



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SEMBRADORA  
DE PAPAS DE DOS HILERAS CON UN SISTEMA DE  
DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTE”**

**PORRAS JIMÉNEZ GANDHY FERNANDO  
GAVILANES TOAPANTA ROBERTO CARLOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2018**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2017-05-10

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**PORRAS JIMÉNEZ GANDHY FERNANDO**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SEMBRADORA DE PAPAS DE DOS  
HILERAS CON UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTE.”**

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

**INGENIERO MECÁNICO**

---

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes  
**DIRECTOR**

---

Ing. Javier Enrique Orna Chávez  
**MIEMBRO**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2017-05-10

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**GAVILANES TOAPANTA ROBERTO CARLOS**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SEMBRADORA DE PAPAS DE DOS  
HILERAS CON UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTE.”**

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

**INGENIERO MECÁNICO**

---

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes  
**DIRECTOR**

---

Ing. Javier Enrique Orna Chávez  
**MIEMBRO**

---

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** PORRAS JIMÉNEZ GANDHY FERNANDO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SEMBRADORA DE PAPAS DE DOS HILERAS CON UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTE.”

**Fecha de Examinación:** 2018-05-03

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes <b>DIRECTOR DEL PROYECTO</b>			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez <b>MIEMBRO DEL PROYECTO</b>			

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

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

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** GAVILANES TOAPANTA ROBERTO CARLOS

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SEMBRADORA DE PAPAS DE DOS HILERAS CON UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTE.”

**Fecha de Examinación:** 2018-05-03

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes <b>DIRECTOR DEL PROYECTO</b>			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez <b>MIEMBRO DEL PROYECTO</b>			

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

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

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de Titulación 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.

---

**Porras Jiménez Gandhy Fernando**

---

**Gavilanes Toapanta Roberto Carlos**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Gandhi Fernando Porras Jiménez y Roberto Carlos Gavilanes Toapanta, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra 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 autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Porras Jiménez Gandhi Fernando**

Cédula de Identidad: 050408611-7

---

**Gavilanes Toapanta Roberto Carlos**

Cédula de Identidad: 180441402-5

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios todopoderoso que es el creador de todas las cosas por haberme dado la fortaleza y la suficiente capacidad para culminar con éxito esta etapa de mi vida universitaria.

Lo dedico con especial cariño a mis abnegados padres que formaron el pilar fundamental en mi formación moral humana y hoy profesional dándome permanentemente su confianza, consejos y recursos, siendo el constante ejemplo de perseverancia y lucha contra los obstáculos que la vida nos presenta en el camino del progreso.

De igual manera dedico esta tesis a mis abuelitos porque siempre pusieron sus esperanzas en mí, para que sea yo el espejo de amor, sacrificio y ejemplo de nuestra familia.

Y finalmente lo dedico este trabajo a la noble Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que me acogió en mis primeros sueños de un futuro mejor, por medio del esfuerzo académico y que en el transcurrir del tiempo me ha formado para ser un profesional de bien al servicio de la sociedad.

**Gandhy Fernando Porras Jiménez**

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios por darme la vida, valentía y perseverancia durante mi vida estudiantil.

A cada una de las personas que forman parte de la familia Gavilanes Toapanta quienes durante estos años me han apoyado de forma incondicional, de manera especial a mis padres que han sido el pilar fundamental para mi formación profesional y personal.

**Roberto Carlos Gavilanes Toapanta**

## **AGRADECIMIENTO**

Al culminar mi Tesis quiero dejar constancia de mi imperecedera gratitud a todos quienes estuvieron siempre pendientes de mi larga trayectoria universitaria hasta lograr mi tan anhelado propósito como es el Título de Ingeniero Mecánico, el mismo que lo defenderé con pulcritud entrega y entusiasmo.

Iniciaré por elevar mi oración de gratitud a Dios todopoderoso que con su infinita bondad me dio la oportunidad de seguir adelante con fuerza y valor para culminar una etapa más de mi vida.

Como no agradecer la confianza total de mis padres y abuelitos quienes demostraron amor y entrega total en el trayecto de mi existencia, celebrando mis triunfos y motivándome en mis tristezas, corrigiendo mis errores con infinita paciencia y orientándome por el camino del bien.

Con especial aprecio a mi inolvidable Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que me dio la oportunidad de cristalizar mi anhelo profesional, y finalmente mi eterna gratitud al Ing. Isaías Caicedo y al Ing. Javier Orna por su permanente apoyo en el desarrolló del presente trabajo.

**Gandhy Fernando Porras Jiménez**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo especialmente a la Escuela de Ingeniería Mecánica la cual me dio la oportunidad de formarme como un profesional.

Al Ing. Isaías Caicedo y al Ing. Javier Orna por la orientación brindada durante el desarrollo de este trabajo.

A Maquinarias Salinas por la predisposición, apertura y enseñanza técnica que fueron fundamentales para realizar este proyecto.

**Roberto Carlos Gavilanes Toapanta**

## CONTENIDO

Pág.

### RESUMEN

### SUMMARY

#### 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación .....	2
1.2.1	<i>Justificación teórica</i> .....	2
1.2.2	<i>Justificación metodológica</i> .....	2
1.2.3	<i>Justificación práctica</i> .....	3
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	3

#### 2. MARCO REFERENCIAL SOBRE EL PROCESO DE SIEMBRA MECANIZADA DE LA PAPA

2.1	La papa y sus características disminuir .....	4
2.1.1	<i>La papa en el Ecuador</i> .....	5
2.1.2	<i>Características de la semilla de papa</i> .....	6
2.2	Tecnologías de siembra .....	7
2.3	Operaciones para la siembra de la papa con laboreo .....	8
2.4	Características del cultivo de papas en la Hacienda “San Carlos” .....	12
2.5	Máquinas sembradoras de papas .....	13
2.5.1	<i>Clasificación de las sembradoras de papas</i> .....	14
2.5.2	<i>Funciones</i> .....	15
2.5.3	<i>Partes mecánicas de una máquina sembradora de papas</i> .....	16
2.5.3.1	<i>Sistema de transmisión de potencia</i> .....	16
2.5.3.2	<i>Tolva</i> .....	17
2.5.3.3	<i>Sistema de distribución de semilla</i> .....	18

2.5.3.4	<i>Sistema de dosificación de fertilizante</i> .....	20
2.5.3.5	<i>Alomillador (Surcador y tapador)</i> .....	22
2.5.4	<i>Análisis de las máquinas sembradoras de papas</i> .....	24
2.6.	Metodología de diseño .....	26
<b>3.</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS Y DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA SEMBRADORA DE PAPAS</b>	
3.1	Metodología de diseño de una máquina sembradora de papas.....	29
3.2	Estudios previos de la papa y la siembra .....	31
3.3	Diseño conceptual de una máquina sembradora de papas .....	31
3.3.1	<i>Especificaciones de la maquina sembradora</i> .....	31
3.3.2	<i>Estructura funcional de la sembradora de papas</i> .....	37
3.4	Matriz morfológica.....	38
3.4.1	<i>Solución a cada módulo</i> .....	38
3.4.1.1	<i>Módulo 1: Surcador y tapador</i> .....	39
3.4.1.2	<i>Módulo 2: Dosificador de fertilizante y sistema de distribución de semillas</i> .....	40
3.4.2	<i>Matriz morfológica de alternativas para la máquina sembradora</i> .....	47
3.5	Descripción de las alternativas de solución .....	49
3.5.1	<i>Solución 1</i> .....	49
3.5.2	<i>Solución 2</i> .....	50
3.5.3	<i>Solución 3</i> .....	51
3.6	Evaluación de alternativas .....	52
3.7	Alternativa seleccionada.....	54
<b>4.</b>	<b>DISEÑO DE MATERIALIZACIÓN DE LA MÁQUINA SEMBRADORA DE PAPAS</b>	
4.1	Cálculo de tolvas .....	56
4.1.1	<i>Para semillas</i> .....	56
4.1.2	<i>Para fertilizante</i> .....	61
4.2	Cálculo de la potencia en el eje de las ruedas de apoyo.....	64
4.3	Diseño del sistema de distribución de semillas .....	67
4.3.1	<i>Determinación del número de dientes de las catalinas</i> .....	67

4.4	Diseño del dosificador de fertilizante .....	72
4.4.1	<i>Determinación de la dosis de fertilizante</i> .....	72
4.4.2	<i>Diseño del tornillo sin fin según las Norma ISO 7119</i> .....	75
4.5	Mecanismo para el cambio de velocidades.....	94
4.6	Diseño de ejes .....	98
4.7	Diseño del surcador.....	117
4.8	Diseño del tapador.....	121
4.9	Diseño de la estructura .....	124
4.10	Cálculo de soldadura .....	130
4.11	Cálculo de la potencia total necesaria para la máquina sembradora de papas.....	132
<b>5.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA SEMBRADORA DE PAPAS</b>	
5.1	Construcción .....	134
5.1.1	<i>Sistemas que componen la sembradora de papas</i> .....	135
5.1.2	<i>Procedimiento de construcción</i> .....	136
5.1.3	<i>Tiempos de construcción de la sembradora</i> .....	138
5.1.4	<i>Pintura</i> .....	140
5.2	Ensamble de la sembradora de papas .....	142
5.2.1	<i>Tiempo total de construcción y ensamble de la sembradora</i> .....	143
5.3	Pruebas de funcionamiento.....	144
5.3.1	<i>Pruebas del distribuidor de semillas</i> .....	144
5.3.2	<i>Pruebas del dosificador de fertilizante</i> .....	146
5.3.3	<i>Pruebas del surcador</i> .....	146
5.3.4	<i>Pruebas del tapador</i> .....	147
5.3.5	<i>Pruebas adicionales</i> .....	148
5.4	Comparación de siembra manual y mecanizada .....	149
5.5	Comparación de la sembradora diseñada respecto a sembradoras extranjeras.....	149
<b>6.</b>	<b>MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS DE LA MÁQUINA SEMBRADORA DE PAPAS</b>	
6.1	Manual de operación .....	150

6.2	Manual de mantenimiento .....	154
6.2.1	<i>Riesgos y medidas preventivas</i> .....	154
6.3	Análisis de costo de la máquina sembradora de papas.....	155
6.3.1	<i>Costos directos</i> .....	155
6.3.2	<i>Costos indirectos</i> .....	158
6.3.3	<i>Costos totales</i> .....	159
6.4	Financiamiento .....	159
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1	Conclusiones .....	160
7.2	Recomendaciones.....	161

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-2:</b> Componentes de la papa .....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Variedades de papa sembradas por zonas de cultivo .....	5
<b>Tabla 3-2:</b> Clasificación de los tubérculos-semilla .....	7
<b>Tabla 4-2:</b> Características del suelo para la siembra de papa.....	9
<b>Tabla 5-2:</b> Cantidad de fertilizante .....	10
<b>Tabla 6-2:</b> Categorías de las semillas de papas .....	12
<b>Tabla 7-2:</b> Distancias de siembra .....	13
<b>Tabla 8-2:</b> Características de sembradoras de papas existentes en el mercado .....	25
<b>Tabla 9-2:</b> Etapas del proceso de diseño .....	27
<b>Tabla 1-3:</b> Metodología de diseño de una máquina sembradora de papas .....	29
<b>Tabla 2-3:</b> Dimensiones y peso de papas.....	31
<b>Tabla 3-3:</b> Sembradoras existentes en el mercado.....	34
<b>Tabla 4-3:</b> Especificaciones de una sembradora de papas .....	36
<b>Tabla 5-3:</b> Matriz morfológica de alternativas .....	48
<b>Tabla 6-3:</b> Evaluación de las especificaciones más relevantes .....	52
<b>Tabla 7-3:</b> Evaluación de las soluciones respecto a las dimensiones de siembra.....	52
<b>Tabla 8-3:</b> Evaluación de las soluciones respecto al costo de la máquina .....	53
<b>Tabla 9-3:</b> Evaluación de las soluciones respecto al volumen de tolvas.....	53
<b>Tabla 10-3:</b> Evaluación de las soluciones respecto al peso .....	53
<b>Tabla 11-3:</b> Evaluación de las soluciones respecto al nivel de automatización .....	53
<b>Tabla 12-3:</b> Evaluación de las soluciones respecto a la regulación de fertilizante.....	53
<b>Tabla 13-3:</b> Evaluación de las soluciones respecto a la fuerza motriz.....	54
<b>Tabla 14-3:</b> Evaluación de las soluciones respecto a la economía.....	54
<b>Tabla 15-3:</b> Evaluación de las soluciones.....	54
<b>Tabla 1-4:</b> Datos para el análisis por MEF para la tolva de semilla.....	59
<b>Tabla 2-4:</b> Datos para el análisis por MEF para la tolva de fertilizante .....	62
<b>Tabla 3-4:</b> Coeficiente de rodadura .....	65
<b>Tabla 4-4:</b> Flujos máxicos de fertilizante (kg/s) para la semilla de primera.....	74
<b>Tabla 5-4:</b> Datos para el análisis por MEF para el eje del tornillo sin fin.....	89
<b>Tabla 6-4:</b> Valores permisibles de deformación en árboles .....	90
<b>Tabla 7-4:</b> Datos para el análisis por MEF para el eje de las ruedas de apoyo .....	102
<b>Tabla 8-4:</b> Datos para el análisis por MEF para el eje inferior de los cangilones .....	109
<b>Tabla 9-4:</b> Datos para el análisis por MEF para el eje superior de los cangilones .....	115

