánica.....	32
Figura 15. Mordaza	33
Figura 16. Ensamble General mordaza	33
Figura 17. Ensamble General Pala	36
Figura 18. Croquis Pala mecánica	37
Figura 19. Diagrama de cuerpo libre de la pala	39
Figura 20. Resultado de esfuerzos pala	40
Figura 21. Resultado del factor de seguridad	41
Figura 22. Modelo Mordaza	42
Figura 23. Diagrama cuerpo libre mordaza	43
Figura 24. Resultado de esfuerzos Garra.....	44

Figura 25. Resultado del factor de seguridad	44
Figura 26. Materiales disponibles	45
Figura 27. Proceso de Construcción	46
Figura 28. Elementos finales.....	46
Figura 29. Montaje de Pala	47
Figura 30. Pala lista para pruebas.....	47
Figura 31. Pruebas Pala	48
Figura 32. Montaje Mordaza	48
Figura 33. Pruebas Mordaza.....	49
Figura 34. PF550C	51

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. DISEÑO PALA MECÁNICA

Anexo B. DISEÑO MORDAZA

Anexo C. PLANOS DE DISEÑO

Anexo D. PESOS ESPECÍFICOS

Anexo E. FICHA TÉCNICA LAMINA HOT ROLLED

Anexo F. MANUAL DEL USUARIO

“Ver anexos en la carpeta adjunta al CD”

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PALA MECÁNICA CON ACOPLER INTERCAMBIABLE PARA LA RECOLECCIÓN DE MATERIAL AGRÍCOLA, EN TRACTOR SEDE GUATIGUARA.*

AUTORES: CABRA SANCHEZ, Carlos Arturo y PICO QUINTERO, Eliasib.**

PALABRAS CLAVE: Diseño, construcción, tractor, pala mecánica, agrícola.

DESCRIPCIÓN: Con el ánimo de dar solución a la problemática en la granja Guatiguará, se ha diseñado y construido una pala mecánica que ayudará a la recolección del compost, su reubicación y tratamiento. Por otra parte se diseña y se construye una mordaza para la recolección de ramas, troncos y materiales de desperdicio propios de una granja.

Para brindar una mayor seguridad al producto final, también se creó un manual para montaje y desmontaje de los elementos intercambiables, ayudando notablemente a los operarios, disminuyendo los esfuerzos para levantar carga y disminuyendo los tiempos en que se completan estas labores que se tenían que hacer a mano y eran muy tediosas y limitadas por la carga que puede levantar el trabajador.

Para llevar a cabo este proyecto fue necesario el estudio de las cargas a levantar para poder llegar al diseño y la construcción del material final, que se encargará de aliviar los problemas de la granja a la hora de recoger tierra, ramas, troncos etc, montarlos a un remolque y poder trasladarlos hasta el punto de disposición final.

El financiamiento del proyecto fue por los estudiantes autores del mismo, y la entrega de los elementos se hizo satisfactoriamente cumpliendo con las metas propuestas en carga, dimensiones y altura de trabajo que debía tener.¹

*Trabajo de Grado

**Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ricardo Alfonso Jaimes Rolón, Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF MECHANICAL SHOVEL WITH INTERCHANGEABLE COIL FOR THE COLLECTION OF AGRICULTURAL MATERIAL, IN TRACTOR SEDE GUATIGUARA.

AUTHORS: CABRA SANCHEZ, Carlos Arturo y PICO QUINTERO, Eliasib.**

KEYWORDS: Design, construction, tractor, mechanical shovel, agricultural.

DESCRIPTION:

In order to solve the problem in the Guatiguará farm, a mechanical shovel has been designed and built to help the collection of the compost, its relocation and treatment. On the other hand, a gag is designed and constructed for the harvesting of branches, trunks and waste materials typical of a farm.

To provide greater safety to the final product, a manual was also created for assembly and disassembly of the interchangeable elements, greatly assisting the operators, reducing the efforts to lift the load and reducing the times in which these tasks were completed by hand and were very tedious and limited by the load that can raise the worker.

To carry out this project it was necessary to study the loads to be built in order to arrive at the design and construction of the final material, which will be responsible for alleviating the problems of the farm when collecting land, branches, logs, to a trailer and be able to transfer them to the point of final disposal.

The financing of the project was done by the student authors, and the delivery of the elements was done satisfactorily fulfilling the proposed goals in load, dimensions and work height that it should have.²

* Degree work

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ricardo Alfonso Jaimes Rolón Ingeniero Mecánico.

INTRODUCCIÓN

En este documento se encuentra el diseño, construcción e implementación de una pala mecánica y una mordaza para las labores agrícolas que comprenden el movimiento de tierras y el cargue y movimiento de ramas, troncos y piedras en la granja UIS Guatiguará.

La granja se encuentra a un kilómetro del Parque Tecnológico de Guatiguará y 200 metros antes de la entrada de la planta Postobón en Piedecuesta. Prestando actualmente servicios al programa IPRED y a los estudiantes de ingeniería mecánica que actualmente llevan a cabo su curso de taller de manufactura en este sitio.

Con el fin de generar una mejor calidad de vida en la población, se aporta desde la ingeniería mecánica con este proyecto al sector agrícola, solucionando los problemas de algunas tareas diarias propias de la granja que se deben hacer a mano por la falta de recursos para adquirir nueva maquinaria.

Gracias a este proyecto los trabajadores de la granja no tienen que levantar, mover y remolcar desechos manualmente como se venía haciendo, evitando esfuerzos excesivos en la labor y disminuyendo el tiempo requerido para cumplirla.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL.

Cumpliendo con los parámetros previstos en la misión y la visión de la Universidad Industrial de Santander, aportando al crecimiento de la infraestructura técnica del parque tecnológico UIS Guatiguará buscando contribuir al desarrollo de las operaciones de la sede, se plantea diseñar y construir una pala mecánica con acople intercambiable para facilitar el trabajo y optimizar la recolección de madera y piedras.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir una pala mecánica intercambiable y una pinza mecánica, ambos elementos de acople rápido y brazo de enganche de tres puntos, la cual cumplirá con la función de recolectar arena, troncos, piedras, ramas, etc.

- Cumplir con las siguientes especificaciones.
 - Tamaño: Altura máxima 50 centímetros.

 - Peso máximo de las herramientas: 600 Kilogramos.

 - Altura máxima de trabajo: Las herramientas deben alcanzar una altura de 1.20 Metros.

 - Potencia: El sistema debe poder implementarse en tractores de 110 caballos en adelante.

 - Accionamiento: Los movimientos deben ser ejecutados por medio del sistema hidráulico del tractor.

- Instalar y comprobar mediante una serie de pruebas que la pala cumpla con las especificaciones planteadas. Peso muerto del sistema, carga y altura máxima a la que puede levantar la carga y fuerza máxima de apriete de las mordazas.
- Hacer una comparación de costos entre implementación de este proyecto versus la oferta comercial que se pueda conseguir en el mercado.
- Realizar un manual de operación y mantenimiento para las herramientas antes mencionadas.

2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El Parque Tecnológico Guatiguará es hoy el proyecto urbanístico, tecnológico y empresarial más avanzado dentro de la política de parques tecnológicos establecida por el gobierno nacional. La sede Guatiguará busca crear recursos que puedan suplir necesidades que estén presentando contra-tiempos, por ello se requieren crear alternativas que permitan dar soluciones de manera eficaz y eficiente aportando al desarrollo de la región.

