



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN APERO COSECHADOR DE  
PAPAS PARA EL MOTOCULTOR YTO DF-15L-MAGAP”**

**QUEVEDO RIOS ANGEL JOSE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2015-01-20

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparada por:

---

**QUEVEDO RIOS ANGEL JOSE**

---

Titulada:

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN APERO COSECHADOR DE PAPAS PARA EL  
MOTOCULTOR YTO DF-15L-MAGAP”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Edwin Viteri N.  
**DIRECTOR**

---

Ing. Santiago López O.  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: QUEVEDO RIOS ANGEL JOSE

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN APERO  
COSECHADOR DE PAPAS PARA EL MOTOCULTOR YTO DF-15L-MAGAP”

Fecha de Examinación: 2016-11-01

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Pérez F. <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Viteri N. <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Santiago López O. <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El (La) Presidente (a) del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. José Pérez F.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Quevedo Ríos Ángel José**

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la Virgencita del Quinche por su ayuda, protección, guía y por ser mi esperanza en los más duros momentos de mi vida.

A mi querida Madre Sonia Ríos Medina por su valioso e incondicional apoyo en cada momento de mi vida, a mis queridas hermanas Tania y Érica Quevedo por su cariño de siempre.

Al director, Ing. Edwin Viteri y al asesor Ing. Santiago López, quienes me han brindado su confianza y colaboración desinteresada para que el presente trabajo sea llevado a cabo.

**Quevedo Rios Angel Jose**

## **AGRADECIMIENTO**

Un especial agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme abierto sus puertas y formarme como un profesional que pueda contribuir al desarrollo del País.

Agradezco muy sinceramente a los docentes que en clases me brindaron sus valiosos conocimientos académicos para poder alcanzar mi profesión.

**Quevedo Rios Angel Jose**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo Quevedo Rios Angel Jose, declaro que el presente trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Quevedo Ríos Angel Jose**  
Cedula de identidad: 050381573-0

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1 GENERALIDADES</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.2.1 <i>Justificación técnica.</i> ....	3
1.2.2 <i>Justificación económica.</i> .....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 <i>Objetivo general.</i> ....	4
1.3.2 <i>Objetivo Específico.</i> .....	4
<b>2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE</b>	
2.1 Marco Teórico.....	5
2.1.1 <i>La papa.</i> .....	5
2.1.2 <i>Cosecha de papa.</i> .....	6
2.1.3 <i>Producción nacional de papa.</i> .....	9
2.1.4 <i>Motocultor.</i> .....	11
2.1.4.1 <i>Partes del motocultor.</i> .....	11
2.1.4.2 <i>Tipos de motocultores.</i> .....	13
2.1.4.3 <i>Especificaciones técnicas del motocultor.</i> .....	13
2.1.4.4 <i>Zonas de seguridad de arranque.</i> .....	14
2.1.5 <i>Los elementos finitos como herramienta de análisis en mecánica.</i> .....	14
2.2 Estado del arte.....	17
2.2.1 <i>Asentamiento del motocultor.</i> .....	18
2.2.2 <i>Máquinas cosechadoras de papas disponibles.</i> .....	18
2.2.3 <i>Conclusiones.</i> .....	21
<b>3 METODOLOGÍA DE DISEÑO</b>	
3.1 Metodología del proyecto.....	22
3.2 Fase 1. Especificaciones .....	23
3.3 Fase 2. Diseño conceptual. ....	24
3.3.1 <i>Matriz Morfológica.</i> .....	25
3.3.2 <i>Selección de alternativas.</i> .....	26
3.3.3 <i>Evaluación de alternativas.</i> .....	28
3.3.4 <i>Definición de cada criterio.</i> .....	29
3.3.5 <i>Selección de alternativas.</i> .....	30
3.4 Fase 3. Diseño de detalle. ....	31
3.4.1 <i>Diseño de elementos mecánicos.</i> .....	31
3.4.1.1 <i>Diseño de la cuchilla de la excavadora de papas.</i> .....	32
3.4.1.2 <i>Análisis de la rejilla de la excavadora de papas.</i> .....	39
3.4.1.3 <i>Soporte de la cuchilla.</i> .....	45
3.4.1.4 <i>Sistema de acoplamiento del apero al motocultor.</i> .....	78
3.4.1.5 <i>Sistema de regulación del ángulo de la rejilla.</i> .....	84
<b>4 COSTOS</b>	
4.1 Costos directos.....	89
4.2 Costos Indirectos.....	91
4.3 Costo Total.....	91

<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones.....	92
5.2	Recomendaciones. ....	92

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Clasificación de los motocultores .....	13
2. Especificaciones del motocultor YTO DF-15L .....	13
3. Manifestaciones de los clientes. ....	23
4. Matriz morfológica. ....	25
5. Valoración económica .....	28
6. Valoración técnica .....	29
7. Designación de los componentes.....	31
8. Valores referenciales de coeficientes de labranza. ....	34
9. Tamaño de la papa. ....	44
10. Fa - 46000 psi - Rendimiento del acero.....	49
11. Longitudes efectivas de las columnas .....	50
12. Especificaciones generales de tubo redondo estructural de acero A-500.....	50
13. Especificaciones técnicas de tubos redondos estructurales - Acero A-500.....	51
14. Características del Material .....	51
15. Especificaciones generales del tubo rectangular de acero A-500.....	54
16. Especificaciones técnicas de tubos rectangulares estructurales - Acero A-500	55
17. Características del material.....	58
18. Características del material.....	60
19. Características del material.....	61
20. Datos para seleccionar la columna. ....	63
21. Características del material.....	63
22. Características del material.....	64
23. Valores normales del ángulo de fricción suelo /metal.....	84
24. Resultado de los factores de los componentes.....	87
25. Costos directos.....	89
26. Costos Indirectos .....	91
27. Costo Total .....	91

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Proceso de cosecha manual de papas .....	8
2. Proceso de cosecha semi-mecanizado. ....	8
3. Proceso de cosecha mecanizado. ....	9
4. Motocultor YTO DF-15L. ....	11
5. Zonas de seguridad en el arranque de motocultor. ....	14
6. Proceso de mallado del MEF. ....	15
7. Pre-proceso de un modelo. ....	16
8. Solución del análisis del modelo. ....	16
9. Post-proceso del modelo. ....	17
10. Cosechadora de papas RF3060 Dewulf. ....	18
11. Cosechadora de papas JR 440. ....	19
12. COSECHA-Tectron 415). ....	20
13. Excava patatas para mini tractor - F.LLI. SPEDO. ....	20
14. Principios del diseño basados en la metodología Pahl y Beitz.....	22
15. Conjunto .....	31
16. Rejilla y cuchilla. ....	32
17. Dimensión de la cuchilla. ....	33
18. Cuchilla - Rejilla.....	35
19. Cuchilla.....	36
20. Estudio estático – Cuchilla .....	36
21. Cargas asignadas – Cuchilla. ....	36
22. Malla aplicada – Cuchilla. ....	37
23. Análisis de resultados de tensiones VON Mises N/m <sup>2</sup> - Cuchilla .....	37
24. Análisis de resultados de deformación – Cuchilla.....	38
25. Factor de seguridad basándonos en el criterio normal máximo - Cuchilla .....	38
26. Dimensión de la rejilla y cuchilla .....	39
27. Estudio estático – Rejilla .....	41
28. Cargas asignadas – Rejilla.....	41
29. Malla aplicada – Rejilla. ....	42
30. Análisis de resultados de tensiones según la escala de VON Mises N/m <sup>2</sup> .....	42
31. Análisis de resultados de deformación – Rejilla .....	43
32. Factor de seguridad basándonos en el criterio normal máximo – Rejilla.....	43
33. División de la rejilla .....	44
34. Concentradores de esfuerzo en la rejilla.....	44
35. Dimensiones del soporte de la cuchilla .....	45
36. Dimensiones de los sujetadores de ruedas del apero.....	45
37. Estructura del soporte de la cuchilla del sistema de excavación de papas .....	47
38. Diagrama columnas .....	48
39. Conjunto del sistema de excavación de papas.....	53
40. Partes de la estructura soporte de la cuchilla.....	57

41.	Distribución de la viga transversal .....	58
42.	Distribución de la viga longitudinal .....	59
43.	Distribución de la viga inclinada. ....	61
44.	Partes del soporte de la cuchilla. 2 .....	65
45.	Estudio estático – Soporte de la cuchilla .....	65
46.	Sujeciones aplicadas – Soporte de la cuchilla .....	66
47.	Cargas asignadas – Soporte de la cuchilla .....	66
48.	Malla aplicada – Soporte de la cuchilla .....	67
49.	Análisis de resultados de tensiones VON Mises N/m <sup>2</sup> . – Soporte.....	67
50.	Análisis de resultados de deformación – Soporte de la cuchilla .....	68
51.	Factor de seguridad en base a la tensión normal máxima – Soporte.....	68
52.	Estudio a fatiga – Soporte de la cuchilla .....	69
53.	Curvas de función – Soporte de la cuchilla. ....	69
54.	Porcentaje de daño – Soporte de la cuchilla .....	70
55.	Ciclo de vida total – Soporte de la cuchilla .....	71
56.	Factor de carga – Soporte de la cuchilla.....	71
57.	Estudio estático – Toma de fuerza.....	72
58.	Cargas asignadas – Toma de fuerza .....	72
59.	Malla aplicada – Toma de fuerza .....	73
60.	Análisis de resultados de tensiones VON Mises N/m <sup>2</sup> . – Toma de fuerza. ....	73
61.	Análisis de resultados de deformación – Toma de fuerza .....	74
62.	Factor de seguridad en base a la tensión normal máxima – Toma de fuerza. ..	74
63.	Estudio a fatiga – Toma de fuerza .....	75
64.	Curvas de función – Toma de fuerza.....	75
65.	Porcentaje de daño – Toma de fuerza.....	76
66.	Ciclo de vida total – Toma de fuerza.....	76
67.	Factor de carga – Toma de fuerza .....	77
68.	Bocín del sistema de acoplamiento .....	79
69.	Diseño de cargas sobre él toma fuerza .....	81
70.	Sistema de regulación. ....	85
71.	Orejas sujetadoras.....	85
72.	Mecanismo de regulación 1 .....	86
73.	Mecanismo de regulación 2 .....	86
74.	Mecanismo de regulación 3 .....	87

## SIMBOLOGÍA

F	Fuerza de Corte Generada	N
CL	Coefficiente de Labranza	$Kgf/dm^2$
B	Profundidad	m
I	Ancho Operativo	m
Fy	Límite de Fluencia	$Kg/cm^2$
Ø	Diámetro	Pulg.
e	Espesor	mm
Ag	Área Transversal	$mm^2$
Ry	Radio de Giro	mm
Cc	Constante de Columna	
E	Elasticidad	$Kg/cm^2$
Pcr	Carga Crítica	Kgf
Sx	Módulo de Sección	$cm^3$
S <sub>req.</sub>	Módulo de Sección Requerida	$cm^3$
S <sub>Tabl.</sub>	Módulo de Sección de las Tablas	$cm^3$
Pot <sub>req</sub>	Potencia Requerida	HP
Vel <sub>mot</sub>	Velocidad del Motor	$m/seg$
σ	Esfuerzo Normal Directo	MPa
τ	Esfuerzo Cortante	MPa
σc	Esfuerzo Equivalente	MPa
n	Factor de seguridad	
Cα	Adhesión	
q	Carga Distribuida	$Kg/cm$
M	Momento Flector	$Kg/cm$

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

CAN	Comunidad Andina de Naciones
SICA	Servicio de información y Censo Agropecuario
MAGAP	Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca
PEA	Población Económicamente Activa
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
MEF	Método de Elementos Finitos
ASTM	American Society for Testing Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización

## **LISTA DE ANEXOS**

- A Motor del motocultor
- B Vista isométrica del motocultor
- C Vista superior de la palanca del motocultor

## RESUMEN

En la provincia de Chimborazo la producción de papas es muy importante cobrando relevancia a partir del año 1985, en donde la mecanización de la cosecha es un medio importante para obtener mayor productividad y eficiencia en el campo; debido a que en la actualidad, se la realiza de manera tradicional siendo un trabajo extenuante. En el Ecuador se estima que hay alrededor de 350 variedades de papas nativas, cultivadas por pequeños agricultores, representado el 7% de la canasta básica familiar. Para desarrollar el proyecto de investigación se utiliza la técnica fundamentada en el Modelo Pahl y Beitz la misma que consta de: especificaciones, en donde se determinan los requerimientos de los operarios; el diseño conceptual establece la descripción del cosechador, criterios de costos, postulados y personas interesadas, optando por la mejor alternativa mediante la matriz morfológica; finalmente se especifica el diseño del detalle en la cual se describen los diseños de los elementos mecánicos para el apero cosechador como son: la cuchilla, rejilla, soporte de la cuchilla, sistema de acoplamiento y de regulación, donde se detallan las dimensiones, los materiales y las cargas que ejercen sobre las herramientas. Cumple con el objetivo principal que es llevar con éxito, el análisis y diseño del apero agrícola para el Motocultor YTO DF-15L-MAGAP con resultados positivos. Se recomienda llevar a cabo la construcción del equipo de excavación de papas en cualquier taller, en vista que sus piezas, o partes se pueden mecanizar fácilmente así como su montaje al motocultor, el cual contribuiría a realizar labores de cosecha y aumentar su productividad.

PALABRAS CLAVE: <SOLANUM TUBEROSUM>, <MECANIZACIÓN>, <MODELO PAHL Y BEITZ>, <MATRIZ MORFOLÓGICA>, <DISEÑO CONCEPTUAL>, <DISEÑO DE DETALLE>, <APERO COSECHADOR>, <MOTOCULTOR>

## **ABSTRACT**

In the province of Chimborazo the production of potatoes is very important, gaining relevance since 1985, where the mechanization of the harvest is an important means to obtain greater productivity and efficiency in the field; because at present, it is done in a traditional way being a strenuous work. In Ecuador, it is estimated that there are around 350 varieties of native potatoes, cultivated by small farmers, which represent 7% of the basic family basket. To develop the research project, the technique based on the Pahl and Beitz model is used, which consist of: specifications, where the operators` needs are determined; The conceptual design establishes the description of the harvester, cost criteria, postulates and interested persons, opting for the best alternative thought the morphological matrix; Finally, the design of the detail describing the designs of the mechanical elements for the harvester is described, such as: blade, grate, knife holder, coupling and regulating system, detailed dimensions, materials and the loads exerted on the Tools. It fulfills the main objective of successfully carrying out the analysis and design of the agricultural implement for the YTO DF-15L-MAGAP rototiller with positive results. It is recommended to build the potato digging equipment in any workshop, as its parts can be easily machined and mounted on the tractor, which would contribute to the harvest and increase its productivity.

**KEYWORDS:** <SOLANUM TUBEROSUM>, <MECHANIZATION>, <PAHL AND BEITZ MODEL>, <MORPHOLOGICAL MATRIX>, <CONCEPTUAL DESIGN>, <DETAIL DESIGN>, <HARVESTING APPLE>, <ROTOTILLER>

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

La población humana mundial no deja de crecer y con ello la urgencia de aumentar la producción de alimentos, debido a esto la tecnificación de la agricultura es de vital importancia a fin de lograr calidad en los productos alimenticios y lograr cantidades de producción suficientes para conseguir la seguridad alimentaria de la población.

Uno de los productos alimenticios claves para ayudar a garantizar la seguridad alimentaria de la población es la papa. Según estudios elaborados por la FAO, la papa se encuentra clasificada como uno de los cuatro cultivos más importantes del mundo, junto con el trigo, maíz y arroz, por lo que se constituye en el principal alimento de origen no cereal para la humanidad.

De acuerdo a datos de la FAO los rendimientos más bajos de producción de papas a nivel mundial lo presentan Bolivia y Ecuador con 6 y 7 toneladas por hectárea respectivamente. Son diversos los factores que intervienen en una baja producción de papas, uno de ellos es la falta de tecnificación en su cultivo.

La papa es un alimento básico en la dieta de la población ecuatoriana. Según el III censo agropecuario (CAN), realizado en el año 2000 la actividad papera vincula a 88 130 productores, que corresponde a 10,5% de los productores agrícolas a nivel nacional.

Según cálculos del proyecto Servicio de información y Censo Agropecuario (SICA) del Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), existen alrededor de 250 mil personas vinculadas a las actividades directas e indirectas que genera el cultivo. Es decir el cultivo de papa ocupa a un 5,2% de la Población Económicamente Activa (PEA) agrícola y 0,4% de la PEA total. (Ochoa, y otros, 2013), señalan que “en el Ecuador la base de la pirámide socio-económica se concentra principalmente en las zonas rurales que en las urbanas, siendo la región sierra la que presenta una mayor cantidad de pobres y mendigos en este sector”.

También se señala que “los miembros de la base de la pirámide rural son en su mayoría agricultores que se dedican principalmente a la siembra, cultivo, cosecha y comercialización de diversos productos, así como a la ejecución de trabajos temporales como jornaleros en tierras que no son propias”.

Siguiendo el enfoque del párrafo dado; se puede decir en pocas palabras que según la pirámide socio-económica del país es bajo, centrándose más en las zonas campestres o mejor llamados rurales de la región Sierra.

La región sierra abarca a bastante población de esta clase, detallándose además que de la zona especificada la mayor parte son agricultores los cuales no son dueños de las Tierras que trabajan. (Bermeo, y otros, 1995)

Por lo que se debe tener presente que tanto cómo las zonas urbanas del país poseen un nivel socio-económico aceptable, las zonas rurales ostentan un nivel bajo donde se presenta bastante la mendicidad.

(Bermeo, y otros, 1995), concluyeron que “además de solucionar la falta de mano de obra, hay un ahorro muy alto en cuanto al tiempo de trabajo y al costo en la recolección de la papa.

Como ejemplo podemos citar que en la cavada y almacenaje de papas, realizada manualmente, se utiliza un promedio de 300 horas-hombre/hectárea, en cambio que al utilizar un sistema semi-mecanizado de recolección, el tiempo se reduce a un promedio de 100 horas-hombre/hectárea.

También se señala “esta forma de mecanización, sencilla se puede utilizar en zonas con poco declive (máximo 10 grados), y poco accesibles a maquinas demasiado grandes y complicadas.

En haciendas pequeñas donde la mano de obra es escasa y en terrenos muy duros”; por lo que se determina que el Diseño y Construcción de la Cosechadora de Papas realizada, solucionó al mismo tiempo la falta de mano de obra y el periodo de trabajo, disminuyéndose conjuntamente con el costo que representa la recolección de la papa de 300 horas-hombre/hectárea a 100 horas-hombre/hectárea.

En la actualidad el uso de los motocultores es muy generalizado en diversas partes del mundo, debido a que sus diseños los hacen que sean de fácil acceso a terrenos a los cuales normalmente no podría acceder por ejemplo un tractor agrícola.

Para lograr incorporar un apero que permita extraer las papas de la tierra, es necesario previamente el análisis y diseño del mismo, tomando en cuenta las condiciones bajo las cuales va a trabajar el equipo, consecuentemente el análisis de los esfuerzos y deformaciones que va a soportar.

## **1.2 Justificación**

**1.2.1** *Justificación técnica.* La mecanización de la cosecha de la papa es un medio para obtener mayor productividad y eficiencia en el campo, debido a que en la actualidad en el Ecuador existe gran deficiencia en el uso de maquinaria para el cultivo.

Principalmente la cosecha de este tipo de tubérculo los pequeños agricultores lo realizan de manera tradicional, lo cual les resulta sumamente extenuante.

Además es importante elevar el índice de mecanización agrícola en el Ecuador, a fin de suplir problemas actuales como la falta de mano de obra en el campo.

Para el motocultor YTO DF-15L no existe disponible en el mercado un apero cosechador de patatas que se pueda adquirir e incorporarlo, por lo que se va a proceder a realizar el análisis y diseño de este tipo de apero el cual es necesario para ampliar la funcionalidad del motocultor nombrado.

**1.2.2** *Justificación económica.* En el Ecuador debido a la baja productividad de la papa (7 toneladas por hectárea), la mecanización de su cosecha se constituye en una alternativa para elevar la productividad (en toneladas o en porcentaje), lo cual permitirá a más de garantizar la seguridad alimentaria de la población, mejorar los ingresos económicos principalmente de los pequeños productores.

Al dotar al campesino de un apero agrícola que permita cosechar esta clase de tubérculos reduciendo tiempo y costos de la cosecha, incidirá de manera positiva en los ingresos económicos de las personas dedicadas a su cultivo.

### **1.3       Objetivos**

**1.3.1**       *Objetivo general.* Analizar y diseñar un apero agrícola para el motocultor YTO DF-15L-MAGAP.

**1.3.2**       *Objetivo Específico*

- Buscar toda la información de diseño del motocultor YTO DF-15L, en tesis, libros, manuales, para tener un fundamento bibliográfico en el desarrollo del siguiente proyecto.
- Diseñar un apero cosechador de papas mediante la aplicación de un software CAD-CAE para aumentar la funcionalidad del motocultor.
- Analizar los esfuerzos y deformaciones que se produzcan en el apero, mediante el método del elemento finito, para verificar el factor de seguridad y garantizar el funcionamiento del apero.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 Marco Teórico

**2.1.1** *La papa.* Por definición se puede indicar que “la papa es un tubérculo correspondiente a la familia de las solanáceas cultivada por el mundo oriunda de Sudamérica” (Donaire, 2016).

*a) Variedades de papas en el Ecuador.*

Se considera que en el país hay 350 tipos de papas nativas aproximadamente, cultivadas por pequeños agricultores; en donde los tipos de patatas más comunes son: Leona Negra, Coneja Negra, Chaucha Colorada, etc.; que son valoradas por sus características y propiedades organolépticas, en vista que dichas plantas toleran las sequías continuas y el clima frío. (Montero, y otros, 2011)

Se debe tener presente además que los tubérculos comestibles muestran diversas características y formas, combinándose en diseños vistosos, contribuyendo con significativas cantidades de mineras, fibra, proteínas entre otras. (Montero, y otros, 2011)

*b) El cultivo de papa.*

La papa se cultiva en más de 100 países, en clima templado, subtropical y tropical. Es esencialmente un "cultivo de clima templado", para cuya producción la temperatura representa el límite principal: las temperaturas inferiores a 10 °C y superiores a 30 °C inhiben decididamente el desarrollo del tubérculo. (Thomas, 2008)

Mientras que la mejor producción ocurre donde la temperatura diaria se mantiene en promedio de 18° a 20° C. La papa es una planta que tiene una gran capacidad de adaptación y se da bien sin que el suelo ni las condiciones de cultivo sean ideales. Sin embargo, también es víctima de una serie de plagas y enfermedades. (Thomas, 2008)

Para prevenir la acumulación de patógenos en el suelo los agricultores evitan cultivar papas en las mismas tierras todos los años.

En cambio, rotan los cultivos en ciclos de tres o más años, alternando por ejemplo con maíz, frijoles y alfalfa. Se evita producir otros cultivos vulnerables a los mismos patógenos de la papa como el tomate a fin de interrumpir el ciclo de desarrollo de las plagas. (Thomas, 2008)

**2.1.2** *Cosecha de papa.* “La cosecha demanda de una mejor organización y un número mayor de personas que alguna otra labor; correspondiendo la finalización de la etapa del cultivo” (Inostroza, y otros, 2009).

“Se debe tener conocimiento además que la cosecha se da cuando el cultivo llega a madurar, identificándole por el color amarillento de las plantas, desprendiéndose de manera fácil los tubérculos cuando los tallos se abren” (Inostroza, y otros, 2009).

“Le cosecha se trata de la separación de la planta con las patatas, en donde se procede a remover la tierra; recoger las patatas y apartar de la tierra el resto de las plantas, para luego proceder a clasificar y almacenar el producto deseado y cosechado” (Inostroza, y otros, 2009).

“Es muy importante tener presente que si requiere almacenar las patatas, estas se dejan enterradas para que engruese la piel y evitar distintas enfermedades provocadas por el tiempo de almacenamiento” (Inostroza, y otros, 2009).

*a) Cosecha de patatas para el consumo.*

Para realizar el almacenaje del tubérculo por un largo periodo, la cosecha se debe iniciar cuando la piel de la patata se halla firme y el secado de las plantas se da naturalmente; siendo el caso que se requiera consumir de manera temprana, la cosecha se realiza cuando la patata alcanza un tamaño comercial. (Inostroza, y otros, 2009)

Se sabe además que para cosechar la patata de manera industrial, “se debe atrasar la misma con el objetivo de mejorar el contenido de azúcares, el peso específico así como el rendimiento” (Inostroza, y otros, 2009). Se debe tener en cuenta que “retardar la

cosecha por periodos muy prolongados puede provocar enfermedades y daños de las patatas producidos por gusanos; así como evitarse golpes, cortes etc.”(Inostroza, y otros, 2009).

*b) Cosecha de patatas para semilla.*

Esta clase de cosecha se da después de 2 a 3 semanas posterior la aplicación del desecante, iniciándose primeramente con la firmeza de la piel, para impedir su desprendimiento de forma fácil o sencilla así como el aumento de la costra negra; teniéndose presente que para proceder a cosechar en climas fríos. (Inostroza, y otros, 2009)

*c) Factores que influyen en la cosecha.*

Según (Inostroza, y otros, 2009), los factores que influyen en la cosecha son:

- Impedir daño físico alguno de la patata.
- Cosechar en el tiempo propicio y a costos convenientes.
- Cavar los tubérculos de manera rápida.

*d) Cosecha manual de patatas.*

La cosecha manual de patatas “radica en extraer, recolectar y empacar manualmente las patatas, con instrumentos como azadones, picos, etc.; requiriendo alta mano de obra, produciendo perdidas por ser un sistema lento” (Inostroza, y otros, 2009).

Por la alta mano de obra, este estilo de cosechar es considerado como un sistema costoso en donde la ventaja principal es la capacidad del ser humano de manipular el tubérculo con mayor delicadeza y menor daño; Teniendo en cuenta además que este tipo de cosecha no demanda de una considerable inversión inicial como en otros productos; de igual manera se tendría el inconveniente de necesitar personal que tengan algún grado de conocimiento referente al tema. (Inostroza, y otros, 2009).