<b>Tabla 10-4:</b> Resistencia específica para distintos suelos .....	118
<b>Tabla 11-4:</b> Datos para el análisis por MEF para el surcador .....	119
<b>Tabla 12-4:</b> Datos para el análisis por MEF para el tapador.....	122
<b>Tabla 13-4:</b> Datos para el análisis por MEF para la estructura de soporte .....	124
<b>Tabla 14-4:</b> Datos para el análisis por MEF para la estructura de enganche.....	128
<b>Tabla 1-5:</b> Máquinas y Herramientas .....	134
<b>Tabla 2-5:</b> Sistemas de la Sembradora de papas.....	135
<b>Tabla 3-5:</b> Materiales utilizados para la construcción de la sembradora de papas .....	136
<b>Tabla 4-5:</b> Tiempos requeridos para la construcción.....	138
<b>Tabla 5-5:</b> Montaje de la sembradora de papas .....	143
<b>Tabla 6-5:</b> Tiempo total de la sembradora de papas .....	144
<b>Tabla 7-5:</b> Distancia entre semillas .....	145
<b>Tabla 8-5:</b> Profundidad de tapado .....	147
<b>Tabla 9-5:</b> Comparación de la siembra.....	149
<b>Tabla 10-5:</b> Comparación de las sembradoras .....	149
<b>Tabla 1-6:</b> Manual de mantenimiento de la sembradora de papas .....	154
<b>Tabla 2-6:</b> Costos de materiales .....	156
<b>Tabla 3-6:</b> Costos de máquina y herramientas.....	157
<b>Tabla 4-6:</b> Costos de mano de obra .....	158
<b>Tabla 5-6:</b> Costo total directo.....	158
<b>Tabla 6-6:</b> Costos indirectos.....	159
<b>Tabla 7-6:</b> Costo total de la sembradora.....	159

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-2:</b> Partes de la planta de papa .....	4
<b>Figura 2-2:</b> Formas de los tubérculos de papa.....	6
<b>Figura 3-2:</b> Siembra directa .....	7
<b>Figura 4-2:</b> Siembra por mínimo laboreo .....	8
<b>Figura 5-2:</b> Siembra por laboreo en bandas.....	8
<b>Figura 6-2:</b> Tipos de siembra .....	9
<b>Figura 7-2:</b> Tipos de Surcado.....	10
<b>Figura 8-2:</b> Depósito de semilla de papa.....	11
<b>Figura 9-2:</b> Tapado de semilla .....	11
<b>Figura 10-2:</b> Sembradora de papas.....	13
<b>Figura 11-2:</b> Sembradora Manual .....	14
<b>Figura 12-2:</b> Sembradora Semiautomática .....	14
<b>Figura 13-2:</b> Sembradora Automática .....	15
<b>Figura 14-2:</b> Sembradora multifuncional .....	16
<b>Figura 15-2:</b> Transmisión de potencia por engranes .....	17
<b>Figura 16-2:</b> Tolva cónica.....	17
<b>Figura 17-2:</b> Tolva rectangular .....	18
<b>Figura 18-2:</b> Tubo de caída con indicador acústico.....	18
<b>Figura 19-2:</b> Rueda de alveolos horizontal con tubo de caída.....	19
<b>Figura 20-2:</b> Rueda de alveolos vertical con o sin tubo de caída.....	19
<b>Figura 21-2:</b> Rueda de alveolos horizontal con rueda de alveolos vertical.....	19
<b>Figura 22-2:</b> Cadena de cangilones .....	20
<b>Figura 23-2:</b> Mecanismo por tornillo sin fin .....	20
<b>Figura 24-2:</b> Mecanismo por roseta .....	21
<b>Figura 25-2:</b> Mecanismo por plato giratorio .....	21
<b>Figura 26-2:</b> Mecanismo por correas .....	22
<b>Figura 27-2:</b> Mecanismo por cangilones.....	22
<b>Figura 28-2:</b> Alomillador de vertedera doble .....	23
<b>Figura 29-2:</b> Alomillador de discos.....	23
<b>Figura 30-2:</b> Ciclo básico del diseño.....	26
<b>Figura 31-2:</b> Herramientas computacionales.....	28
<b>Figura 1-3:</b> Dimensiones de la semilla de papas .....	31
<b>Figura 2-3:</b> Resultados de la encuesta.....	32

<b>Figura 3-3:</b> Casa de la calidad.....	35
<b>Figura 4-3:</b> Función principal de la sembradora.....	37
<b>Figura 5-3:</b> Definición de Módulos.....	38
<b>Figura 6-3:</b> Surcador y tapador de vertedera.....	39
<b>Figura 7-3:</b> Surcador y tapador de disco.....	39
<b>Figura 8-3:</b> Tolva rectangular.....	40
<b>Figura 9-3:</b> Tolva cónica.....	41
<b>Figura 10-3:</b> Tipo tornillo sin fin.....	41
<b>Figura 11-3:</b> Tipo roseta.....	42
<b>Figura 12-3:</b> Tipo plato giratorio.....	43
<b>Figura 13-3:</b> Tipo correas.....	43
<b>Figura 14-3:</b> Tipo cangilones.....	44
<b>Figura 15-3:</b> De Tubo de caída.....	44
<b>Figura 16-3:</b> De alveolos horizontales.....	45
<b>Figura 17-3:</b> De alveolo vertical.....	46
<b>Figura 18-3:</b> De alveolos horizontales con rueda de alveolos vertical.....	46
<b>Figura 19-3:</b> Cangilones.....	47
<b>Figura 20-3:</b> Esquema de la Solución 1.....	49
<b>Figura 21-3:</b> Esquema de la Solución 2.....	50
<b>Figura 22-3:</b> Esquema de la Solución 3.....	51
<b>Figura 23-3:</b> Alternativa seleccionada con sus respectivas partes.....	55
<b>Figura 1-4:</b> Tolva con su respectiva nomenclatura.....	57
<b>Figura 2-4:</b> Dimensiones finales de la tolva de semilla.....	58
<b>Figura 3-4:</b> Resultados del análisis por MEF de la tolva de semilla.....	60
<b>Figura 4-4:</b> Dimensiones finales de la tolva de fertilizante.....	62
<b>Figura 5-4:</b> Resultados del análisis por MEF tolva de fertilizante.....	64
<b>Figura 6-4:</b> Diagrama de cuerpo libre de la rueda de apoyo.....	64
<b>Figura 7-4:</b> Esquema del sistema de distribución de semilla.....	67
<b>Figura 8-4:</b> Tornillo sin fin.....	75
<b>Figura 9-4:</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector.....	78
<b>Figura 10-4:</b> Sección transversal de la hélice.....	79
<b>Figura 11-4:</b> Transmisión de potencia tornillo sin fin.....	81
<b>Figura 12-4:</b> Fuerzas en la cadena del dosificador.....	83
<b>Figura 13-4:</b> Diagrama de cuerpo libre en el eje del tornillo.....	84
<b>Figura 14-4:</b> Diagrama de cuerpo libre plano xz.....	84
<b>Figura 15-4:</b> Diagrama de cuerpo libre plano yz.....	85
<b>Figura 16-4:</b> Diagramas del eje del tornillo sin fin.....	86

<b>Figura 17-4:</b> Esfuerzos para análisis a fatiga.....	86
<b>Figura 18-4:</b> Dimensiones finales del eje del tornillo sin fin.....	88
<b>Figura 19-4:</b> Deformación del eje del tornillo sin fin.....	90
<b>Figura 20-4:</b> Dimensiones para el cambio de velocidades .....	95
<b>Figura 21-4:</b> Fuerza en la cadena con las catalinas de 26 y 42 dientes .....	96
<b>Figura 22-4:</b> Ubicación de tensores para catalinas de 42 dientes .....	97
<b>Figura 23-4:</b> Ubicación de tensores para catalinas de 26 y 42 dientes.....	97
<b>Figura 24-4:</b> Longitud del perno del tensor .....	98
<b>Figura 25-4:</b> Fuerzas en el eje de las ruedas de apoyo .....	98
<b>Figura 26-4:</b> Diagramas en el eje de la ruedas de apoyo plano yz.....	99
<b>Figura 27-4:</b> Diagramas en el eje de la ruedas de apoyo plano xz.....	100
<b>Figura 28-4:</b> Deformación del eje de las ruedas de apoyo.....	103
<b>Figura 29-4:</b> Fuerzas en el eje inferior de la cadena de cangilones .....	105
<b>Figura 30-4:</b> Diagramas en el eje inferior de la cadena de cangilones plano yz .....	106
<b>Figura 31-4:</b> Diagramas en el eje inferior de la cadena de cangilones plano xz .....	107
<b>Figura 32-4:</b> Deformación del eje inferior de los cangilones .....	110
<b>Figura 33-4:</b> Fuerzas en el eje superior de la cadena de cangilones .....	112
<b>Figura 34-4:</b> Diagrama en el eje superior de la cadena de cangilones .....	113
<b>Figura 35-4:</b> Deformación del eje superior de los cangilones .....	116
<b>Figura 36-4:</b> Ancho de labranza.....	118
<b>Figura 37-4:</b> Resultados del análisis por MEF del surcador.....	121
<b>Figura 38-4:</b> Resultados del análisis por MEF del brazo del tapador .....	123
<b>Figura 39-4:</b> Resultados del análisis por MEF de la estructura de soporte .....	127
<b>Figura 40-4:</b> Resultados del análisis por MEF de la estructura de enganche.....	130
<b>Figura 41-4:</b> Soldadura en el punto de enganche .....	130
<b>Figura 42-4:</b> Factor de seguridad de la soldadura.....	131
<b>Figura 43-4:</b> Masa real de la sembradora de papas .....	132
<b>Figura 1-5:</b> Ficha técnica del fondo .....	141
<b>Figura 2-5:</b> Aplicación de pinturas.....	141
<b>Figura 3-6:</b> Ficha técnica de la pintura.....	142
<b>Figura 4-5:</b> Capacidad de la tolva de semilla .....	144
<b>Figura 5-5:</b> Medición de distancia entre semillas .....	145
<b>Figura 6-5:</b> Capacidad de la tolva de fertilizante.....	146
<b>Figura 7-5:</b> Dosificación de fertilizante .....	146
<b>Figura 8-5:</b> Elaboración del surco .....	147
<b>Figura 9-5:</b> Elaboración y profundidad de tapado .....	147
<b>Figura 10-5:</b> Distancia entre surcos.....	148

<b>Figura 11-5:</b> Chequeo general de la máquina.....	148
<b>Figura 1-6:</b> Sembradora de papas.....	150
<b>Figura 2-6:</b> Enganche del tractor con la máquina.....	151
<b>Figura 3-6:</b> Traslado de la máquina .....	151
<b>Figura 4-6:</b> Regulación de la siembra .....	151
<b>Figura 5-6:</b> Regulación del surcador y tapador .....	152
<b>Figura 6-6:</b> Llenado de tolvas .....	152
<b>Figura 7-6:</b> Regulación de fertilizante.....	152
<b>Figura 8-6:</b> Puesta en marcha del tractor.....	153
<b>Figura 9-6:</b> Carrera de regreso .....	153
<b>Figura 10-6:</b> Desenganche de la máquina .....	153

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>MAGAP</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
<b>INIAP</b>	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización
<b>AISI</b>	Instituto Americano del Hierro y el Acero
<b>QFD</b>	Despliegue de la Función de Calidad
<b>CAD</b>	Diseño Asistido por Computadora
<b>CAM</b>	Manufactura Asistido por computador
<b>CAE</b>	Ingeniería Asistido por computador
<b>MEF</b>	Método de Elementos Finitos
<b>ASTM</b>	Asociación Americana de Ensayo de Materiales

## LISTA DE ANEXOS

<b>A</b>	Entrevista Hacienda “San Carlos”.
<b>B</b>	Casa de la calidad.
<b>C</b>	Sembradoras de papas en el mercado nacional.
<b>D</b>	Estructura funcional.
<b>E</b>	Acero para la tolva de semillas y aletas de la vertedera.
<b>F</b>	Acero inoxidable para la tolva del fertilizante y la hélice del tornillo sin fin.
<b>G</b>	Ficha técnica de neumáticos.
<b>H</b>	Cadenas para la máquina sembradora de papas
<b>I</b>	Coeficiente de relleno $\lambda$ .
<b>J</b>	Coeficiente debido a la inclinación $i$ .
<b>K</b>	Coeficiente de resistencia del fertilizante $C_0$ .
<b>L</b>	Acero inoxidable para el tornillo sin fin.
<b>M</b>	Factor de acabado superficial $k_a$ .
<b>N</b>	Factor de tamaño $k_b$ .
<b>O</b>	Factor de modificación de carga $k_c$ .
<b>P</b>	Factor de temperatura $k_d$ .
<b>Q</b>	Factor de confiabilidad $k_e$ .
<b>R</b>	Factor de concentración de esfuerzos debido a flexión $k_t$ .
<b>S</b>	Factor de concentración de esfuerzos debido a torsión $k_{tS}$ .
<b>T</b>	Constante de NEUBER para aceros
<b>U</b>	Rodamientos para el eje superior de la cadena de cangilones y tornillo sin fin.
<b>V</b>	Pernos métricos.
<b>W</b>	Acero para el eje de las ruedas de apoyo.
<b>X</b>	Chumaceras para el eje de las ruedas de apoyo.
<b>Y</b>	Acero para el eje superior e inferior de la cadena de cangilones.
<b>Z</b>	Rodamientos para el eje inferior de la cadena de cangilones.
<b>AA</b>	Acero para la cuchilla de la vertedera.
<b>BB</b>	Perfil para el brazo de la vertedera y tapador.
<b>CC</b>	Acero para el refuerzo de las aletas.
<b>DD</b>	Tabla de usos y discos para sembradoras.
<b>EE</b>	Sembradora de papas de dos hileras
<b>FF</b>	Procesos de soldadura