La granja perteneciente al Parque Tecnológico de Guatiguará presta el servicio de arriendo de terreno para cultivos y estudios para empresas y para la misma Universidad Industrial de Santander, gracias a esto, se ve en la necesidad de realizar labores agrícolas para el sostenimiento de los cultivos que se están atendiendo y son objeto de estudio. Estas labores incluyen amontonar, recoger material orgánico y de desecho de las labores agrícolas para su posterior traslado o reutilización para compostaje en la granja. Estos trabajos se hacen de dos maneras, algunas veces con la ayuda de un tractor para acumular los desechos o de forma manual para montarlo a una plataforma de remolque y poder llevarlo a su destino final.

Figura 1. Granja UIS Guatiguará



Por ende nace la iniciativa de diseñar y construir una pala y una pinza para un tractor modelo SAME ANTARES 110, con el objetivo de remover y elevar medianas cantidades de tierra para el caso de la pala, y levantar ramas y troncos con la pinza.

De esta forma se incrementa el aprovechamiento de la maquinaria disponible en la recolección de material orgánico e inorgánico en el sector agrícola, generando beneficios de minimización de costos de compras de equipos para este campo, lo cual posiciona a la sede Guatiguará como un ejemplo a seguir en la implementación de tecnología agrícola para el desarrollo rural de la región.

Por tanto se busca evitar la adquisición de maquinaria agrícola adicional para estas labores de recolección, gestionando la reducción de tiempos de operación, facilitando la labor del operario y generando un aumento de la productividad diaria en las labores agrícolas.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MAQUINARIA AGRÍCOLA.

Primero se debe tener claro la diferencia entre herramienta, implemento y maquinaria agrícola. Básicamente la diferencia está en que la herramienta es la que se usa con las manos para labores sencillas y suele ser pequeña, el implemento es el que tiene un tamaño moderado y necesita mucha fuerza para realizar el trabajo, se suele enganchar a tractores. La maquinaria agrícola es autopropulsada (Motor) y de gran tamaño al igual que sus implementos.

Tabla 1. Tipos de máquinas agrícolas.

Abonadora	Cos. Remolacha	Rotoempacadora	Pala cargadora	Tractor
Cortadora	Desmontadora algodón	Fertilizadora	Plataforma recoge frutos	Trituradora
Cosechadora	Desbrozadora	Fumigadora	Pulverizadora	Vendimiado
Cos. Algodón	Desgranadora	Trilladora	Sembradora	Vibrador troncos
Cos. Cereales	Desvaradora	Motocultor	Segadora	Aplanadora
Cos. Forraje	Empacadora	Motor de riego	Surcadora	

Figura 2. Tipos de máquinas agrícolas.



Fuente: https://www.deere.com.ar/es_AR/products/³

³ JOHN DEERE. Productos agricultura. {En línea}. {Consultado el 28 de abril de 2017}. Disponible en: https://www.deere.com.ar/es_AR/industry/agriculture/agriculture.page?

3.1.1 Evolución: Desde el principio de las labores de campo se vio la necesidad de usar algo más fuerte que las propias manos para poder sembrar, regar la tierra, moverla y moldear los campos según la necesidad del cultivo, fue por esta necesidad que empezaron a crearse herramientas que facilitarían las tareas agrícolas. Desde entonces se ha venido innovando y produciendo una gran cantidad de herramientas agrícolas que de una u otra forma ayudan al hombre de campo a realizar las labores cotidianas con menor gasto energético y haciendo más productiva la tierra.

Fue con la revolución industrial que el sector agrícola avanzó significativamente con la entrada de la maquinaria agrícola con funcionamiento autónomo que podía hacer las labores de forma continua y usaba la energía de vapor como fuente de poder, reemplazando así los caballos y otros animales de tiro.

Luego aparece la gasolina y los motores diésel los cuales se convierten en la principal fuente de alimentación para las distintas tecnologías agrícolas, este motor es capaz de suministrar la energía eléctrica para la máquina agrícola, la fuerza para andar y maniobrar sobre los distintos terrenos y también la potencia necesaria para impulsar los distintos elementos rotatorios que van a hacer determinado trabajo.

3.1.2 El tractor: El tractor es un vehículo automotor muy versátil, generalmente para empujar o arrastrar remolques, cargas pesadas, aperos u otra maquinaria. Se ha caracterizado por su buena adherencia al suelo (muy buena tracción) y gracias a su motor de combustión interna y su gran autonomía en las labores, ha provocado la disminución de la mano de obra. Su gran capacidad radica en su parte trasera donde gracias a su enganche tripuntual, es capaz de llevar las distintas herramientas a cargar o remolcar, también posee una toma de fuerza donde por medio de un eje estriado conectado al motor, transmite la fuerza necesaria para mover o hacer funcionar alguna herramienta que generalmente funciona a 540 o 1000 RPM.

Figura 3. Tractor Same110.



3.1.3 Pala cargadora: También llamada pala mecánica, es usada comúnmente en la remoción y traslado de grandes cantidades de tierra o roca. Según su disposición puede ser frontal o retroexcavadora. Esta máquina usa una cuchilla en la pala para poder ingresar y romper el suelo, cuando está llena la pala se sube mediante unos actuadores hidráulicos que le dan el movimiento y ángulo necesario para el transporte y posterior descargue. Estos actuadores son alimentados por una bomba hidráulica que está conectada a su vez con el motor de combustión interna y así mediante el aceite hidráulico transporta la potencia hasta los actuadores.

Figura 4. Pala Cargadora CAT.



Fuente:

<http://www.conexionescat.com/Media/Images/MachineImages/pages/cargadoras-de-ruedas-default.jpg>⁴

3.1.4 Balde mordaza: Esta máquina es usada comúnmente para aplicaciones generales de labores de recolección y transporte de troncos y ramas sin dejar atrás las pequeñas partes que se puedan desprender del material.

⁴ CAT. Cargadora de ruedas CAT. {En línea}. {Consultado el 28 de abril de 2017}. Disponible en: <http://www.conexionescat.com/Media/Images/MachineImages/pages/cargadoras-de-ruedas-default.jpg>

Figura 5. Balde Mordaza HEROVIAL



Fuente: <http://www.herovial.com/wp-content/uploads/2013/11/balde3.png>⁵

⁵ HEROVIAL. Balde Mordaza. {En línea}. {Consultado el 29 de abril de 2017}. Disponible en: <http://www.herovial.com/wp-content/uploads/2013/11/balde3.png>

4. ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.

La granja UIS Guatiguará cuenta con una gran cantidad de herramientas y maquinaria agrícola que ayuda diariamente a sus trabajadores en las labores diarias propias de un cultivo como son la siembra, el arado, la recolección de frutos, fumigación, remoción y preparación de la tierra, traslado de desechos a la zona de compostaje, etc.

Actualmente la granja tiene en uso un tractor marca SAME110 que se encarga de tirar un remolque que se llena con material orgánico como ramas, hojas, tierra y otros, para llevarlos a la zona de compostaje que se encuentre en un extremo de la granja. El problema que se presenta es que la labor de recolección del material y su cargue hasta el remolque, se hace de forma manual limitando en tiempo y en cantidad de peso que puede levantar el trabajador.

Así mismo se presenta la necesidad de poder incluir alguna máquina que ayude a levantar algunas rocas presentes en el terreno, que pueda llevar el compostaje y también poder organizarlo según la necesidad, también se ve la urgencia de poder levantar las ramas y troncos que a mano no se pueden levantar fácilmente.

Este trabajo presenta un diseño que ayudará y dará solución a los problemas anteriormente mencionados, facilitando la labor en la granja y así mismo incrementando la productividad de esta. Es de vital interés garantizar la seguridad del trabajador por esto se presentan los estudios detallados de los elementos y materiales que componen la alternativa de solución.