La cosecha se debe dar en días de buen clima, en donde el tubérculo permanezca al ambiente y la recolección se lo haga en instrumentos que no permitan golpes o daños a los tubérculos. (Inostroza, y otros, 2009)

**Figura 1. Proceso de cosecha manual de papas**



Fuente: (Lucero, 2011)

*e) Cosecha semi-mecanizada de la papa.*

Este tipo de cosecha se basa en remover las plantas mecanizadamente, para después proceder a recoger y empacar manualmente o a máquina; usándose para ello un arado arrancador de una o dos hileras, que abren, elevan y dejan en el suelo las patatas cosechadas; o a su vez una arrancadora que abra, levanta y eleve las patatas a la máquina, para consiguiente proceder a separar del resto de vegetales y de los terrones, para finalmente empacarlos sobre la máquina. (Inostroza, y otros, 2009)

A continuación se detalla que el sistema semi-mecanizado, es el más apropiado para cosechar, en vista que se utilizan métodos mecánicos, los cuales que en combinación con la recolección manual dan buenos resultados de selección antes de almacenar; teniendo como ventaja la disminución de mano de obra y de las pérdidas de los tubérculos generados por distintos factores. (Inostroza, y otros, 2009)

**Figura 2. Proceso de cosecha semi-mecanizado.**



Fuente: (Orena, 2016)

f) *Proceso mecanizado de cosecha de patatas.*

Para seleccionar este tipo de proceso, hay que tener en cuenta que se debe preparar anticipadamente el suelo; teniendo presente que este tipo de máquinas cuentan con accesorio que separan las papas del suelo, piedras, terrones, etc., aumentando su rapidez de la cosecha y mejorando la calidad de la misma; teniéndose en cuenta además que si se prefiere este tipo de sistema, la misma debe estar en la posibilidad de tamizar la tierra suelta y limpiar el tubérculo. (Inostroza, y otros, 2009)

Según (Inostroza, y otros, 2009), recomienda que para tener una cosecha mecanizada aceptable se debe tener en cuenta lo siguiente:

- No sembrar en tierras que no tengan un drenaje apropiado.
- No sembrar en tierra que tengan piedras.
- Evitar la formación de terrones y compactación, para lo que se debe sembrar y aporcar en climas de baja humedad

**Figura 3. Proceso de cosecha mecanizado.**



Fuente: (EL REVOLEO, 2014)

**2.1.3** *Producción nacional de papa.* La papa representa el 7% de la canasta básica familiar nacional del Ecuador. En la Sierra Ecuatoriana la papa es el segundo cultivo más importante después del maíz. Representa la base de la alimentación de gran parte de la población ecuatoriana. (SICA-MAG, Ofiagro, 2008)

Su cultivo vincula a 88 130 productores según el III Censo Nacional Agropecuario, además, al menos 250 000 personas están involucradas directa o indirectamente con el cultivo. (SICA-MAG, Ofiagro, 2008).

En el Ecuador la papa se procesa en productos tales como:

- Papas fritas en hojuelas “chips”
- Harina
- Almidón
- Alcohol, etc.

Entre las variedades recomendadas para uso industrial tenemos:

- INIAP-Superchola
- INIAP-María
- INIAP-Cecilia
- INIAP-Fripapa.

A continuación se detalla que la producción de patatas se da en las provincias ubicadas en la región Sierra, siendo las principales: Pichincha, Chimborazo, Tungurahua, Carchi y Cotopaxi con un 89% de la producción; en donde la decisión de siembra está directamente relacionada al precio del producto; la (baja) productividad por hectárea se explica por el predominio de un paquete tecnológico tradicional. (Chehab, y otros, 2013)

Bajo nivel de procesamiento industrial. Rubro de importancia para la soberanía alimentaria. Potencial para trabajar en la industrialización y sustitución de importaciones de papa bastón, pre-frita, congelada y chips de papa. Experiencias exitosas con papa nativa. (Chehab, y otros, 2013)

a) *Calidad de la cosecha de la papa.*

Las características de alta calidad comercial incluyen: más del 70 a 80% de los tubérculos bien formados, color brillante (especies rojas, amarillas y blancas) (Trevor, 2013), uniformidad, firmeza y ausencia de tierra adherida, libre de daño por golpes (manchas negras o shatter-bruising) (Trevor, 2013), abrasiones, partiduras de crecimiento, brotación, daño por insecto, cancro negro por *Rhizoctonia* (*Rhizoctonia* Black Scurf), pudriciones, reverdecimiento u otros defectos. (Trevor, 2013) Las normas de calidad comerciales en uso son comúnmente más altas que las normas del USDA. (Trevor, 2013)

b) *Bajo nivel de procesamiento industrial.*

Rubro de importancia para la soberanía alimentaria. Potencial para trabajar en la industrialización y sustitución de importaciones de papa bastón, pre-frita, congelada y chips de papa. Experiencias exitosas con papa nativa. Se estima que durante el 2012 se produjeron 305.000 Tn con un rendimiento promedio nacional de 8 Tn/ha. Ecuador tiene rendimientos bajos en comparación a otros países productores de papa.

**2.1.4** *Motocultor.* El motocultor es un sistema dirigitivo, autopropulsado, por una persona conductora, la misma que puede ser asociado o anclado a un remolque; está conformado por un motor, eje motriz, toma fuerzas y un apero de labranza; utilizado para explotaciones hortofrutícolas así como en menor grado las vinícolas, las mismas que pueden desarrollar tareas como aporcar, arar entre otras; manejada o conducida por una persona ubicada en la parte posterior del apero el cual se une al sistema, que una vez puesto en marcha avanza hacia delante, la misma que se puede dar de distintas formas.

**Figura 4. Motocultor YTO DF-15L**



Fuente: Manual de Operación Servicio Motocultor YTO DF-15L

**2.1.4.1** *Partes del motocultor*

a) *El motor.*

Se debe tener presente que” el tipo de motor define las dimensiones de la máquina mediante la potencia definida” (Cajas , y otros, 2012).

Además hay que tener en cuenta que los motores que actúan a gasolina, cuentan con un arranque sencillo en diferencia de los equivalentes a diésel; referente a la práctica la revisión de los filtros del motor y de los niveles de aceite en el cárter es mínima. (Cajas , y otros, 2012)

En cambio los motores que actúan con diésel, el combustible que necesita es más económico en comparación que la gasolina, los mismos que duran mucho más tiempo que los anteriores descritos. (Cajas , y otros, 2012)

*b) Los frenos.*

Los frenos vienen incorporados en algunos modelos de motocultores, los cuales requieren por el tipo de sistema que se desee adquirir, así como por sus aplicaciones de uso.

*c) El diferencial.*

El diferencial viene incorporado depende al modelo del motocultor, el mismo que se trata de un mecanismo ubicado en la caja de cambios constituido por engranajes, permitiendo diversos giros en las ruedas. (Cajas , y otros, 2012)

Se debe tener conocimiento que las ruedas de la maquina giran a la misma velocidad cuando no posee diferencial; distinguiéndose algunos casos y aplicaciones que determinan la necesidad de incorporar diferencial. (Cajas , y otros, 2012)

No obstante los fabricantes de motocultores por regla general han dotado a sus máquinas con diferencial cuando su volumen lo requiere, dejando sin este sistema a los restantes modelos. (Cajas , y otros, 2012)

*d) Las ruedas.*

Las ruedas para motocultores se clasifican en dos tipos que son: de menor diámetro las mismas que se utilizan cuando el sistema va a trabajar con fresa y las de mayor diámetro que son usadas cuando se dispone a trabajar con remolque (Cajas , y otros, 2012); aunque es recomendable solicitar asesoramiento al fabricante del sistema o del apero.

Aunque por conocimiento general es importante saber que el ancho entre las ruedas debe ser inferior o igual a la anchura de la fresa. (Cajas , y otros, 2012)

e) *La ergonomía.*

Hay que tener en cuenta que el motocultor debe adaptarse a la persona y no viceversa, para lo cual se debe tener en cuenta factores ergonómicos importantes a resaltar como son: la altura de las manillas las mismas que deben ser regulables para tener una posición correcta de la persona encargada de operar el sistema y reversible para adecuar aperos frontales, mejorando de esta manera la eficacia de la máquina, así como el confort y seguridad del operario. (Cajas , y otros, 2012)

**2.1.4.2** *Tipos de motocultores.* Los tipos de motocultores por sus categorías se clasifican en:

Tabla 1. Tipos de motocultores

<b>Categoría IV</b>	Motocultores mayores o iguales a 12hp
<b>Categoría III</b>	Motocultores menores a 12hp
<b>Categoría II</b>	Motoazadas transformables
<b>Categoría I</b>	Motoazadas

Fuente: (Daquilema, y otros, 2014)

**2.1.4.3** *Especificaciones técnicas del motocultor.* Las siguientes especificaciones seguidamente descritas corresponden al motocultor del presente proyecto investigativo y fueron tomadas del catálogo del fabricante del motocultor YTO DF-15L.

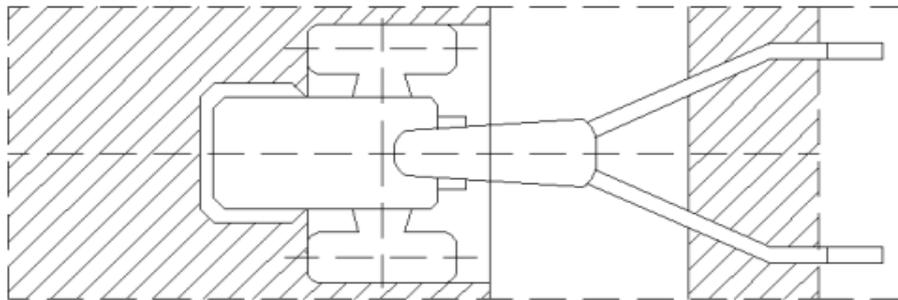
Tabla 2. Especificaciones Técnicas del Motocultor YTO DF-15L.

<b>Motocultor YTO DF-15L</b>	
Tipo	Eje sencillo dual para tracción
Modelo	DF-15L
Peso (Kg)	499 a 509
Torque (Nm)	257
Motor	Diésel de 4 tiempos - Monocilíndricos
Velocidad del Motor	2200 rpm
Potencia	12 Kw o 16 Hp
Fuerza de Tracción	221 Kgf
Dimensiones (L x A x Alt mm)	2680 x 960 x 1250

Fuente: Manual de operación y servicio Motocultor YTO DF-15L

**2.1.4.4 Zonas de seguridad de arranque.** Hay que especificar que se debe determinar las zonas de seguridad del motocultor, para que no se presente ningún accidente al rato de ponerlo en marcha, teniendo en cuenta sobre todo si el mismo se encuentra en un terreno con pendiente, así como su ubicación y dirección donde se va a trabajar o a emplear el sistema.

**Figura 5.** Zonas de seguridad en el arranque de motocultor.



Fuente: (Daquilema, y otros, 2014)

**2.1.5** *Los elementos finitos como herramienta de análisis en mecánica.* El Método de los Elementos Finitos (MEF), trata de una técnica de ingeniería que consiste en reproducir de manera virtual a un elemento mecánico, en donde se da la reducción de tiempos, costos y maquinabilidad en un determinado análisis real; especificándose además que en la actualidad se desarrolla en todos los campos de la ingeniería dados en la industria; requiriéndose conocimientos profundos de física y matemáticas los cuales son suprimidos con la aparición del software y hardware que se encuentra al alcance de todos los usuarios, los mismo que son fáciles de operar y que requieren entender la metodología usada para originar resultados de calidad. (Jiménez, 2010)

a) *Análisis usando el Método de Elementos Finitos (MEF).*

Se debe definir que el Método de Elementos Finitos (MEF) consiste en una técnica numérica dada para resolver los problemas de ecuaciones diferenciales parciales, en donde se puede analizar alguna pieza determinada, idealizar la geometría y obtener resultados con alta calidad de precisión, teniendo en cuenta que los pasos principales en todos los proyectos del Método son los mismos; partiendo de un análisis basado en un modelo geométrico, para el cual se asignarán las propiedades del material, así como la ubicación de las cargas y restricciones definidas, para finalizar con un análisis del modelo planteado. (Jiménez, 2010)

b) *Proceso de individualización.*

El proceso de individualización en general es el mallado, el mismo que se da a una pieza determinada, dividiendo la geometría en componentes muy pequeños, enfatizando que no son infinitesimalmente pequeños en comparación con el tamaño global del modelo planteado y originado.

Teniendo presente que el motor de cálculo dado del Método de Elementos Finitos (MEF) se aproxima a la solución deseada a través del ensamble de piezas creadas de manera individual, simplificando la solución y obteniendo resultados de alta calidad. (Jiménez, 2010)

**Figura 6. Proceso de mallado del MEF**



Fuente: (Jiménez, 2010)

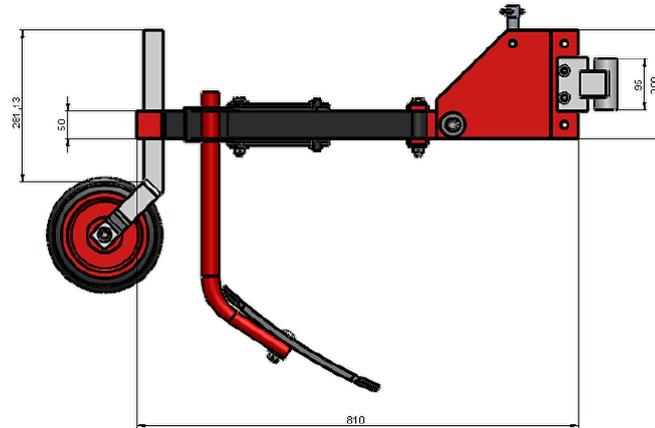
**2.1.5.1** *Procedimiento del análisis por elementos finitos.* Para realizar un determinado análisis mediante el Método MEF es necesario seguir las siguientes fases:

- Pre-procesado.
- Solución del análisis.
- Post-procesado.

a) *Pre-procesado.*

Esta fase se basa en edificar un modelo de la estructura a ser analizada, especificando la geometría deseada con dimensiones determinados; obteniéndose una buena calidad de los resultados, para lo que se utiliza algún modelo CAD, para realizar posteriormente el proceso requerido a través del Método MEF. (Daquilema, y otros, 2014)

Figura 7. Pre-proceso de un modelo.

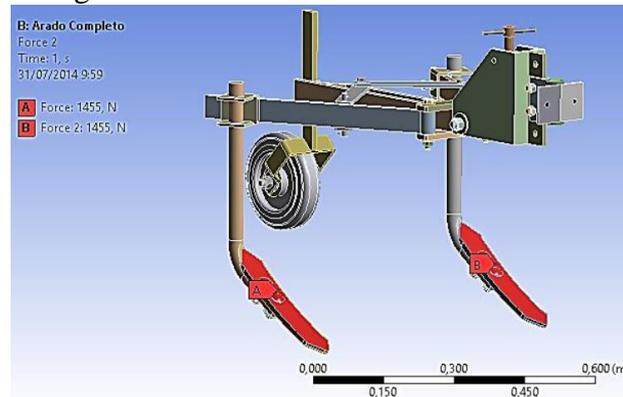


Fuente: (Daquilema, y otros, 2014)

b) *Solución del análisis.*

La solución del análisis se fundamenta en la resolución de las ecuaciones mediante el uso del software de Elementos Finitos, el mismo que controla una inmensidad de ecuaciones para después ordenarlas como matrices, computarlas, sustituirlas y obtener como fuerzas de reacción, los esfuerzos a los que se encuentren sometidos la pieza modelada o diseñada. (Daquilema, y otros, 2014)

Figura 8. Solución del análisis del modelo.



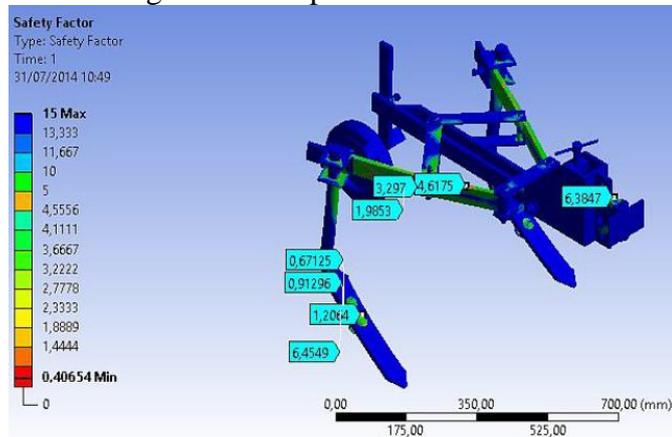
Fuente: (Daquilema, y otros, 2014)

c) *Post-procesado.*

El post-procesado es la última fase del Método de Elementos Finitos (MEF), fundamentándose en la publicación de resultados que se generara en base a los requerimientos ingresados como los coeficientes de seguridad, deformaciones, desplazamientos entre otros.; obteniéndose los resultados deseados, los mismos que

serán empleados por el usuario para la validación del diseño original propuesto. (Daquilema, y otros, 2014)

Figura 9. Post-proceso del modelo.



Fuente: (Daquilema, y otros, 2014)

## 2.2 Estado del arte.

Especifican que la cantidad de procesamiento de corte dependerá del sitio donde trabaje la máquina puesto que la producción de la parcela varía de un lugar a otro. (Ramírez, y otros, 2011)

Así también como el propósito principal del diseño y construcción de la máquina es de realizar el corte, picado y recolección del forraje, el cual está centrado en ciertas problemáticas existentes en el sector agrícola tomando en cuenta los beneficios que se obtiene a un corto o mediano plazo con esta inversión.

Detallan que en el Ecuador uno de los sectores más olvidados ha sido el agrícola, pues se emplean todavía máquinas y herramientas antiguas y de bajo rendimiento, por lo que se hace necesario tecnificar estas herramientas para facilitar la labranza de los suelos y obtener así mayores beneficios y desarrollo. (Aingla, y otros, 2012)

Nos dice que el proyecto del apero evita el intercambio de capas del suelo, debido a su profundo análisis garantizando que el suelo se mantenga en la misma posición. Se debe especificar además que mediante el análisis agrícola se pudo determinar qué tipo de arado es el adecuado para el territorio, estableciéndose la viabilidad económica y técnica para la construcción del motocultor. (Medina, 2015)

**2.2.1** *Asentamiento del motocultor.* Para realizar el asentamiento del motocultor se seguirán los procedimientos que constan en el manual de operación, considerando también la disminución de potencia que se genera en los motores de combustión interna debido a la altura geográfica del lugar de trabajo producto de la disminución de oxígeno en zonas de mayor altura. Realizándose previamente una revisión de apriete en todas las conexiones halladas en la máquina para evitar fallos, analizar los niveles de aceite, refrigerante y realizar los ajustes de las tensiones de las bandas de transmisión en caso de ser necesario. (Daquilema, y otros, 2014)

**2.2.2** *Máquinas cosechadoras de papas disponibles.* Las máquinas cosechadoras de papas son herramientas o equipos agrícolas indispensables para el trabajo diario de los agricultores, los cuales pueden ser autopropulsados sobre ruedas o a su vez arrastrados, destinados a la recolección de patatas, combinando diferentes labores que se desarrollan para cosechar los tubérculos deseados en diferentes clases o tipos de terrenos.

a) *Cosechadora de papas RF3060 Dewulf autopropulsada de dos surcos (Belgica).*

La RF3060 es una máquina que está equipada con una revolucionaria unidad de limpieza Flexyclean®, un sistema patentado que en combinación con los rodillos axiales. Permite adaptarse a condiciones climatológicas inestables y modificar la intensidad de la unidad de limpieza sin desplazar el centro de gravedad de la cosechadora, es posible distribuir las patatas de 0 a 100 % a lo largo de los rodillos axiales y minimizar la altura de caída. La cosechadora está equipada con 3 cintas de tamizado, un rodillo de follaje y una cinta de erizo superior e inferior.

Figura 10. Cosechadora de papas RF3060 Dewulf.



Fuente: (dewulf, 2015)

b) *Cosechadora de papas JR 440 (Argentina).*

Este tipo de cosechadora se encuentra equipada con un mecanismo de llenado de bolsones, el cual permite cosechar de forma continua al momento de ubicar cada uno de estos en el suelo, asegurándose, además que puede trabajar en cualquier tipo de tierra; la misma que está diseñada para resistir el peso en su totalidad en la estructura, ejecutando un mínimo radio de giro planteado.

Tiene un sistema de dirección que es accionado desde el tractor, el principio que usa este modelo de máquina radica en la utilización de cuatro acarreadores que son los elementos principales que se encargan de acondicionar y trasladar el producto sin ocasionar daños, separando las grandes malezas y los terrones de tierra.

Figura 11. Cosechadora de papas JR 440.



Fuente: (PROCEMAQ, 2012)

c) *Cosechadora de papas – COSECHA-Tectron 415 (Alemania).*

La cosechadora de papas COSECHA-Tectron 415, es autopropulsada de cuatro surcos, con una concepción única de cosecha y propulsión, la cual entrega gran rendimiento en superficie, cuidando al máximo del producto y el suelo. Es capaz de combinar diferentes arrancadores de hortalizas, lo que incrementa el espectro de trabajo. Cuenta con un sistema Multi-Sep que separa terrones, piedras y malezas.

Posee un búnker de 15 toneladas el cual permite trabajar a granel con amplia capacidad de descarga en cosecha, ostenta de un sistema de arranque pendular y regulable, ideal que permite al equipo adaptarse con precisión y realizar la descarga del producto de manera cuidadosa en los remolques de transporte; se debe además señalar que esta máquina es de fácil y rápido mantenimiento.

Figura 12. COSECHA-Tectron 415).



Fuente: (SARGENT, 2016)

d) *Excava patatas para mini tractor - F.LLI. SPEDO (Francia).*

Cosechadora de patatas llevada a descarga posterior aplicable a tractores de 4 ruedas dotado de enganche a 3 puntos y toma de fuerza (PTO). La máquina se compone de una reja excavadora vibrante, la cual arrastra las papas y el terreno a una rejilla a criba que las separa del terreno, depositándolas en el suelo en una única calle.

La regulación de la profundidad de excavación se produce a través del tercer punto de enlace al tractor. En todos los puntos sometidos a vibración se montan cojinetes de goma anti vibraciones, los cuales permiten la estabilidad de la máquina durante el trabajo. Debido a sus pequeñas dimensiones es apta para la excavación de esta clase de tubérculos en terrenos de dimensiones pequeñas ya sean planos o en colinas.

Figura 13. Excava patatas para mini tractor - F.LLI. SPEDO.



Fuente: (F-LLI SPEDO, 2016)

**2.2.3**      *Conclusiones.* De la información recopilada en este capítulo se concluye que:

- Se puede especificar que el sistema agrícola se está tecnificando siendo de vital importancia el diseño y construcción de los distintos mecanismos o herramientas de máquinas para la agricultura, además que como a los pequeños y medianos agricultores se les hace difícil adquirir maquinarias importadas por su costo, la alternativa de diseñar y construir las máquinas necesarias, es buena opción para los agricultores de estas clases sociales.

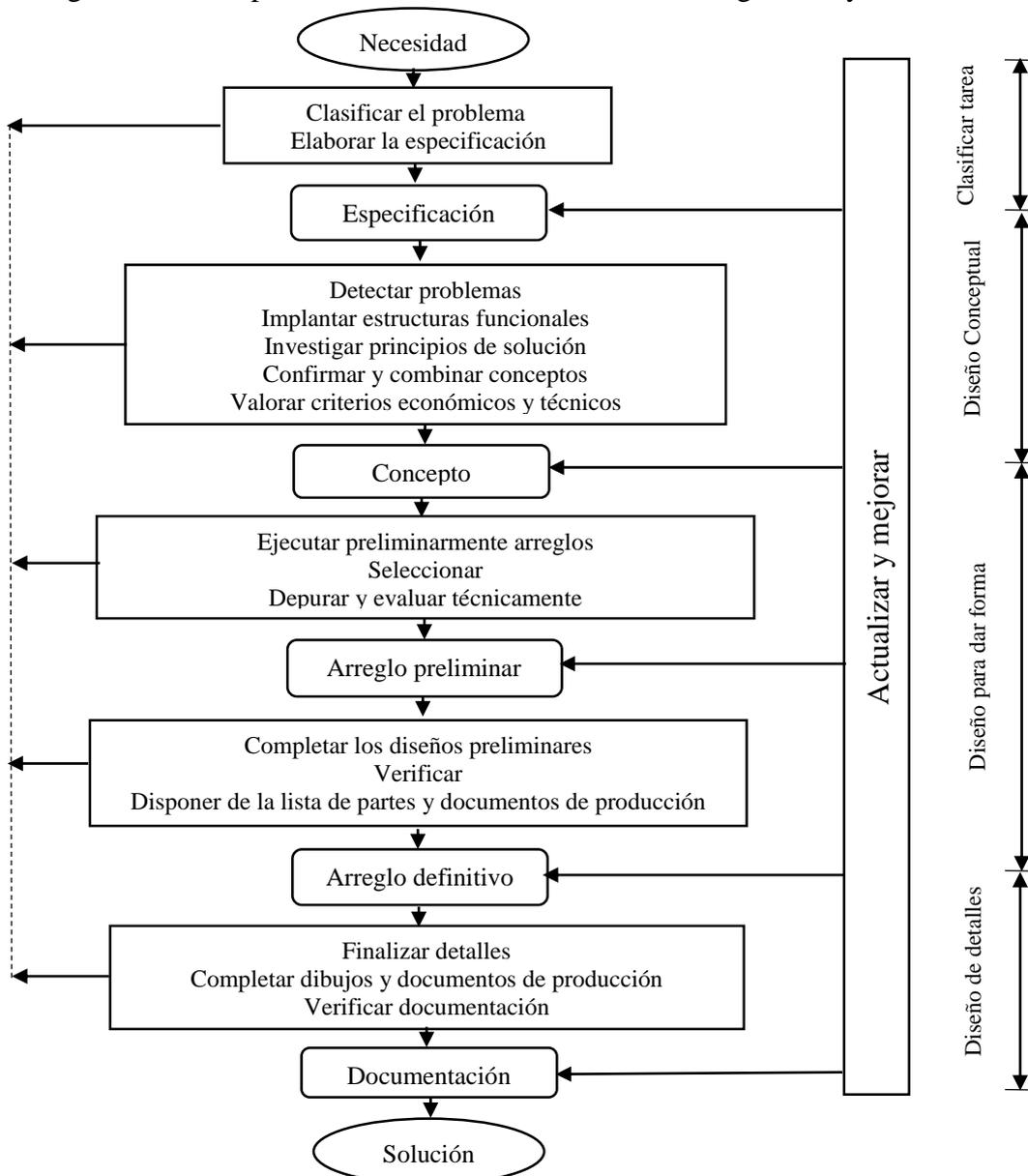
## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA DE DISEÑO

#### 3.1 Metodología del proyecto.

Para el desarrollo del proyecto de investigación se utilizará la metodología basada en el modelo Pahl y Beitz.

Figura 14. Principios del diseño basados en la metodología Pahl y Beitz



Fuente: (Cross, 1999)

Para llevar a cabo un diseño fiable las fases a utilizar son:

- Fase 1. Especificaciones.
- Fase 2. Diseño Conceptual.
- Fase 3. Diseño del Detalle.

### 3.2 Fase 1. Especificaciones

En esta fase se recopila la información acerca de los requerimientos y restricciones que deben incorporarse en el producto.

a) *Requerimientos del operario.*

Tabla 3. Manifestaciones de los clientes.