## RESUMEN

El proyecto de titulación tuvo como objetivo el diseño y construcción de una sembradora de papas de dos hileras con un sistema de dosificación de fertilizante con la finalidad de resolver los problemas de escasez, alto costo y bajo desarrollo de maquinaria agrícola en nuestro país especialmente para la siembra de papas. El diseño de esta máquina se inició con los estudios previos para determinar las características de la papa y de la siembra mecanizada, luego se realizó el diseño conceptual para identificar la solución más adecuada, posteriormente se dimensionó y se seleccionó los elementos que conforman la sembradora de papas con su respectiva simulación en el software ANSYS y luego se desarrolló sus correspondientes planos de detalle que nos permitieron ejecutar su construcción y ensamble, además se elaboró los manuales de mantenimiento y operación de la máquina para garantizar su correcto funcionamiento y durabilidad. Por último se ejecutaron las pruebas de funcionamiento y de operación obteniendo los siguientes resultados: una distancia entre surcos regulable de 1,40 a 1,50 m, una distancia entre semillas de 25, 30, 35 y 40 cm con un error menor al 1 %, un dosificador de fertilizante con regulación y una capa de tierra entre 10 a 15 cm para el tapado de la semilla. En conclusión la sembradora de papas cumple con los requerimientos de resistencia y rigidez por la cual es una máquina confiable y segura que permite realizar el proceso de siembra satisfactoriamente, para lo cual se recomienda llenar las tolvas con la cantidad de semillas y fertilizante que fue diseñada.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA MECÁNICA>, <SURCADOR>, <DISTRIBUIDOR DE SEMILLAS>, <DOSIFICADOR DE FERTILIZANTE>, <SIEMBRA MECANIZADA>, <DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN>.

## ABSTRACT

The objective of this project was the design and construction of a two-row potato seed drill with a fertilizer dosing system in order to solve the problems of shortage, high cost, and agricultural machinery low development in our country especially for the seeding potatoes. The design of this machine began with the previous studies to determine the characteristics of the potato and the mechanized sowing. Then the conceptual design was made to identify the most appropriate solution, later the elements that make up the potato planter were sized and selected with its respective simulation in the ANSYS software and it was developed its corresponding detail plans, which allowed to execute its construction and assembly. In addition, the maintenance and operation manuals of the machine were elaborated to guarantee its correct operation and durability. Finally, the functional and operating tests were carried out obtaining the following results an adjustable row distance of 1.40 to 1.50 m, a distance between seeds of 25, 30, 35, and 40 cm with a minor error than 1%, a fertilizer dispenser with regulation, and a layer of earth from 10 to 15 cm for the cover of the seed. In conclusion, the potato seed drill complies the strength and rigidity requirements, then it is a reliable and safe machine, which allows to carry out the sowing process satisfactorily. It is recommended to fill the hoppers with the number of seeds and fertilizer that was designed.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <MECHANICAL ENGINEERING>, <FURROWER>, <SEED DISTRIBUTOR>, <FERTILIZING DOSER>, <MECHANIZED SOWING>, <DESIGN AND CONSTRUCTION>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1 Antecedentes

La agricultura a lo largo de la historia se ha ido tecnificando para lograr un mayor rendimiento de los cultivos, obteniendo así mejores ganancias, esta implementación consiste en la mecanización de labores agrícolas como la preparación del suelo, siembra, fertilización, control de malezas, cosecha y pos cosecha. (MONTEROS G., 2016)

En el caso del cultivo de papas, la siembra específicamente se han desarrollado un sin número de estudios que han llevado a la construcción de pequeñas máquinas sembradoras de papas para una poca cantidad de terreno hasta máquinas de gran volumen requeridas en la siembra de varias hectáreas, estas máquinas se construyen principalmente en países como Alemania, España, Italia, Chile y Argentina, las empresas de estos países producen sembradoras de papas que son acoplables a un tractor agrícola para su desplazamiento y multifuncionales ya que abren el surco, depositan la semilla, colocan el fertilizante y tapan la semilla, además se construyen desde una a varias hileras y la distancia entre ellas es regulable, cabe mencionar que no todas las máquinas tienen las características mencionadas. (ECURED, 2016)

Los dos tipos de máquinas sembradoras desarrolladas son la manual y automática, esta clasificación se basa en el sistema de alimentación de la semilla, en la manual una persona es la encargada de colocar la semilla en un distribuidor que deposita la semilla en el surco mientras que en la automática se deposita la semilla a través de un sistema de alimentación por cangilones. (BARREIRO, y otros, 2000)

En el Ecuador la mayoría de labores agrícolas para el cultivo de papas no se encuentran mecanizadas, según datos del MAGAP la actividad mayormente tecnificada con el 84% es la preparación del suelo, la siembra se encuentra tecnificada en un 6%, este porcentaje indica que se debe fomentar la mecanización de esta actividad agrícola para evitar defectos en la siembra, reducir costos por el personal utilizado y disminuir el tiempo requerido para esta actividad mejorando así la rentabilidad del cultivo. El bajo porcentaje de mecanización de esta actividad se debe a que la mayoría de máquinas sembradoras se importan por lo cual su costo es elevado y un

poco cantidad se producen dentro del país en empresas de metalmecánica que no cuentan con información documentada. (MONTEROS G., 2016)

En 1993 como proyecto de tesis en la Escuela de Ingeniería Mecánica se ha desarrollado el diseño y construcción de una sembradora de papas automática y multifuncional es decir, deposita la semilla automáticamente, coloca fertilizante y pesticida, abre y tapa el surco, tiene dos tolvas una para la semilla y otra para el fertilizante con una capacidad de 75 kg (1,65qq) cada una, esta máquina realiza el sembrado de una hilera la cual es apta para pequeños sembríos pero inadecuada para grandes extensiones en la cual es necesario cubrir un mayor ancho de labor por cada pasada, además sólo se construyó un prototipo, con lo cual no se ha dado soluciones ni satisfecho las necesidades de los agricultores.

La Hacienda “San Carlos” localizada en el cantón Latacunga cuenta con un área total de 24 ha para el cultivo de papa Victoria, Superchola, Suprema y Semichola principalmente, cada 6 meses se siembra alrededor de 1000qq, cantidad que amerita la implementación de la sembradora de papas de dos hileras, automática y multifuncional, con una capacidad de 3qq de semilla y 1qq de fertilizante que será adecuada para esta hacienda.

## **1.2 Justificación**

### ***1.2.1 Justificación teórica***

Para el desarrollo de este proyecto se utilizarán métodos, teorías y normas relacionadas al diseño, construcción y simulación en ANSYS de los elementos que conforman la máquina sembradora, facilitando así la determinación de las dimensiones, materiales y procesos de manufactura más adecuados.

### ***1.2.2 Justificación metodológica***

El proyecto de diseño y construcción de una sembradora de papas de dos hileras con un sistema de dosificación de fertilizante servirá como una guía actualizada para el diseño y construcción de maquinaria agrícola similar en la cual se indique las teorías y recomendaciones para el diseño de la estructura, elementos de máquinas y selección de componentes mecánicos, además de guiar en la validación del diseño con herramientas computacionales actualizadas de simulación como lo es ANSYS.

### ***1.2.3 Justificación práctica***

Con la implementación de la sembradora de papas en la Hacienda San Carlos, se disminuirá el tiempo de sembrado, se reducirá el costo de producción debido a que se necesitará menos personal para realizar la siembra y se mejorará el rendimiento de las hectáreas cultivadas ya que esta máquina permite realizar una siembra uniforme, al modificar estos parámetros se obtendrá una mayor rentabilidad de los cultivos de papas en esta hacienda.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Diseñar y construir una sembradora de papas de dos hileras con un sistema de dosificación de fertilizante.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Recopilar la información acerca del estado del arte de las máquinas sembradoras de papas, sus características y tipos mediante un estudio bibliográfico.
- Diseñar los elementos mecánicos de la sembradora de papas de dos hileras para una capacidad de 3 qq de papas y 1 qq de fertilizante, con su respectiva simulación en ANSYS.
- Realizar la construcción de la sembradora de papas y sus correspondientes pruebas de funcionamiento.
- Elaborar un manual de operación, mantenimiento y análisis de costos de la máquina.

## CAPÍTULO II

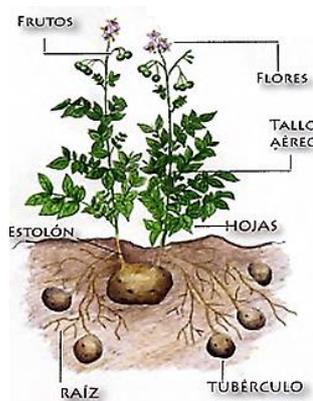
### 2. MARCO REFERENCIAL SOBRE EL PROCESO DE SIEMBRA MECANIZADA DE LA PAPA.

El objetivo de este capítulo es realizar el estudio bibliográfico del proceso de siembra, las máquinas sembradoras existentes en el mercado y los métodos de diseño mecánico referentes a este tipo de máquinas.

#### 2.1 La papa y sus características disminuir

La papa (*Solanum tuberosum* L.) Es un tubérculo comestible de tallos gruesos y leñosos, originaria de la región andina y se encuentra entre los cultivos más importantes del mundo después del trigo, arroz y maíz debido al gran aporte energético y nutricional. (PUMISACHO, y otros, 2013) Y (MONTEROS G., 2016).

El follaje alcanza una altura de 0.60 a 1.50 m, las variedades de papas cultivadas viven entre cuatro y siete meses. La planta está formada por raíces, estolones, tubérculos, tallos, flores y frutos. (PUMISACHO, y otros, 2013)



**Figura 1-2:** Partes de la planta de papa

Fuente: (CUESTA, y otros, 2014)

Estos tubérculos poseen ciertos componentes, cuyos porcentajes varían de acuerdo a su tipo y calidad de suelo. En la siguiente tabla se presentan el rango de valores de cada uno de los componentes de la papa.

**Tabla 1-2:** Componentes de la papa

Componente	Porcentaje
Agua	63 % - 87 %
Hidratos de carbono	13 % - 30%
Proteínas	0.7 % - 4.6 %
Grasas	0.02 % - 0.96 %
Cenizas	0.44 % - 1.9 %

Fuente: (PUMISACHO, y otros, 2013)

### 2.1.1 La papa en el Ecuador

La papa en el Ecuador se cultiva principalmente en la Región Sierra a una altura comprendida entre los 2000 y 3600 m.s.n.m y a una temperatura de 6° a 18°C, se desarrolla mejor en suelos húmedos, con suficientes materias orgánicas y nutrientes. Las principales zonas productoras de papas son: la zona norte formada por las provincias de Carchi e Imbabura, la zona centro formada por Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo y la zona sur formada por Cañar, Azuay y Loja. (PUMISACHO, y otros, 2013)

#### - Zonas de cultivo y variedades

Las variedades de papas cultivadas en nuestro País se agrupan de acuerdo a la zona de cultivo, ya que cada sector posee sus propios factores como: la altitud, clima y suelo. En la siguiente tabla se muestra las zonas de cultivo con sus diversos tipos.