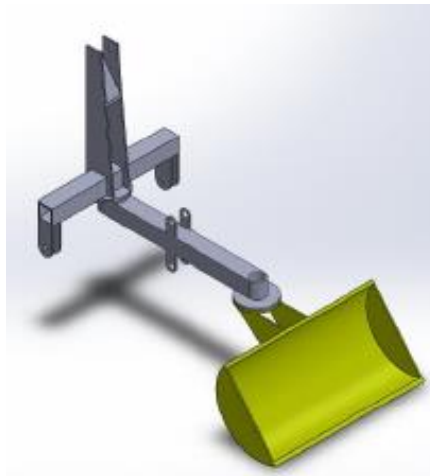
4.1 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Gracias a los problemas mencionados y a las necesidades de la granja, nace la iniciativa de diseñar una pala cargadora para las labores de compostaje y traslado de tierra, así mismo, la de diseñar una especie de mordaza que pueda recolectar los troncos y ramas de forma tal que dé el agarre que la pala cargadora no puede dar.

4.1.1 Pala Mecánica

A continuación, se muestra las alternativas que se pensaron con sus respectivas ventajas y desventajas.

Figura 6. Prototipo A de pala.



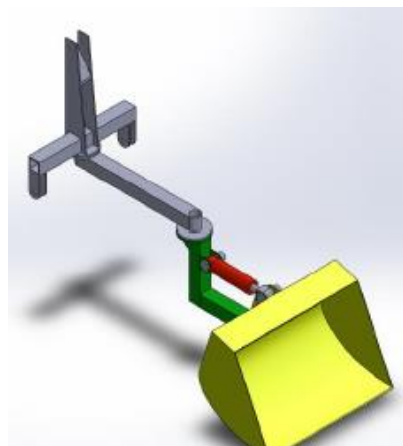
Este primer prototipo se creó pensando en usar la pala de la forma más sencilla tratando de dar movimiento solo con los brazos hidráulicos del tractor pero no se tuvo en cuenta que a la hora del descargue, la pala se queda con todo el material, haciendo que esta solución fuera rechazada inmediatamente. Otra desventaja es que el plato dentado que engancha con el marco, solo sirve para la pala, dejando la mordaza sin este vital elemento. Se necesitaría fabricar uno a medida, generando mayores costos.

Figura 7. Prototipo B de pala



Esta idea de Pala B surge de la necesidad de minimizar costos, donde se trata de unir la mordaza y la pala, en la parte inferior al marco se le incorpora un cilindro hidráulico para dar movimiento a la pala. Le desventaja de este modelo es que la mordaza que se encuentra en la parte superior iría estático, donde se hace incómodo y poco viable para que funcione correctamente, se propuso otro cilindro hidráulico en la parte superior pero los costos se incrementaban considerablemente haciendo que esta idea se descartase como solución.

Figura 8. Prototipo C de pala



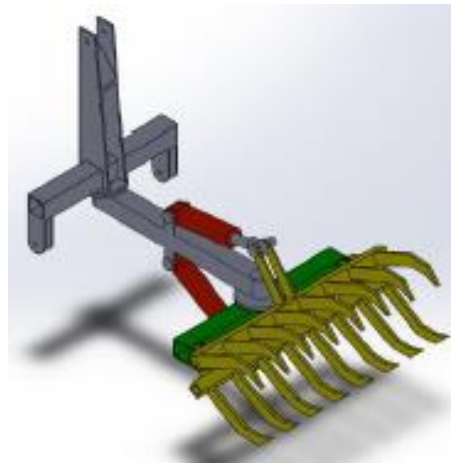
La propuesta de Pala recoge todas las mejoras de las anteriores propuestas, cuenta con un solo cilindro hidráulico para dar movimiento a la pala, se incluye un soporte en L que va a servir para la pala y para la mordaza, haciendo que sea

fácilmente intercambiable de una a otra por medio de pasadores en el soporte y el cilindro.

4.1.2 Mordaza

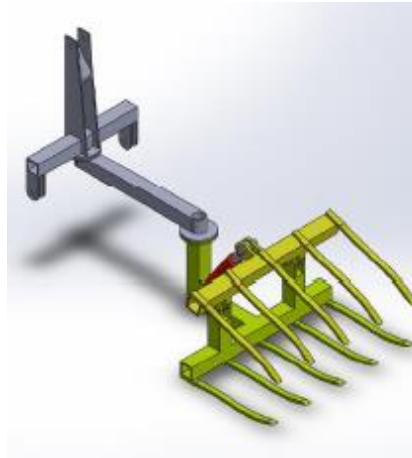
De la misma forma el procedimiento se hace con las alternativas de la mordaza comparando sus ventajas y desventajas.

Figura 9. Prototipo A de mordaza.



El prototipo A de pinza se planeó para un buen agarre donde tanto arriba como abajo cuentan con un cilindro hidráulico cada una, generando sobre costos por los cilindros y por el marco que sería independiente al de la pala. Difícil desmontaje y alto tiempo de cambio de implemento.

Figura 10. Prototipo B de mordaza.



Esta idea cuenta con la ventaja de usar un solo cilindro hidráulico y el mismo soporte en L para la pala. El único sobre costo sería la fabricación del marco que se puede hacer con perfiles, haciendo que sea más económico y práctico que las otras ideas. Para solucionar la movilidad de la mordaza inferior, se propone doble pasador donde uno es graduable al ángulo que se quiera trabajar.

Tabla 2. QFD Pala y Mordaza.

	Costo	Desmontable	Mantenimiento	Angulo trabajo	TOTAL
Pala A	100	21	9	1	131
Pala B	30	21	21	1	73
Pala C	70	49	30	10	159
pinza A	30	21	9	1	61
pinza B	70	49	21	10	150

La mejor opción sale de ponderar los ítems por su importancia, donde el costo tiene un valor de 10, desmontable 7, mantenimiento 3 y ángulo de trabajo 1. Ahora se valoran los comportamientos de las alternativas en cada ítem, si cumple muy bien tiene un valor de 10 y 1 si no cumple con la especificación.

4.2 ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN.

La propuesta que se presenta consiste en un sistema simple y compacto que se podrá unir fácilmente a la estructura disponible que va al tractor (Ver Fig12.), usando un soporte en L que va a servir para montar la pala cargadora y fácilmente desmontable para poder ensamblar la mordaza usando el mismo soporte y actuador hidráulico lineal.

Figura 11. Ensamble Pala y Mordaza.