<b>PREGUNTA / SUGERENCIA</b>	<b>ENUNCIADO DEL CLIENTE</b>	<b>REQUERIMIENTO INTERPRETADO</b>
1. ¿Usos típicos?	Extracción de papa más rápida	En referencia a costos de honorarios del trabajador
	Cuidado de la integridad de la papa	Muchas veces las papas se dañan al ser extraídas de forma manual con azadón
2. ¿Qué herramientas se utilizan en la actualidad?	Azadones	Elemento principal de la cosecha manual, herramienta insegura
	Rastrillos	Herramienta de recolección, produce fatiga al trabajador
3. ¿Qué tan altos son los costos de cosecha?	Excesivos costos de cosecha	Para el proceso de cosecha es necesario contratar más personal
	El sistema mecanizado se ahorra en personal pero no en mantenimiento	Los costos por cosecha automatizada se reducen en comparación a costos por mano de obra
4. ¿Fatiga del trabajador de cosecha?	El trabajador debe descansar	Se pierde tiempo y recursos en cosecha manual
	El sistema mecanizado cosecha de forma continua	La ventaja del sistema mecanizado es la mayor producción y a la vez continua

Fuente: Autor

### **3.3 Fase 2. Diseño conceptual.**

El diseño conceptual se define como la fase o etapa del proceso de diseño que toma el planteamiento del problema, para posteriormente generar amplias soluciones de manera esquematizada.

#### *a) Descripción del cosechador.*

El prototipo virtual del apero que se desea diseñar y posteriormente analizar su funcionalidad empleando el método de los elementos finitos, dispondrá del elemento extractor de las papas de la tierra que permitirá luego transportar las papas a una criba la cual mediante la vibración generada por el motocultor permitirá cernir en lo posible elementos sólidos que se encuentren en la tierra.

La criba constituye un elemento esencial de la máquina, este elemento ira dejando las papas sobre la superficie de la tierra.

La estructura de la maquina debe ser lo más simplificado posible debido a que será acoplada al motocultor y es preciso no generar demasiado peso extra.

#### *b) Criterio de costos.*

Partiendo del empirismo, que constituye el inicio de todo producto y dotar a los motocultores de propiedad del MAGAP una nueva e importante funcionalidad la cual sería la cosecha de papas, el mercado primario lo constituirían los campesinos que disponen de los motocultores proporcionados por el MAGAP en la provincia de Chimborazo y que se encuentran involucrados en el cultivo de la papa.

#### *c) Postulados.*

Eficacia, eficiencia, fácil manipulación, fácil acople al motocultor, seguridad.

#### *d) Personas interesadas.*

MAGAP y pequeños productores de papas en la provincia de Chimborazo.

**3.3.1 Matriz Morfológica.** La matriz morfológica compara opciones de diseños para las diferentes partes de las máquinas o productos. La comparación de soluciones es, el motivo central del diseño, que agrupa y esquematiza las ideas, para lo cual se recurre al análisis morfológico.

Tabla 4. Matriz morfológica.

FUNCIONES	SOLUCIONES			
	1	2	3	4
TIPOS DE REJAS	Reja Excavadora Lateral 	Reja Excavadora Frontal 	Disco Corta hiervas 	Cinta excavadora 
TIPOS DE CUCHILLAS	Cuchillas para Cultivadores Fijos 	Cuchilla para Apero Cosechador 	Cuchilla para Doble Surco 	Cuchilla Extendible para Arado Reversible 
MATERIAL DE LA CUCHILLA	Madera	Acero con Alto Contenido de Carbono	Acero con Bajo Contenido de Carbono	Plástico
MATERIAL DE LA ESTRUCTURA	AISI 304 (ACERO INOXIDABLE)	ASTM A - 1200 (ALUMINIO)	ASTM A - 500	
TIPO DE NEUMATICOS	Rueda Lisa de Hierro de Ø 4 Pulgadas 	Rueda de Nylon con Fibra de Vidrio Ø 5 Pulgadas 	Rueda con Banda de Goma 12 Pulgadas 	Rueda para Motocicleta de 309 x 400 
TIPO DE ACCIONAMIENTO	Accionamiento Animal 	Accionamiento Autopropulsado 	Accionamiento Manual 	

Fuente: Autor

	<b>Alternativa 1</b>
	<b>Alternativa 2</b>
	<b>Alternativa 3</b>

**3.3.2 Selección de alternativas.** La prioridad del diseño es la generación de soluciones que se dan mediante un conjunto de ideas, los cuales son esquematizados y representados en una matriz morfológica. El análisis de las alternativas, se lo realiza basándonos en parámetros de Diseño. Las posibles soluciones que se dan son:

**Alternativa 1.** Tendrá la disposición de una Reja Excavadora Frontal, con una cuchilla exclusivamente diseñada para Escavar Papas la cual está constituida de un material de alto resistencia al desgaste, por su elevado contenido de carbono.

Se encuentra incorporado a una estructura de material que a su vez es dúctil, durable, maleable y accesible, en el mercado nacional y local como es el Acero ASTM – A-500, el cual es trasladado mediante ruedas de goma utilizados básicamente en carretillas, siendo accionado todo este sistema de forma autopropulsada mediante un Motocultor.

**Ventajas:**

- Materiales de fácil adquisición.
- Fácil de construir.
- Costos aceptables para la fabricación.
- Alta resistencia al desgaste de las cuchillas.
- Buen rendimiento de trabajo.

**Desventajas:**

- Mayor peso.
- Requiere de un mantenimiento constante.
- Peligro de proyección de piedras.
- No apta para superficies grandes.
- Peligro de deterioro.

**Alternativa 2.** Se compone de una Reja Excavadora Frontal igual como en el anterior caso, con una cuchilla especial diseñada para doble surco las cuales estarían contruidos

en un metal duro y de muy buena tenacidad, en vista que al material se le da un templado a inducción o con sopleteo.

Como en la alternativa anterior el conjunto reja cuchilla se encontraría incorporado sobre una estructura que a su vez es dúctil y maleable como ya se lo nombró como es el Acero ASTM – A -500.

Para su transporte se utiliza neumáticos que comúnmente son utilizados en motocicletas por su buena adherencia, todo este sistema se encuentra accionado por un Motocultor el cual es autopropulsado.

#### **Ventajas:**

- Materiales de fácil adquisición.
- Fácil de construir.
- Costos aceptables para la fabricación.

#### **Desventajas:**

- Desgaste de las cuchillas.
- Corte de menor Fuerza.
- Menor calidad del labrado.
- Bajo rendimiento de trabajo.
- Mayor peso.
- Requiere de un mantenimiento constante.
- No apta para superficies grandes

**Alternativa 3.** Se compone de una Reja Excavadora Lateral, con una cuchilla diseñada para Escavar Papas la cual está constituida de un material de alta resistencia al desgaste, por su elevado contenido de carbono, por lo que este conjunto reja-cuchilla se encuentra incorporado a una estructura de material resistente a la corrosión como es el Acero Inoxidable AISI 304, el cual es traslado mediante ruedas de goma usados comúnmente en carretillas, siendo accionados todo este sistema de forma manual.

#### **Ventajas:**

- Fácil de construir.

- Alta resistencia al desgaste de las cuchillas.
- Estructura de material resistente a la corrosión.
- Menor peso.

**Desventajas:**

- Costos altos para la fabricación.
- Materiales de difícil adquisición.
- Peligro de proyección de piedras.
- No apta para superficies grandes
- Menor calidad del labrado.
- Bajo rendimiento de trabajo.

**3.3.3 Evaluación de alternativas.** Teniendo claras las ideas propuestas, las alternativas serán sometidos a una evaluación, Técnico – Económico.

Para lo que se asignará un valor de:

- 1 Para Malo o Inaccesible
- 2 Para Bueno o Accesible.
- 3 Para Muy Bueno o Asequible.
- 4 Para Excelente o Muy Asequible.

A los puntos de evaluación se les establecerá un factor de importancia, el cual está dividido en:

- 1 Importante.
- 2 Muy Importante.
- 3 Imprescindible.

En las siguientes tablas se muestran los puntos a evaluar ponderados.

Tabla 5. Valoración económica

Puntos de Evaluación	Factor de Importancia (Fi)	Puntaje (P)			Puntaje Ideal
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
Costo de Materiales	3	4	3	1	4
Costo de Fabricación	3	3	3	1	4

Puntos de Evaluación	Factor de Importancia (Fi)	Puntaje (P)			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Puntaje Ideal
Costos de Reparación y Mantenimiento	2	4	4	2	4
Efectividad de Labranza	2	4	3	3	4
<b>Total = <math>\sum(Fi \times P)</math></b>		<b>37</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>40</b>
<b>Coefficiente Económico = <math>(P \text{ Total} / P \text{ Ideal}) \times 100</math></b>		<b>92,5 %</b>	<b>80%</b>	<b>40%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autor

Tabla 6. Valoración técnica

Puntos de Evaluación	Factor de Importancia (Fi)	Puntaje (P)			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Puntaje Ideal
Rendimiento	3	4	4	3	4
Desterronamiento del Suelo	3	4	3	3	4
Profundidad de Labrado	2	4	3	3	4
Facilidad de Construcción	3	4	4	2	4
Facilidad de operación	3	4	4	3	4
Durabilidad de Componentes	3	3	3	3	4
Mantenimiento y Reparación	2	3	3	2	4
Fácil Limpieza	1	3	3	3	4
<b>Total = <math>\sum(Fi \times P)</math></b>		<b>74</b>	<b>69</b>	<b>55</b>	<b>80</b>
<b>Coefficiente Económico = <math>(P \text{ Total} / P \text{ Ideal}) \times 100</math></b>		<b>92,50 %</b>	<b>86,25 %</b>	<b>68,75%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autor

### 3.3.4 Definición de cada criterio

- Costo*: Es uno de los criterios más importantes en vista que se toma en cuenta los precios de materiales, fabricación, reparación y mantenimiento así como para realizar la labranza los cuales no deben de salir de un cierto rango estipulado.
- Rendimiento de la máquina*: La idea de rendimiento se refiere a la eficiencia máxima de trabajo que debe obtener el equipo diseñado.

- c) *Desterronamiento del suelo:* Este término se refiere a la acción y resultado de desterronar, quebrar o desbaratar los terrones que debe levantar el sistema de excavación.
- d) *Profundidad de labrado:* Este criterio se refiere a la dimensión en donde de la cuchilla de corte que se introduce en la tierra.
- e) *Facilidad de construcción:* Se refiere al grado de facilidad para poder construir el equipo de excavación.
- f) *Facilidad de operación:* Se refiere al manejo sencillo que debe tener el sistema de excavación.
- g) *Durabilidad de los componentes:* Se califica en base al tiempo de duración o vida útil de los componentes bajo los parámetros de eficiencia estipulados.
- h) *Mantenimiento y reparación:* Se refiere al mantenimiento fácil y sencillo que se debe dar al equipo de excavación, en el menor tiempo posible, para lo cual los componentes de la maquina debe de ser de fácil adquisición o remplazo en caso de ser necesario.
- i) *Fácil limpieza:* Se califica dependiendo la facilidad y sencillez que se debe tener al momento de realizar la limpieza al equipo.

**3.3.5** *Selección de alternativas.* La alternativa más adecuada será la que mantenga los coeficientes mejores a nivel Económico y Técnico.

Analizando las Alternativas, se obtuvo como resultado, que la opción 1 tiene un coeficiente económico del 92,5%, mientras que la Alternativa 2 tiene el 80% y finalmente la Alternativa 3 posee el 40%.

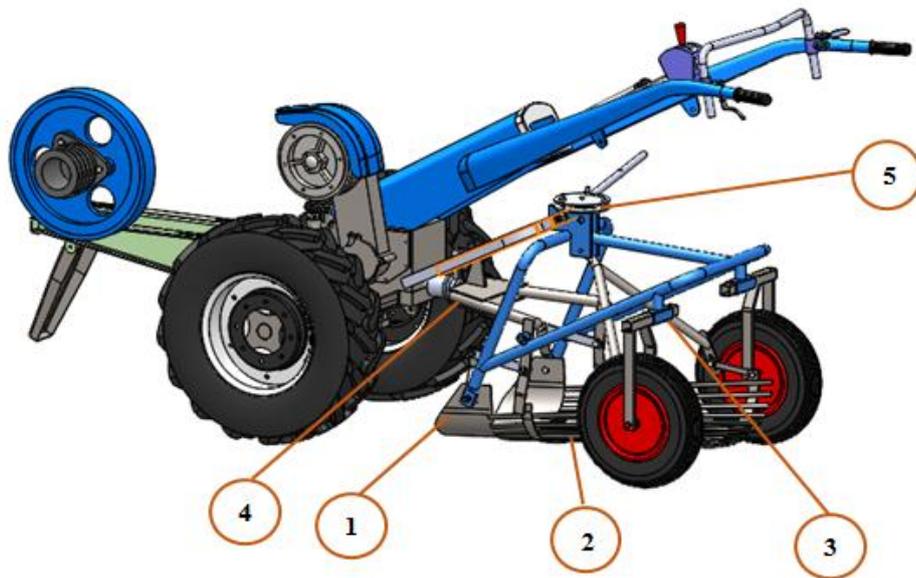
En lo referente a la Evaluación Técnica la Alternativa 1 tiene el 92,5% con respecto a la 2 que posee el 86,25% y finalmente referente a la Alternativa 3 tiene el 68,75%. Por lo que se concluye que la mejor alternativa a seguir y en la cual será basado el Proyecto es la Opción 1.

### 3.4 Fase 3. Diseño de detalle.

El diseño de detalle se da por medio de una definición generada por planos de conjuntos así como por la memoria anexa; teniendo presente que se debe expresar mediante un plano el cual tiene como objetivo principal precisar y generar la información sobre los detalles de fabricación o construcción. (Isaza, 2009).

#### 3.4.1 Diseño de elementos mecánicos

Figura 15. Conjunto



Fuente: Autor

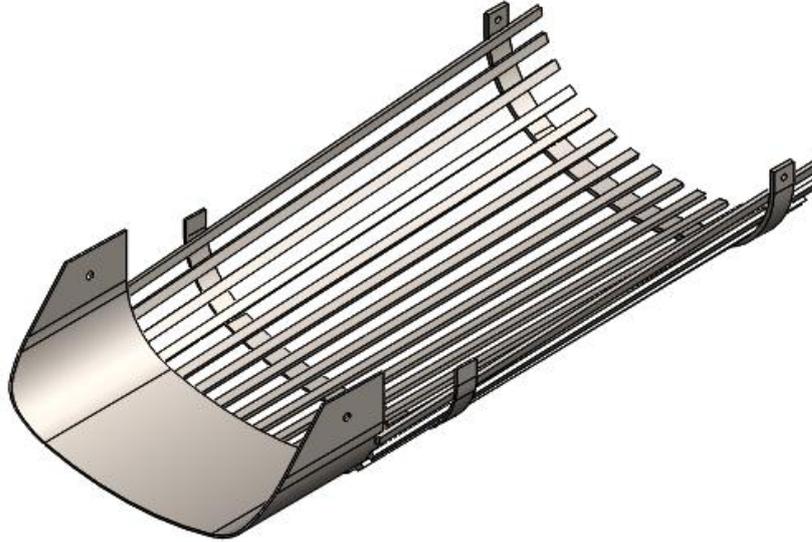
Tabla 7. Designación de los componentes.

Número	Designación
1	Cuchilla
2	Rejilla
3	Soporte de la Cuchilla
4	Sistema de Acoplamiento
5	Sistema de Regulación

Fuente: Autor

**3.4.1.1** *Diseño de la cuchilla de la excavadora de papas.* El procedimiento del análisis se dará por el método de elementos finitos.

Figura 16. Rejilla y cuchilla.



Fuente: Autor

a) *Dimensionamiento.*

- *Profundidad de la cuchilla.*

La profundidad de la cuchilla que se utiliza en el Apero del Cosechador de Papas diseñado, se determinará mediante la profundidad de Labranza recomendada como es de 15 – 20 cm. (Tacuri, y otros, 2002).

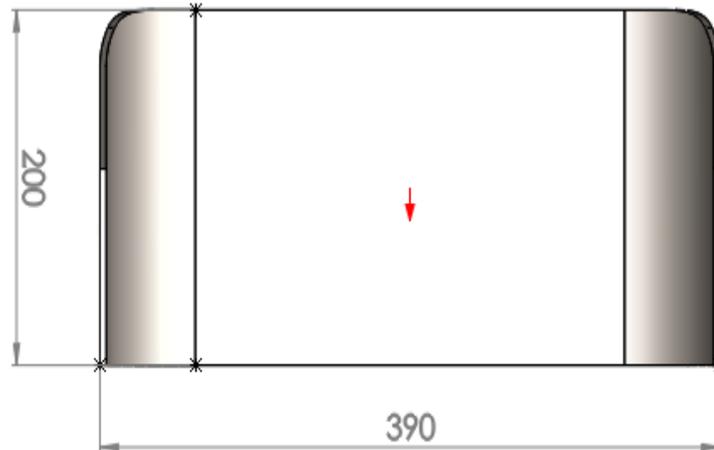
Por lo que por seguridad para dimensionar la profundidad (b) de la cuchilla, utilizamos el valor máximo recomendado que es 20 cm = 200 mm.

- *Ancho operativo de la cuchilla.*

Se basa en función del ancho (l) dado del Motocultor, por lo que se toma como dimensión 390 mm de longitud.

Por lo que se determinaría que las dimensiones de la cuchilla son: 390x200 mm. Estas dimensiones serán las que se incorporen al diseño, y con las que se realizara los correspondientes análisis.

Figura 17. Dimensión de la cuchilla.



Fuente: Autor

b) *Material.*

Se selecciona el material en base a la disponibilidad en el mercado, costo y resistencia.

- *Resistencia.*

El material utilizado debe ser metálico que resista las condiciones excesivas de desgaste o ambientes con fuertes agentes corrosivos, como lo es un acero medio al carbono.

Este tipo de acero contiene 0.43% a 0.50% de Carbono. Se debe tener en cuenta que en el Acero a medida que aumenta el contenido de carbono, también aumenta la resistencia a la corrosión y la dureza.

El alto contenido de carbono proporciona mejores propiedades de desgaste adecuadas para aplicaciones donde se requieran filos cortantes duraderos y para aplicaciones donde las superficies estén sometidas a una abrasión constante, las herramientas, cuchillos, cinceles y muchos componentes de implementos agrícolas requieren la aplicación de estos aceros. (Robert, 2006)

- *Disponibilidad en el mercado.*

Se debe detallar que el acero al carbono, es un material que se puede hallar con facilidad en el mercado local, provincial y nacional, como los estructurales y de construcción, por lo cual no existen inconvenientes en cuanto a la disponibilidad en el mercado.

- *Costo.*

Se debe especificar que los aceros al carbono, son los más económicos que se pueden hallar en el mercado. En base a estos parámetros como son: la resistencia, disponibilidad en el mercado y costo se ha elegido el: **Acero al Carbono AISI 1045**, el cual es muy fácil de trabajar, utilizado para la fabricación de partes de Maquinaria, Herramientas Agrícolas, etc., Con una Composición Química igual a: C (0.43% – 0.50%), Mn (0,60% – 0,90%).

- c) *Cargas.*

- *Cálculo de la fuerza de corte.*

La carga principal a soportar por el arado, es la fuerza requerida para traccionar la herramienta de labranza, la misma que dependerá de las características del suelo, tomándose como parámetros el ancho y profundidad de trabajo.

Para obtener la fuerza de corte se procede de la siguiente manera:

$$F = CL * b(m) * l(m) \quad (1)$$

Dónde:

CL = Coeficiente de Labranza, en  $Kgf/dm^2$ .

b = Profundidad de la cuchilla, igual a 200 mm = 0,20 m

l = Ancho Operativo del cuchilla, igual a 390 mm = 0,39 m

Tabla 8. Valores referenciales de coeficientes de labranza.

<b>Estado del suelo</b>	<b>Coeficiente de Labranza (CL) <math>Kgf/dm^2</math></b>
Tierra muy suelta	30
Tierra suelta	30 - 40
Tierra mediana	40 - 60
Tendiendo a compactada	60 - 80
Tierra compactada	80 – 100

Fuente: (Herrera, 2012)

Se debe tener presente que la papas no soportan suelos compactos, ya que el mismo se debe encontrar suelto en el entorno de las raíces y tubérculos deseados, con un buen drenaje o va a ver problemas con el desarrollo de la misma, por lo que el valor del Coeficiente de Labranza  $CL$  máximo recomendado para Tierra Suelta es **40 Kgf/dm<sup>2</sup>**.

Por lo que la Fuerza de Corte es:

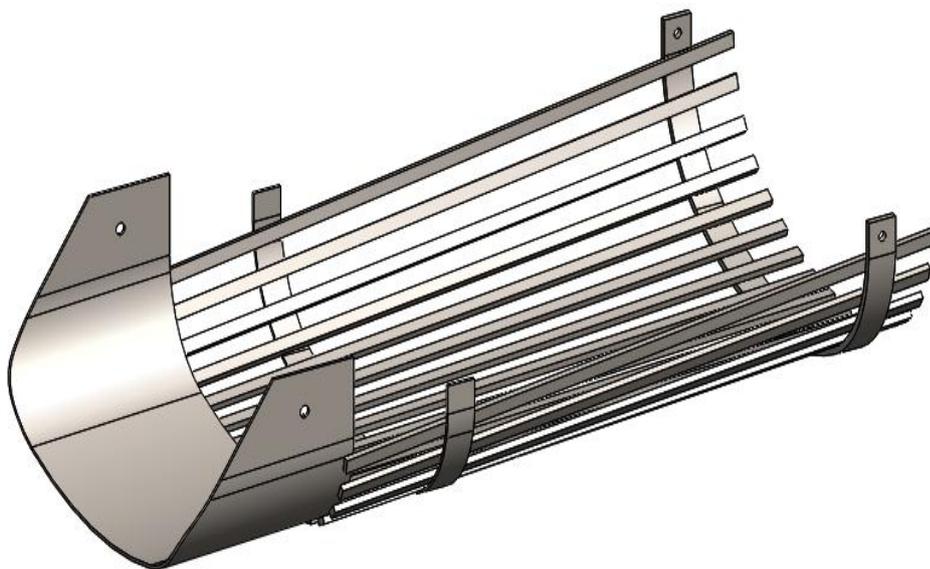
Remplazando en la ecuación (1) se tiene:

$$F = 40 \left( \frac{Kgf}{dm^2} \right) * 0,20 (m) * 0,39 (m) * \frac{(10 dm)^2}{1 m^2}$$
$$F = 312 Kgf * \frac{9,8 N}{1 Kgf} = 3057,6N$$

Esta carga será aplicada en la cuchilla, para la cual se comprobará la resistencia de la misma.

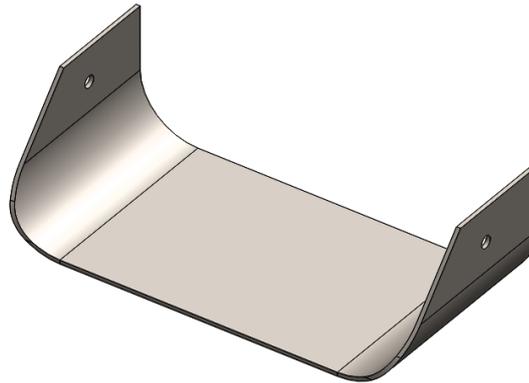
- *Solución de análisis.* Para obtener la solución deseada primeramente se debe agregar el sistema al Método de Elementos Finitos.

Figura 18. Cuchilla - Rejilla



Fuente: Autor

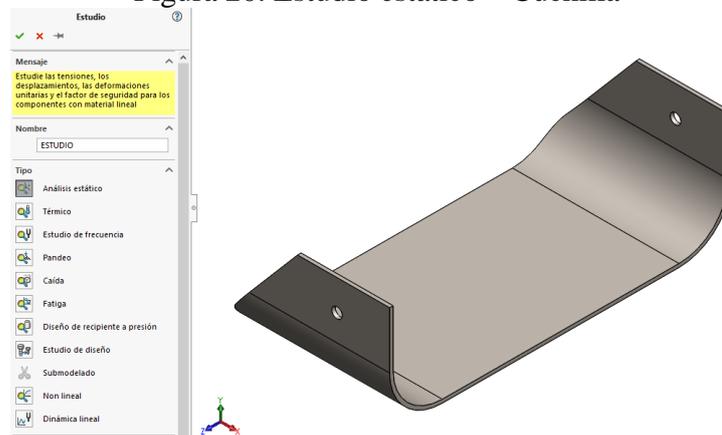
Figura 19. Cuchilla



Fuente: Autor

Procedemos a seleccionar el estudio a realizar el cual es un estudio estático.

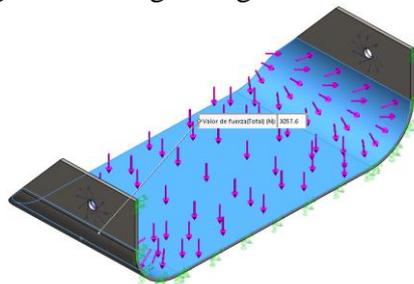
Figura 20. Estudio estático – Cuchilla



Fuente: Autor

Las conexiones y sujeciones se harán en forma manual, mediante pernos ubicados en los puntos estratégicos con Geometría Fija que es la más adecuada y parecida a la real. Las fuerzas son colocadas de la misma manera como van actuar en la pala de la rejilla con la Fuerza calculada como es de  $3057,6N$ .

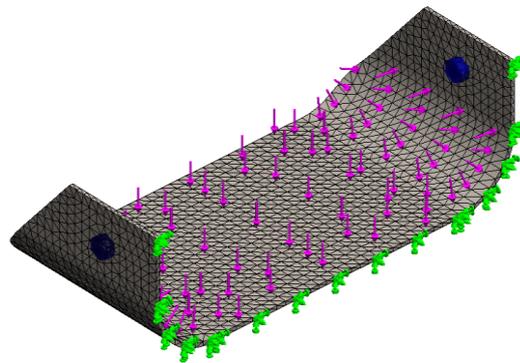
Figura 21. Cargas asignadas – Cuchilla.



Fuente: Autor

El mallado se lo hará de manera automática mediante la opción planteada.

Figura 22. Malla aplicada – Cuchilla.



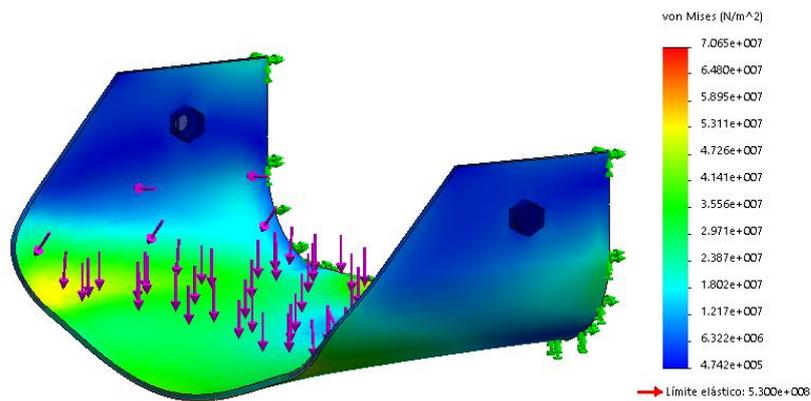
Fuente: Autor

- *Resultados*

- a) *Tensiones equivalentes en escala de VON Misses.*

Según los resultados dados de las Tensiones producidas, en la escala de VON Mises es aceptable, en vista que se puede distinguir la zona donde se produce una mayor tensión, la cual es en la parte central de la cuchilla con un valor mínimo de  $2,971e+007$  ( $N/m^2$ ) despreciable en la cosecha.