**Tabla 2-2:** Variedades de papa sembradas por zonas de cultivo

Zona de Cultivo	Variedad
<b>Norte:</b> Provincia de Carchi	Chola, Superchola, Gabriela, Esperanza, María, Frippapa 99, ICA-Capiro, Margarita Ormus, Yema de Huevo (Chauchas)
<b>Centro:</b> Provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo	Chola, Uvilla, Santa Catalina, Esperanza, Gabriela, María, Margarita, Rosita, Santa Isabel, Superchola, Yema de Huevo, Frippapa, Cecilia-Leona
<b>Sur:</b> Provincias de Cañar, Azuay y Loja	Uvilla, Bolona, Santa Catalina, Esperanza, Soledad Cañari, Gabriela

Fuente: (PUMISACHO, y otros, 2013)

### - *Usos de la papa*

La papa tiene principalmente dos usos, como papa comercial y papa para semilla. En el caso de la papa comercial se lo utiliza para consumo en fresco, papas fritas (Chips, a la Francesa, congeladas, enlatas y prefritas), almidón, alcohol, celulosa y otros productos. (PUMISACHO, y otros, 2013)

La papa utilizada como semilla debe ser de buena calidad, sin plagas ni enfermedades, sin defectos, y en las condiciones adecuadas para la siembra, cabe mencionar que no todas las papas se pueden emplear como semilla, ya que algunas no cumplen con los requerimientos anteriores. (LUCERO P., 2011)

#### **2.1.2 Características de la semilla de papa.**

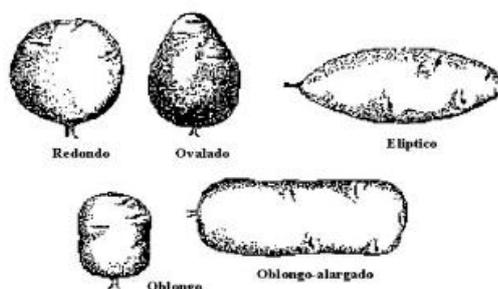
Entre las características más importantes de la semilla tenemos: la densidad, la forma, el peso y la longitud del diámetro.

#### - *Densidad*

La densidad de la semilla de papa se encuentra entre 500 a 600 kg/m<sup>3</sup>, esta propiedad nos permitirá determinar la capacidad de la tolva contenedora adecuada.

#### - *Forma*

La forma de los tubérculos cultivados en el Ecuador dependen de la variedad de papa y generalmente tienen el siguiente aspecto físico: forma redonda, redonda-avalada, ovalada, oval-alargada, oblonga y oblonga alargada. (PUMISACHO, y otros, 2013)



**Figura 2-2:** Formas de los tubérculos de papa

Fuente: (ALONSO, 2012)

- *Peso y longitud del diámetro*

Estas características son de gran importancia para el diseño del distribuidor de semillas de la máquina sembradora, de acuerdo a estos parámetros se determinará el cangilón adecuado para el transporte de estas semillas. En la siguiente tabla se presenta una clasificación de acuerdo al peso y dimensiones de los tubérculos.

**Tabla 3-2:** Clasificación de los tubérculos-semilla

Denominación	Peso (g)	Longitud del diámetro (cm)
Gruesa	De 101 a 120	7 a 8
Grande	De 81 a 100	6 a 6.9
Mediana	De 61 a 80	5 a 5.9

Fuente: (MONTEDEOCA M., 2005)

## 2.2 Tecnologías de siembra

Según (MOGORRÓN C., 2016), las técnicas utilizadas en la agricultura para la siembra son las siguientes:

- *Siembra directa*

Este tipo de siembra también se lo conoce como labranza cero, consiste en depositar la semilla directamente en el suelo sin haberlo preparado y los residuos de la siembra anterior quedan en la superficie. La única remoción que recibe la tierra es cuando se abren los surcos. (MOGORRÓN C., 2016)



**Figura 3-2:** Siembra directa

Fuente: (MOGORRÓN C., 2016)

- *Siembra por mínimo laboreo*

Consiste en preparar el suelo por medio de una labor secundaria (rastrado) para evitar un menor movimiento del suelo, posteriormente se deposita la semilla en medio de los residuos que contiene la tierra.



**Figura 4-2:** Siembra por mínimo laboreo

Fuente: (MOGORRÓN C., 2016)

- *Siembra por laboreo en bandas*

Mediante esta técnica se prepara solamente la línea donde va a ser depositado la semilla, esta remoción se consigue a través de discos abridores que cortan los residuos y desterronan la tierra. (MOGORRÓN C., 2016)

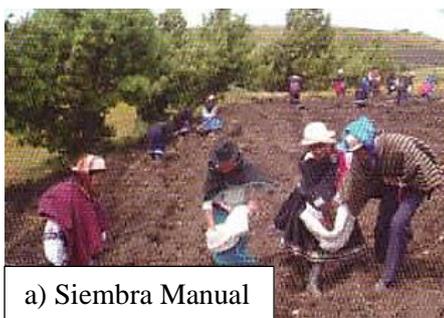


**Figura 5-2:** Siembra por laboreo en bandas

Fuente: (MOGORRÓN C., 2016)

### **2.3 Operaciones para la siembra de la papa con laboreo**

El proceso de siembra agrupa diferentes actividades agrícolas como el surcado, fertilización, depósito de semilla y tapado, para realizar estas labores se debe preparar previamente el suelo hasta que sea el adecuado para la siembra. Todas estas actividades mencionadas se pueden realizar de forma manual o por medio de máquinas que facilitan el desarrollo de estas labores.



a) Siembra Manual



b) Siembra con Máquinas

**Figura 6-2:** Tipos de siembra

Fuente: (LUCERO P., 2011) y (ALFERSAN S. A. U.)

- *Preparación del suelo*

Esta actividad frecuentemente consta de arado y rastrado hasta obtener un suelo adecuado para la siembra, es decir terrones de diámetros inferiores a las semillas. Los suelos aptos para el cultivo de la papa y que presentan las mejores características son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos. Estos tipos de suelos deben poseer una textura liviana, buen drenaje y una profundidad efectiva mínima de 0.50 m que faciliten el crecimiento de los estolones y tubérculos, así como la cosecha. (HURTADO, y otros, 2012)

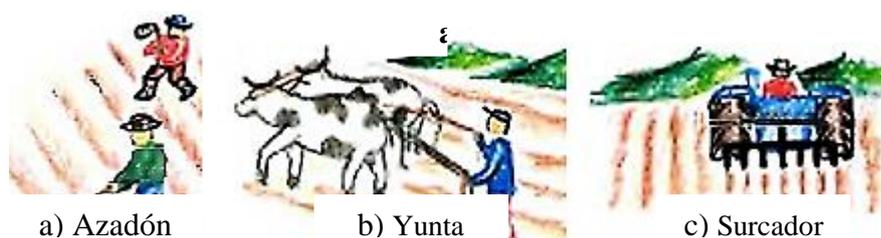
**Tabla 4-2:** Características del suelo para la siembra de papa

Propiedades físicas	Rango
Textura	Franca
Profundidad efectiva	>50 cm
Densidad aparente	1.20 g x cm <sup>3</sup>
Color	Oscuro
Contenido de materia orgánica	>3.5 %
Drenaje	Bueno
Capacidad de retención de agua	Buena capacidad de campo
Topografía	Plana y semi plana
Propiedades químicas	Rango
Ph	5.5-6
N	Variable
P	>28 mg kg <sup>-1</sup>
K	>5 %
Ca <sup>++</sup>	65 %
Mg <sup>++</sup>	18 %

Fuente: (HURTADO, y otros, 2012)

- *Surcado*

Es una labor que consiste en realizar una abertura o ranura en el suelo (preferentemente en forma de V), en el cual se coloca la semilla y a veces también el fertilizante y los pesticidas. El surcado se lo puede realizar manualmente con azadón, por medio de yunta o de forma mecanizada. (BAKER, y otros, 2008)



**Figura 7-2:** Tipos de Surcado

Fuente: (CUESTA, y otros, 2014)

Las dimensiones del surco dependen del tipo de papa a cultivar, la distancia entre surcos para la papa Uvilla, Bolona y Chola se lo realiza a más de un metro y para la papa Fripapa, Rosita, Gabriela, Margarita, Soledad, Suprema y Papa Pan se siembra a una distancia inferior a un metro. Como recomendación general la distancia puede ser de 0.90 m a 1.30 m entre surcos y una profundidad de 5 cm a 10 cm. (PUMISACHO, y otros, 2013)

- *Fertilización*

Consiste en colocar fertilizantes en el suelo que alojará la semilla, con el propósito de agregar nutrientes faltantes, mejorar las características físicas y químicas e incrementar el rendimiento de los cultivos. Los fertilizantes pueden ser orgánicos o químicos. La cantidad de fertilizante se determina a través de un análisis de suelo o se puede adoptar las recomendaciones dadas en la siguiente tabla. (CUESTA, y otros, 2014)

**Tabla 5-2:** Cantidad de fertilizante

Hectárea (10000 m <sup>2</sup> )	Cuadra (7056 m <sup>2</sup> )	Solar (1764 m <sup>2</sup> )	Cantero (441 m <sup>2</sup> )
10-30-10 20 sacos	14 sacos	3 sacos	45 kg
18-46-0	9 sacos	2 sacos	28 kg
13 sacos de Muriato de Potasio	1 saco de muriato de Potasio	19 kg de Muriato de Potasio	5 kg de Muriato de Potasio

Fuente: (CUESTA, y otros, 2014)

- *Depósito de semilla*

El depósito de semilla consiste en colocar los tubérculos a una cierta distancia en el interior del surco. Debido al tamaño de la semilla de papas se recomienda sembrar de la siguiente manera: para semillas pequeñas se debe colocar de 2 a 3 papas por golpe y para semillas medianas y grandes se debe colocar una papa, a una distancia de 30 a 40 cm entre golpe y golpe. (CUESTA, y otros, 2014)



**Figura 8-2:** Depositado de semilla de papa

Fuente: (CUESTA, y otros, 2014)

- *Tapado*

Para culminar con el proceso de siembra se realiza el tapado de la semilla, esta actividad se lo puede realizar a mano con un azadón o mediante la yunta, de manera que la semilla quede bajo tierra a una profundidad de 10 cm. (CUESTA, y otros, 2014)



a) Con azadón



b) Con yunta

**Figura 9-2:** Tapado de semilla

Fuente: (LUCERO P., 2011) y (CUESTA, y otros, 2014)

## 2.4 Características del cultivo de papas en la Hacienda “San Carlos”

La Hacienda “San Carlos” que se encuentra localizada en la Zona Centro del País, en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Ignacio Flores, Comunidad Palopo Contadero, se dedica principalmente a la producción y comercialización de leche cruda, papa comercial y semillas de papas de calidad, certificada y seleccionada. En cuanto a la producción de papas, los cultivos presentan las siguientes características.

### - *Tipos de papas*

La Hacienda cultiva principalmente las siguientes variedades de papas: Victoria, Superchola, Friepapa, Gabriela, Catalina, Cecilia y Uvilla. La mayoría de estas variedades de papas se lo siembra dos veces al año y una vez cultivadas se las destina para consumo en fresco y semilla certificada.

### - *Suelo*

Según datos proporcionados por los propietarios de la Hacienda, el suelo de la propiedad corresponde al tipo arcilloso y una vez preparado para la siembra adquiere una textura franco-arcilloso, el mismo que se encuentra dentro de los tipos de suelos adecuados para el cultivo de la papa y es por esta razón que la gran parte de su territorio se dedica a la producción de este tubérculo, obteniéndose buenos rendimientos de siembra.

### - *Semilla*

La semilla que utilizan para la siembra provienen de sus mismos cultivos y de proveedores de semillas certificadas, el peso de los tubérculos-semilla se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 6-2:** Categorías de las semillas de papas

<b>Papas para semilla</b>	<b>Peso (g)</b>
Primera	90 a 170
Segunda	60 a 90
Tercera	40 a 60

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- *Fertilizante*

Para la siembra de papas utilizan fertilizantes granulados que favorecen el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas en todo el cultivo, para lo cual se usan los siguientes fertilizantes: sulfato de magnesio, sulfato de potasio, fosfato diamónico, cloruro de potasio y urea.

- *Distancias de siembra*

Las distancias que controlan en el proceso de siembra son: distancia entre surcos, distancia entre semillas y profundidad de enterrado de semillas, cuyos valores son importantes para la siembra y para los procesos posteriores como la deshierba, aporque, fumigación y cosecha. Estos valores se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 7-2:** Distancias de siembra

Denominación	Distancia
Entre surcos	1.40 a 1.50 m
Entre semillas	25, 30, 35, 40 cm
Profundidad	10 a 15 cm

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

## 2.5 Máquinas sembradoras de papas

Este tipo de máquinas se utiliza para la plantación de semillas de papas (tubérculos), las mismas que siembran hilera a hilera o varias hileras al mismo tiempo. Para su funcionamiento este tipo de maquinaria agrícola necesita de una fuerza motriz, la misma que se provee por medio de un tractor agrícola. Las funciones que pueden realizar estas máquinas depende del grado de mecanización de la siembra, pudiendo ejecutar las siguientes labores: surcado, fertilización, depositado de semilla y tapado. (CARRETERO CAÑADO, y otros, 2013)



**Figura 10-2:** Sembradora de papas

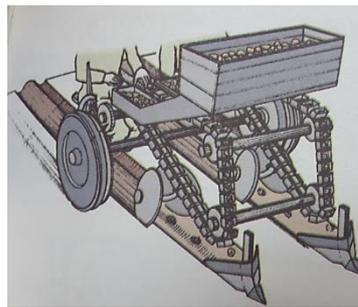
Fuente: (ALFERSAN S. A. U.)