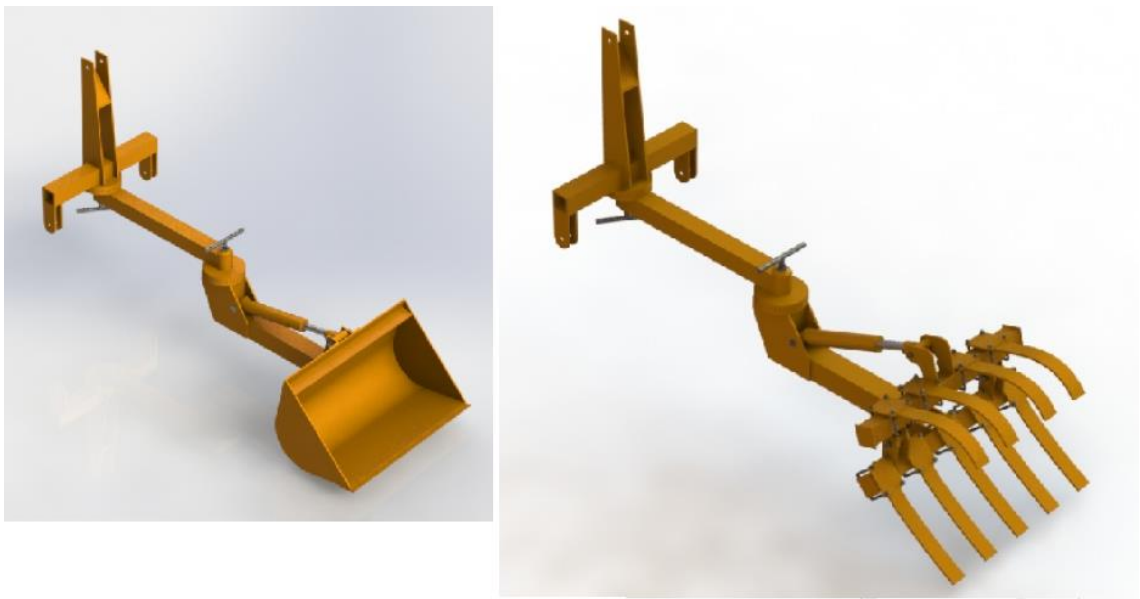


Figura 12. Estructura Disponible

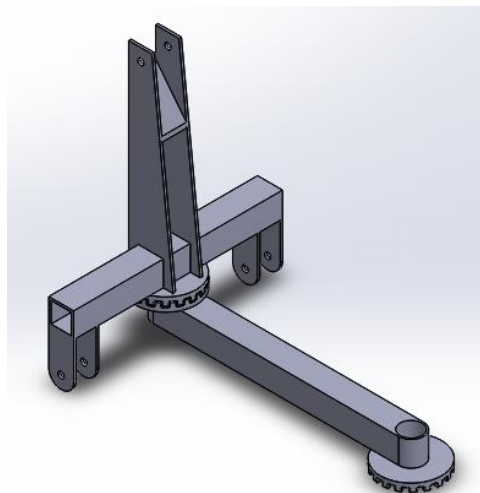
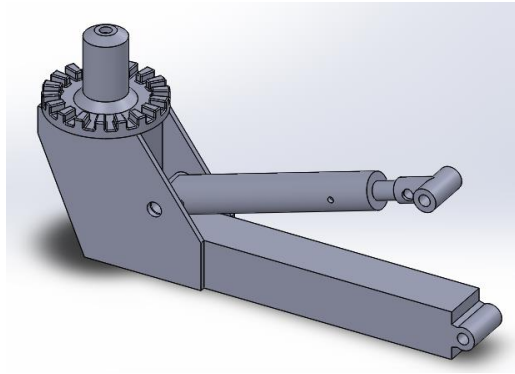
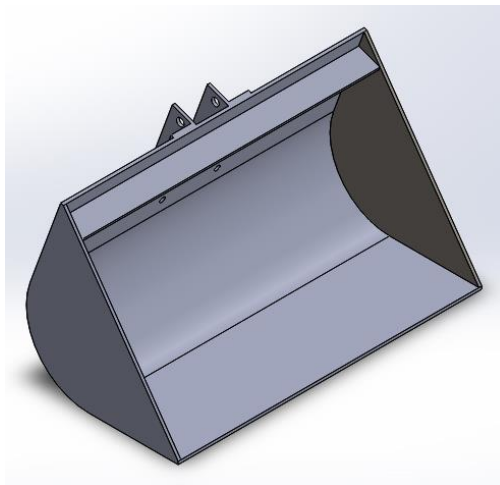


Figura 13. Soporte en L.



Esta solución (Ver Fig.13) surge de la necesidad de minimizar costos de fabricación, fácil montaje y desmontaje al tractor, y rápido cambio de la herramienta Pala a mordaza y viceversa. Esta estructura usa en común el soporte en L y el cilindro hidráulico con el fin de aprovechar una sola estructura para ambas operaciones. De la parte superior, el plato dentado macho se engancha con el plato dentado hembra de la estructura disponible, por otra parte, el extremo libre se acopla mediante pasadores a la pala mecánica y a las mordazas, haciendo que esta solución sea viable y versátil.

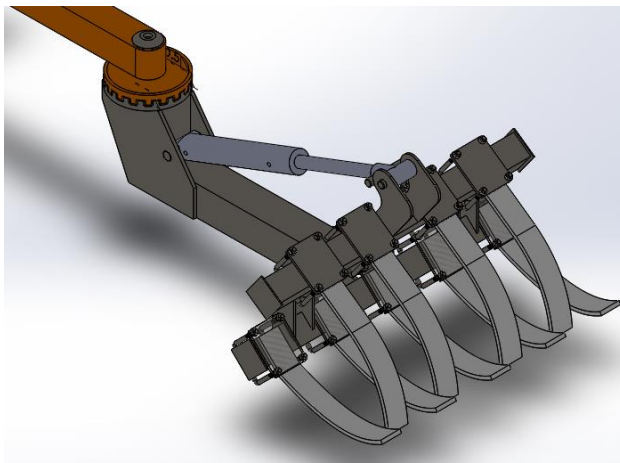
Figura 14. Pala Mecánica.



La pala mecánica (Ver Figura14.), se diseñó con un refuerzo en la parte superior para soportar las cargas de levante. En la parte posterior se encuentran los 2 puntos que unen la pala al soporte en L y al cilindro hidráulico mediante

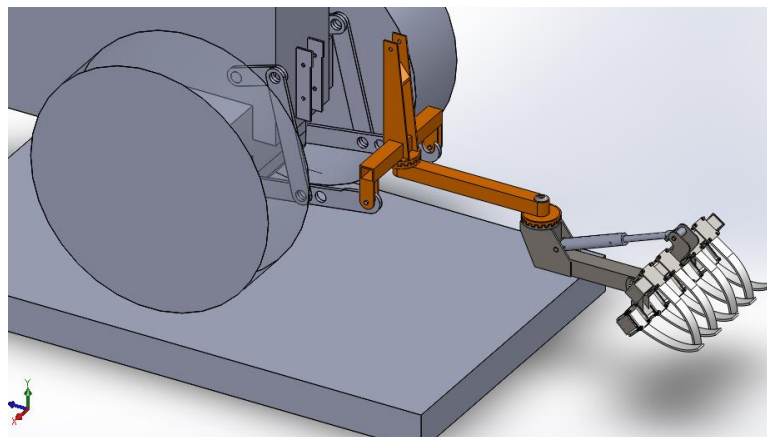
pasadores. Por otra parte, la solución para el agarre de ramas y troncos (Ver Figura15.) Se realizará mediante esta mordaza que en la parte superior engancha con el cilindro hidráulico y por la parte inferior con el soporte en L al igual que lo hace la pala. La mordaza inferior es de tres posiciones y dará la apertura e inclinación necesaria según se requiera, la mordaza superior abre y cierra gracias al cilindro que es accionado mediante el sistema hidráulico del tractor.

Figura 15. Mordaza.



Para dar una idea de las dimensiones y el montaje final, se muestra a continuación la Figura 16. Con el ensamble general de la forma en que queda la estructura ensamblada al tractor.

Figura 16. Ensamble general Mordaza.



5. DISEÑO DE DETALLE

5.1 FACTOR DE SEGURIDAD.

El factor de seguridad es un criterio muy importante a la hora del diseño de una pieza, para ellos se recurre a la literatura para poder encontrar un valor o rango recomendado para la construcción de elementos en maquinaria agrícola. El factor de seguridad se puede expresar como $n_s = \sigma_{perm} / \sigma_d$ donde σ_{perm} es el esfuerzo permisible que puede soportar el material y σ_d es el esfuerzo al que va a estar sometido con la carga real.