Figura 23. Análisis de resultados de tensiones VON Mises  $N/m^2$ - Cuchilla

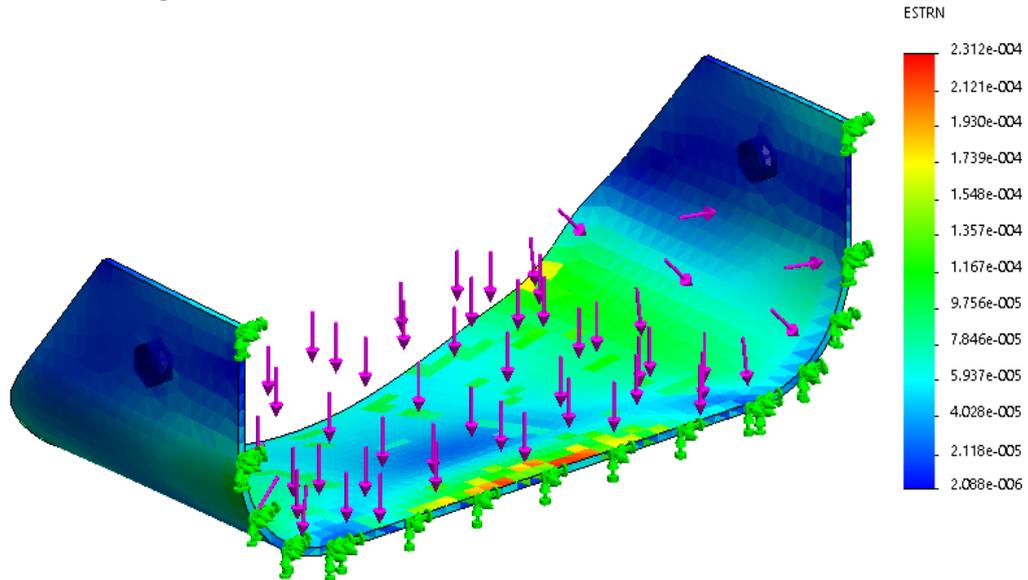


Fuente: Autor

- b) *Deformación total.*

Mediante los resultados dados en base a la deformación máxima es aceptable en vista que se puede distinguir que la zona central de la cuchilla, sufre mayor deformación, la cual es mínima de  $5,937e+005$  despreciable en la cosecha.

Figura 24. Análisis de resultados de deformación – Cuchilla

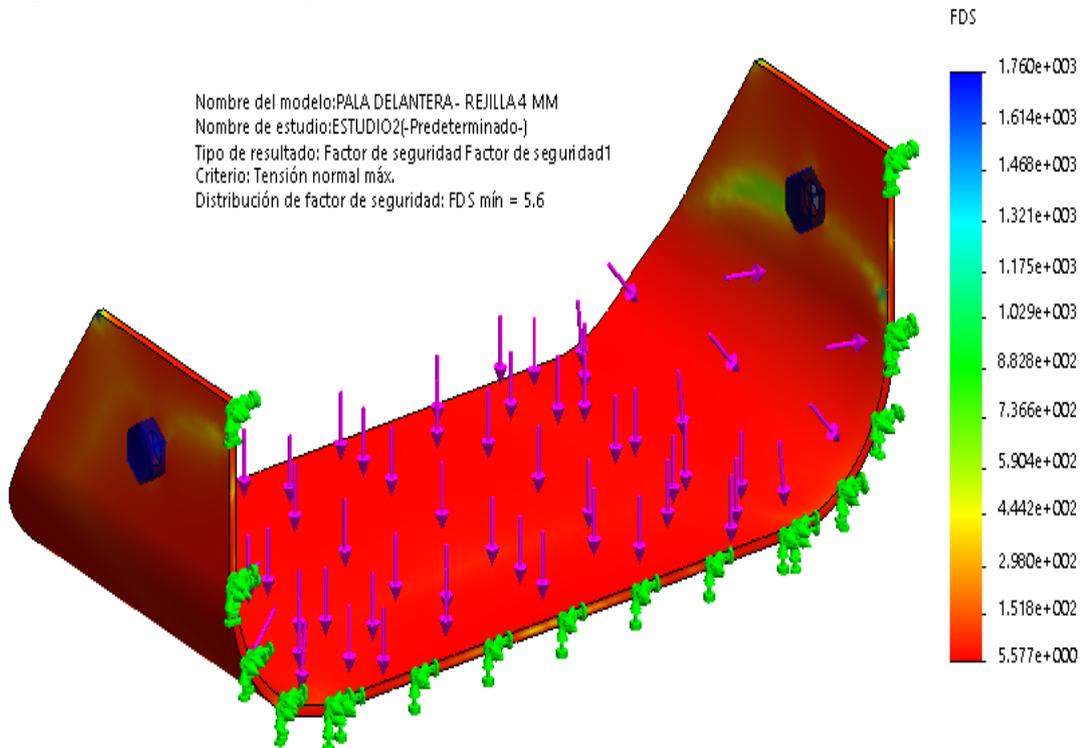


Fuente: Autor

c) *Coefficiente de seguridad.*

Una vez dados los resultados del factor de seguridad, en base a criterios como es la tensión normal máxima, se puede concluir que la misma es aceptable, por ser mayor a 1, como es un factor de seguridad mínimo de 5,60.

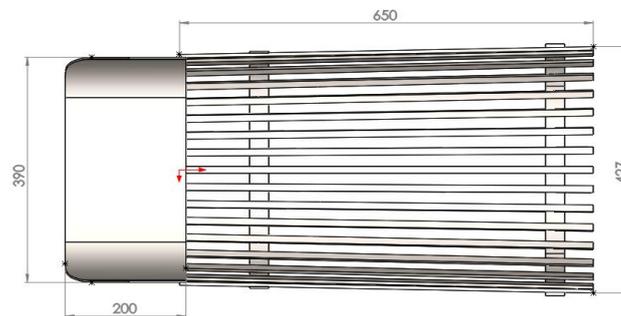
Figura 25. Factor de seguridad basándonos en el criterio normal máximo - Cuchilla



Fuente: Autor

### 3.4.1.2 Análisis de la rejilla de la excavadora de papas

Figura 26. Dimensión de la rejilla y cuchilla



Fuente: Autor

#### a) Dimensionamiento.

- *Profundidad de la rejilla.*

La profundidad se determina en base a las medidas dadas del Motocultor YTO DF – 15L, por lo que se toma como dimensión 650 mm de longitud como valor máximo, para poder cosechar de manera correcta, sin tener inconvenientes durante el labrado de la tierra.

- *Ancho operativo de la rejilla.*

Se basa en función del ancho dado del Motocultor, por lo que se toma como dimensión 390 mm de anchura.

Por lo que se concluye que las dimensiones de la rejilla son: 390x650 mm

#### b) Material.

Se seleccionará el material en base a la resistencia, disponibilidad en el mercado y costo, tal como se lo hizo en la cuchilla.

- *Resistencia.*

El material utilizado como en la rejilla, debe ser metálico que resista las condiciones excesivas de desgaste o ambientes con fuertes agentes corrosivos, como lo es un acero medio al carbono.

- *Disponibilidad en el mercado.*

La disponibilidad en el mercado es un factor importante para seleccionar el material, por lo que se utilizará un acero al carbono, que se lo pueda encontrar con facilidad, en el mercado local, provincial y nacional, como los estructurales y de construcción.

- *Costo.*

Se debe tener en cuenta que los aceros al carbono, son los más económicos que se puede adquirir en el mercado. En base a estos parámetros como son: la resistencia, disponibilidad en el mercado y costo, se ha elegido el: **Acero al Carbono AISI 1045**, el cual es muy fácil de trabajar, utilizado para la fabricación de partes de Maquinaria, Herramientas Agrícolas, etc.

- c) *Cargas.*

- *Cálculo de la fuerza de corte.*

La carga principal que debe soportar el arado, es la fuerza requerida para traccionar la herramienta, la cual, tal como en el caso de la cuchilla, dependerá de las características del suelo, tomándose como parámetros el ancho y profundidad de trabajo.

Para obtener la fuerza de corte se procede de la siguiente manera:

$$F = CL * b(m) * l(m) \quad (2)$$

Dónde:

CL = Coeficiente de Labranza en  $Kgf/dm^2$ .

b = Profundidad de la rejilla igual a 650 mm = 0,65 m

l = Ancho Operativo del cuchilla, igual a 390 mm = 0,39 m

Se debe tener presente que la papas no soportan suelos compactos, ya que el mismo se debe encontrar suelto en el entorno de las raíces y tubérculos deseados, con un buen drenaje o va a ver problemas con el desarrollo de la misma, por lo que el valor del

Coefficiente de Labranza **CL** máximo recomendado para Tierra Suelta es **40 Kgf/dm<sup>2</sup>** según la Tabla 8.

Remplazando en la ecuación (2) se tiene la fuerza de corte es:

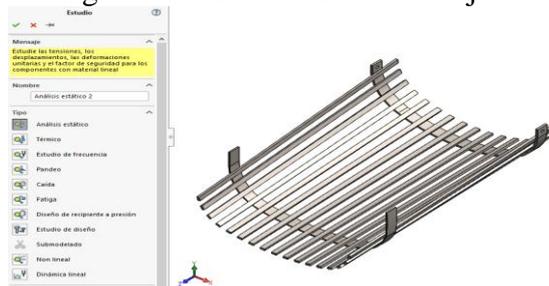
$$F = 40 \left( \frac{Kgf}{dm^2} \right) * 0,65 (m) * 0,39 (m) * \frac{(10 dm)^2}{1 m^2} = 1 014 Kgf * \frac{9,8 N}{1 Kgf} = 9937,2N$$

Esta carga será aplicada en la rejilla, para la cual se comprobará la resistencia de la misma.

- *Solución de análisis.* Para obtener la solución deseada primeramente se debe agregar el sistema al Método de Elementos Finitos.

Por lo que se procede a seleccionar el Estudio a realizar, el cual es un Estudio Estático.

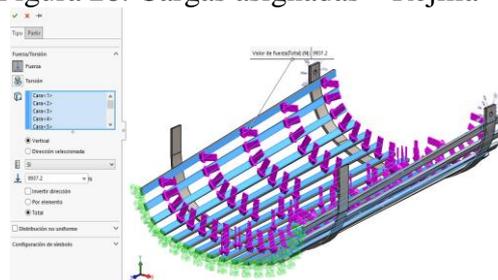
Figura 27. Estudio estático – Rejilla



Fuente: Autor

Las conexiones se hacen en forma manual mediante pernos ubicados en los puntos estratégicos, al igual que las sujeciones con Geometría Fija más adecuada, donde se colocan las Fuerzas de manera real cómo actúan en la rejilla con un valor calculado de 9937,2 N.

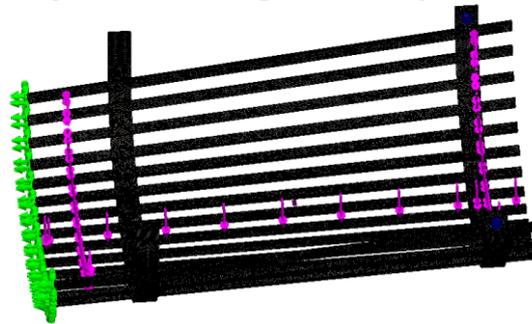
Figura 28. Cargas asignadas – Rejilla



Fuente: Autor

El mallado se lo hará de manera automática mediante la opción planteada.

Figura 29. Malla aplicada – Rejilla.



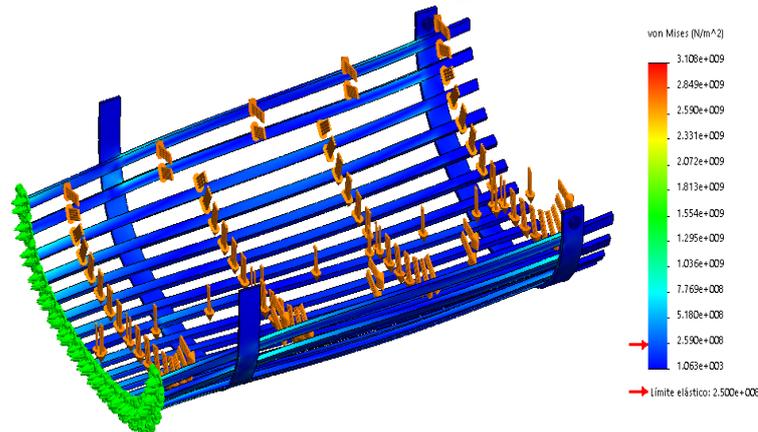
Fuente: Autor

- *Resultados:*

- a) *Tensiones equivalentes en escala de VON Mises.*

Según los resultados dados de las tensiones producidas, en la escala de VON Mises es aceptable, en vista que se puede distinguir la zona donde se produce una mayor tensión, es en la parte inferior de la rejilla con un valor mínimo de  $5,180e+008 \text{ (N/m}^2\text{)}$ , despreciable en la cosecha.

Figura 30. Análisis de resultados de tensiones según la escala de VON Mises ( $\text{N/m}^2$ )

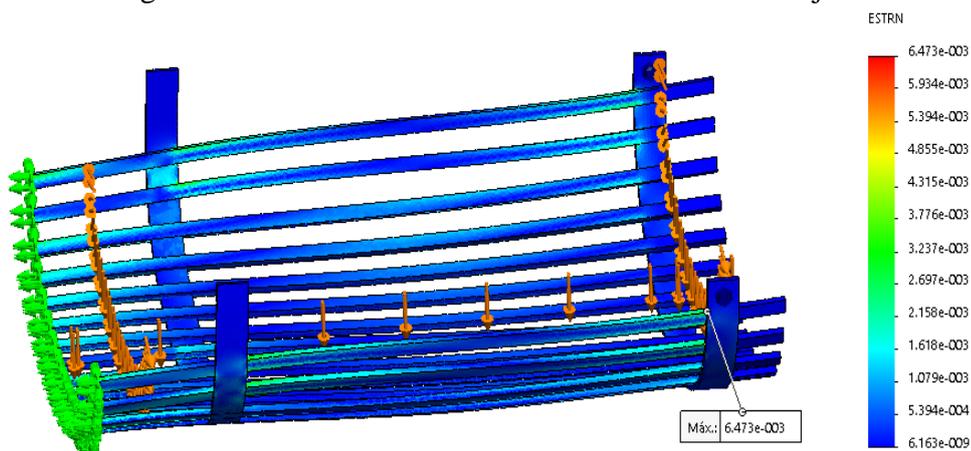


Fuente: Autor

- b) *Deformación total.*

Mediante los resultados dados en base a la deformación máxima es aceptable en vista que se puede distinguir la zona inferior, como la parte donde se da una mayor deformación en la rejilla, la cual es mínima de  $1,079e+003$  despreciable en la cosecha.

Figura 31. Análisis de resultados de deformación – Rejilla

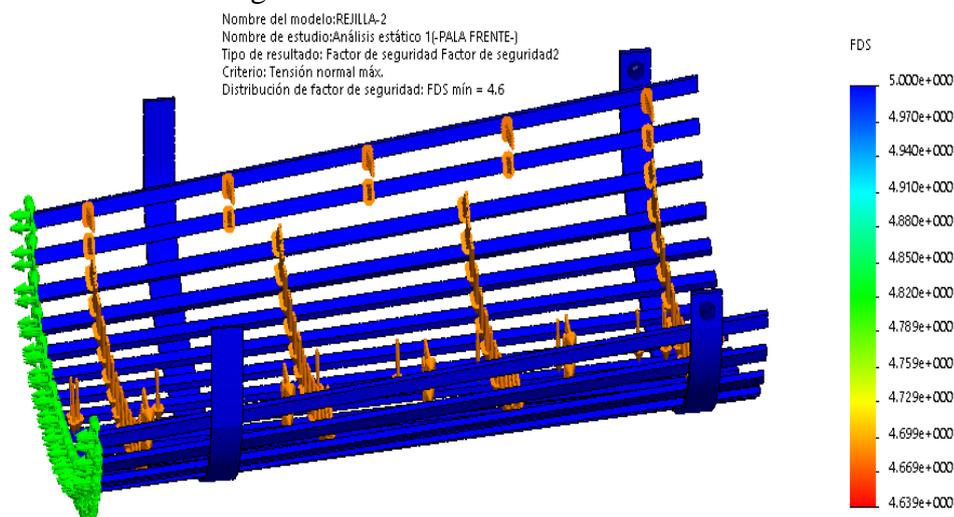


Fuente: Autor

c) *Coefficiente de seguridad.*

Una vez dados los resultados del factor de seguridad, en base a criterios como es la tensión normal máxima, se puede concluir que la misma es aceptable, por ser mayor a 1, como es un factor de seguridad mínimo de 4,60.

Figura 32. Factor de seguridad basándonos en el criterio normal máximo – Rejilla



Fuente: Autor

- *Separación de las platinas en la rejilla.*

Para dimensionar la separación existente entre las platinas que conforman la rejilla, se procede a basarse en el tamaño de las papas, centrándose en las de menor diámetro que es de 30 mm, que según la norma INEN 1516: 2012 las categorías del tubérculo son:

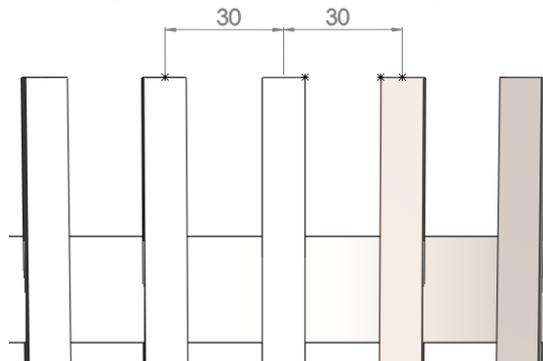
Tabla 9. Tamaño de la papa.

TIPO - CATEGORÍA	DIAMETRO (mm)
Grado No. 1 ó Primera	65 en adelante
Grado No. 2 ó Segunda	45 - 64
Grado No. 3 ó Tercera	30 - 44

Fuente: (INEN, 2012)

Por lo expuesto anteriormente, se da que la separación más apropiada que deben tener las platinas de la rejilla entre si es de 30 mm

Figura 33. División de la rejilla

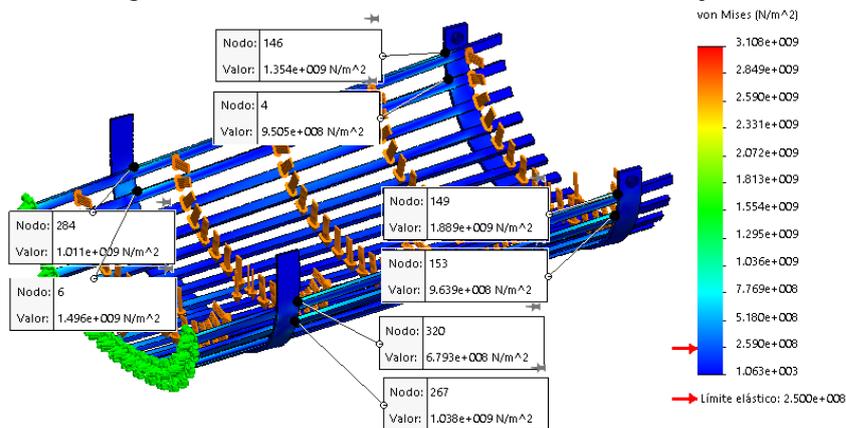


Fuente: Autor

- *Concentradores de esfuerzos en la rejilla.*

Los posibles puntos, donde se hallan la mayor parte de esfuerzos concentrados, mediante la utilización del software CAD-CAE en la rejilla son 8 puntos los cuales son:

Figura 34. Concentradores de esfuerzo en la rejilla



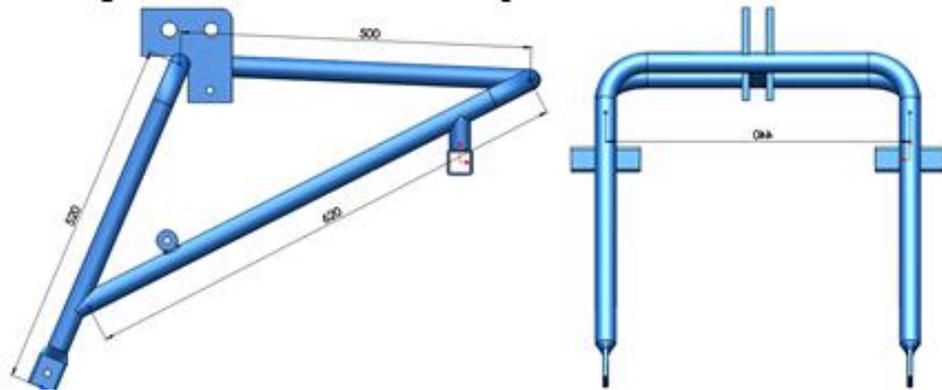
Fuente: Autor

Como conclusión, se puede indicar que la concentración de esfuerzos mayor, se da en la parte superior izquierda (nodo 149), la cual sufre una tensión máxima de  $1,889e+009$  ( $N/m^2$ ), la misma que comenzaría a influir con el pasar del tiempo, sufriendo un desgaste y disminuyendo las propiedades del material, aumentando el esfuerzo en esta zona.

La solución sería ubicar una platina semi circular de material más resistente, la cual ayudaría a contener las platinas rectas, disminuyendo el esfuerzo concentrado en el punto especificado.

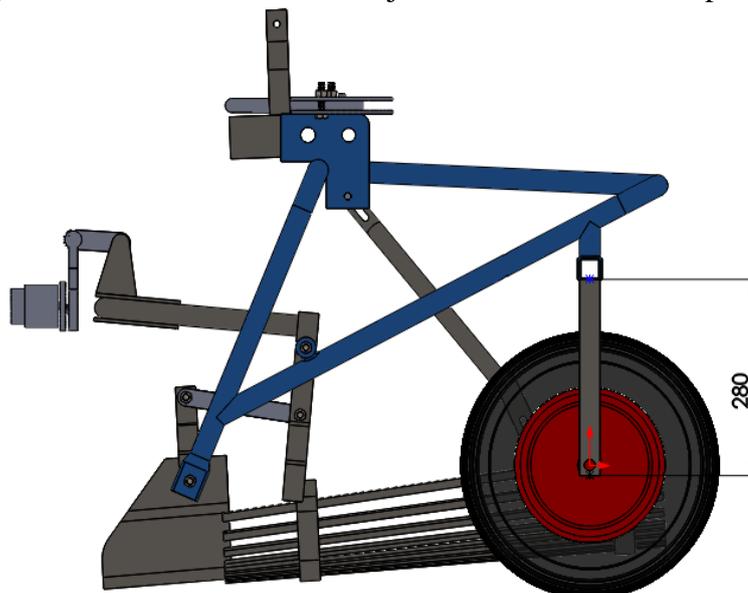
### 3.4.1.3 Soporte de la cuchilla.

Figura 35. Dimensiones del soporte de la cuchilla



Fuente: Autor

Figura 36. Dimensiones de los sujetadores de ruedas del apero



Fuente: Autor

a) *Dimensiones.*

Las dimensiones de la estructura del soporte de la cuchilla, se determinan en base a las medidas dadas del motocultor YTO DF – 15L, tanto del alto, ancho y profundidad, para no tener inconvenientes durante el labrado de la tierra y en la cosecha de las papas por lo que se tiene como medidas generales:

- Parantes verticales: 500 mm
- Vigas transversal: 440 mm
- Viga longitudinal: 500 mm
- Viga inclinada: 620 mm
- Sujetador de rueda: 280 mm

b) *Material.*

Se seleccionará el material en base al costo, disponibilidad en el mercado y resistencia.

- *Resistencia.*

El material utilizado tendrá que ser estrictamente metálico, usado para estructuras, que contengan carbono, conformados en frío para que pueda resistir las condiciones excesivas de desgaste al ambiente.

- *Disponibilidad en el mercado.*

La disponibilidad en el mercado es un importante factor para seleccionar el material, por lo que se deberá utilizar un acero que contenga carbono, el cual sea comercial y fácil de hallar en el mercado local, provincial y nacional, como son los estructurales.

- *Costo.*

Se debe tener en cuenta que los tubos estructurales de acero al carbono, son los más económicos que se puede adquirir en el mercado. En base a estos parámetros como son: la resistencia, disponibilidad en el mercado y costo se ha seleccionado un: acero con calidad ASTM A-500, el cual es muy fácil de trabajar, utilizado estrictamente para la fabricación de estructuras.

c) Cargas.

Como cargas generales y principales que intervienen en cada parte del soporte de la cuchilla se encuentran:

- $P_{material\ rejilla} = ixP_{material\ cuchilla} = 3,25x312\ Kg = 1014\ Kg$
- $P_{material\ cuchilla} = 312\ Kg$
- $P_{estructura\ rejilla - cuchilla} = 10,08Kg$ .
- $P_{persona} = 70\ Kg$

### Selección del material para la construcción del soporte de la cuchilla del sistema.

Figura 37. Estructura del soporte de la cuchilla del sistema de excavación de papas



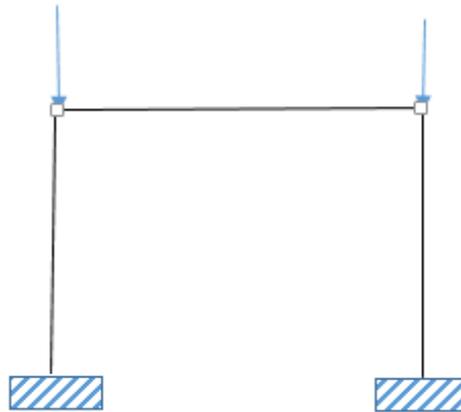
Fuente: Autor

- Selección del material de los parantes verticales de la estructura.

Una vez obtenida una respuesta positiva referente a la selección de la cuchilla o pala excavadora de papas, procedemos a calcular las fuerzas que se encuentran en la estructura y a seleccionar el material requerido para la construcción de dicha estructura.

A continuación se procede a seleccionar el material de los parantes verticales de la estructura como columnas asumiendo que las mismas se encuentran en posición recta y el correspondiente análisis se lo realiza considerando que son columnas.

Figura 38. Diagrama columnas



Fuente: Autor

Antes de proceder a calcular las columnas de la estructura, se debe saber la masa y por ende el peso que abarca la rejilla en su totalidad, en vista que sería el peso total que soportarían las columnas de la estructura.