### 2.5.1 Clasificación de las sembradoras de papas

Según (CARRETERO CAÑADO, y otros, 2013), la clasificación más idónea de las sembradoras de papas de acuerdo a su sistema de alimentación de semillas es:

#### - *Sembradora Manual*

Este tipo de máquina se caracteriza porque necesita de un operario por cada hilera de plantación, el mismo que se encarga de tomar las semillas de una tolva y depositarlas en el mecanismo de depositado de semilla. (CARRETERO CAÑADO, y otros, 2013)



**Figura 11-2:** Sembradora Manual

Fuente: (LESUR, 2006)

#### - *Sembradora Semiautomática*

La sembradora semiautomática necesita de un operario, el mismo que se encarga de completar un disco corrector de errores cuando queda un espacio vacío, es decir la máquina siembra automáticamente pero la corrección de errores se lo realiza de forma manual. (CARRETERO CAÑADO, y otros, 2013)

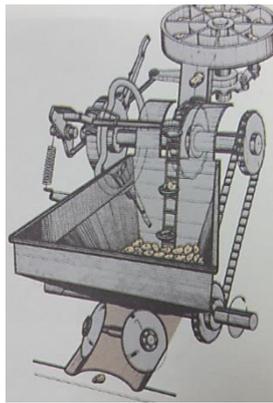


**Figura 12-2:** Sembradora Semiautomática

Fuente: (CHECCHI & MAGLI)

## - *Sembradora Automática*

Las sembradoras automáticas se caracterizan porque la alimentación y siembra de semilla se realiza automáticamente. La alimentación se lo realiza a través de un sistema de cadenas con cangilones o a través de un sistema de pinzas, en el sistema de cangilones el proceso consiste en recoger las semillas de la tolva y colocar en el interior del surco, mientras que en el sistema de pinzas se recoge las papas de un disco giratorio y las deja caer al llegar al tubo de descarga. Este tipo de máquinas dispone de un mecanismo corrector de errores que actúa cuando el cangilón o la pinza están vacías. (CARRETERO CAÑADO, y otros, 2013)



**Figura 13-2:** Sembradora Automática

Fuente: (LESUR, 2006)

### 2.5.2 *Funciones*

Las funciones que realizan la mayoría de sembradoras son: surcado, depositado de semilla y tapado. Existen ciertas máquinas que además de estas actividades pueden fertilizar y dosificar pesticidas en el proceso de siembra.

Una máquina sembradora multifuncional esta provista de dispositivos ubicados estratégicamente en toda su estructura, en su parte delantera consta de componentes que se encargan de abrir el surco, seguidamente tienen un sistema de dosificación de fertilizante y un sistema de alimentación de semillas accionadas mediante ruedas de apoyo de la estructura; y en la parte posterior se ubican vertederas o discos para cubrir la semillas y formar caballones.



**Figura 14-2:** Sembradora multifuncional

Fuente: (WATANABE)

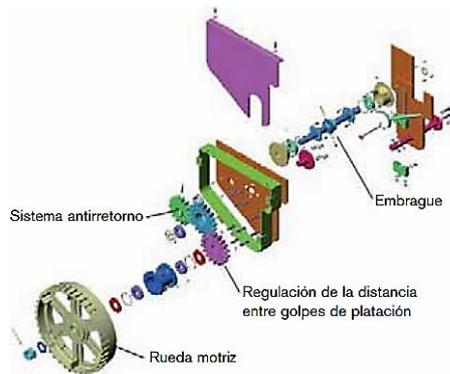
### *2.5.3 Partes mecánicas de una máquina sembradora de papas*

Realizando un análisis de las máquinas sembradoras existentes en el mercado nacional e internacional, se puede indicar que estas máquinas constan principalmente de las siguientes partes:

- Sistema de transmisión de potencia
- Tolva
- Sistema de distribución de semilla
- Sistema de dosificación de fertilizante
- Surcador y tapador
- Estructura

#### *2.5.3.1 Sistema de transmisión de potencia*

La transmisión de potencia para las máquinas sembradora de papas se realiza a través de las ruedas de soporte de la máquina, éstas transmiten el movimiento al sistema de distribución de semilla y al sistema de dosificación de fertilizante, de esta manera se consigue una siembra uniforme e independiente de la velocidad del tractor agrícola. El sistema consta de transmisión por engranes o por cadenas que accionan el resto de mecanismos de la máquina. (FERNÁNDEZ , y otros, 2011)



**Figura 15-2:** Transmisión de potencia por engranes

Fuente: (FERNÁNDEZ , y otros, 2011)

### 2.5.3.2 Tolva

La tolva es un dispositivo, cuya forma se asemeja a un gran embudo y se lo utiliza como depósito y canalización de materiales sólidos y líquidos. La mayoría de tolvas son de forma cónica o rectangulares con paredes inclinadas, generalmente se descarga el material por la parte inferior. (UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, 2015)

#### *Tipos de tolvas*

Los tipos de tolvas de acuerdo a su forma geométrica, se clasifican en:

#### - *Tolva cónica*

Tienen paredes cónicas, las mismas que permiten que el material fluya continuamente hacia el lugar de descarga y se utiliza principalmente para granos y polvos. (UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, 2015)



**Figura 16-2:** Tolva cónica

Fuente: (UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, 2015)

- *Tolva rectangular*

Este tipo de tolva se caracteriza porque sus paredes son planas e inclinadas de diferentes dimensiones que forman un rectángulo en su sección transversal y se los utiliza en el campo agrícola y alimenticio. (UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, 2015)



**Figura 17-2:** Tolva rectangular

**Fuente:** (UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, 2015)

2.5.3.3 *Sistema de distribución de semilla*

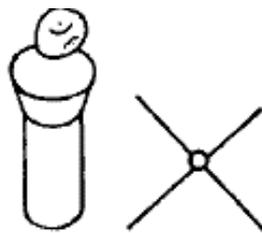
Este sistema cumple la función de distribuir uniformemente la semilla, mediante mecanismos que toman la semilla desde la tolva y lo dirigen hacia el surco.

*Tipos de sistemas de distribución de semilla*

Los sistemas de distribución de semilla para las máquinas sembradoras de papas son los siguientes:

- *Tubo de caída con indicador acústico*

Este sistema se utiliza en sembradoras de alimentación manual, en las cuales el operario se encarga de depositar la semilla en el tubo.

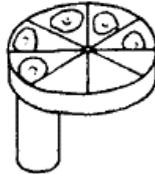


**Figura 18-2:** Tubo de caída con indicador acústico

**Fuente:** (RUIZ ALTISENT, 1971)

- *Rueda de alveolos horizontal con tubo de caída*

Consiste en una rueda con divisiones dispuestas horizontalmente, que gira y deposita la semilla en un tubo que guía la papa hacia el surco y se utiliza en sembradoras de alimentación manual.

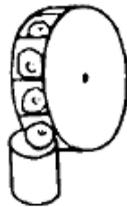


**Figura 19-1:** Rueda de alveolos horizontal con tubo de caída

Fuente: (RUIZ ALTISENT, 1971)

- *Rueda de alveolos vertical con o sin tubo de caída*

Consiste en una rueda vertical con cavidades en su periferia, en donde un operario coloca las semillas mientras la rueda gira, y posteriormente la semilla cae directamente o es conducida a través de un tubo de caída hasta el surco.

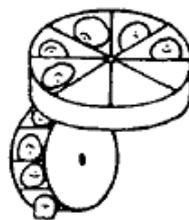


**Figura 20-2:** Rueda de alveolos vertical con o sin tubo de caída

Fuente: (RUIZ ALTISENT, 1971)

- *Rueda de alveolos horizontal con rueda de alveolos vertical*

Consiste en dos ruedas con cavidades (vertical y horizontal), la rueda horizontal se encuentra en la parte superior en la que un operario se encarga de colocar la semilla en las cavidades de ésta, y al girar esta rueda la semilla cae hacia la rueda vertical que también gira y dirige la papa al surco.

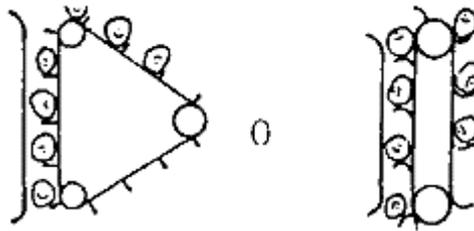


**Figura 21-2:** Rueda de alveolos horizontal con rueda de alveolos vertical

Fuente: (RUIZ ALTISENT, 1971)

- *Cadena de cangilones*

Este sistema se utiliza en las sembradoras semiautomáticas y automáticas, su funcionamiento consiste en recoger la semilla en la parte inferior de la tolva por medio de cangilones que se desplazan en una cadena o banda para depositar la semilla en el interior del surco al finalizar su recorrido.



**Figura 22-2:** Cadena de cangilones

Fuente: (RUIZ ALTISENT, 1971)

2.5.3.4 *Sistema de dosificación de fertilizante*

Los sistemas de dosificación de fertilizante para distribución en hileras poseen de un tubo de salida individual para cada línea, generalmente se utilizan los siguientes mecanismos dosificadores:

- *Helicoidal con rosca sin fin*

Consta de un tornillo sin fin localizado bajo la tolva del fertilizante, este mecanismo es accionado por un sistema de transmisión por engranes o por cadena, los mismos que hacen girar la hélice permitiendo la dosificación del fertilizante para cada hilera. (IKEDA, y otros, 2010)

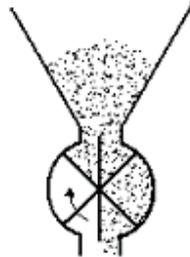


**Figura 23-2:** Mecanismo por tornillo sin fin

Fuente: (IKEDA, y otros, 2010)

- *Roseta*

Consta de un rotor dentado ubicado horizontalmente sobre una placa que contiene un orificio para la descarga del fertilizante, la dosificación depende de la velocidad de giro del rotor y de una lengüeta ajustable que regula la cantidad de fertilizante. (IKEDA, y otros, 2010)

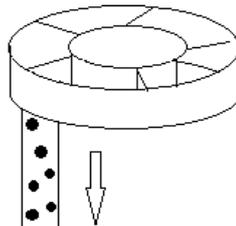


**Figura 24-2:** Mecanismo por roseta

Fuente: (GARCÍA TORRES, 2012)

- *Plato giratorio de discos horizontales rotativos*

Está formado por un disco rotativo liso acoplado a un engrane de corona que rota contra una lengüeta raspadora, la misma que dirige el fertilizante a una cavidad colectora y por medio de un tubo se direcciona hasta el surco. (IKEDA, y otros, 2010)

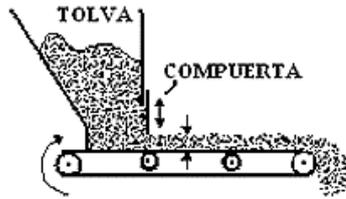


**Figura 25-2:** Mecanismo por plato giratorio

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- *Correas continuas*

Este mecanismo está formado por una cinta que gira por medio de dos poleas, dependiendo de la distancia entre poleas se coloca rodillos de apoyo para la cinta cargada. La cantidad de fertilizante transportado se lo controla a través de una compuerta ubicada bajo la tolva o regulando la velocidad de la cinta. (INDUSTRIAS I, 2015)

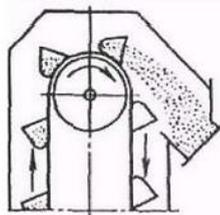


**Figura 26-2:** Mecanismo por correas

Fuente: (GARCÍA TORRES, 2012)

- *Cangilones*

Está compuesto por una cadena o cinta que a lo largo de su longitud tiene incorporado cangilones para el transporte del material contenido en la tolva, en los extremos de la cadena se encuentran dos ruedas dentadas o poleas que permiten el accionamiento del mecanismo. La cantidad de fertilizante transportado depende del tamaño del cangilón, espacio entre cangilones y de la velocidad de la cadena o cinta. (INDUSTRIAS I, 2015)



**Figura 27-2:** Mecanismo por cangilones

Fuente: (INDUSTRIAS I, 2015)

2.5.3.5 *Alomillador (Surcador y tapador)*

Estos dispositivos permiten crear la ranura para depositar la semilla de la papa y también cubrirlas con una capa de tierra, es decir el mismo elemento se utiliza para realizar las dos labores agrícolas.