A continuación se presenta el método de Pugsley para el cálculo del factor de seguridad.

$$n_s = n_{xx} \cdot n_{yy}$$

Donde:

n_{xx} : Factor de seguridad que involucran características A, B y C

n_{yy} : Factor de seguridad que involucran características D y E

A: Calidad de los materiales.

B: Control sobre la carga aplicada.

C: Exactitud del análisis del esfuerzo.

D: Peligro para el personal.

E: Impacto económico.

Este método es una guía para poder dar un punto de arranque para que el diseñador tome una decisión en cuanto a los factores que va a tener en cuenta y si quiere ser conservativo o poco conservativo. Los factores que involucran las características A, B, C, D y E toman en consideración las distintas variables del diseño como la calidad del material, exactitud en la carga a manejar, exactitud en el análisis o aproximaciones de los esfuerzos en el diseño, si involucra vidas humanas y el impacto económico respectivamente.

Tabla 3. Factores del método de Pugsley.

Característica		B				
		mb	b	r	p	
A=mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A=r	C=	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A=p	C=	mb	1.7	2.05	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95
mb= muy bien			b= bien			
r= regular			p= pobre			

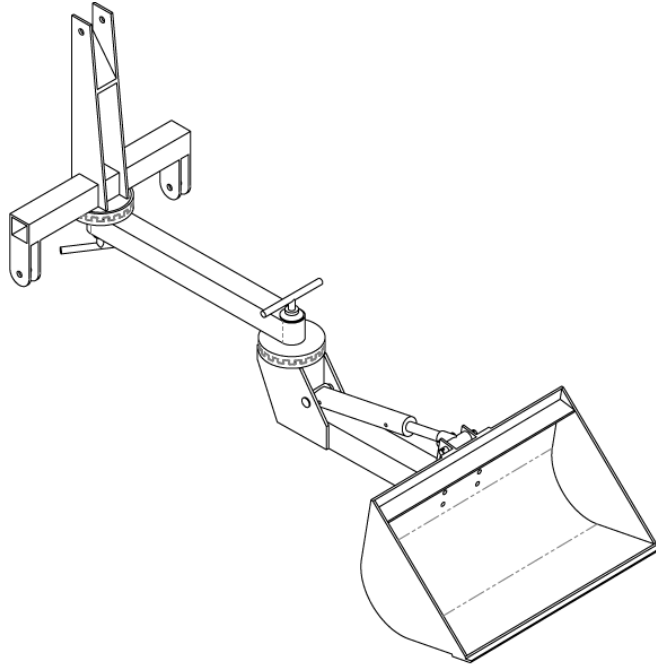
Característica		D		
		ns	s	ms
	ns	1.0	1.2	1.4
E=	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6
ms= muy serio		s= serio	ns= no serio	

Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-calculo-componentes-transmisiones-mecanicas/coeficiente-seguridad-admisible-2>

Para una calidad de material buena, control de carga bueno, exactitud de esfuerzo bueno, peligro del personal no serio e impacto económico serio, tenemos como resultado : $n_s = 1.75 * 1.0 = 1.75$.

5.2 DISEÑO PALA MECÁNICA.

Figura 17. Ensamble general Pala.

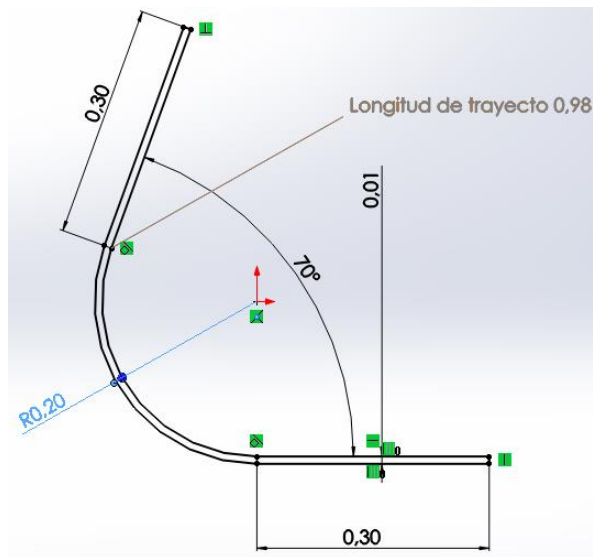


5.2.1 Dimensionamiento.

Para el dimensionamiento de la pala mecánica se va a comenzar con la petición del interesado del proyecto quien sugirió un metro de ancho como restricción y que la pala se pudiera construir con lámina de acero de un metro por un metro.

Este croquis (Ver Figura 18) se toma a partir del análisis de densidades de materiales que va a cargar regularmente. En el Anexo D se muestra una tabla de pesos específicos con las respectivas densidades de los materiales, siendo de nuestro interés la tierra negra, la madera y las piedras. Esta lista de pesos específicos dio la idea de poder tomar una forma de pala de buen volumen gracias a que los materiales a cargar son poco densos a comparación de otros, y de esta forma aprovechar la potencia del tractor. En este orden de ideas, la entrada a la pala también debe ser grande para poder cargar sin problema los materiales voluminosos como ramas y troncos.

Figura 18. Croquis Pala Mecánica.



5.2.2 Análisis estático.

Con el esquema propuesto se procede al análisis estático para encontrar las diferentes fuerzas que actúan sobre los elementos. También se ubicará las fuerzas externas que van a influir en la labor de recolección y de transporte de material.

Las fuerzas que van a actuar sobre la pala serán las siguientes: El peso propio, las reacciones que brindan los pasadores, la fuerza que genera el material que se levanta y la fuerza sobre la cuchilla de corte que es la que va entrando sobre la tierra o material a elevar. El peso de la pala es de 114kg usando acero laminado en caliente de un espesor de 3/8 in, la tierra pesa 315Kg ya que el volumen de la pala es de $0,15m^3$ y la densidad de la tierra más pesada es de $2100 \text{ Kg}/m^3$ (Ver Tabla4.), y por último la fuerza que ejerce la tierra al ser excavada que es de 1750 Newton y se explica a continuación.

Tabla 4. Pesos específicos.

CUERPOS A GRANEL	
tierra seca	1.330 kg/m ³
tierra húmeda	1.800 kg/m ³
tierra saturada	2.100 kg/m ³
arena seca	1.600 kg/m ³
arena húmeda	1.860 kg/m ³
arena saturada	2.100 kg/m ³
gravilla o canto rodado secos	1.700 kg/m ³
gravilla o canto rodado húmedos	2.000 kg/m ³
pedra partida	1.700 kg/m ³
Cemento	1.400 kg/m ³
polvo ladrillo	900 kg/m ³
Yeso	970 kg/m ³
PIEDRAS NATURALES	
granito, siena, pórfido	2.800 kg/m ³
Basalto	3.000 kg/m ³
mármol, pizarra	2.700 kg/m ³
pedra caliza compacta	2.500 kg/m ³
pedra caliza porosa	2.000 kg/m ³

Fuente: <http://www.jossoft.com.ar/ARCHIVOS/Pesos%20Especificos.pdf>⁶

La resistencia del suelo juega un papel importante a la hora de calcular la pala, dependiendo del tipo de suelo se tienen las siguientes fuerzas de tiro.