Por esta razón se procede a realizar una relación de las longitudes entre la cuchilla y la rejilla.

$$i = \frac{\text{Longitud Rejilla}}{\text{Longitud Cuchilla}} = \frac{650 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 3.25$$

Una vez obtenida la relación de longitudes procedemos a obtener la masa y por ende el peso a soportar de la rejilla, para posteriormente proceder a calcular el peso total que van a soportar las parantes de la estructura.

- $P_{\text{material rejilla}} = i \times P_{\text{material cuchilla}} = 3,25 \times 312 \text{ Kgf} = 1014 \text{ Kgf}$
- $P_{\text{material cuchilla}} = 312 \text{ Kgf}$
- $P_{\text{estructura rejilla - cuchilla}} = 10,08 \text{ Kgf}$ .
- $P_{\text{persona}} = 70 \text{ Kgf}$

$$P_{\text{Total}} = 1014 \text{ Kgf} + 312 \text{ Kgf} + 10,08 \text{ Kgf} + 70 \text{ Kgf} = 1406,08 \text{ Kgf} = 3093,38 \text{ lbf}$$

Por seguridad seleccionaremos el material con el Peso Total Máximo como es 3093,38 libras-fuerza. Este valor será el que se utilizara para proceder posteriormente a realizar los análisis correspondientes, para comprobar que la estructura si resiste a la carga indicada.

Para proceder a seleccionar el material requerido para la construcción de los parantes verticales de la estructura tenemos los siguientes datos:

- Peso Total = 3093,38 lb.

Se debe notar que la estructura se halla Empotrada. – Articulada, designándose un factor de  $k= 0.8$  según la Tabla 11.

- Longitud de las columnas de la estructura es de 520 mm.
- Límite de fluencia del Acero ASTM A500 es  $Fy = 3235 \frac{Kg}{cm^2}$ .
- Relación de Esbeltez  $\frac{KL}{r} = 50$ , mediante la Tabla 10 se determina que  $Fa = 22,69$  Kpsi.

Tabla 10.  $Fa - 46000$  psi - Rendimiento del acero

$\frac{KL}{r}$ Ratio		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>Fa</b>	27,540	27,480	27,420	27,360	27,300	27,230	27,160	27,090	27,020
<b>10</b>	26,950	26,870	26,790	26,720	26,630	26,550	26,470	26,380	26,290	26,210
<b>20</b>	26,110	26,020	25,930	25,830	25,730	25,640	25,540	25,430	25,330	25,230
<b>30</b>	25,120	25,010	24,900	24,790	24,680	24,560	24,450	24,330	24,210	24,100
<b>40</b>	23,970	23,850	23,730	23,600	24,480	23,350	23,220	23,090	22,960	22,830
<b>50</b>	22,690	22,560	22,420	22,280	22,140	22,000	21,860	21,720	21,570	21,430
<b>60</b>	21,280	21,130	20,980	20,830	20,680	20,530	20,370	20,220	20,060	19,900
<b>70</b>	19,740	19,580	19,420	19,260	19,100	18,930	18,760	18,600	18,430	18,260
<b>80</b>	18,080	17,910	17,740	17,560	17,390	17,210	17,030	16,850	16,670	16,480
<b>90</b>	16,300	16,120	15,930	15,740	15,550	15,360	15,170	14,970	14,780	14,580
<b>100</b>	14,390	14,190	13,990	13,790	13,580	13,380	13,170	12,960	12,750	12,540

Fuente: Allowable Compressive ( $\sigma_a$ ) Values (1963 AISC), Main Members

Tabla 11. Longitudes efectivas de las columnas.

<b>Longitudes efectivas de columnas</b>						
<b>Las líneas interrumpidas muestran la forma pandeada de la columna</b>	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
<b>Valor K teórico</b>	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
<b>Valores recomendados de diseño cuando las condiciones son parecidas a las ideales.</b>	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

Fuente: (Robert, 2006)

$$F_y = 3235 \frac{Kg}{cm^2} \times \frac{2,2 Lb}{1 Kg} \times \frac{1 Klb}{1000 Lb} \times \frac{(2,54 cm)^2}{1 pulg^2} = 45,916 \frac{Klb}{pulg^2} \approx 46 Kpsi$$

Se debe tener presente que el  $F_y = 46 Kpsi$  es el recomendado para aceros estructurales.

$$A = \frac{P}{F_a} = \frac{3093,38 lb}{22690 \frac{lb}{pulg^2}} = 0,136332305 pulg^2 \times \frac{(2,54 cm)^2}{1 pulg^2} = 0,88 cm^2$$

Tabla 12. Especificaciones generales de tubo redondo estructural de acero A-500.

<b>Especificaciones Generales:</b>
<b>Calidad:</b> ASTM A-500
<b>Recubrimiento:</b> Negro o Galvanizado
<b>Largo Normal:</b> 6,00 m.
<b>Otros Largos:</b> Previa Consulta
<b>Dimensiones:</b> Desde 7,8" hasta 3"
<b>Espesor:</b> Desde 1,50mm a 3,00mm

Fuentes: (Tubo Estructural Redondo, 2016)

Tabla 13. Especificaciones técnicas de tubos redondos estructurales - Acero A-500

(D) Diámetro	Espesor	Peso	Área	I	W	i
Pulgadas	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
7/8"	1.50	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1"	1.50	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4"	1.50	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2"	1.50	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4"	1.50	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2"	1.50	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2"	1.50	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3"	1.50	2.76	3.52	24.56	6.45	2.64
1"	2.00	1.15	1.47	1.01	0.80	0.83
1 1/4"	2.00	1.47	1.87	2.08	1.31	1.05
1 1/2"	2.00	1.78	2.27	3.71	1.95	1.29
1 3/4"	2.00	2.09	2.67	6.02	2.71	1.50
2"	2.00	2.41	3.07	9.14	3.60	1.73
2 1/2"	2.00	3.03	3.86	18.29	5.76	2.18
3"	2.00	3.66	4.66	32.11	8.43	2.62
2"	3.00	3.54	4.51	12.92	5.09	1.69
2 1/2"	3.00	4.48	5.70	26.15	8.24	2.14
3"	3.00	5.42	6.90	46.29	12.15	2.59

Fuente: (Tubo Estructural Redondo, 2016)

En base al área dada seleccionamos el material adecuado, como es:

Un tubo redondo, basándose en el Catálogo de Productos DIPAC en donde:

Tabla 14. Características del Material

Diámetro Ø	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry
7/8"	1,5 mm	0,98 cm <sup>2</sup>	7,3 mm

Fuente: (Tubo Estructural Redondo, 2016)

A continuación se procede a verificar la validez del Tubo seleccionado mediante dos comprobaciones.

a) Primera comprobación de la validez del tubo seleccionado:

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,8 \times 520 \text{ mm}}{7,3 \text{ mm}} = 56,99 \approx 57$$

En donde Fa= 21,72 Kpsi (Tabla 10)

$$P = A \times F_a = 0,98 \text{ cm}^2 \times 21720 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \times \frac{1 \text{ pulg}^2}{(2,54 \text{ cm})^2} = 3299,274 \text{ lb}$$

Por lo que se puede decir que P es:

$$P = 3299,274 \text{ lb} > 3093,38 \text{ lb} \text{ Es aceptable}$$

b) Segunda comprobación de la validez del tubo seleccionado:

Determinándose la constante de columna:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (3)$$

Valores del acero ASTM A500

$$F_y = 3235 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$$

Remplazando en la ecuación (3) se tiene:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 2100000 \text{ Kg/cm}^2}{3235 \text{ Kg/cm}^2}} = 113.1976$$

$$\frac{KL}{r} = 57 < C_c = 113,1976$$

Una vez señalado que  $KL/r$  es menor que  $C_c$ , se procede a utilizar la fórmula de Euler, la misma que es:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (4)$$

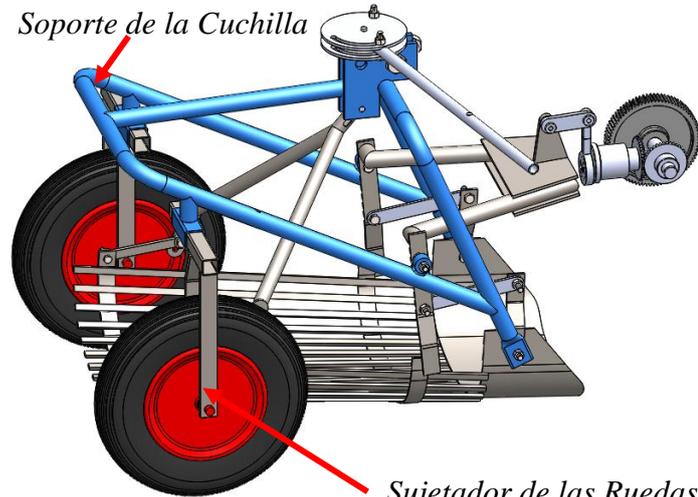
Remplazando en la ecuación (4) se tiene:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 2100000 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} (0,98 \text{ cm}^2)}{(57)^2} = 6251,6608 \text{ Kg}$$
$$P_{cr} = 6251,6608 \text{ Kg} = 13753,6537 \text{ lb} > P = 3093,38 \text{ lb. Es aceptable}$$

Mediante las comprobaciones realizadas se puede determinar la validez del tubo seleccionado el cual tendrá las siguientes características:

$$\varnothing = 7/8'' \text{ y } e = 1,5 \text{ mm}$$

Figura 39. Conjunto del sistema de excavación de papas  
*Soporte de la Cuchilla*



*Sujetador de las Ruedas*  
Fuente: Autor

- Selección de material para sujetadores de ruedas.

Una vez seleccionado el material para los parantes verticales de la estructura fija, se procede a seleccionar el material más adecuado para el mecanismo de la sujeción de los neumáticos como columna. Selección del material para la construcción de los parantes de los sujetadores de los neumáticos.

Para lo cual tenemos los siguientes datos que son:

- Peso total = 3093,38 lb, pero debemos tener en cuenta que son 4 sujetadores, 2 por neumático, por lo que el peso sobre cada sujetador es de  $P = \frac{3093,38 \text{ lb}}{4} = 773,345 \text{ lb}$

Por seguridad seleccionaremos el material con el peso total máximo de 3093,38 lb.

- Se debe notar que la estructura se halla Empotrada. – Articulada, designándose un factor de  $k = 0.8$  según la Tabla 11.

- Longitud de la sujeción es de 280 mm.
- Límite de fluencia del Acero ASTM A500 es  $F_y = 3235 \frac{Kg}{cm^2}$ .
- Relación de esbeltez  $\frac{KL}{r} = 50$ , en dónde se determina que  $F_a = 22,69$  Kpsi. (Tabla 10).

$$F_y = 3235 \frac{Kg}{cm^2} \times \frac{2,2 Lb}{1 Kg} \times \frac{1 Klb}{1000 Lb} \times \frac{(2,54 cm)^2}{1 pulg^2} = 45,916 \frac{Klb}{pulg^2}$$

$$F_y = 45,916 \frac{Klb}{pulg^2} \approx 46 Kpsi$$

$$A = \frac{P}{F_a} = \frac{3093,38 lb}{22690 \frac{lb}{pulg^2}} = 0,136332305 pulg^2 \times \frac{(2,54 cm)^2}{1 pulg^2} = 0,88 cm^2$$

En base al área dada y mediante el catálogo de productos DIPAC se selecciona un tubo rectangular con las siguientes características:

Tabla 15. Especificaciones generales del tubo rectangular de acero A-500

**Especificaciones Generales:**

**Calidad:** ASTM A-500

**Recubrimiento:** Negro o Galvanizado

**Largo Normal:** 6,00 m.

**Otros Largos:** Previa Consulta

**Dimensiones:** Desde 12,00mm x 25,00 mm  
a 40,00 mm x 80,00 mm.

**Espesor:** Desde 1,20mm a 3,00mm

Fuente: (Tubo Estructural Cuadrado, 2016)

Tabla 16. Especificaciones técnicas de tubos rectangulares estructurales - Acero A-500

Dimensiones				Área	Ejes Y-Y			Ejes X-X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	i cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,68	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15

Fuente: (Tubo Estructural Cuadrado, 2016)

Tubo rectangular:

40x20 mm, de e = 1,2 mm, Área Ag=1,32 cm<sup>2</sup> y Radio de Giro ry=1,12cm = 11,2 mm

Como observación podemos especificar que al haber calculado un área determinada y al no existir en el mercado el mismo se optó por adquirir el tubo rectangular con el área más aproximado al calculado existente.

A continuación se procede a verificar la validez del Tubo seleccionado mediante dos comprobaciones.

a) Primera comprobación de la validez del tubo seleccionado:

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,8 \times 280 \text{ mm}}{11,2 \text{ mm}} = 20$$

En donde  $F_a = 26,110$  Kpsi (Tabla 10)

$$P = A_x F_a = 1,32 \text{ cm}^2 \times 26110 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \times \frac{1 \text{ pulg}^2}{(2,54 \text{ cm})^2} = 5261,1755 \text{ lb}$$

Por lo que se puede decir que P es:

$$P = 5261.1755, \text{ lb} > 3093,38 \text{ lb} \text{ Es aceptable}$$

b) Segunda comprobación de la validez del tubo seleccionado:

Determinándose la constante de columna:

Valores el acero ASTM A500

$$E = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_y = 3235 \text{ Kg/cm}^2$$

Remplazando en la ecuación (3) se tiene:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 2100000 \text{ Kg/cm}^2}{3235 \text{ Kg/cm}^2}}$$

$$C_c = 113,1976$$

$$\frac{KL}{r} = 20 < C_c = 113,1976$$

Como se puede verificar que  $KL/r$  es menor que  $C_c$ , se procede a utilizar la fórmula de Euler, la misma que es:

Remplazando en la ecuación (4) se tiene:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 2100000 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} (1,32 \text{ cm}^2)}{(20)^2} = 68396,3585 \text{ Kg}$$

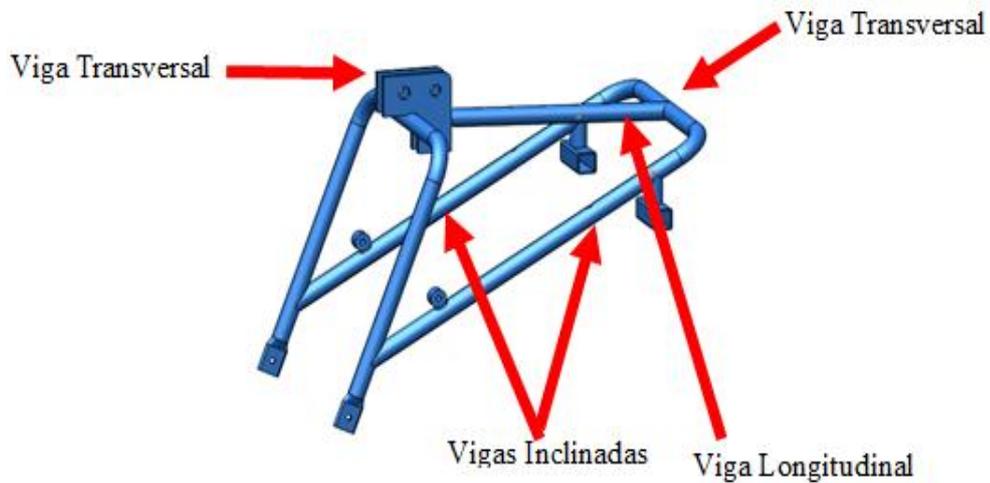
$$P_{cr} = 68396,3585 \text{ Kg} = 150471,9887 \text{ lb} > P = 3093,38 \text{ lb}. \text{ Es aceptable}$$

Mediante las comprobaciones realizadas se puede determinar la validez del Tubo seleccionado el cual tendrá las siguientes características:

Tubo rectangular: 40x20 mm, de  $e = 1,2$  mm, Área  $A_g=1,32$  cm<sup>2</sup> y Radio de Giro  $r_y=1,12$ cm

Se indica en la figura a continuación la estructura que dará soporte al conjunto cuchilla-rejilla. Dicha estructura constara de dos vigas transversales, dos vigas longitudinales además de dos vigas inclinadas y finalmente dos vigas verticales.

Figura 40. Partes de la estructura soporte de la cuchilla.



Fuente: Autor

Una vez seleccionado el material más apropiado para los parantes verticales de la estructura las cuales fueron seleccionados como columnas, se procede a elegir el material más adecuado para las vigas de la estructura, iniciándose con la transversal y después la longitudinal.

- Cálculo de la sección de la Viga Transversal.

Para calcular la viga indicada se tiene los siguientes datos:

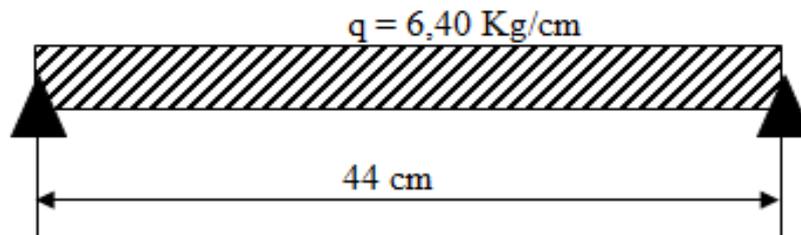
- $P_{Total} = P_{material\ rejilla} + P_{material\ cuchilla} + P_{estructura\ rejilla-cuchilla} + P_{persona} + P_{columnas}$ .

$$P_{Total} = 1014Kgf + 312 Kgf + 10,08Kgf + 70 Kgf + 2,82Kgf = 1408,9 Kgf \\ = 3099,58 lbf$$

Teniendo en cuenta que se encuentran dos Vigas Transversales, una Viga Longitudinal y dos Vigas Inclinadas entonces el Peso Total se divide para las Vigas nombradas.

- Peso viga =  $\frac{P_{total}}{5} = 281,78 \text{ Kg} = 619,92 \text{ lb}$
- Carga distribuida es  $q = 6,40 \text{ Kg/cm}$
- Longitud de la viga es de  $440 \text{ mm} = 44 \text{ cm}$ .
- Límite de fluencia del Acero ASTM A500 es  $F_y = 3235 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ .

Figura 41. Distribución de la viga transversal



Fuente: Autor

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{6,40 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}} \times (44 \text{ cm})^2}{8} = 1548,8 \text{ Kg} - \text{cm}$$

$$F_y = 3235 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times \frac{2,2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ Klb}}{1000 \text{ Lb}} \times \frac{(2,54 \text{ cm})^2}{1 \text{ pulg}^2} = 45,916 \frac{\text{Klb}}{\text{pulg}^2} \approx 46 \text{ Kpsi}$$

$$F_b = 0,66 F_y = 0,66 \times 46 \text{ Kpsi} = 30,36 \text{ Kpsi} = 2139,004 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$30,36 \frac{\text{Klb}}{\text{pulg}^2} \times \frac{1000 \text{ Lb}}{1 \text{ Klb}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{2,2 \text{ Lb}} \times \frac{1 \text{ pulg}^2}{(2,54 \text{ cm})^2} = 2139,004 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$S_x = \frac{M}{F_b} = \frac{1548,8 \text{ Kg} - \text{cm}}{2139,004 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} = 0,72 \text{ cm}^3$$

En base al Módulo de Sección (Sx) dado y mediante el Catálogo de Productos DIPAC se selecciona un Tubo Redondo con las siguientes características:

Tabla 17. Características del material

Diámetro Ø	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección St
1 1/4"	1,5 mm	1,43 cm <sup>2</sup>	10,7 mm	1,03 cm <sup>3</sup>

Fuente: (Tubo Estructural Redondo, 2016)

A continuación se procede a comprobar la validez del Tubo seleccionado.

$$q = 6,40 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}} + 0,4928 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 6,405 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}}$$

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{6,405 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}} \times (44 \text{ cm})^2}{8} = 1550,01 \text{ Kg} - \text{cm}$$

$$S_{req.} = \frac{M}{Fb} = \frac{1550,01 \text{ Kg} - \text{cm}}{2139,004 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} = 0,725 \text{ cm}^3 < 1,03 \text{ cm}^3$$

$$S_{req.} < S_{Tabl.}$$

Como se puede notar que el Módulo de Sección requerido si es menor que el Módulo de Sección de las Tablas se puede decir que el Tubo seleccionado es el Correcto.

Por lo que el tubo seleccionado y apropiado para actuar como viga transversal en la Estructura del Soporte de la Cuchilla es el:

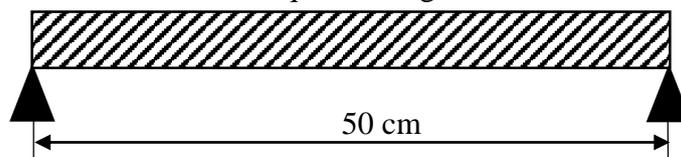
Tubo Redondo:  $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ " y  $e = 1,5$  mm

- Cálculo de la sección de la Viga Longitudinal.

Para calcular la viga indicada se tiene los siguientes datos:

- Peso Total de la Viga = 619,92 lb + P vigas Transversales = 619,92 lb + 2,17 lb = 622,09 lb = 282,77 Kg
- Carga distribuida es  $q = 5,66$  Kg/cm
- Longitud de la viga longitudinal es de 500 mm = 50 cm.
- Límite de fluencia del Acero ASTM A500 es  $F_y = 3235 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ .

Figura 42. Distribución de la viga longitudinal  
 $q = 5,66$  Kg/cm



Fuente: Autor

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{5,66 \frac{Kg}{cm} \times (50 \text{ cm})^2}{8} = 1768,75 \text{ Kg} - \text{cm}$$

$$F_y = 3235 \frac{Kg}{cm^2} \times \frac{2,2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ Klb}}{1000 \text{ Lb}} \times \frac{(2,54 \text{ cm})^2}{1 \text{ pulg}^2} = 45,916 \frac{\text{Klb}}{\text{pulg}^2} \approx 46 \text{ Kpsi}$$

$$F_b = 0,66 F_y = 0,66 \times 46 \text{ Kpsi} = 30,36 \text{ Kpsi} = 2139,004 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$30,36 \frac{\text{Klb}}{\text{pulg}^2} \times \frac{1000 \text{ Lb}}{1 \text{ Klb}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{2,2 \text{ Lb}} \times \frac{1 \text{ pulg}^2}{(2,54 \text{ cm})^2} = 2139,004 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$S_x = \frac{M}{F_b} = \frac{1768,75 \text{ Kg} - \text{cm}}{2139,004 \frac{Kg}{cm^2}} = 0,83 \text{ cm}^3$$

En base al **Módulo de Sección (Sx)** dado y mediante el Catálogo de Productos DIPAC se selecciona un Tubo Redondo con las siguientes características:

Tabla 18. Características del material

<b>Diámetro Ø</b>	<b>Espesor e</b>	<b>Área Ag</b>	<b>Radio de Giro ry</b>	<b>Módulo de Sección St</b>
1 1/4"	1,5 mm	1,43 cm <sup>2</sup>	10,7 mm	1,03 cm <sup>3</sup>

Fuente: (Tubo Estructural Redondo, 2016)

A continuación se procede a comprobar la validez del tubo seleccionado.

$$q = 5,66 \frac{Kg}{cm} + 0,56 \frac{Kg}{m} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 5,67 \frac{Kg}{cm}$$

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{5,67 \frac{Kg}{cm} \times (50 \text{ cm})^2}{8} = 1771,875 \text{ Kg} - \text{cm}$$

$$S_{req.} = \frac{M}{F_b} = \frac{1771,875 \text{ Kg} - \text{cm}}{2139,004 \frac{Kg}{cm^2}} = 0,83 \text{ cm}^3 < 1,03 \text{ cm}^3$$

$$S_{req.} < S_{Tabl.}$$

Como se puede notar que el módulo de sección requerido si es menor que el módulo de sección de las Tablas se puede decir que el tubo seleccionado es el correcto. Por lo que el tubo seleccionado y apropiado para actuar como viga longitudinal en la estructura del soporte de la cuchilla es el:

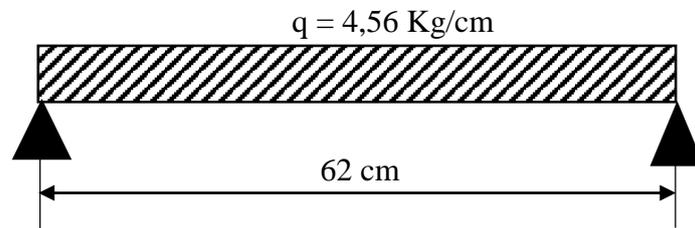
Tubo redondo: Ø = 1 1/4" y e = 1,5 mm

- Cálculo de la sección de la viga inclinada.

Para calcular la viga indicada se tiene los siguientes datos:

- Peso total de la viga = 282,77 Kg + P<sub>viga</sub> longitudinal = 282,77Kg + 0,56 Kg = 283,33 Kg = 623,33 lb.
- Carga distribuida es q = 4,56 Kg/cm
- Longitud de la viga longitudinal es de 620 mm = 62 cm.
- Límite de fluencia del Acero ASTM A500 es  $F_y = 3235 \frac{Kg}{cm^2}$ .

Figura 43. Distribución de la viga inclinada.



Fuente: Autor

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{4,56 \frac{Kg}{cm} \times (62 \text{ cm})^2}{8} = 2191,08 \text{ Kg} - \text{cm}$$

$$F_y = 3235 \frac{Kg}{cm^2} \times \frac{2,2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ Klb}}{1000 \text{ Lb}} \times \frac{(2,54 \text{ cm})^2}{1 \text{ pulg}^2} = 45,916 \frac{Klb}{pulg^2} \approx 46 \text{ Kpsi}$$

$$F_b = 0,66 F_y = 0,66 \times 46 \text{ Kpsi} = 30,36 \text{ Kpsi} = 2139,004 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$30,36 \frac{Klb}{pulg.^2} \times \frac{1000 \text{ Lb}}{1 \text{ Klb}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{2,2 \text{ Lb}} \times \frac{1 \text{ pulg}^2}{(2,54 \text{ cm})^2} = 2139,004 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$S_x = \frac{M}{F_b} = \frac{2191,08 \text{ Kg} - \text{cm}}{2139,004 \frac{Kg}{cm^2}} = 1,024 \text{ cm}^3$$

En base al módulo de sección (S<sub>x</sub>) dado y mediante el catálogo de productos DIPAC se selecciona un tubo redondo con las siguientes características:

Tabla 19. Características del material

Diámetro Ø	Espesor e	Área A <sub>g</sub>	Radio de Giro r <sub>y</sub>	Módulo de Sección S <sub>t</sub>
1 1/4"	1,5 mm	1,43 cm <sup>2</sup>	10,7 mm	1,03 cm <sup>3</sup>

Fuente: (Tubo Estructural Redondo, 2016)

A continuación se procede a comprobar la validez del tubo seleccionado.

$$q = 4,56 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}} + 0,69 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 4,57 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}}$$

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{4,57 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}} \times (62 \text{ cm})^2}{8} = 2195,89 \text{ Kg} - \text{cm}$$

$$S_{req.} = \frac{M}{Fb} = \frac{2195,89 \text{ Kg} - \text{cm}}{2139,004 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} = 1,026 \text{ cm}^3 < 1,03 \text{ cm}^3$$

$$S_{req.} < S_{Tabl.}$$

Como se puede notar que el módulo de sección requerido si es menor que el módulo de sección de las Tablas se puede decir que el tubo seleccionado es el correcto.