*Tipos de alomilladores*

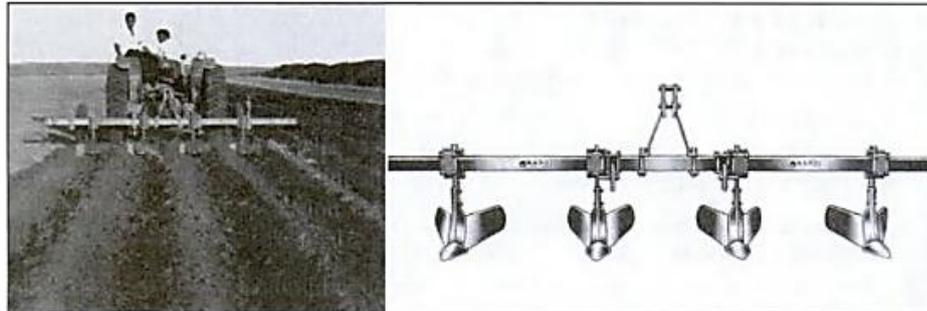
Los dispositivos más utilizados para el surcado y tapado son los siguientes:

- *De vertederas dobles*

Este implemento consta de dos vertederas regulables que al moverse crean una ranura en el suelo y al mismo tiempo desplazan la tierra hacia los costados permitiendo obtener un surco y un lomo

adecuado. Para el tapado de semilla la vertedera se encuentra desplazada respecto al surco. (ALVARADO CHAVES, 2004)

Los caballones o lomillos formados por este implemento son voluminosos, uniformes y de vértices redondeados. (BARREIRO, y otros, 2000)



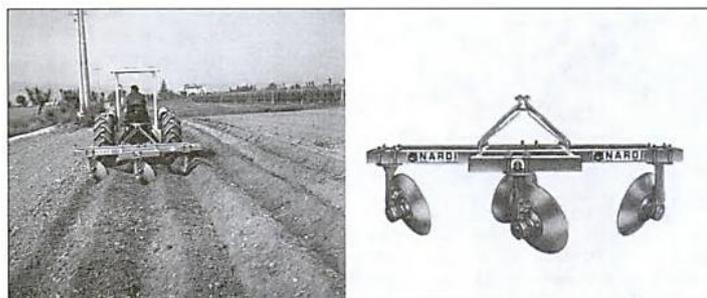
**Figura 28-2:** Alomillador de vertedera doble

Fuente: (ALVARADO CHAVES, 2004)

- *De discos*

Este tipo de implemento al igual que el anterior se utiliza para las dos labores, con la diferencia que se usa discos que van inclinados a un cierto ángulo para desplazar la tierra hacia los costados y formar el surco o el caballón, la altura del caballón depende del diámetro del disco. (ALVARADO CHAVES, 2004)

El uso de estos discos requieren de una tracción menor y se emplea cuando se realiza un aporcado durante el crecimiento del cultivo, por lo general el caballón que se forma es de vértices planos. (BARREIRO, y otros, 2000)



**Figura 29-2:** Alomillador de discos

Fuente: (ALVARADO CHAVES, 2004)

#### ***2.5.4 Análisis de las máquinas sembradoras de papas***

Realizando un análisis de las sembradoras existentes en el mercado determinamos que cada fabricante posee sus propios modelos, dependiendo del número de hileras, capacidad y funciones en el proceso de siembra. Las características más importantes analizadas de cada marca son un referente para el diseño y construcción de nuestra sembradora de papas, las mismas que se detalla en la tabla 2.8.

En esta tabla de acuerdo a un análisis de los datos se concluye que la capacidad de la tolva de semilla de nuestra sembradora se encuentra dentro del rango establecido, solo algunas marcas disponen de un sistema fertilizador. En la distancia entre hileras los datos difieren porque se deben adaptar a las características de siembra de la Hacienda, en cuanto a la distancia entre semilla los datos propuestos si se encuentran dentro de los parámetros mencionados. Los dispositivos más utilizados en las sembradoras son: sistema de distribución de semillas por cangilones sin corrección de errores, surcadores de vertedera y tapadores de disco, de acuerdo con estas características analizadas es conveniente utilizar estos dispositivos en el diseño de la máquina propuesta.

**Tabla 8-2:** Características de sembradoras de papas existentes en el mercado

Marca	TKS		MONTANA			F.LLI SPEDO	WATANABE	MUSAMA	
N° de hileras	2	4	1	2	3	2	2	2	3
Cap. Tolva	650 kg 1000 kg	1250 kg	100 L	600 L	800 L	300 L	100 kg	350 kg	300 kg
D. Entre hileras (cm)	70-90	70-90	70-100	70-100	70-100	70-75-80-90-100	-----	75-85 90-110	62-72
D. Entre semilla (cm)	10-62 14-88	10-62 14-88	14-50	14-50	14-50	14-50	25-30-35-40	30-70	28-32-34
Ancho (cm)	-----	324.5	120	175	200-250	170	140	240	161
Largo (cm)	193.5	-----	120	166	170	170	90	168	135
Altura (cm)	165.5	-----	170	170	170	170	109	180	151
Peso vacío (kg)	1210 1315	1840	270	520	890	420	150	860	244
Fertilizador	Si	No	Si	Si	Si	No	No	Si	Si
Distribución de semillas	Cangilón	Cangilón	Cangilón	Cangilón	Cangilón	Cangilón	Cangilón	Cangilón	Cangilón
Surcador	Reja	Reja	Reja	Reja	Reja	Reja	Reja	Reja	Reja
Tapador	Disco	Disco	Reja	Reja	Reja	Disco	Disco	Reja	Reja
Corrección Err.	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

## 2.6. Metodología de diseño

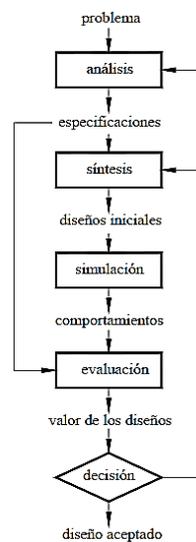
Según (RIBA ROMEVA, 2002), “Metodología de diseño es el estudio de los métodos que tiene aplicación a las actividades de diseño, y que responden a dos cuestiones principales: ¿Qué hacer? Y ¿Cómo hacer?”.

Entre las metodologías más empleadas tenemos las siguientes:

- *Ingeniería concurrente*. Se utiliza en el diseño y fabricación de un producto en la que interviene varios campos de la ingeniería
- *Diseño experimental*. Se usa cuando se pretende realizar una investigación, es decir cuándo se va a crear un nuevo producto.
- *Diseño para la manufactura y ensamble*. Se utiliza para la producción en grandes cantidades, minimizando el costo y manteniendo la calidad del producto.
- *Ciclo de diseño*. Esta metodología es la más utilizada en proyectos de titulación, ya que es la unidad básica para el diseño.
- *Herramientas CAD/CAE*. Actualmente son ampliamente utilizados para el modelado y prototipado de productos.

De acuerdo a las metodologías anteriores, en nuestro estudio se utilizó el ciclo básico de diseño y las herramientas CAD/CAE, porque estas se adaptan mejor a las características de nuestra tesis.

- *Ciclo básico de diseño*



**Figura 30-2:** Ciclo básico del diseño

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

El ciclo básico de diseño consta de cinco actividades como son: el análisis de las características que debe tener el producto para formular las especificaciones, la síntesis en la que se genera soluciones que cumplan con las especificaciones, la simulación en la cual a partir de prototipos se obtiene el comportamiento del producto, la evaluación en la que se contrasta los comportamientos con las especificaciones y la decisión en la que se determina la solución a seguir. (RIBA ROMEVA, 2002)

Dentro de la metodología de diseño existen 3 tipos de modelos:

- *Modelo del ciclo básico del diseño.* Se aplica iterativamente en la etapa inicial, intermedia o final del proceso de diseño. (RIBA ROMEVA, 2002)
- *Modelo de etapas del proceso de diseño.* Este modelo se aplica solamente al diseño, de manera que establece las etapas para resolver un problema y la secuencia para ejecutarlas. (RIBA ROMEVA, 2002)
- *Modelo de etapas del proceso de desarrollo.* Este modelo además del diseño incluye la planificación de la producción y comercialización. (RIBA ROMEVA, 2002)

Para nuestro estudio vamos a utilizar el modelo de etapas del proceso de diseño, el mismo que consta de cuatro fases en las que se obtienen los resultados necesarios para continuar con el proceso, los resultados obtenidos en cada etapa se muestran en la siguiente tabla. (RIBA ROMEVA, 2002)

**Tabla 9-2:** Etapas del proceso de diseño

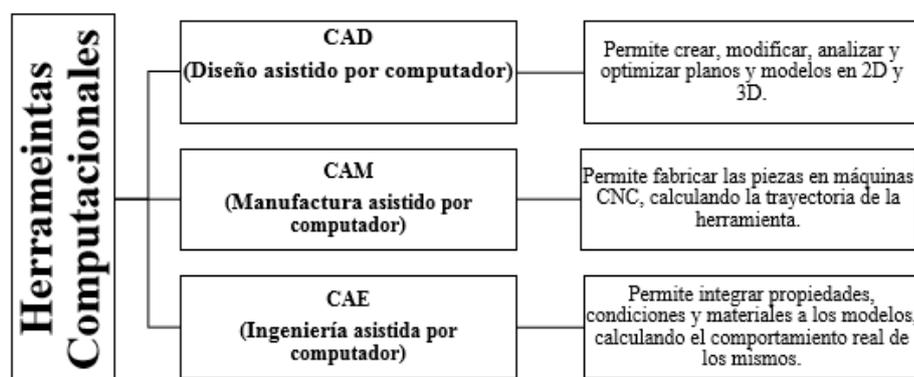
<b>Etapas</b>	<b>Definición</b>	<b>Resultado</b>
1	Definición del producto	Especificación
2	Diseño conceptual	Principios de solución, estructura funcional, estructura modular
3	Diseño de materialización	Planos de conjunto
4	Diseño de detalle	Planos de pieza, documentos de fabricación

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

- *Definición del producto.* En esta etapa se establece las especificaciones que debe poseer el producto, las mismas que puede ser proporcionadas por el cliente o un estudio de mercado. Para esta etapa se utiliza herramientas como: Lluvia de ideas y matriz QFD (RIBA ROMEVA, 2002)

- *Diseño conceptual.* En esta segunda etapa se recoge la información de la primera para proporcionar alternativas de solución al problema, y se evalúa cada solución para determinar la más adecuada. Se utilizan las siguientes herramientas: Estructura funcional y estructura modular (RIBA ROMEVA, 2002)
  - *Diseño de materialización.* En esta tercera etapa se determina las formas, dimensiones y materiales de cada uno de los componentes del producto, utilizando criterios técnicos y económicos, además se puede simular en softwares computacionales para ensayar y validar soluciones. En esta etapa como resultado se obtienen los planos de conjunto en el que se muestra con dimensiones reales como están conectadas las piezas en el conjunto ensamblado. (RIBA ROMEVA, 2002)
  - *Diseño de detalle.* En esta última etapa se elabora planos de cada componente del producto, necesarios para la fabricación. Para la realización de estos planos se emplea softwares computacionales, los mismos que facilitan el dimensionamiento y ubicación de acabados superficiales, soldaduras y tolerancias del producto. (RIBA ROMEVA, 2002)
- *Herramientas para el diseño.*

Con el avance de la tecnología hoy en día existen herramientas computacionales que facilitan el proceso de diseño especialmente el modelado, simulación y la generación de planos de un producto, optimizando tiempos y recursos.



**Figura 31-2:** Herramientas computacionales

Fuente: (BONILLA, 2003)

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIOS PREVIOS Y DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA SEMBRADORA DE PAPAS

El capítulo tiene por objetivo en primer lugar proporcionar la alternativa de solución más adecuada a los requerimientos indicados por parte del cliente, siguiendo la metodología propuesta para el proceso de diseño de una máquina sembradora de papas.

El diseño conceptual parte de las especificaciones y estudios previos realizados acerca del producto a diseñarse para proporcionar las alternativas de solución aceptables de las cuales se elige una que se considera la más adecuada para solucionar el problema. (RIBA ROMEVA, 2002)

#### 3.1 Metodología de diseño de una máquina sembradora de papas

La metodología a desarrollarse para el diseño de la sembradora de papas se basa en el modelo de etapas del proceso de diseño en el cual se indican las fases para su desarrollo, las actividades a ejecutarse en cada etapa, así como los métodos o técnicas empleadas para cada actividad.

Según (RIBA ROMEVA, 2002), la metodología más utilizada es el modelo de etapas del proceso de diseño, la cual es también utilizada en otros libros escritos por autores como: Pahl & Beitz, French y la norma de los ingenieros alemanes.

En la tabla 3.1 se muestra la metodología propuesta para el diseño, la cual inicia con la etapa de estudios previos, en la cual se determina las características de la papa y los parámetros de siembra. Como segunda etapa se desarrolla el diseño conceptual para obtener la solución más adecuada de sembradora de papas, posteriormente en la tercera etapa se realiza el diseño, selección, modelado y simulación de piezas y partes que conforma la máquina. En la cuarta etapa se obtienen los planos de piezas y ensamble, para que en la siguiente etapa se proceda con la construcción y pruebas. En la etapa final una vez que la máquina esté funcionando correctamente se elabora el manual de mantenimiento, operación y el análisis de costos.