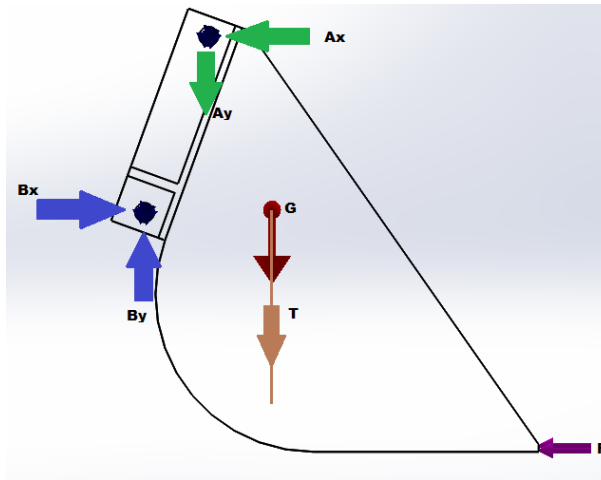
Tabla 5. Resistencia del suelo.

Implemento de Labranza/Tipo de Suelo	Tiro en kN (kPa) (lbs/pie) ¹³	Velocidad utilizada en km/h (mph)	Potencia en Barra de Tiro en hp/m (hp/ft)
Arado de Cíncel			
Fino	8,4 (575)	8 (5)	25,3 (7.7)
Medio	7,3 (500)	8,8 (5.5)	23,9 (7.3)
Grueso	5,8 (400)	9,6 (6)	21 (6.4)
Arado de Vertedera			
Fino	17,5 (1200)	7,2 (4.5)	47 (14.4)
Medio	13,4 (920)	8 (5)	40 (12.3)
Grueso	8,7 (600)	8 (5)	26 (8.0)
Cultivador de Campo			
Fino	5,7 (390)	8 (5)	17 (5.2)
Medio	4,9 (340)	8,8 (5.5)	16 (5.0)
Grueso	3,9 (270)	9,6 (6)	14 (4.3)

(Source: Siemens, J.D. and W. Bowers. 1999. Machinery Management. John Deere Service Publication)

⁶ ANACOS. Datos útiles. {En línea}. {Consultado el 28 de abril de 2017}. Disponible en: <http://www.jossoft.com.ar/ARCHIVOS/Pesos%20Especificos.pdf>

Figura 19. Diagrama de cuerpo libre de la pala.



La fuerza F de la parte inferior derecha de la Figura 19, se toma con el valor de tiro más alto para la tierra, este valor tomado de la tabla 2 se multiplica por el área vertical que ingresa en la tierra. La pala tiene un metro de ancho y se considera una profundidad de diez centímetros para remoción de la tierra considerado el trabajo como arado fino que es el crítico, para trabajo más suave la profundidad aumenta considerablemente. La línea de acción del centro de masa se encuentra a cinco centímetros en distancia horizontal al punto de radio de la concavidad de la pala, en este punto va la fuerza que produce el peso de la pala (G) y la fuerza que ejerce el peso de la tierra dentro de la pala (T) asumiendo lleno todo el volumen.

"DATOS"

- F=1750 [N]
- G=1115,8 [N]
- D=174[mm]
- T=3090[N]
- $A_x=P*\cos(10,1)$
- $A_y=P*\sin(10,1)$

"Sumatoria momentos en B"

$$-(F*318,09)-(1124,51*D)+ (234,17*A_x)-(85,23*A_y)-(3090*D)=0$$

"SUMATORIA FUERZAS EN Y"

$$B_y-A_y-G-T=0$$

"SUMATORIA FUERZAS EN X"

$$B_x-A_x-F=0$$

De las 3 ecuaciones hay 4 incógnitas que son las reacciones que ejercen los pasadores, pero se conoce que en el punto A hay un elemento de dos fuerzas que es el cilindro hidráulico y se sabe su dirección (10,1°). Ax y Ay quedan relacionados con una sola incógnita que es P, la fuerza que está ejerciendo el elemento de dos fuerzas. Con esto claro se arrojan los siguientes resultados.

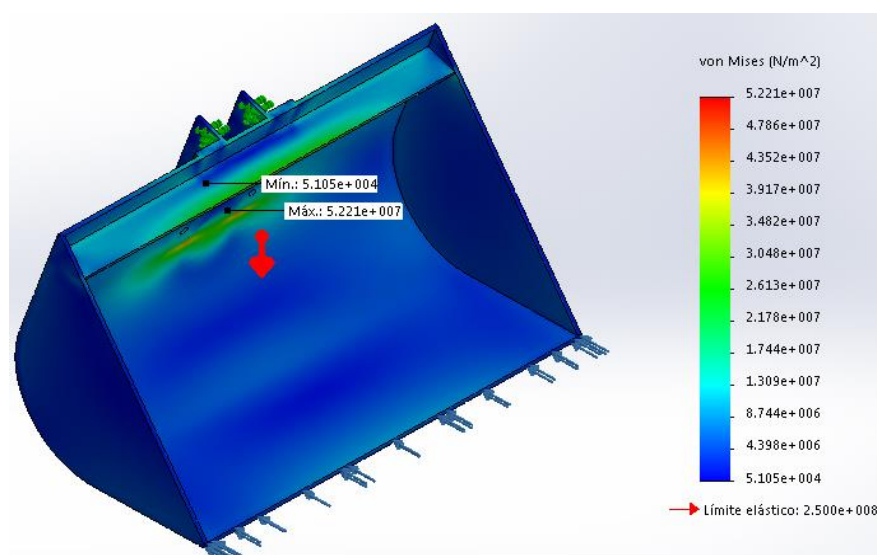
$$\begin{array}{lllll}
 A_x = 5891 & A_y = 1049 & B_x = 7641 & B_y = 5255 & D = 174 \text{ [mm]} \\
 F = 1750 \text{ [N]} & G = 1116 \text{ [N]} & P = 5983 & T = 3090 \text{ [N]} &
 \end{array}$$

5.2.3 Análisis de resistencia.

Con los datos anteriormente calculados y con las cargas externas que van a influir sobre la pala ya definidas, se procede con el análisis de resistencia de los materiales para comprobar que cumpla los requerimientos de esfuerzo y factor de seguridad confiable para estas labores.

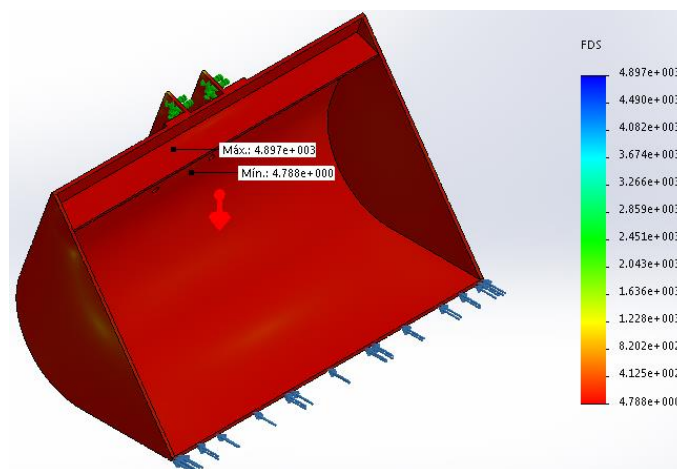
Se ingresan los datos al software CAD SolidWorks y se procede a crear un mallado fino que ayudará al sistema de métodos numéricos a resolver las distintas cargas y deformaciones que se puedan presentar en el modelo (Ver informe en el anexo A).

Figura 20. Resultado de esfuerzos Pala.



El mayor esfuerzo se concentra en la esquina inferior de los perfiles posteriores a la pala, donde se produce la mayor reacción por parte del pasador del soporte en L que sostiene a la pala, dicha esfuerzo es generado por la compresión en ese punto y la proximidad a la curvatura de la lámina de acero. Este esfuerzo es de $5,221 * 10^7$ y el esfuerzo máximo admisible del material es de $2,5 * 10^8$. Claramente el factor de seguridad está por encima del valor recomendado y se muestra a continuación.