Por lo que el tubo seleccionado y apropiado para actuar como viga longitudinal en la estructura del soporte de la cuchilla es el: tubo redondo:  $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ " y  $e = 1,5 \text{ mm}$

En conclusión se tiene que para las 2 patas se utilizaría 2 tubo redondo  $\varnothing = 7/8$ ".

Para las sujeciones de los neumáticos se utilizaría tubo rectangular: 40x20 mm.

Para las vigas transversales, inclinadas y longitudinal, se utilizaría Tubo redondo de  $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ ".

Una vez calculado las vigas y columnas de la estructura fija, por facilidades de adquisición se opta por la posibilidad de adquirir tubo redondo de  $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ " para toda la sección que conforma el conjunto de la estructura, por lo que se debe proceder a recalculer si es factible colocar el tubo redondo de  $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ " en lugar del tubo redondo de  $\varnothing = 7/8$ " en la parte especifica de las patas que se seleccionó el material como columnas.

- Comprobación del uso del tubo redondo de  $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ " para las columnas de la estructura fija.

Para proceder a verificar el uso del tubo redondo de  $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ " para la construcción de la columna de la estructura fija tenemos los siguientes datos:

Tabla 20. Datos para seleccionar la columna.

<b>Peso Total F</b>	<b>Factor K (Emp. – Emp.)</b>	<b>Longitud L</b>	<b>Límite de Fluencia Fy</b>	<b>Área A</b>
3093,38 lb	0,8	520 mm	46 Kpsi	0,88 cm <sup>2</sup>

Fuente: Autor

A continuación se procede a verificar si el tubo redondo, es aceptable como columna de la estructura fija, por lo que se debe tener presente lo siguientes datos:

Tabla 21. Características del material

<b>Diámetro Ø</b>	<b>Espesor e</b>	<b>Área Ag</b>	<b>Radio de Giro ry</b>
1 1/4"	1,5 mm	1,43 cm <sup>2</sup>	10,7 mm

Fuente: (Tubo Estructural Redondo, 2016)

A continuación se procede a verificar la validez del Tubo seleccionado mediante dos comprobaciones.

- a) Primera comprobación de la validez del tubo seleccionado.

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,8 \times 520 \text{ mm}}{10,7 \text{ mm}} = 38,9 \approx 39$$

En donde Fa= 24,100 Kpsi (Tabla 10)

$$P = AxFa = 1,43 \text{ cm}^2 \times 24100 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \times \frac{1 \text{ pulg}^2}{(2,54 \text{ cm})^2} = 5341,7757 \text{ lb}$$

$$P = 5341,7757 \text{ lb} > 3093,38 \text{ lb. Es aceptable.}$$

- b) Segunda comprobación de la validez del tubo seleccionado.

Determinándose la constante de columna:

Valores el acero ASTM A500

$$E = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Fy = 3235 \text{ Kg/cm}^2$$

Remplazando en la ecuación (3) se tiene:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 2100000 \text{Kg/cm}^2}{3235 \text{Kg/cm}^2}}$$

$$C_c = 113,1976$$

$$\frac{KL}{r} = 39 < C_c = 113,1976$$

Como se puede verificar que  $KL/r$  es menor que  $C_c$ , se procede a utilizar la fórmula de Euler, la misma que es:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 2100000 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} (1,43 \text{cm}^2)}{(39)^2} = 19486,14 \text{Kg}$$

$$P_{cr} = 19486,14 \text{Kg} = 42869,5124 \text{lb.} > P = 3093,38 \text{lb.} \text{ Es aceptable}$$

Mediante las comprobaciones que se realizaron se pudo determinar la validez del tubo seleccionado el cual tendrá las características que se detallan continuación:

Tabla 22. Características del material

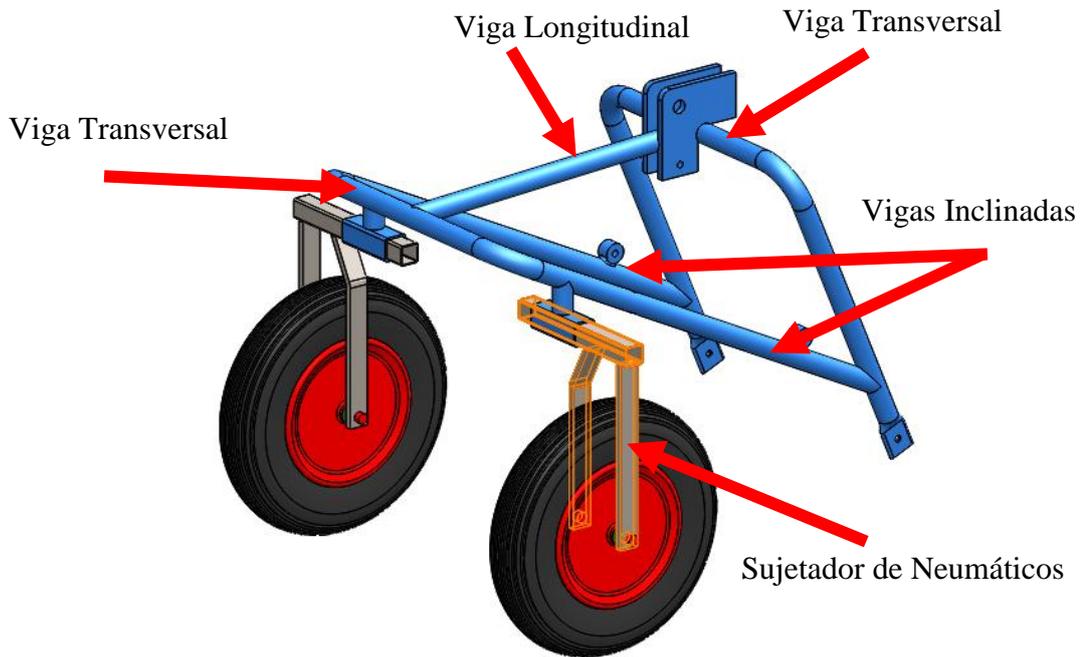
Diámetro Ø	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección, St
1 1/4"	1,5 mm	1,43 cm <sup>2</sup>	10,7 mm	1,03 cm <sup>3</sup>

Fuente: (Tubo Estructural Redondo, 2016)

Una vez verificado y validado el tubo  $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ " para la construcción de las columnas de la estructura, se opta por adquirir este tipo de tubo para las vigas transversales, inclinadas y longitudinal así como para las columnas de la estructura del soporte de la cuchilla.

- *Solución del análisis del soporte de la cuchilla.* Para obtener la solución deseada primeramente se debe agregar el sistema al Método de Elementos Finitos.

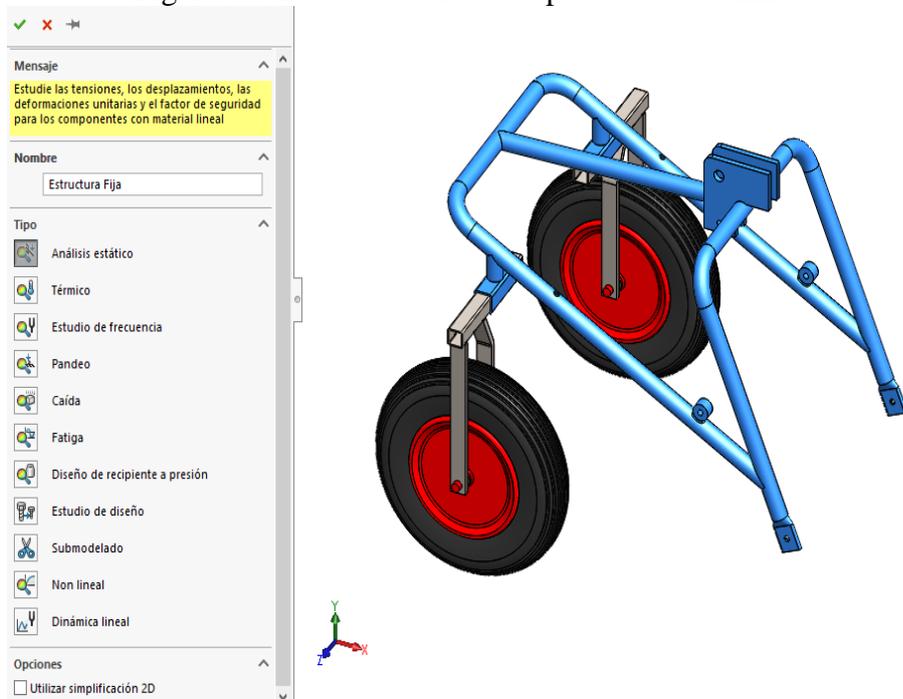
Figura 44. Partes del soporte de la cuchilla. 2



Fuente: Autor

Procedemos a seleccionar el estudio a realizar, el cual es un Estudio Estático

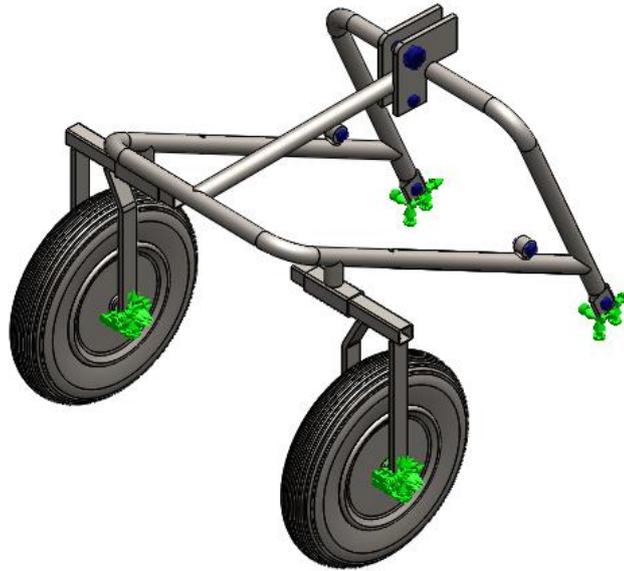
Figura 45. Estudio estático – Soporte de la cuchilla



Fuente: Autor

Las conexiones se hacen en forma manual mediante pernos ubicados en los puntos estratégicos, al igual que las sujeciones con la Geometría Fija más adecuada,

Figura 46. Sujeciones aplicadas – Soporte de la cuchilla

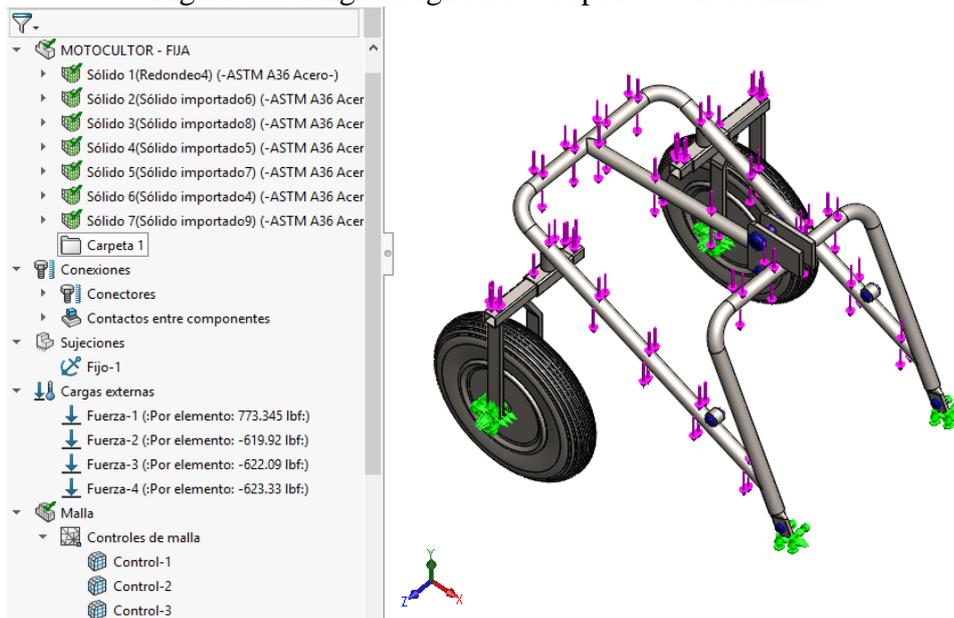


Fuente: Autor

Las fuerzas son colocadas de la misma manera como van actuar en la estructura:

- 773,345 lbf sobre cada sujetador de los neumáticos.
- 619,92 lbf sobre cada viga transversal.
- 622,09 lbf sobre la viga longitudinal.
- 623,33 lbf sobre cada viga inclinada.

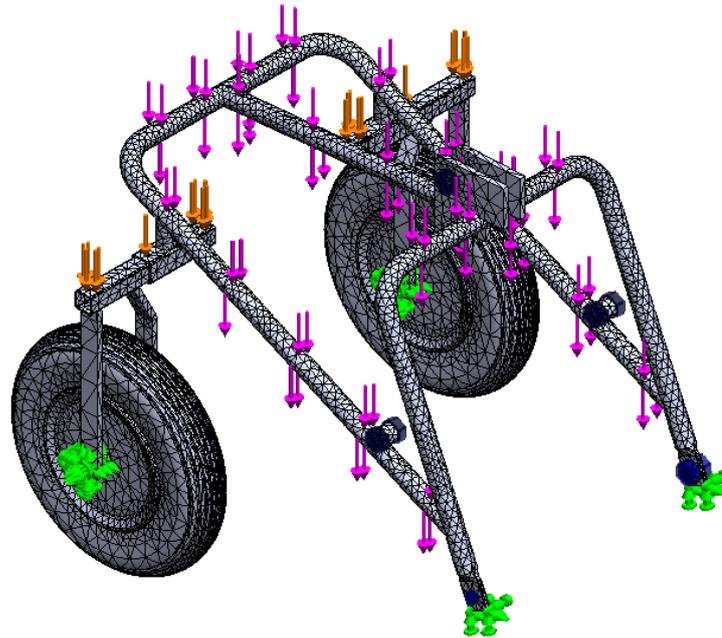
Figura 47. Cargas asignadas – Soporte de la cuchilla



Fuente: Autor

El mallado se lo hará de manera automática mediante la opción planteada.

Figura 48. Malla aplicada – Soporte de la cuchilla.



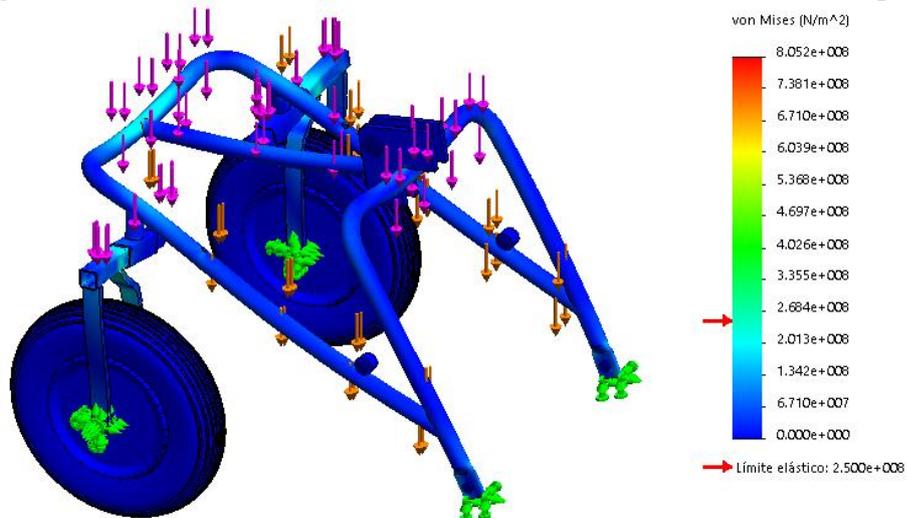
Fuente: Autor

- *Resultados:*

- a) *Tensiones equivalentes en escala de VON Misses.*

Según los resultados dados de las tensiones producidas, en la escala de VON Mises es aceptable, en vista que se puede distinguir que la zona donde se produce una mayor tensión, es en la sección de la viga transversal posterior del soporte de la cuchilla con un valor mínimo de  $2,013e+008$  (N/m<sup>2</sup>), el cual es despreciable en la cosecha.

Figura 49. Análisis de resultados de tensiones VON Mises N/m<sup>2</sup>. – Soporte

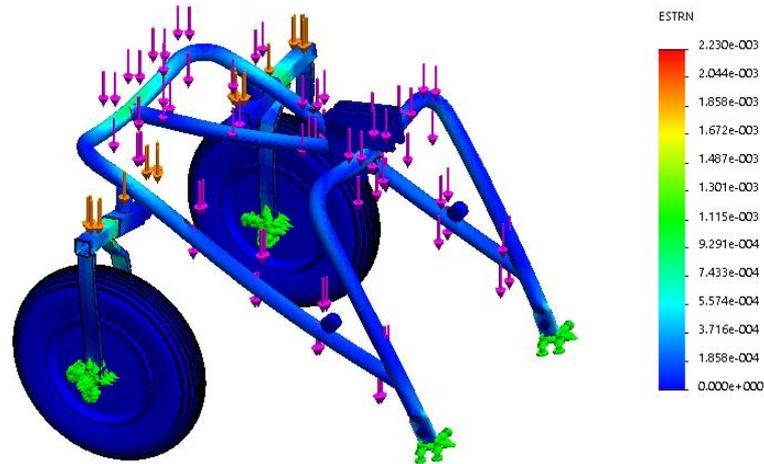


Fuente: Autor

b) *Deformación total.*

Mediante los resultados dados en base a la deformación máxima es aceptable, en vista que se puede distinguir que en la sección de la viga transversal posterior, es la zona que sufre mayor deformación, la cual es de  $5,574e+004$ , la misma que es despreciable en la cosecha.

Figura 50. Análisis de resultados de deformación – Soporte de la cuchilla

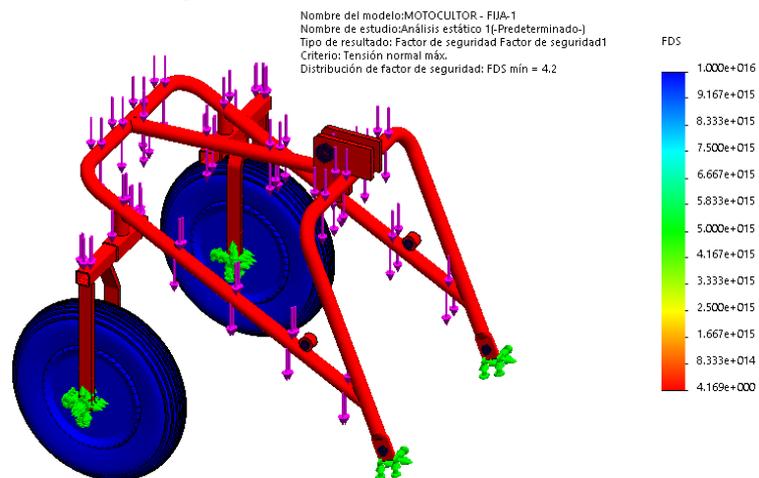


Fuente: Autor

c) *Coefficiente de seguridad.*

Una vez dados los resultados del factor de seguridad, en base a criterios como es la tensión normal máxima, se puede concluir que la misma es aceptable, por ser mayor a 1, como es un factor de seguridad del soporte de la cuchilla mínimo de 4,20.

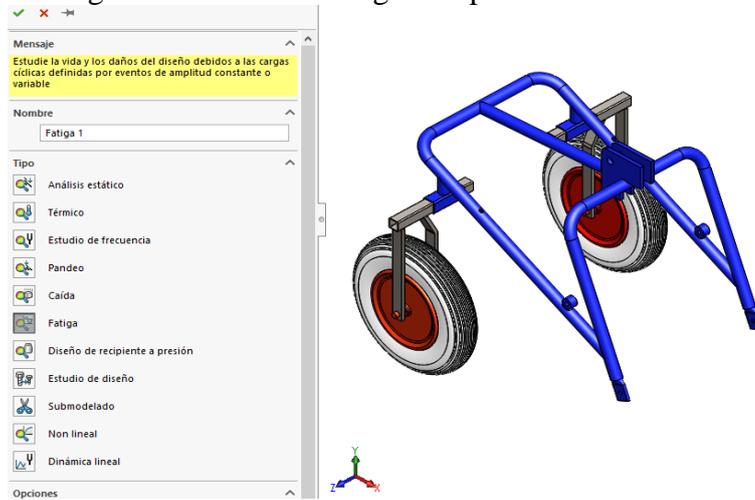
Figura 51. Factor de seguridad en base a la tensión normal máxima – Soporte.



Fuente: Autor

- *Diseño a fatiga.* Procedemos a seleccionar el estudio a realizar, el cual es un Estudio a Fatiga.

Figura 52. Estudio a fatiga – Soporte de la cuchilla

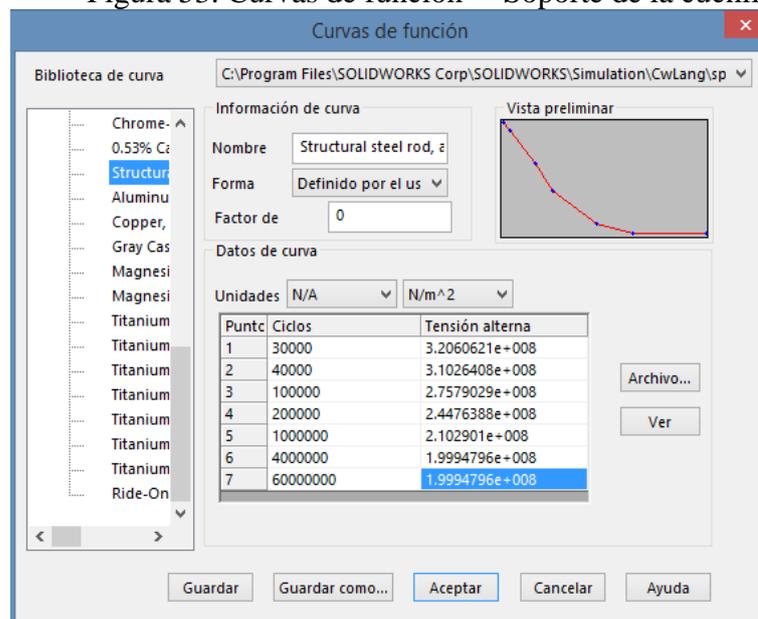


Fuente: Autor

Una vez elegido el estudio a realizar como es el de fatiga, se procede a seleccionar los sucesos requeridos.

Por consiguiente se procede a elegir las curvas de función, donde se selecciona el Material a usar como es el acero estructural (Structural Steel), donde se detalla todas sus propiedades, así como las curvas SN de fatiga.

Figura 53. Curvas de función – Soporte de la cuchilla.



Fuente: Autor

- *Resultados:*

a) *Porcentaje de daño.*

Según los resultados dados del porcentaje de daño; es aceptable, en vista que se puede distinguir, que el soporte de la cuchilla, establece apenas un porcentaje mínimo de daño del 1,667e-004 según la escala, la misma que es mínima y no afecta en la cosecha.

Figura 54. Porcentaje de daño – Soporte de la cuchilla



Fuente: Autor

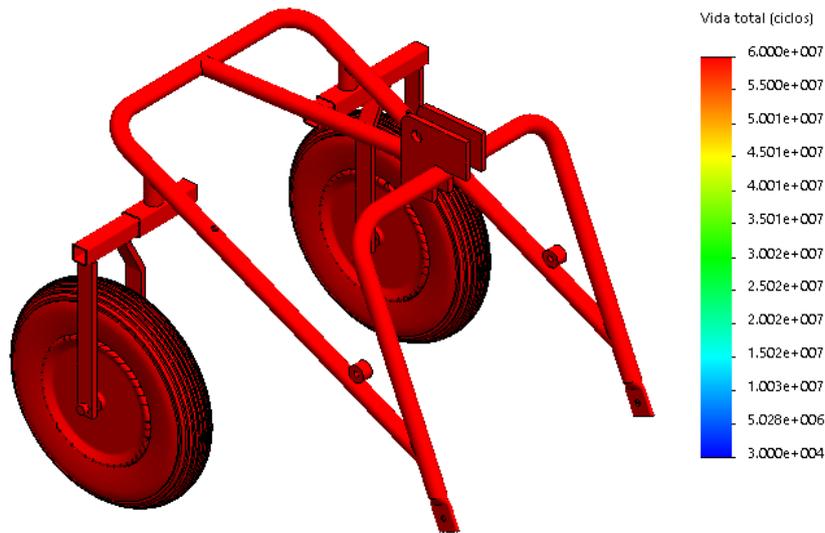
b) *Ciclo de vida total.*

Según los resultados dados del ciclo de vida total; es aceptable, en vista que se puede distinguir; que todo el soporte de la cuchilla, establece que la misma tiene un ciclo de vida mínimo de 3000e+004 según la escala establecida.

La cual cumple 0.5 segundo por ciclo estableciéndose de esta manera que el soporte tiene una vida útil de 1500e+004 segundos la misma que sería igual a 2.08 años laborables.

$$\begin{aligned}
 & 30\ 000\ \text{ciclos} * 4\ \frac{\text{seg.}}{\text{ciclo}} \\
 & = 120\ 000\ \text{seg.} * \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{seg.}} * \frac{1\ \text{h}}{60\ \text{min.}} * \frac{1\ \text{día}}{4\ \text{h}} * \frac{1\ \text{semestre}}{2\ \text{día}} \\
 & * \frac{1\ \text{año}}{2\ \text{semestres}} = 2.08\ \text{años}
 \end{aligned}$$

Figura 55. Ciclo de vida total – Soporte de la cuchilla

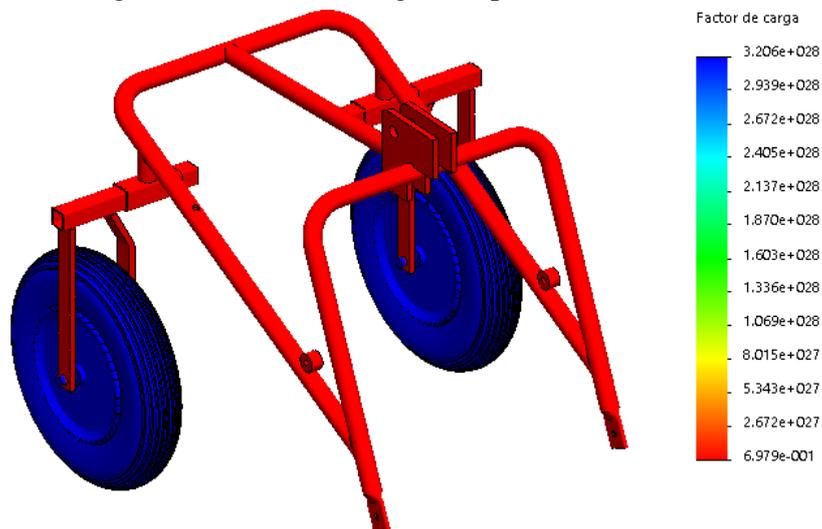


Fuente: Autor

c) *Factor de carga.*

Dados los resultados del factor de carga; se puede concluir que el mismo es aceptable, en vista que se puede distinguir que el soporte de la cuchilla obtiene un factor de carga mínimo de  $6,979e-001$  según la escala establecida.