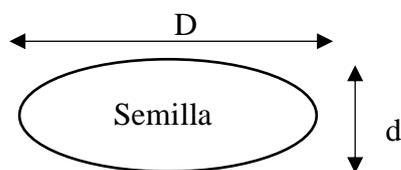
**Tabla 1-3:** Metodología de diseño de una máquina sembradora de papas

<b>Etapas de proceso</b>	<b>Actividades a desarrollar</b>	<b>Métodos, técnicas y herramientas a emplear</b>
Estudios previos de la papa y la siembra	Características de la papa	Peso, tamaño y forma
	Determinar los parámetros de siembra	Entrevista al cliente y revisión bibliográfica
Diseño conceptual de la sembradora de papas	Determinar las especificaciones	Desarrollo de la matriz QFD
	Desarrollar la estructura funcional	Funciones que realiza la máquina
	Realizar la matriz morfológica	Búsqueda de alternativas
	Evaluar las soluciones	Factores ponderados
Diseño de materialización de la sembradora de papas	Diseñar tolvas, ejes, surcadores, tapadores, cangilones, estructura, enganche al tractor, juntas empernadas y soldadas	Fórmulas, tablas y normas para el diseño de estructuras
	Selección de cojinetes, cadenas, ruedas	Catálogos
	Modelado de piezas	Software SolidWorks
	Simulación de prototipos virtuales	Software ANSYS
Diseño de detalle de la sembradora de papas	Realizar los planos de piezas	Software SolidWorks
	Realizar los esquemas ensamble	Software SolidWorks
Construcción y pruebas de la sembradora de papas	Construcción de tolvas, ejes, cangilones, estructura, enganche al tractor	Procesos de manufactura
	Ensamble de piezas y partes de la máquina	Ensamblaje
	Prueba de funcionamiento	Inspección visual
	Prueba de operación	Medición de los parámetros de siembra
Manual de mantenimiento, operación y análisis de costos	Realizar el manual de mantenimiento y operación	Manuales
	Realizar un análisis de costos	Costos directos, indirectos y totales

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 3.2 Estudios previos de la papa y la siembra

En la siguiente tabla se indica las medidas características de un cierto número de semillas facilitadas por el cliente, las mismas que son necesarias para el diseño de la sembradora de papas.



**Figura 1-3:** Dimensiones de la semilla de papas

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 2-3:** Dimensiones y peso de papas

MUESTRA	PRIMERA			SEGUNDA			TERCERA		
	D (mm)	d (mm)	Peso (kg)	D (mm)	d (mm)	Peso (kg)	D (mm)	d (mm)	Peso (kg)
1	95	72	0,25	68	50	0,08	53	46	0,05
2	97	71	0,215	63	49	0,075	47	43	0,045
3	85	59	0,135	66	61	0,1	47	45	0,05
4	93	60	0,15	59	47	0,06	53	45	0,05
5	86	65	0,18	56	50	0,065	52	43	0,04
6	81	71	0,195	59	53	0,09	56	40	0,04
7	75	57	0,125	61	48	0,06	49	41	0,035
8	68	58	0,1	60	50	0,08	44	40	0,035
9	81	55	0,12	61	48	0,07	51	39	0,04
10	97	71	0,215	61	50	0,065	45	41	0,04
<b>PROMEDIO</b>	<b>85,8</b>	<b>63,9</b>	<b>0,1685</b>	<b>61,4</b>	<b>50,6</b>	<b>0,0745</b>	<b>49,7</b>	<b>42,3</b>	<b>0,0425</b>

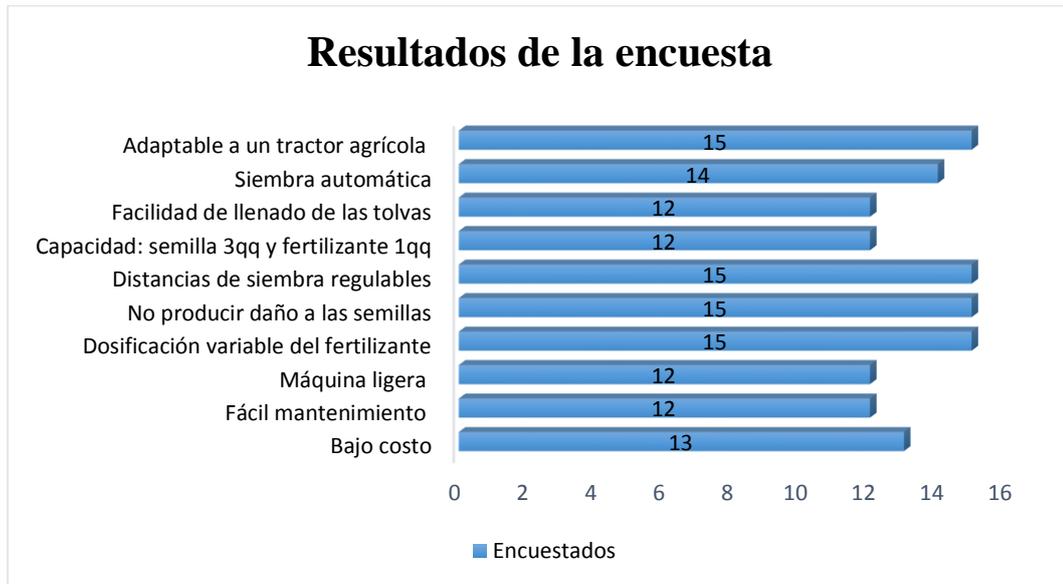
Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 3.3 Diseño conceptual de una máquina sembradora de papas

#### 3.3.1 Especificaciones de la maquina sembradora

Son las especificaciones que obligatoriamente debe tener la máquina, se basan en requerimientos y deseos por parte del usuario.

Para conocer los requerimientos que debe poseer la máquina se realizó la encuesta a 15 personas, entre estas personas se encuentra el propietario de la Hacienda. Los resultados de dicha encuesta se presentan a continuación. (ANEXO A)



**Figura 2-3:** Resultados de la encuesta

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

A partir de los resultados de la encuesta se elabora la matriz QFD para sacar los requerimientos más importantes que debe poseer la máquina sembradora de papas.

- *Voz del usuario*

Las características que la sembradora de papas tendrá son las siguientes:

- Adaptable a un tractor agrícola (existente en la hacienda)
- Capacidad: semilla 3qq y fertilizante 1qq
- Distancias de siembra regulables; entre surcos, entre semillas y profundidad
- Dosificación variable del fertilizante.
- No producir daño a las semillas
- Facilidad de llenado de las tolvas
- Siembra automática
- Bajo costo
- Fácil mantenimiento (reja del surcador intercambiable)
- Máquina ligera

- *Voz del ingeniero*

Consiste en transformar las especificaciones generadas por parte del usuario en requerimientos técnicos.

- Adaptable a un tractor agrícola —————> Fuerza motriz
- Capacidad: semilla 3qq, fertilizante 1qq —————> Volumen de tolvas
- Distancias de siembra regulables —————> Dimensiones de siembra
- Dosificación variable del fertilizante —————> Regulación de fertilizante
- No producir daño a las semillas —————> Forma del distribuidor de semillas
- Facilidad de llenado de las tolvas —————> Confort y ergonomía
- Siembra automática —————> Nivel de automatización
- Bajo costo —————> Costo de la máquina
- Fácil mantenimiento —————> Intercambiabilidad de elementos
- Máquina ligera —————> Peso

- *Casa de la calidad*

Para la evaluación de las características técnicas de la máquina sembradora de papas se recurrió al libro de (RIBA Y ROMEVA, 2002), en donde se indican los pasos para construir la Matriz QFD. (ANEXO B)

Para la matriz QFD se toma en cuenta dos máquinas para nuestra competencia (ANEXO C), las mismas que se presentan a continuación con sus respectivas fichas técnicas, las mismas que nos servirán como guía para las características de nuestra máquina.

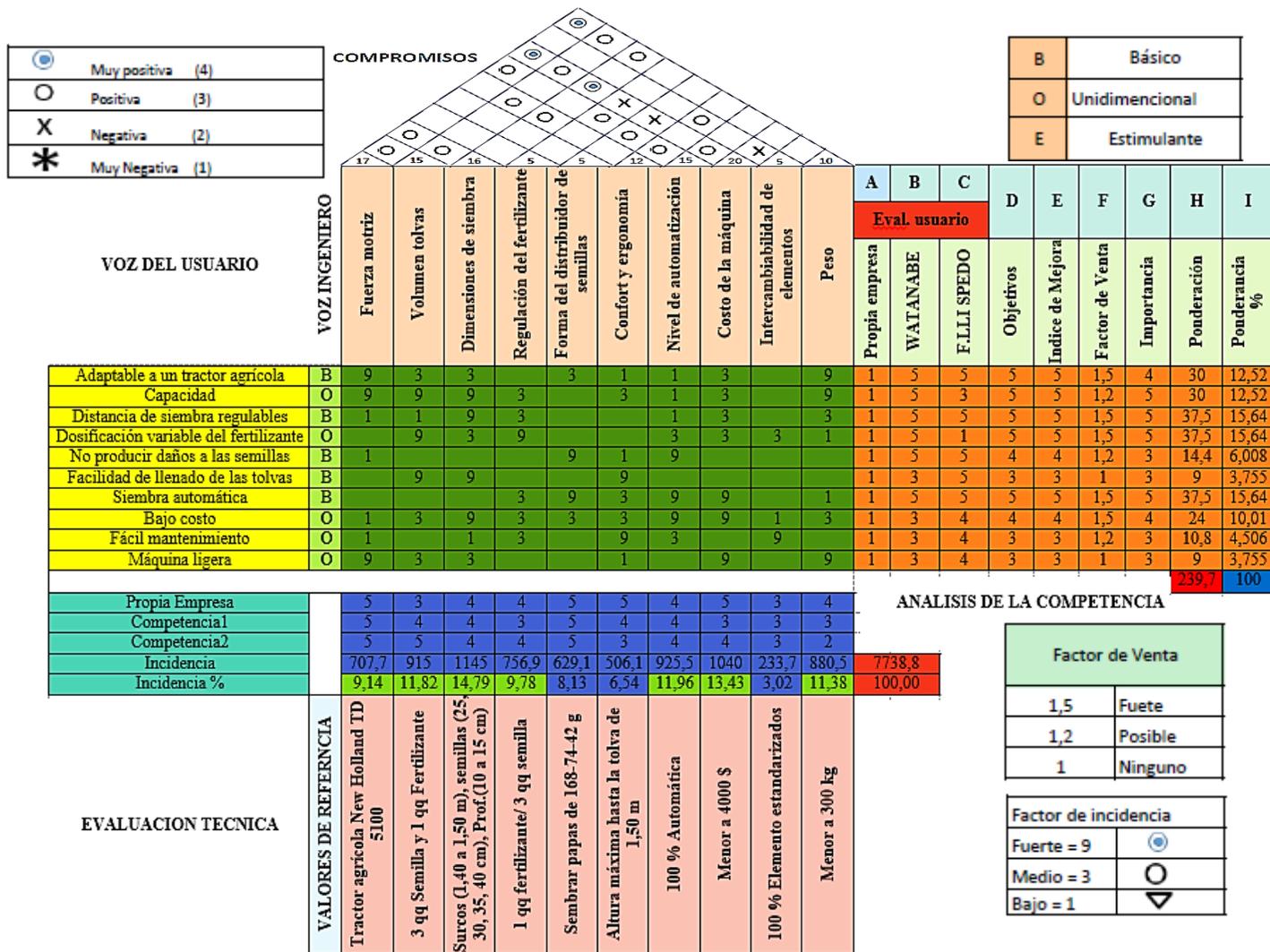
Posteriormente se procede a la elaboración de la casa de la calidad para determinar las características más importantes que debe cumplir la sembradora de papas de dos hileras con un sistema de dosificación de fertilizante, para de esta manera satisfacer las necesidades del cliente de la máquina.

**Tabla 3-3:** Sembradoras existentes en el mercado

<b>Competencia 1</b>		<b>Competencia 2</b>
<b>WATANABE</b>		<b>F.LLI SPEDO</b>
		
Longitud (m)	1,68	0,90
Ancho (m)	2,40	1,40
Altura (m)	1,80	1,09
Peso en vacío (kg)	660	150
Capacidad semilla (kg)	350	100
Capacidad abono (kg)	200	-----
Distancia entre semillas (cm)	30 hasta 70	25,30,35,40
Distancia entre hileras (cm)	90 a 110	-----
Velocidad (km/h)	4-8	4-8
Potencia mínima (HP)	110	25

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

A continuación se presenta la elaboración de la casa de la calidad siguiendo todos sus pasos para la construcción para obtener los parámetros más relevantes.



**Figura 3-3: Casa de la calidad**

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- *Resultados de la casa de calidad y especificaciones de la máquina*

Luego de culminar con la Matriz QFD, los aspectos más importantes que se debe tomar en cuenta para el diseño de la máquina sembradora de papas son los siguientes:

- **Dimensiones de siembra:** La máquina debe cumplir con una distancia entre hileras de 1.40 a 1.50 m, entre semillas de 25-30-35-40 cm, profundidad de 10 a 15 cm.
- **Costo de la máquina:** Con la finalidad de obtener una máquina más accesible por el cliente, se debe disminuir los costos que implica la producción de esta sembradora de papas.
- **Volumen de tolvas:** La capacidad de la sembradora debe ser de al menos 3 qq de semillas y 1 qq de fertilizante.
- **Peso:** Se debe utilizar materiales que sean ligeros y resistentes para disminuir el peso total de la máquina.
- **Nivel de automatización:** Se requiere una sembradora automática para disminuir los costos de producción de papas.
- **Regulación de fertilizante:** Debido a que el fertilizante se dosificara de acuerdo a las condiciones del terreno (nutrientes).
- **Fuerza motriz:** La sembradora va a ser impulsada por un tractor agrícola.

- *Especificaciones para una sembradora de papas*

Con la finalidad de establecer si las especificaciones dadas por el usuario son requerimientos o deseos que sirvan en el diseño, se elabora la siguiente tabla.