Figura 21. Resultado del factor de seguridad pala.



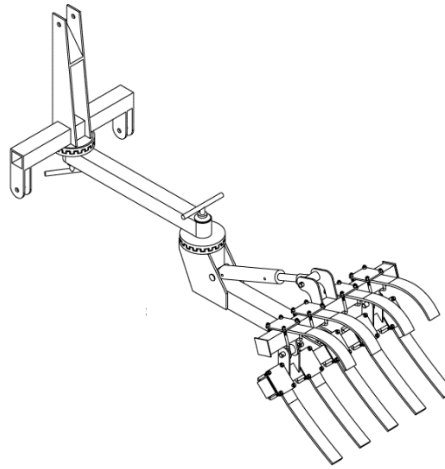
El factor de seguridad mínimo fue de 4.8 y satisface el criterio de factor superior a 1.75. El punto se encuentra en el mismo lugar del esfuerzo máximo ya que es allí donde el factor de seguridad es menor que en el resto de los puntos.

5.3 DISEÑO DE LA MORDAZA.

5.3.1 Dimensionamiento.

Para comenzar se tiene que el ancho debe ser 1 metro como petición del solicitante del proyecto, también la mordaza debe cumplir que sus extensiones o garras no choque las superiores con las inferiores para dar buen agarre al material que se levante, y por último, esta debe funcionar con el soporte en L y el cilindro hidráulico disponible.

Figura 22. Modelo mordaza.



5.3.2 Análisis estático

Para el análisis estático se tiene que analizar las fuerzas que van a estar actuando en la mordaza como el peso propio de los elementos, el peso de los materiales a cargar y por último las reacciones que estas generen sobre los pasadores que las sostienen.

De los materiales a levantar (ramas, troncos, piedras de mediano tamaño) se toma una carga crítica y con esta analizar estáticamente la mordaza. Se procede a aproximar una piedra mediana a una esfera de diámetro de 30 centímetros con un volumen $V_P = \frac{4}{3} \pi 0,15^3 = 0,01414m^3$ que multiplicado por el peso específico de la piedra en estas condiciones (Ver Anexo D) se obtiene un peso $P_P = 0,01414m^3 * 3000 \frac{Kg}{m^3} = 42,41Kg$ por piedra, pero el ancho del implemento permitiría cargo 3 piedras para un total de 127Kg.

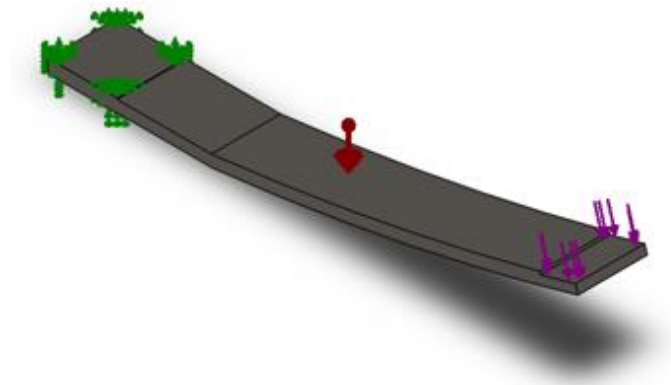
La madera se aproxima a troncos cilíndrico de 30 cm de diámetro y 1m de largo con un volumen $V_M = \pi * 0,15^2 * 1 = 0,07m^3$ por el peso específico donde se toma el mayor (Ver anexo D) de $1280 \frac{kg}{m^3}$ entonces se tiene un peso de 90,5kg de madera que se puede levantar y ocupando el volumen de la mordaza, esto quiere decir que solo cabe un tronco a la vez, y suponiendo una distribución uniforme sobre cada elemento de las uñas, se tiene que cada una soporta 18,1Kg.

Teniendo el anterior procedimiento claro, se puede deducir que el material crítico a levantar es la piedra ya que puede estar posada sobre una extensión o garra, ejerciendo hasta 18,1 kg de fuerza sobre el elemento que la sostiene. Por su parte la madera por su baja densidad, resulta con un peso de 90,5Kg sobre toda la mordaza y 50,2Kg sobre una sola garra.

Tabla 6. Madera vs Piedra

	ρ (Kg/m ³)	V* (m ³)	Peso Total (Kg)	Peso por uña (Kg)
Piedra	3000	0,1414	127	42,41
Madera	1280	0,07	90,51	18,1

Figura 23. Diagrama cuerpo libre Mordaza.



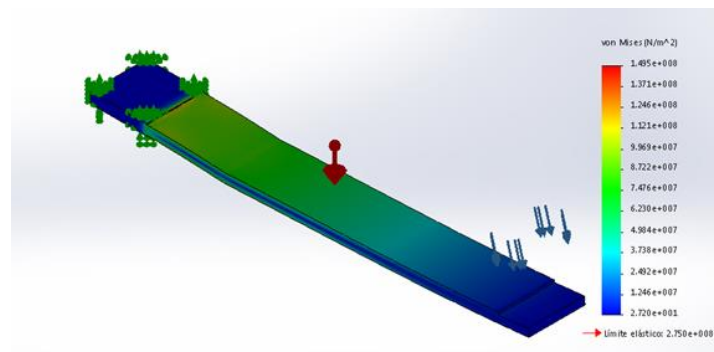
Donde F (morado) es la fuerza que ejerce una roca sobre la garra y M es el momento (verde) que se genera en ese extremo por la placa y el marco que la tiene y P (rojo) es la fuerza que se ejerce por el peso propio del elemento.

$$\begin{aligned} \sum M_G = M &= (P * C) + (F * D) = (44,64N * 0,247m) + (416,1N * 0,494m) \\ &= 216,57N * m \end{aligned}$$

5.3.3 Análisis de resistencia.

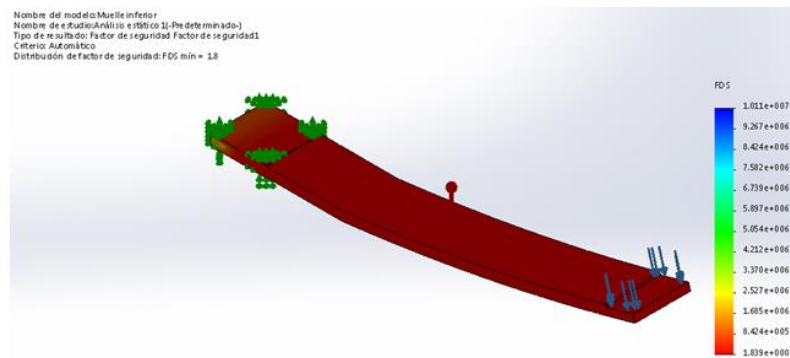
Los datos calculados en el diagrama de cuerpo libre los ingresamos a la herramienta computacional SolidWorks y se procede a ejecutar el estudio con un mallado fino para mayor precisión en el cálculo por métodos numéricos. (Ver informe en el Anexo B).

Figura 24. Resultado de esfuerzos garra.



El esfuerzo máximo lo soporta el lugar más cercano al empotramiento con la estructura que los sostiene, con un valor de $1,495 \cdot 10^8 Pa$, estando casi a la mitad del valor máximo que soporta el material que es de $2,75 \cdot 10^8 Pa$.

Figura 25. Resultado del factor de seguridad.



El factor de seguridad resultante es 1.8, estando acorde con el factor de seguridad mínimo que se definió al comienzo del diseño que es de 1,75.

6. CONSTRUCCION Y PRUEBAS.

6.1 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.

Después de tener las ideas listas y los planos elaborados (ver Anexo C) se procede a la construcción de la pala mecánica y la mordaza.