Figura 56. Factor de carga – Soporte de la cuchilla.

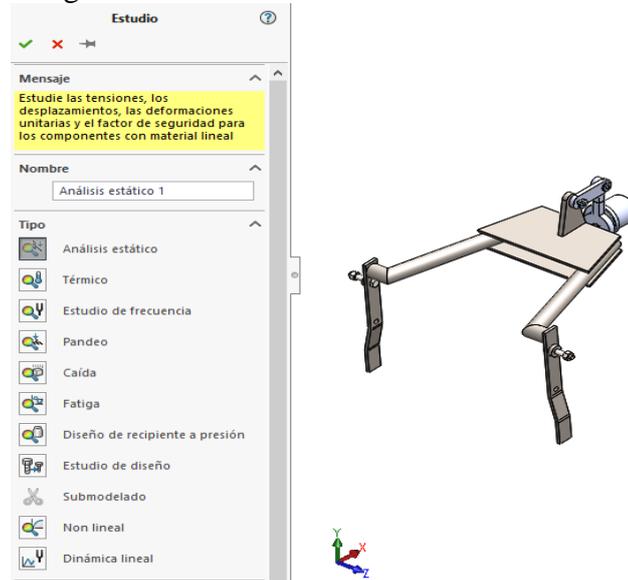


Fuente: Autor

- *Solución del análisis del conjunto de la toma de fuerza.* Para la solución de análisis del conjunto de la toma de fuerza, lo primero es agregar el modelo al método MEF.

Procedemos a seleccionar el estudio a realizar, el cual es un estudio estático

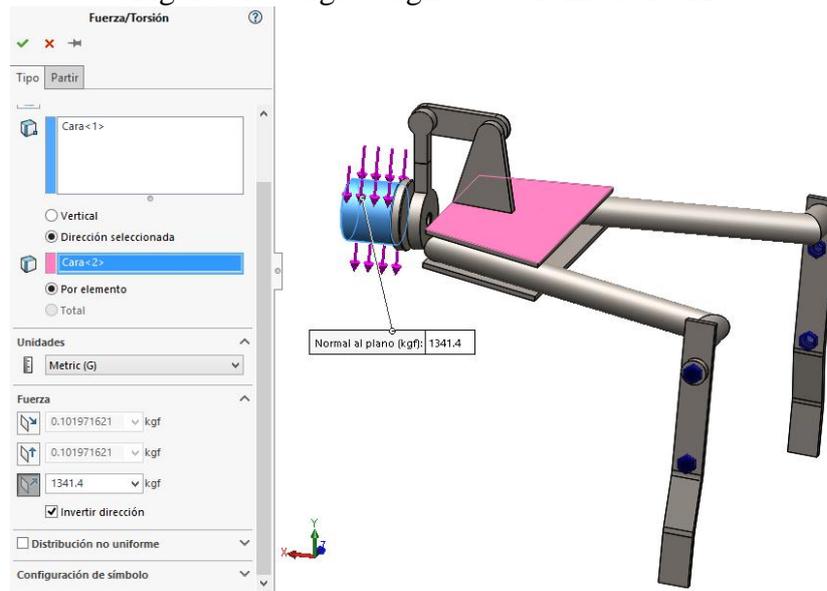
Figura 57. Estudio estático – Toma de fuerza.



Fuente: Autor

- Las conexiones se harán en forma manual mediante pernos ubicados en los puntos estratégicos.
- Las sujeciones se harán en forma manual mediante los puntos estratégicos con Geometría Fija que es la más adecuada y parecida a la real.
- Las fuerzas son colocadas de la misma manera como van actuar en lo real:

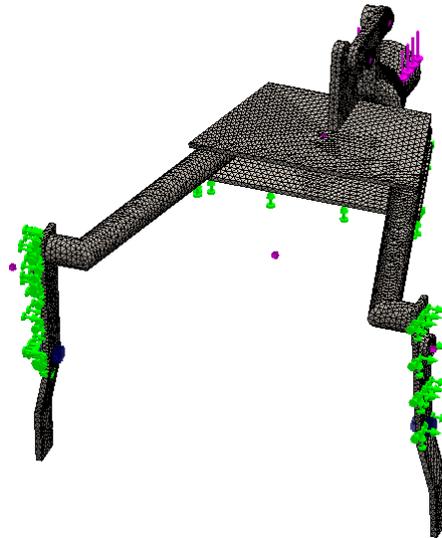
Figura 58. Cargas asignadas – Toma de fuerza



Fuente: Autor

El mallado se lo hará de manera automática mediante la opción planteada.

Figura 59. Malla aplicada – Toma de fuerza



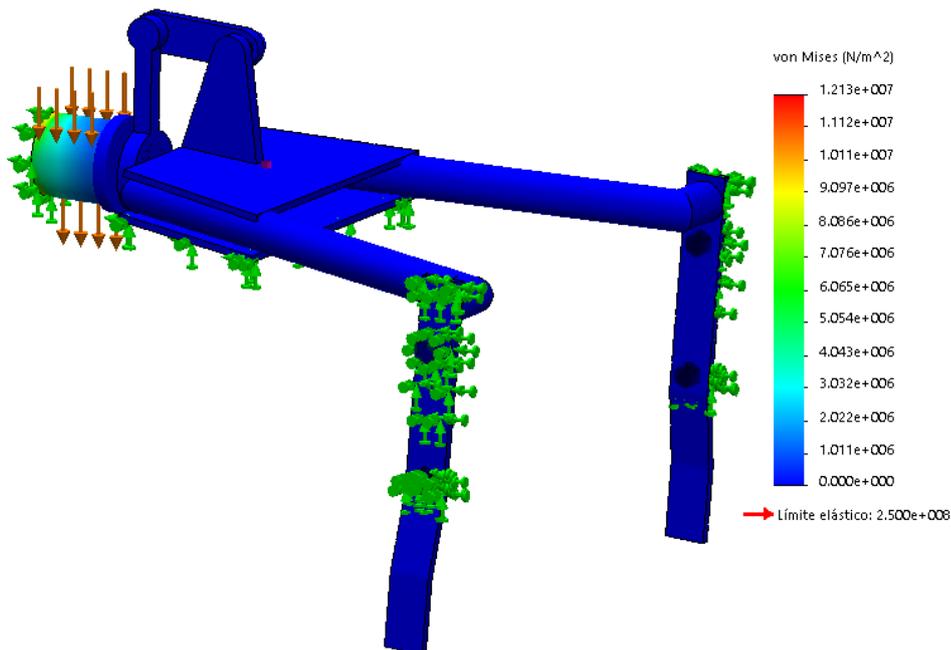
Fuente: Autor

- *Resultados:*

- a) *Tensiones equivalentes en escala de VON Mises.*

Según los resultados dados de las Tensiones producidas, en la escala de VON Mises es aceptable, en vista que se puede distinguir que la zona donde se produce una mayor tensión, es en la sección del Eje del Toma Fuerzas con un valor mínimo de  $3,032e+006$  ( $N/m^2$ ), el cual es despreciable en la cosecha.

Figura 60. Análisis de resultados de tensiones VON Mises  $N/m^2$ . – Toma de fuerza.

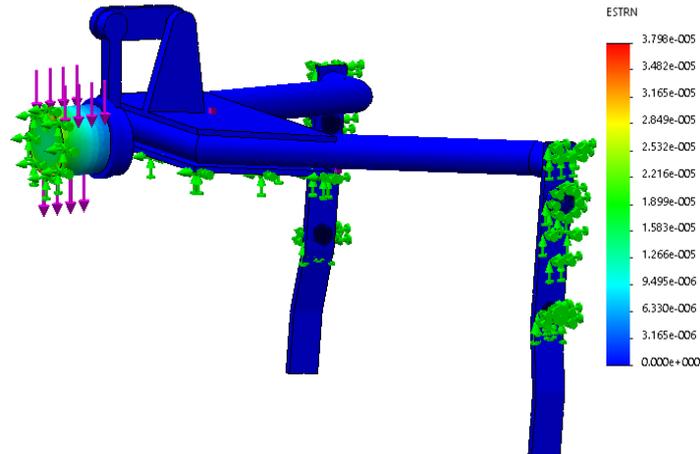


Fuente: Autor

b) *Deformación total.*

Mediante los resultados dados en base a la deformación máxima es aceptable, en vista que se puede distinguir que en la sección del Eje del Toma Fuerzas, es la zona que sufre mayor deformación, la cual es de  $9,495e+006$ , la misma que es despreciable en la cosecha.

Figura 61. Análisis de resultados de deformación – Toma de fuerza

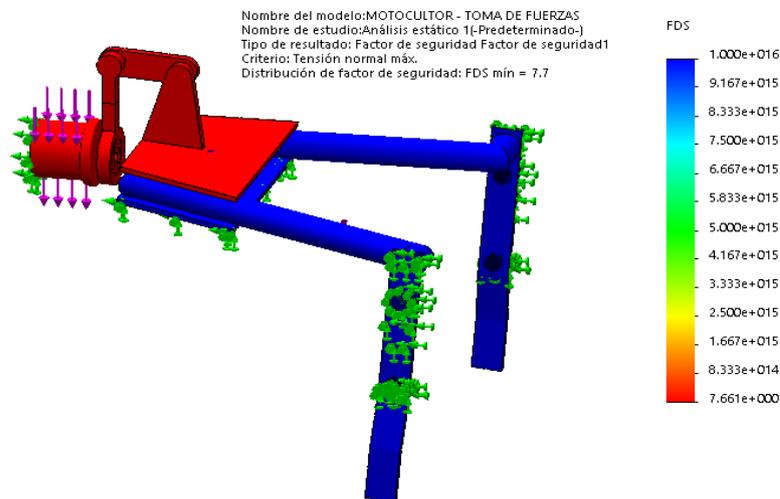


Fuente: Autor

c) *Coefficiente de seguridad.*

Una vez dados los resultados del factor de seguridad, en base a criterios como es la tensión normal máxima, se puede concluir que la misma es aceptable, por ser mayor a 1, como es un factor de seguridad del soporte de la cuchilla mínimo de 7,7.

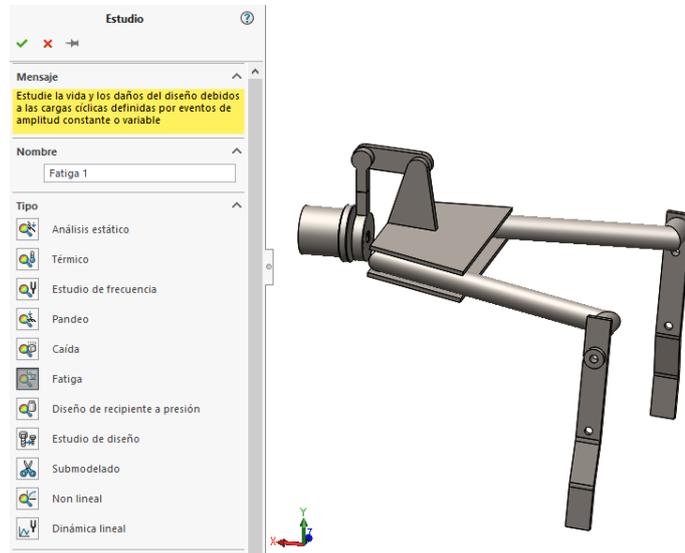
Figura 62. Factor de seguridad en base a la tensión normal máxima – Toma de fuerza.



Fuente: Autor

- *Diseño a fatiga.* Procedemos a seleccionar el estudio a realizar, el cual es un Estudio a Fatiga.

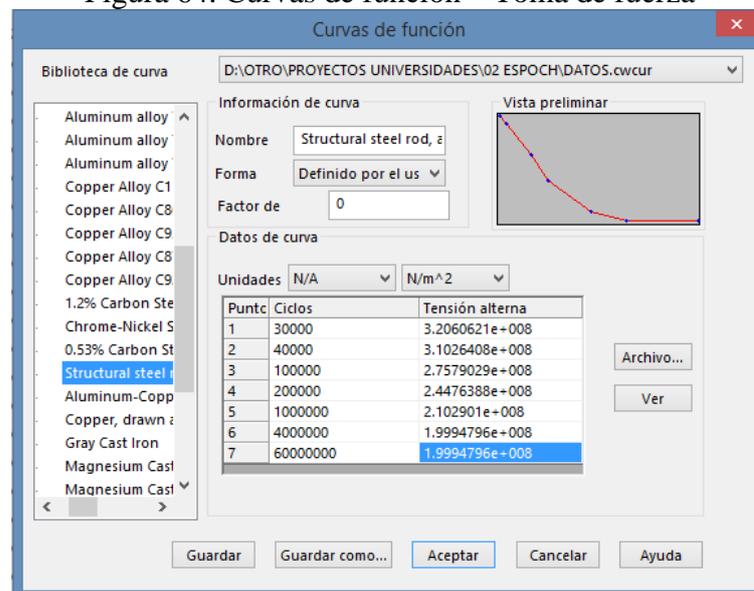
Figura 63. Estudio a fatiga – Toma de fuerza



Fuente: Autor

- Una vez elegido el Estudio a realizar como es el de Fatiga, se procede a seleccionar los sucesos requeridos.
- Por consiguiente se procede a elegir las Curvas de Función, donde se selecciona el Material a usar como es el Acero Estructural (Structural Steel), donde se detalla todas sus propiedades, así como las Curvas SN de Fatiga.

Figura 64. Curvas de función – Toma de fuerza



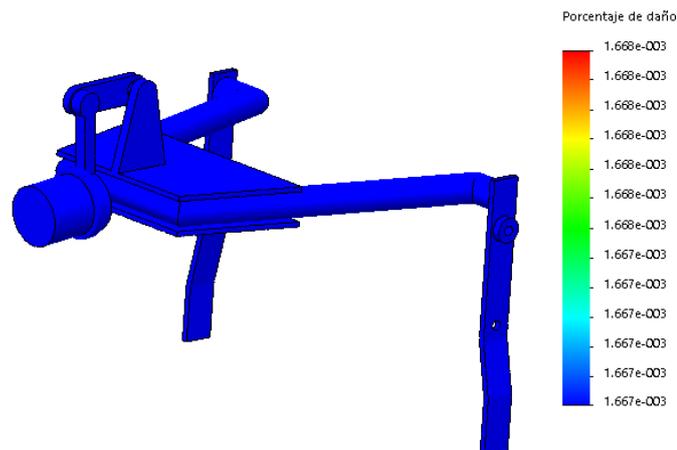
Fuente: Autor

- *Resultados:*

- a) *Porcentaje de daño.*

Según los resultados dados del Porcentaje de Daño; es aceptable, en vista que se puede distinguir que en todo el conjunto de la Toma de Fuerza, se establece apenas un porcentaje mínimo de daño de  $1,667e-003$  según la escala dada.

Figura 65. Porcentaje de daño – Toma de fuerza



Fuente: Autor

- b) *Ciclo de vida total.*

Según los resultados dados del ciclo de vida total; se determina que es aceptable, en vista que se puede distinguir; que todo el conjunto de la toma de fuerza, establece un ciclo de vida total de  $6,000e+007$  según la escala establecida.

Figura 66. Ciclo de vida total – Toma de fuerza

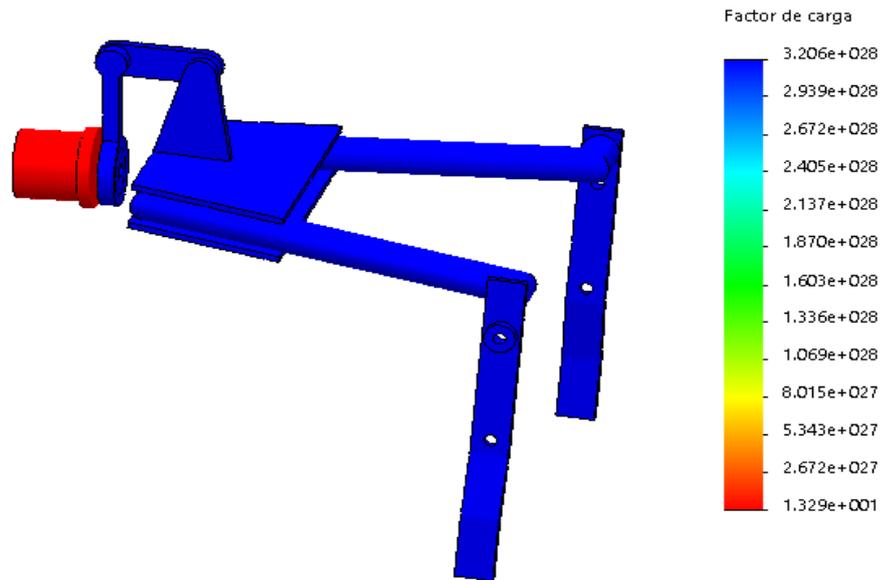


Fuente: Autor

c) *Factor de carga.*

Dados los resultados del factor de carga; se puede concluir que el mismo es aceptable, en vista que la toma de fuerza obtiene un factor de carga mínimo de 1,329e+001 según la escala establecida.

Figura 67. Factor de carga – Toma de fuerza



Fuente: Autor

- *Potencia requerida por la herramienta de labranza ( $Pot_{req}$ )*

Es la Potencia Requerida por el Apero que demanda a la barra de tiro del Motocultor YTO DF-15L. Por lo que la Potencia nombrada se determina de la siguiente manera:

$$Pot_{req} = F_{req} \times Vel_{mot} \quad (5)$$

Dónde:

$$\begin{aligned} F_{req} &= \text{Fuerza requerida} \\ &= F_{mat.rejilla} + F_{mat.cuchilla} + F_{est.rej - cuch} + F_{columnas} \\ &\quad + F_{sujetadores} + F_{vigas.transversales} + F_{viga.londitudinal} \\ &\quad + F_{vigas.Inclinadas} \end{aligned}$$

$$Vel_{mot} = \text{Velocidad de avance del motocultor} = 2 \frac{km}{h}$$

Se debe indicar que la Velocidad de Desplazamiento según el Manual de Operación Servicio Motocultor YTO DF-15L, es igual a 2 Km/h, el cual es utilizado para trabajar en Terrenos Húmedos y Lodosos, mientras que para trabajos en Campos Secos es igual a 1,2 Km/h.

Para el diseño se utiliza la Velocidad para Trabajos en Terrenos Húmedos y Lodosos en vista que se necesita mayor Velocidad y por ende Mayor Potencia.

$$\begin{aligned}
 F_{req} &= 1014 \text{ Kgf} + 312 \text{ Kgf} + 10,08 \text{ Kgf} + 1,16 \text{ Kgf} + 1,22 \text{ Kgf} + 0,99 \text{ Kgf} \\
 &\quad + 0,56 \text{ Kgf} + 1,39 \text{ Kgf} = 1341,4 \text{ Kgf} = 1341,4 \text{ Kgf} * \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ Kgf}} \\
 &= 13145,72 \text{ N} \\
 Vel_{mot} &= 2 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 0,56 \frac{\text{m}}{\text{seg}}
 \end{aligned}$$

Remplazando en la ecuación (5) se tiene:

$$\begin{aligned}
 Pot_{req} &= 13145,72 \text{ N} * 0,56 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 7361,60 \text{ N} \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 7361,60 \frac{\text{Kg m}^2}{\text{seg}^3} = 7361,60 \text{ W} \\
 &= 7361,60 \text{ W} * \frac{1 \text{ KW}}{1000 \text{ W}} = 7,36 \text{ KW} = 7361,60 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ W}} \\
 &= 9,87 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Por lo que la Potencia Requerida por la Herramienta de Labranza es de **Pot<sub>req</sub> = 10 HP** y según el Manual de Operación Servicio Motocultor YTO DF-15L nos dice que la Potencia con la que Trabaja el Motocultor nombrado es de **12 KW = 16 HP**.

Por lo que se puede decir que la **Pot<sub>req</sub> = 10 HP es Aceptable** demostrándose de esta manera que el Motocultor es capaz de arrastrar el Equipo de Labranza.

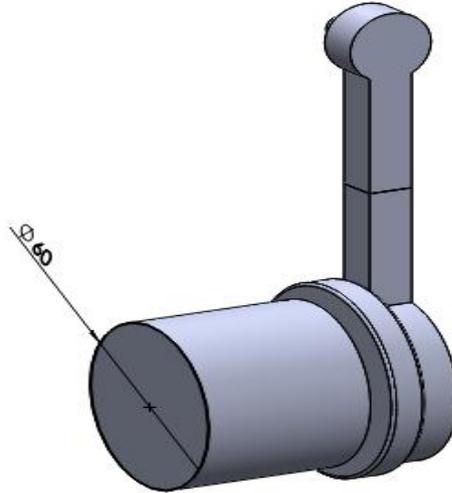
#### 3.4.1.4 Sistema de acoplamiento del apero al motocultor.

- *Bocín del sistema de acoplamiento.*

Para el Bocín se va a utilizar un ACERO AISI (705), el mismo que es bonificado, resistente a la tracción, torsión entre otros, utilizándose comúnmente para el desarrollo o construcción de piezas que se hallan sometidas a altos esfuerzos. (EJES ACERO 705,

2016). Se debe tener presente que el diámetro interior del bocín es igual el diámetro del eje que controla el Mecanismo del Aperero con la Toma de Fuerza del Motocultor.

Figura 68. Bocín del sistema de acoplamiento



Fuente: Autor

- Diámetro del eje=diámetro Interior bocín= 60 mm

Por lo que el Diámetro Exterior del Bocín, se calcula de la siguiente manera:

Esfuerzo Normal Directo:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Dónde:

- $\sigma =$  Esfuerzo normal directo
- $F =$  Fuerza
- $A =$  Área Circulo Hueco (Bocín)

Se debe tener presente que el Esfuerzo Normal Directo, se calcula en base a la Forma de Carga; sabiéndose que para calcular dicho Esfuerzo la Forma de Carga que va actuar en el diseño del Bocín de este mecanismo es por Impacto o Choque.

Una vez deducido la Forma de Carga que es por Impacto o Choque, se procede a utilizar la fórmula recomendada para calcular el Esfuerzo Normal Directo el cual es:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{12} \quad (7)$$

Dónde:

$S_y = (\text{Resistencia a la Fluencia del Acero AISI 4340}) = 855 \text{ MPa} = 124 \text{ Kpsi}$ .

Remplazando en la ecuación (7) se tiene:

$$\sigma_d = \frac{855 \text{ MPa}}{12} = 71,25 \text{ MPa}.$$

Se aplica la fuerza total  $F_{total} = 13145,72 \text{ N}$

De la ecuación (6) se tiene:

$$A (\text{Área de Bocín}) = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} = \frac{F}{\sigma} \quad (8)$$

Diámetro del eje = diámetro Interior bocín = 60 mm

$$D = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * \sigma} + d^2} \quad (9)$$

Remplazando en la ecuación (9) se tiene:

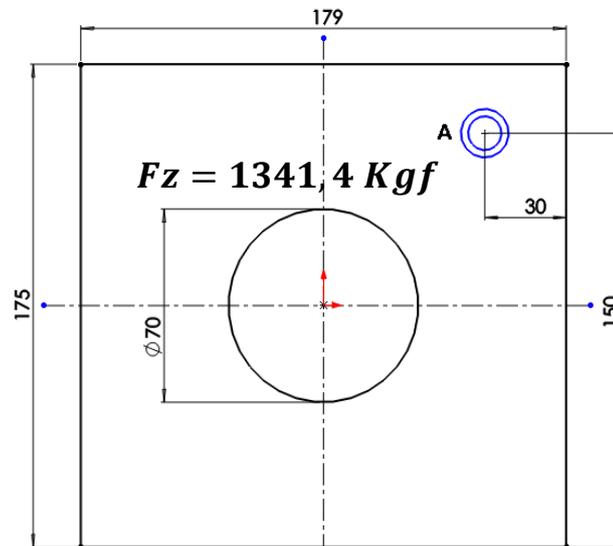
$$D = \sqrt{\frac{4 * 13145,72 \text{ N}}{\pi * (71,25 \text{ MPa} * \frac{1000000 \text{ Pa}}{1 \text{ MPa}} * \frac{1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1 \text{ Pa}})} + (0,06 \text{ m})^2}$$
$$D = \sqrt{\frac{52 \ 582,88 \text{ N}}{223 \ 838 \ 476,57 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} + (0,06 \text{ m})^2} = 0,061926 \text{ m} = 61,93 \text{ mm} \approx 62 \text{ mm}$$

Por motivos de seguridad, de diseño, accesibilidad del mercado y recomendación el Bocín debería tener los siguientes Datos:

Material: ACERO AISI (705), de  $\varnothing \text{ ext} = 70 \text{ mm}$ ,  $\varnothing \text{ int} = 60 \text{ mm}$

- *Diseño del perno anclaje.*

Figura 69. Diseño de cargas sobre el toma fuerza



Fuente: Autor

Según el Fabricante del Motocultor la Placa de la Toma de Fuerza es de 179x175 mm

A continuación se procede a determinar la Fuerza y el Momento de la Placa de la Toma de Fuerza del Motocultor.

Fuerza que va actuar es la **Fuerza Total = Fz = 1341,4 Kgf**

Carga a actuar en la Placa es:  $q = 7,49 \frac{Kgf}{mm}$

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{7,49 \frac{Kgf}{mm} \times (179 \text{ mm})^2}{8} = 29\,998,39 \text{ Kgf} \cdot \text{mm}$$

Momento de la Placa es de: 29 998,39 Kgf·mm

Una vez determinado el Momento de la Placa se procede a establecer la Fuerza de Tracción generada Perno ubicada en el Punto A, por lo que se tiene entonces que:

$$\Sigma MP = 0 : MR = 30 FA$$

$$29\,998,39 \text{ Kgf} \cdot \text{mm} = (30 \text{ mm}) FA$$

$$FA = \frac{29\,998,39 \text{ Kgf} \cdot \text{mm}}{30 \text{ mm}}$$

$$FA = 999,95 \text{ Kgf}$$

La Fuerza Cortante que va actuar en el Perno es  $F_v = F_z = 1341,4 \text{ Kgf}$ .