Figura 26. Materiales disponibles.



Los materiales disponibles para la construcción del proyecto se encontraban en la granja, unos perfiles de acero, el enganche que va a la sujeción de tres puntos, el disco dentado para el ensamble con el enganche existente y unas láminas de acero de los laboratorios de ingeniería mecánica que sacaron durante su desmontaje.

Los materiales se llevaron a un taller en el centro de Bucaramanga donde se pulió y se arregló el material para poder usarlo, se hizo la compra de la lámina

de acero de 3/8" para la pala y los muelles de camión que sirvieron para las garras de la mordaza.

Figura 27. Proceso de construcción.

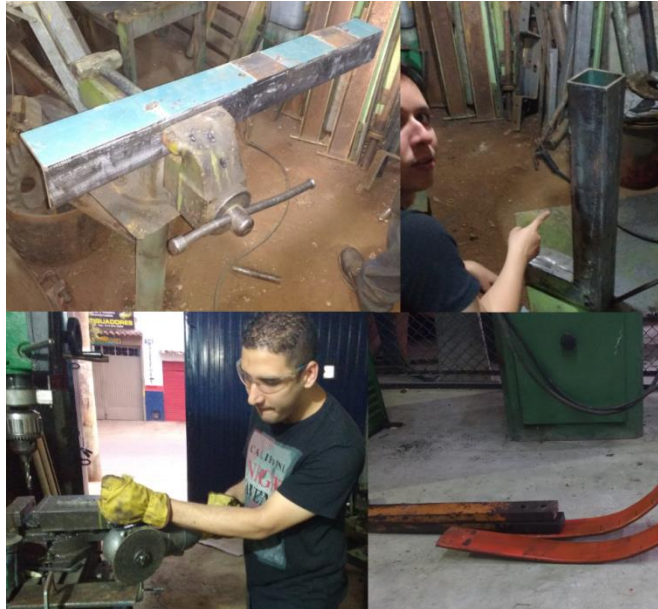


Figura 28. Elementos finales.



6.2 PRUEBAS

6.2.1 Pruebas pala mecánica.

Figura 29. Montaje de Pala



Gracias a sus 2 pasadores para un rápido acople, se engancha la pala y se procede a probarla y tomar los datos.

Figura 30. Pala lista para pruebas.



Figura 31. Pruebas pala.



6.2.2 Pruebas mordaza.

Figura 32. Montaje Mordaza



Figura 33. Pruebas mordaza



6.3 RESULTADOS.

Tabla 7. Resultados.

Implemento	material	carga	Altura	Profundidad
Pala	Tierra negra	Llena	1.10m	20cm
Mordaza	Troncos	3 Troncos	1.10m	NA

También se genera un manual de montaje y desmontaje con recomendaciones y restricciones de carga (Ver Anexo F).

7. PRESUPUESTO

Tabla 8. Presupuesto.

CONCEPTO	CANT	VALOR C/U	TOTAL
MANO DE OBRA	1	1.400.000 COP	1.400.000 COP
LAMINA 3/8 PALA	1	400.000 COP	400.000 COP
DISCOS DE CORTE	3	5.000 COP	15.000 COP
ACARREO (Guatiguará-centro)	1	30.000 COP	30.000 COP
PAPELERIA	1	100.000 COP	100.000 COP
PASAJES	72	2.100 COP	151.200 COP
ACARREO(LAMINAPALA)	1	10.000 COP	10.000 COP
GRAPAS 3"X6"	18	3.600 COP	64.800 COP
ACARREO	1	7.000 COP	7.000 COP
BALLESTAS	9	8.000 COP	72.000 COP
CUCHILLA PALA	1	8.000 COP	8.000 COP
ASESORIA	1	200.000 COP	200.000 COP
TOTAL PROYECTO			2.458.000 COP

El costo total fue de 2'458.000, costo asumido por los estudiantes autores del proyecto.

8. PROYECTO VS MAQUINARIA NUEVA

A continuación se compara el costo de este proyecto con el costo de un implemento similar que cumpla las mismas funciones.

Tabla 9. Comparación costos con similar.

IMPLEMENTO	PRECIO
PROYECTO	2'458.000
PF550C	5'811.558 ^{*7}
AHORRO	3'353558

Figura. 34 PF550C



Fuente: https://http2.mlstatic.com/pala-frontal-cargadora-en-jd5090e-D_NQ_NP_204401-MLA20317315163_062015-F.webp⁸

^{7*} El precio no cubre gastos de instalación. Precio aproximado con gastos de importación. No incluye tractor.

⁸ Minari PF550C {En línea} {Consultado el 28 de abril de 2017}. Disponible en: https://http2.mlstatic.com/pala-frontal-cargadora-en-jd5090e-D_NQ_NP_204401-MLA20317315163_062015-F.webp

9. CONCLUSIONES

Con el fin de dar solución a la problemática que se venía presentando en la Granja UIS Guatiguará con la recolección y transporte de material orgánico, se diseñó y construyó un par de implementos con la capacidad de hacer el trabajo necesario que los trabajadores ya se limitaban a hacer por las enormes cargas y fatiga a la que se veían expuestos.

Este proyecto ayudará económicamente a la Granja porque se evitó la compra de nuevos equipos y maquinas. El trabajador a su vez se sentirá a gusto con su labor ya que se puede despreocupar por las enormes cargas que en dado caso le podía generar una lesión.

El proyecto también puede ser implementado en cualquier tractor con la potencia requerida (110Hp en adelante) para poder cumplir con las funciones de trabajo y altura.

Se presentan anexos de, planos de detalle, análisis de esfuerzos para pala y para mordaza, pesos específicos de los materiales, ficha técnica del material de lámina usado y por ultimo un manual para su correcto uso y operación.

10. RECOMENDACIONES.

Los resultados de los análisis de carga arrojan que los implementos soportan las cargas y tienen un factor de seguridad que supera el estimado mínimo, por esta razón no se debe confiar que puede levantar los que sea.

En el manual se dieron unas recomendaciones en cuanto a la cantidad de material y peso que se puede levantar, las condiciones de trabajo y su correcto uso evitar una posible falla en el sistema. Cualquier sobre carga o mal uso por parte del trabajador, será su responsabilidad ya que no está cumpliendo con las recomendaciones dadas por los diseñadores del producto.

Es de vital importancia tener un correcto mantenimiento sobre todo en partes sensibles como el cilindro hidráulico que fácilmente se puede rallar según las condiciones del lugar donde se esté.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ BERNARD J. HAMROCK. Fundamentals of Machine Elements.
México: McGraw Hill, 1999. 927 p.

- ✓ CAT. Cargadora de ruedas CAT. {En línea}. {Consultado el 28 de abril de 2017}. Disponible en:
<http://www.conexionescat.com/Media/Images/MachinelImages/pages/cargadoras-de-ruedas-default.jpg>

- ✓ FERDINAND P. BEER. Mecánica de Materiales. 5 ed.
México: McGraw Hill, 2009. 791 p.

- ✓ HEROVIAL. Balde Mordaza. {En línea}. {Consultado el 28 de abril de 2017}. Disponible en: <http://www.herovial.com/wp-content/uploads/2013/11/balde3.png>

- ✓ JOHN DEERE. Productos agricultura. {En línea}. {Consultado el 28 de abril de 2017}. Disponible en:
https://www.deere.com.ar/es_AR/industry/agriculture/agriculture.page?

- ✓ MINARI PF550C {En línea} {Consultado el 28 de abril de 2017}. Disponible en:
https://http2.mlstatic.com/pala-frontal-cargadora-en-jd5090e-D_NQ_NP_204401-MLA20317315163_062015-F.webp