El Esfuerzos Cortante y Axial, en el perno de anclaje es:

$$\sigma = \frac{FA}{At} \quad (10)$$

$\sigma$  = Esfuerzo a la tensión axial en,  $\frac{Kgf}{mm^2}$

$At$  = Área de esfuerzo a la tensión del perno en,  $mm^2$

Remplazando en la ecuación (10) se tiene:

$$\sigma = \frac{999,95 \text{ Kgf}}{At} \quad (11)$$

$$\tau = \frac{F_v}{At} \quad (12)$$

Dónde:

$\tau$  = Es el Esfuerzo cortante en,  $\frac{Kgf}{mm^2}$

Remplazando en la ecuación (12) se tiene:

$$\tau = \frac{1341,4 \text{ Kgf.}}{At} \quad (13)$$

Además se determina que el esfuerzo equivalente ( $\sigma_c$ ), entonces es:

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)} \quad (14)$$

Reemplazando la ecuación (12) y (13) en la ecuación (14) se tiene:

$$\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{999,95 \text{ Kgf}}{At}\right)^2 + 3\left(\frac{1341,4 \text{ Kgf}}{At}\right)^2}$$
$$\sigma_c = \frac{2 \ 529,42 \text{ Kgf}}{At}$$

Igualando este resultado con el esfuerzo de prueba, se obtiene:

$$\frac{Sp}{n} = \sigma_c = \frac{2\,529,42\text{ Kgf}}{At}$$

Dónde:

$Sp$  = Esfuerzo de prueba del perno, en  $\frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$

$n$  = Factor de seguridad.

Se debe tener presente además que para este diseño se usa un Perno con grado SAE 1, el cual es  $Sp = 33\text{ Kpsi} = 23,20129\frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$ , y un factor  $n = 5$ , de donde se da la ecuación siguiente:

$$\begin{aligned} \frac{Sp}{n} = \sigma_c &= \frac{2\,529,42\text{ Kgf}}{At} \\ \frac{23,20129\frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}}{5} &= \frac{2\,529,42\text{ Kgf}}{At} \\ At &= 545,10\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Con el área requerida  $At$  obtenida anteriormente, se procede a encontrar el diámetro del perno mediante ecuación siguiente:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{15}$$

Remplazando en la ecuación (15) se tiene:

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 545,10\text{ mm}^2}{\pi}} \\ d &= 26,3447\text{ mm} \approx 38,1\text{ mm} \end{aligned}$$

Por lo que se procede a escoger un perno de anclaje SAE 1 de 1 ½” ó 38,1 mm

**3.4.1.5** *Sistema de regulación del ángulo de la rejilla.* Se debe especificar que el Sistema de Regulación (Figura 69.) actúa en sentido contrario a las agujas del reloj para proceder a tensar el cable el cual sujeta las orejas de la parte final de la Rejilla (Figura 70.), aumentando el Ángulo que se produce con la horizontal; o en sentido a las agujas del reloj para proceder a aflojar el cable el cual se encuentra sujeto en la parte nombrada anteriormente, y así poder disminuir el Grado de Inclinación formado con la horizontal, similar como en el anterior caso.

- *Inclinación de la rejilla.*

Para dimensionar el ángulo de inclinación apropiado entre el suelo y la herramienta, nos basamos en los ángulos más comunes de fricción, usados durante la labranza de la tierra, como son:

Tabla 23. Valores normales del ángulo de fricción suelo /metal.

<b>Adhesión <math>C\alpha</math></b>	<b>Ángulo de Fricción Suelo /Metal</b>
Insignificante en la mayoría de los casos	Superficie pulida 5 °
Arcillas plásticas con alta humedad	Superficie limpia 5 ° a 15 ° Superficie oxidada 15 ° a 25 °

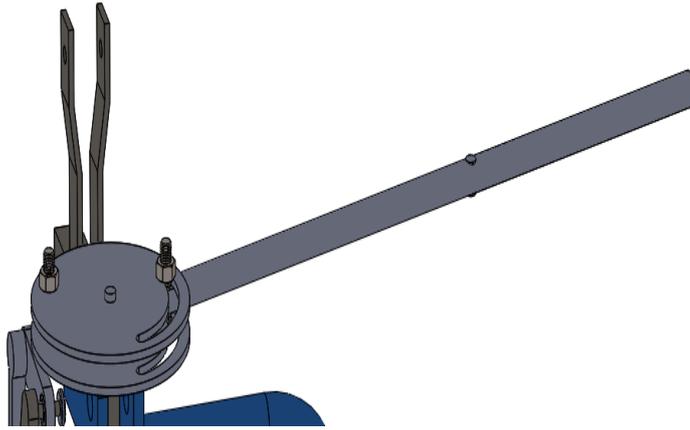
Fuente: (Ashburner, 1984)

Por lo expuesto anteriormente, se sabe que comúnmente el Estado de la Superficie de la Herramienta se va a encontrar Limpia, por lo que se puede indicar que el ángulo más apropiado que se produce entre el Suelo y la Herramienta.

En este caso la Rejilla se encuentra en un rango entre 5 ° a 15 °, por lo que se tomará un valor promedio para indicar el ángulo de inclinación más adecuado que debe tener la Rejilla como es:

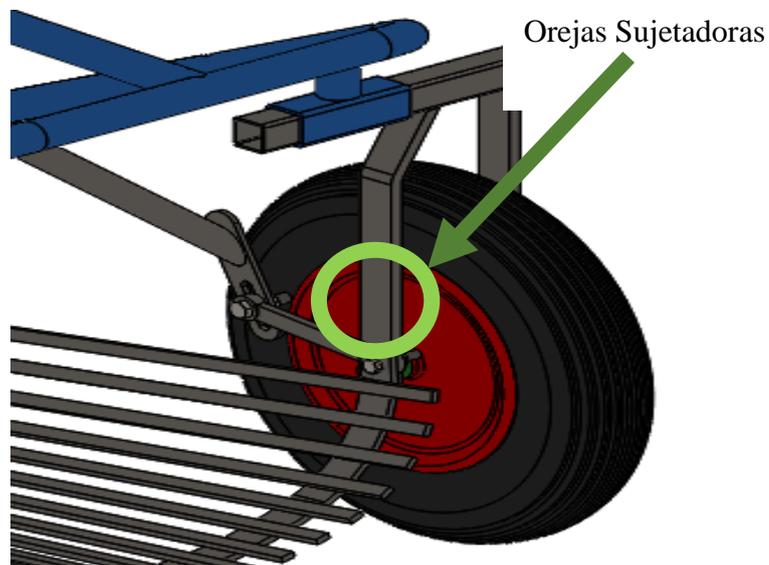
$$\frac{5+15}{2} = 10 \text{ °}$$

Figura 70. Sistema de regulación.



Fuente: Autor

Figura 71. Orejas sujetadoras

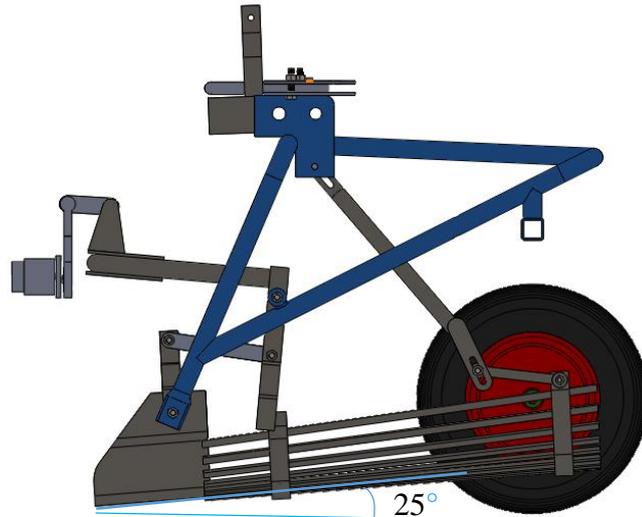


Fuente: Autor

Se debe tener presente que el Ángulo de Inclinación que se va a utilizar en la Rejilla del Sistema de Excavación con relación al suelo, es el recomendado, el cual varía entre  $5^{\circ}$  que son para el uso de la herramientas con superficie pulida hasta  $25^{\circ}$  que son para el uso de herramientas con superficies oxidadas, según el ángulo de fricción suelo metal dado en la Tabla 23.

- Cuando la Palanca del Sistema de Regulación se encuentre al Tope del Lado Derecho, se procede a señalar que mediante el cable a tensar sujeto en las orejas de la parte Final de la Rejilla sube, formándose el Angulo Máximo recomendado para la Labranza con la horizontal como se puede observar a continuación.

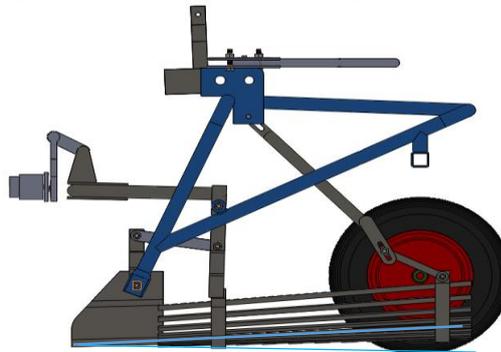
Figura 72. Mecanismo de regulación 1



Fuente: Autor

- Cuando la Palanca del Sistema de Regulación se encuentre a la Parte Media de la Guía, se procede a señalar que mediante el cable a tensar sujeto en las orejas de la parte Final de la Rejilla baja un poco, formándose un Ángulo Medio recomendado para la Labranza con la horizontal como se puede observar a continuación.

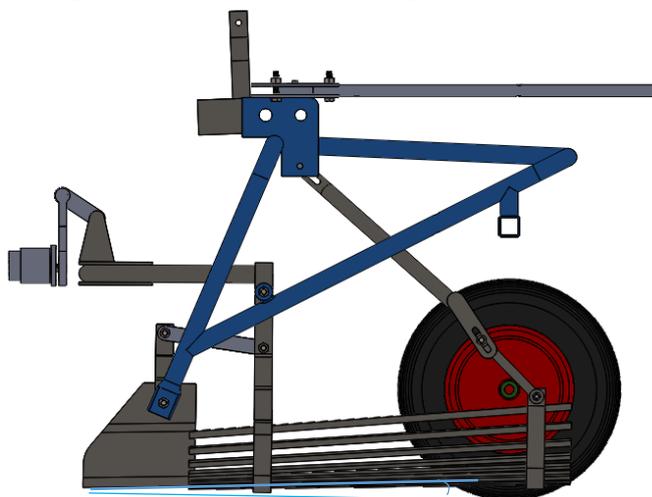
Figura 73. Mecanismo de regulación 2



Fuente: Autor

- Cuando la Palanca del Sistema de Regulación se encuentre al Tope del Lado Izquierdo, se procede a señalar que mediante el cable a tensar sujeto en las orejas de la parte Final de la Rejilla baja, hasta llegar a formar un Ángulo Mínimo recomendado para la Labranza con la horizontal, como se puede observar a continuación.

Figura 74. Mecanismo de regulación 3



Fuente: Autor 5°

### Conclusiones

- Se determinó que de las alternativas disponibles, la más adecuada es el Sistema de Excavación, que se llevó a cabo, de la valoración de tres alternativas, obteniendo un porcentaje aceptable en la de la mejor opción como es la de la Alternativa 1, la cual se concluyó que de esta manera que es la más ideal en la cual se basa el proyecto.
- Se modeló, diseñó y seleccionó el material apropiado de un apero excavador de papas, según las necesidades que se presentan durante la cosecha con la cual se facilitaría el laboreo.
- Se pudo verificar mediante cálculos manuales y el empleo del Software CAD-CAE que los materiales seleccionados son los apropiados, resistiendo las cargas establecidas y asegurando la resistencia de los componentes del apero.

Tabla 24. Resultado de los factores de los componentes

N°	Componentes	Estático	Fatiga	
		FDS	FD Carga	N° de Ciclos
1	Cuchilla	5.6	-	-
2	Rejilla	4.6	-	-
3	Soporte de la Cuchilla	4.2	6.98e-001	3.00e+004
4	Toma Fuerzas	7.7	1.33e+001	6.00e+007

Fuente: Autor

- Finalmente se puede indicar que la zona donde se e se encuentra la mayor parte de esfuerzos concentrados, se encuentra en el Nudo 149, de la Rejilla, que se da un esfuerzo máximo de  $1,889e+009$  N/m<sup>2</sup> según la escala de Von Misses, señalando que el mismo es aceptable, en vista que no se produce fallo por fluencia.

## CAPÍTULO IV

### 4 COSTOS

#### 4.1 Costos directos.

Tabla 25. Costos directos

Material	Detalle	Dimensiones	Cantidades	Costo Unitario (USD/Kg) (USD/h)	Subtotal
<b>Cuchilla</b>	Plancha ACERO-AISI 1045	612x190X4 mm	3,87	2,15	\$ 8,32
	Maquinado		1	50,00	\$ 50,00
<b>Rejilla</b>	Plancha ASTM A36	640x270x6	8,2	0,98	\$ 8,04
	Maquinado	640x19	19	0,50	\$ 9,50
	Soldado		57	0,15	\$ 8,55
<b>Estructura Fija</b>	TUBO ASTM A-500 Ø = 1 1/4" e=1,50 mm	L=4000	0,67	31,25	\$ 20,83
	Doblado	1	1 h 30 min	5,00	\$ 7,50
	Soldado		12 cordones	0,30	\$ 3,60
	Placa ASTM A36	140x140x10	0,16	0,98	\$ 0,16
<b>Sujetadores de Ruedas</b>	Tubo ASTM A-500 40x20x1,2	L=1640	0,27	8,25	\$ 2,26
	Doblado		30 minutos	5,00	\$ 2,50
	Soldado		4 cordones	0,30	\$ 1,20
<b>Sistema de Regulación</b>	Tubo ASTM A-500 Ø = 7/8" e=1,50 mm	L=600	0,10	18,32	\$ 1,83
	Plancha ASTM A36	0,0002 m3	1,57	0,98	\$ 1,54
	Plancha ASTM A36	50x50x15	0,29	0,98	\$ 0,29
	Rodamiento Øext = 47mm, Øint = 22mm e=14mm		1,00	2,00	\$ 2,00
	Cable para Tensar 4 mm		6,00	0,20	\$ 1,20
	Fresado				\$ 50,00

Material	Detalle	Dimensiones	Cantidades	Costo Unitario (USD/Kg) (USD/h)	Subtotal
Sistema de Acoplamiento	Plancha ASTM A36	70X70X55	2,12	0,98	\$ 2,08
	Plancha ASTM A36	50x200x15	1,18	0,98	\$ 1,16
	Plancha ASTM A36	100x100x12	0,94	0,98	\$ 0,92
	Rodamiento Øext = 42mm, Øint = 20mm e=12mm		1,00	2,00	\$ 2,00
	Plancha ASTM A36	500x150x10	5,90	0,98	\$ 5,78
	Plancha ASTM A36	100x70x10	0,55	0,98	\$ 0,54
	Fresado				\$ 50,00
	Torneado				\$ 20,00
	Soldado				\$ 10,00
Articulaciones	Plancha ASTM A36	2000x50x5	3,93	0,98	\$ 3,85
	Tubo ASTM A-500 Ø = 7/8” e=1,50 mm	L=2000	0,33	18,32	\$ 6,11
	Doblado				\$ 5,00
	Fresado				\$ 10,00
Varios	Llantas de Carretilla	2		8,50	\$ 17,00
	Pernos M10x20	20		0,10	\$ 2,00
	Tuerca M10	20		0,03	\$ 0,60
	Pintura	2 Litros		20,00	\$ 40,00
	Tiñer	2 Litros		7,00	\$ 14,00
				<b>Subtotal</b>	<b>\$ 390,34</b>
				<b>10% Imprevistos</b>	<b>\$ 39,03</b>
				<b>Total</b>	<b>\$ 429,37</b>

Fuente: Autor

## 4.2 Costos Indirectos

Tabla 26. Costos Indirectos

<b>Detalle</b>	<b>Costo (DÓLAR)</b>
Movilización	\$ 60,00
Papelería	\$ 20,00
Impresión de Documentos	\$ 30,00
Impresión de Planos	\$ 20,00
Internet	\$ 25,00
Instrumentos de Escritorio	\$ 15,00
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 170,00</b>
<b>10% de Imprevistos</b>	<b>\$ 17,00</b>
<b>Total</b>	<b>\$ 187,00</b>

Fuente: Autor

## 4.3 Costo Total

Tabla 27. Costo Total

<b>Detalle</b>	<b>Costo (DÓLAR)</b>
<b>Costos Directos</b>	\$ 429,37
<b>Costos Indirectos</b>	\$ 187,00
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 616,37</b>

Fuente: Autor

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones.

- El Proyecto de Investigación cumple con el objetivo general como es, llevar a cabo con éxito, el análisis y diseño de un apero agrícola para el Motocultor YTO DF-15L-MAGAP con los parámetros expuestos, obteniendo resultados favorables, aumentando la funcionalidad de producción del Motocultor.
- Se concluye que este tipo de equipo con factores de seguridad mayor a 1, es aceptable para la excavación de papas, por la sencillez que representa su armado debido a su facilidad de su regulación, diseño, adquisición de materiales y operación que presente este tipo de Equipo Agrícola.
- Los esfuerzos generados no se acercan o sobre pasan los esfuerzos de fluencia, tanto en la cuchilla, en la rejilla, en el soporte de la cuchilla y en el sistema del toma fuerzas son aceptables, además que se hallan esfuerzos mínimos concentrados en las partes nombradas.

#### 5.2 Recomendaciones.

- Se recomienda la construcción del equipo para mejorar el rendimiento, tiempo y calidad en la cosecha de papas.
- Se sugiere diseñar y construir diversos aperos y equipos para el motocultor YTO DF 15-L que ayuden a aumentar de la producción agrícola.
- Se debe efectuar un manual de diseño y operación del equipo de excavación, como apoyo a su diseño y a su uso.
- Se propone conocer los suelos antes de efectuar el trabajo previsto, y limpiarlos de obstáculos peligrosos para evitar el desgaste excesivo del equipo.
- Se especifica finalmente que se puede llevar a cabo la construcción del equipo de excavación de papas en cualquier taller, en vista que sus piezas, o partes se pueden mecanizar fácilmente así como su montaje al motocultor.

## BIBLIOGRAFÍA

**AINGLA, Cristian & QUIROZ, Jorge.** *Diseño y Construcción de un Equipo de Labranza con Tracción Accionada por un Motor de Combustión Interna para el Tallado de un Surco de Siembra a la vez* [En línea]. Quito-Ecuador: Quito EPN, 2012. [Consulta: 25 enero 2016]. Disponible en:<<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/45111/1/CD-4130.pdf>>

**ASHBURNER.** *Elementos de Diseño del Tractor y Herramientas de Labranza* [En línea]. San José-Costa Rica: IICA, 1984. [Consulta: 10-10-2015]. Disponible en: <[https://www.researchgate.net/publication/44499303\\_Elementos\\_de\\_diseno\\_del\\_tractor\\_y\\_herramientas\\_de\\_labranza\\_John\\_E\\_Ashburner\\_Brian\\_G\\_Sims](https://www.researchgate.net/publication/44499303_Elementos_de_diseno_del_tractor_y_herramientas_de_labranza_John_E_Ashburner_Brian_G_Sims)>

**BERMEO, Ramiro & PAUCAR, Hernán.** *Diseño y Construcción de una Cosechadora de Papas* (tesis).(pregrado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de mecánica, Escuela de ingeniería automotriz, Riobamba, Ecuador. 1995.pp30.

**CAJAS, Rubén & PULLAS, Fausto.** *Diseño, Modelado y construcción de un motocultor mediante elementos finitos destinado a la preparación del suelo para la formación de camas de cultivos* (tesis).(pregrado) Escuela Politecnica Nacional, Ingeniería mecánica, Quito, Ecuador. 2012.pp60.

**CHEHAB, Carol & JÁCOME, Maria.** *V Congreso papa Ecuador* [En línea]. Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador 2013. [Consulta: 19-08-2015]. Disponible en:<<http://192.156.137.121:8080/cipotato/region-quito/congresos/v-congreso-ecuatoriano-de-la-papa/memorias-v-congreso-papa.pdf>>.

**DAQULEMA, Dennys & PULLA, Luis.** *Diseño Construcción y Pruebas de implementos agrícolas de motocultor para uso en parcelas del MAGAP de la provincia de Chimborazo* (tesis).(pregrado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de mecánica, Escuela de ingeniería mecánica, Riobamba, Ecuador. 2014, pp58.

**DEWULF.** *Dewulf presenta una nueva versión de su cosechadora de patatas autopropulsada de dos surcos* [En Línea]. Belgica, 2015. Comunicados de prensa. [Consulta: 25 julio 2016]. Disponible en:<<http://www.dewulfgroup.com/es/dewulf-presenta-una-nueva-version-de-su-cosechadora-de-patatas-autopropulsada-de-dos-surcos-475.htm>>.

**DIPAC.** *Ejes acero 705 productos de acero* [blog]. [Consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en:<[http://www.dipacmanta.com/index.php?route=product\\_product&product\\_id=73](http://www.dipacmanta.com/index.php?route=product_product&product_id=73), 2016>.

**EL REVOLEO.** *Cosechadora de Papa* [blog]. [Consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <<http://www.elrevoleoagricola.com/2014/08/cosechadora-de-papas-usada-de-dos-surcos.html>>.

**F-LLI SPEDO.** *Agriculture Passion* [blog]. [Consulta: 08 agosto 2016]. Disponible en: <<https://agriculturepassion.com/user/spedoagriculture>>

**HERRERA.** *Mecanización Agrícola* [blog]. [Consulta: 30-07-2015]. Disponible en:<<http://docplayer.es/13303927-Mecanizacion-agricola-ing-agr-miguel-a-herrera.html>>

**INEN.** *NTE INEN 1516:2012 - hortalizas frescas, papas, requisitos. Parte 4: clasificación*

**INOSTROZA, Juan & MENDEZ, Patricio.** *Manual de papa para la Araucanía: Manejo de cultivo, enfermedades y almacenaje* [En línea]. Temuco-Chile: Imprenta Fenix, 2009. [Consulta: 28 noviembre 2015]. Disponible en:<<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36470.pdf>>

**JIMÉNEZ, Rafael.** *Estudio y Simulación por Elementos Finitos del Comportamiento de Discos Cerámicos* (tesis).(maestría) Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, España. 2010.pp180. [Consulta: 2016-05-19]. Disponible en:<[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8943/MemoriaPFC\\_Elementos\\_Finitos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8943/MemoriaPFC_Elementos_Finitos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>

**HERNÁN, Lucero.** *Manual del cultivo de papa para la sierra sur* [En línea]. Cuenca-Ecuador: Estación experimental del austro, 2011 [Consulta: 11 mayo 2016]. Disponible en:<<http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2395/1/MANUAL%2090%20pdf.pdf>>

**MEDINA, Juan.** *Diseño de un Motocultor de Labores Agrícolas para la Parroquia de San Joaquín de la Ciudad de Cuenca* (tesis).(pregrado) Universidad Politecnica Salesiana, Ingeniería automotriz, Cuenca, Ecuador. 2015.pp70.

**MONTERO, C & REINOSO, I.** *Biodiversidad y oportunidades de mercado para las papas nativas ecuatorianas* [En línea]. Quito-Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Programa Nacional de Raíces y Tubérculos, Estación Experimental Santa Catalina, 2011. [Consulta: 02 agosto 2015]. Disponible en:<<http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Biodiversidad%20y%20oportunidad%20de%20mercado%20para%20las%20papas%20nativas%20del%20Ecuador..pdf>>

**OCHOA, José & SALCEDO, David.** *Una Mirada a la Base de la Pirámide Rural en el Ecuador: Caracterización de las Principales Cadenas de Suministro Agrícolas en la Región Sierra* [En línea] (tesis).(pregrado) Universidad San Francisco, Ingeniería industrial, Quito-Ecuador, 2013.pp243 [Consulta: 06 agosto 2015]. Disponible en:<<http://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/handle/23000/1908>>

**ORENA.** *Maquinaria para la cosecha* [blog]. [Consulta: 13 abril 2016]. Disponible en:<<http://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=84>>.

**PROCEMAQ.** *Cosechadora de papas JR 440.* [blog]. [Consulta: 13 abril 2016] Disponible en:<<http://www.procemaq.com/producto.php?id=32>>.

**RAMÍREZ, Fredy & YUGCHA, Marianela.** *Diseño y Construcción de una Máquina Cortadora y Recolectora de Forraje* [En línea] (tesis).(Pregrado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de ingeniería mecánica. Riobamba-Ecuador, 2011.pp60. [Consulta: 16 junio 2016]. Disponible en:<<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/871>>

**ROBERT.** *Diseño de Elementos de Máquinas* [En línea]. México D.F. : Pearson Educación, 2006. ISBN.pp53. [Consulta: 05 marzo 2016]. Disponible en:<<http://librosysolucionarios.net/disenio-de-elementos-de-maquinas-4ta-edicion-robert-l-mott-gratis-pdf/>>

**SARGENT.** *Cosecha - Tectron 415* [blog]. [Consulta: 01 febrero 2016]. Disponible en:<<http://www.grimme.dk/en/products/potato-systems/optagning/tectron415>>

**TACURI, Carvajay & RAMIREZ.** *Conocimiento Campesino en la Conservación de Suelos* [En línea]. La Paz-Bolivia: Editorial Offset Boliviana Ltda., 2002. [Consulta: 03 marzo 2016]. Disponible en:<[https://books.google.com.ec/books?id=Gim-Xypxp2cC&pg=PR4&lpg=PR4&dq=TACURI,+Carbajal+%26+RAMIREZ.+Conocimiento+Campesino+en+la+Conservaci%C3%B3n+de+Suelos&source=bl&ots=u2a\\_gH1tJ5&sig=mT6bg8YZ7zQXz\\_jNhnVoSPgcuIs&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwieiczFxs\\_QAhWE6yYKHbYJDHkQ6AEIGTAA#v=onepage&q=TACURI%2C%20Carbajal%20%26%20RAMIREZ.%20Conocimiento%20Campesino%20en%20la%20Conservaci%C3%B3n%20de%20Suelos&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Gim-Xypxp2cC&pg=PR4&lpg=PR4&dq=TACURI,+Carbajal+%26+RAMIREZ.+Conocimiento+Campesino+en+la+Conservaci%C3%B3n+de+Suelos&source=bl&ots=u2a_gH1tJ5&sig=mT6bg8YZ7zQXz_jNhnVoSPgcuIs&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwieiczFxs_QAhWE6yYKHbYJDHkQ6AEIGTAA#v=onepage&q=TACURI%2C%20Carbajal%20%26%20RAMIREZ.%20Conocimiento%20Campesino%20en%20la%20Conservaci%C3%B3n%20de%20Suelos&f=false)>

**THOMAS, G.** *Año internacional de la papa.* [blog]. [Consulta: 01 julio 2016]. Disponible en:<<http://www.fao.org/potato-2008/es/mapa.html>>.

**TREVOR, AcDavis.** [En línea]. [Consulta: 01 julio 2016]. Disponible en:<[http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Papa\\_Temprana/](http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Papa_Temprana/)>

**DIPAC PRODUCTOS DE ACERO.** *Tubo Estructural Cuadrado* [En línea].Guayaquil-Ecuador, 2016. Tubo estructural cuadrado galvanizado. [Consulta: 02 junio 2016]. Disponible en:<<http://www.dipacmanta.com/tubos/tubos-estructurales>>