**Tabla 4-3:** Especificaciones de una sembradora de papas

<b>Autores:</b> Gandhy Porras Roberto Gavilanes		<b>Producto:</b> Sembradora de papas de dos hileras con un sistema de dosificación de fertilizante		Hoja N° 1
<b>Especificaciones</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>	
<b>Función</b>	C	R	Abrir el surco Distribución de semilla Dosificación e fertilizante Tapado de la semilla	
<b>Capacidad</b>	C	D	3 qq de semilla, 1 qq de fertilizante	

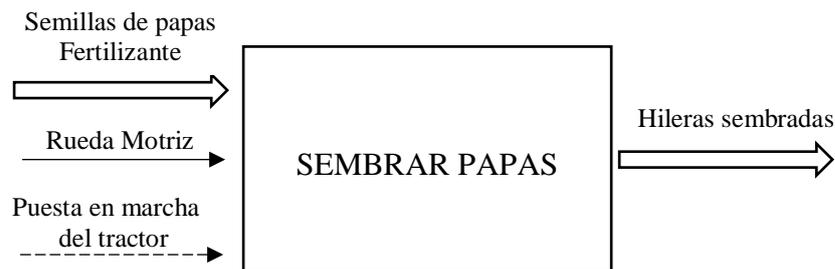
**Continuación Tabla 4-3:** Especificaciones de una sembradora de papas

<b>Dimensión</b>	C+I	R	Distancia entre: Semilla (25-30-35-40 cm), hileras (1.40 a 1.50 m), profundidad (10 a 15 cm)
<b>Movimiento</b>	C+I	R	Horizontal, de arrastre por un tractor agrícola
<b>Fuerzas</b>	C	R	Tractor agrícola
<b>Materiales</b>	I	R	Aceros y otros materiales
<b>Mantenimiento</b>	C+I	R	Rejas intercambiables del surcador
<b>Costos</b>	C+I	D	Presupuesto aproximadamente de 4000 \$
<b>C: Cliente, I: Investigadores, R: Requerimiento, D: Deseo</b>			

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

### 3.3.2 Estructura funcional de la sembradora de papas

La máquina sembradora de papas realiza todo el proceso de siembra de forma simultánea, este proceso consiste en cuatro labores agrícolas: apertura del surco, depósito de semilla, dosificación del fertilizante y el tapado.



**Figura 4-3:** Función principal de la sembradora

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

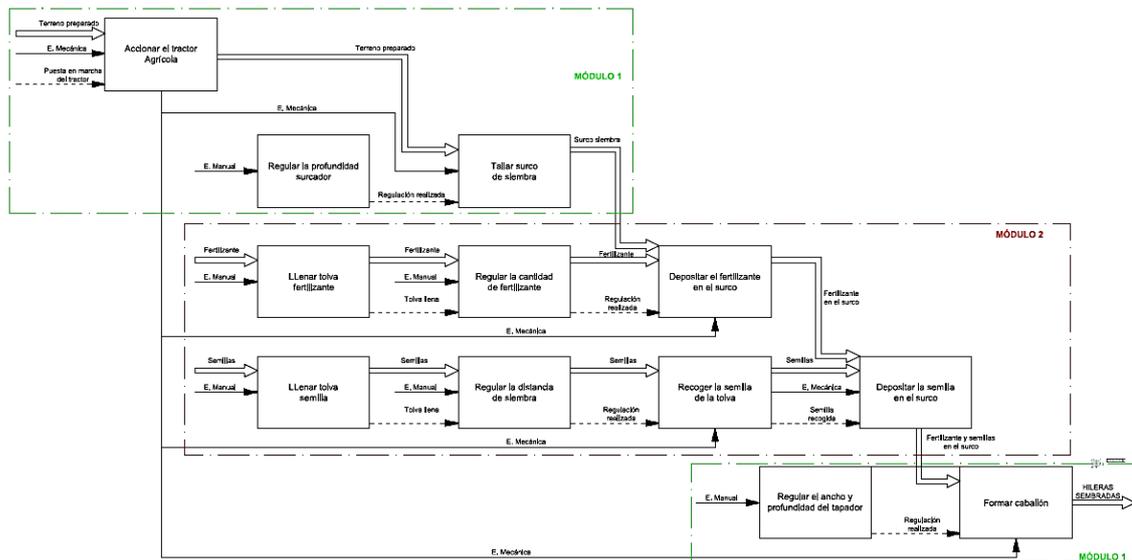
Para que la sembradora realiza la función principal, es necesario dotar de las siguientes variables de entrada:

- Materia: Semillas de papas y fertilizante.
- Energía: Rueda motriz.
- Señal: Puesta en marcha del tractor agrícola.

Y como resultado tenemos:

- Materia: Hileras sembradas

En la figura que se muestra a continuación se indican las funciones secundarias de la máquina, las mismas que se encuentra divididas por bloques para facilitar el diseño, y debido a que estas funciones no son muy complejas, la máquina en su totalidad constituye dos módulos. (ANEXO D)



**Figura 5-3:** Definición de Módulos

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 3.4 Matriz morfológica

Para realizar la matriz morfológica es necesario analizar primero las ventajas y desventajas de los mecanismos, dispositivos y elementos que se utilizan en el diseño de este tipo de máquinas para obtener varias soluciones al problema.

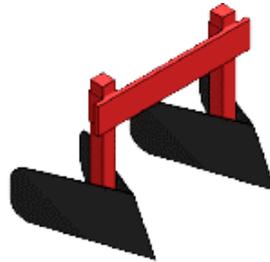
#### 3.4.1 Solución a cada módulo

Basado en las funciones secundarias que realiza la sembradora de papas, en este apartado se analizará las ventajas y desventajas de los mecanismos, dispositivos y elementos que permiten realizar dichas funciones, el funcionamiento de todos estos componentes se describe en el Capítulo II. Entre los módulos que se analiza tenemos:

### 3.4.1.1 Módulo 1: Surcador y tapador

Se utiliza de tipo vertedera o disco para ambas labores agrícolas.

#### - *De vertedera*



**Figura 6-3:** Surcador y tapador de vertedera

**Realizado por:** Porras G., Gavilanes R. 2018

#### *Ventajas*

- Crean surcos en forma de V.
- Menos afectados por la velocidad hacia adelante.
- Buena penetración.
- No hay enredado de malezas.
- Utilizado en suelos sueltos y limpios.

#### *Desventajas*

- Problema con piedras y obstáculos.
- Requiere de una reja bien afilada.
- Movimiento considerable del suelo dependiendo de la forma y el ancho.
- Inadecuado para suelos húmedos.

#### - *De disco*



**Figura 7-3:** Surcador y tapador de disco

**Realizado por:** Porras G., Gavilanes R. 2018

### *Ventajas*

- Crean surcos en forma de V.
- Fácil manejo de los residuos.
- Mejor acción con diámetros diferentes y discos desalineados (mejor corte).

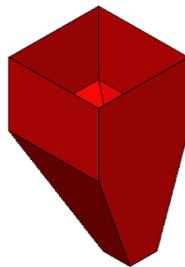
### *Desventajas*

- Necesita limpiadores.
- Alta fuerza de penetración.
- Enredado de residuos en los discos.
- El suelo debe estar bien preparado. (FRIEDRICH, 2006)

### *3.4.1.2 Módulo 2: Dosificador de fertilizante y sistema de distribución de semillas*

**Tolvas:** Las más utilizadas son de tipo rectangular y cónica.

- *Rectangular*



**Figura 8-3:** Tolva rectangular

**Realizado por:** Porras G., Gavilanes R. 2018

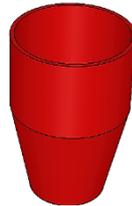
### *Ventajas*

- Costo medio.
- Permite recibir y acumular la materia prima para posteriormente dosificar al siguiente subsistema.
- Tiempo de construcción bajo.
- Utilizada en la mayoría de sembradoras de papas.

### *Desventajas*

- Dobleces repetitivos lo que ocasiona una construcción de dificultad moderada.
- Debido a los dobleces no permite un flujo contante de la materia prima y es poco constante.
- Mantenimiento ocasional debido al desgaste de las paredes.

### - *Cónica*



**Figura 9-3:** Tolva cónica

**Realizado por:** Porras G., Gavilanes R. 2018

### *Ventajas*

- Mantenimiento mínimo.
- Permite recibir y acumular la materia prima para su posterior dosificación.
- Proporciona un flujo constante de materia prima.

### *Desventajas*

- Nivel de construcción complejo.
- Costo de construcción elevado
- Tiempo de construcción medio. (NARANJO IZURIETA, 2015)

**Dosificadores de fertilizante:** Los mecanismos más utilizados en la dosificación de fertilizantes sólidos por hileras son los que se mencionan a continuación.

### - *Helicoidal con rosca sin fin*



**Figura 10-3:** Tipo tornillo sin fin

**Realizado por:** Porras G., Gavilanes R. 2018

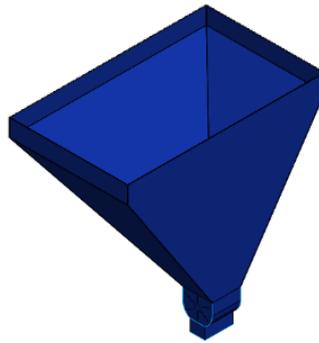
### *Ventajas*

- Ocupa menos espacio.
- Es el más utilizado por los fabricantes
- Flujo continuo.

### *Desventajas*

- La cantidad de fertilizante se varía solamente con la velocidad de rotación, aunque existen mecanismos que también poseen regulación por compuerta.

### - *Roseta*



**Figura 11-3:** Tipo roseta

**Realizado por:** Porras G., Gavilanes R. 2018

### *Ventajas*

- Fácil de construir.
- Ocupa menos espacio.
- Flujo continuo.

### *Desventajas*

- Menor precisión con respecto al de tornillo sin fin.
- La cantidad de fertilizante se varía solamente con la velocidad de rotación.

- *Plato giratorio de discos horizontales rotativos*



**Figura 12-3:** Tipo plato giratorio

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

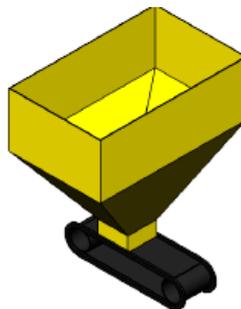
*Ventajas*

- Fácil de construir.
- Ocupa menos espacio.
- Flujo intermitente.

*Desventajas*

- La cantidad de fertilizante se varía solamente con la velocidad de rotación.

- *Correas continuas*



**Figura 13-3:** Tipo correas

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

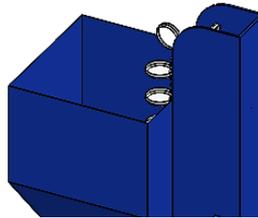
*Ventajas*

- La cantidad de fertilizante se varía con la velocidad de rotación y por la apertura de la compuerta.
- Se utiliza para grandes distancias.
- Flujo continuo.

### *Desventajas*

- Alto costo.
- Alineación entre los ejes de las poleas.
- Necesita de mayor espacio.

### - *Cangilones*



**Figura 14-3:** Tipo cangilones

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### *Ventajas*

- Se utiliza para alturas considerables.
- Flujo intermitente.

### *Desventajas*

- Alineación entre los ejes de las poleas.
- Necesita de mayor espacio.

**Distribuidores de semillas:** Los mecanismos utilizados en la distribución de semillas en las sembradoras de papas son las que se muestran a continuación.

### - *Tubo de caída con indicador acústico*



**Figura 15-3:** De tubo de caída

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

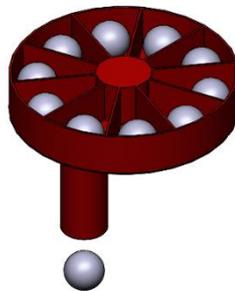
### *Ventajas*

- Posee menos accesorios.
- Menor costo de la máquina.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil de construir.

### *Desventajas*

- Necesita un operario para colocar las semillas.
- Falla en la distancia de siembra.
- No existe regulación de distancias entre papas.
- Desprendimiento de los brotes de la semilla.

- *Rueda de alveolos horizontal con tubo de caída*



**Figura 16-3: De alveolos horizontales**

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

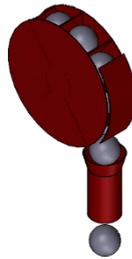
### *Ventajas*

- No existe falla en la distancia de siembra.
- Fácil de construir.

### *Desventajas*

- Necesita un operario para colocar las semillas.
- Desprendimiento de los brotes de la semilla.
- Necesita más mantenimiento que el anterior.

- *Rueda de alveolos vertical con o sin tubo de caída*



**Figura 17-3:** De alveolo vertical

**Realizado por:** Porras G., Gavilanes R. 2018

*Ventajas*

- No existe falla en la distancia de siembra.
- Fácil de construir.

*Desventajas*

- Necesita un operario para colocar las semillas.
- Desprendimiento de los brotes de la semilla.

- *Rueda de alveolos horizontal con rueda de alveolos vertical*



**Figura 18-3:** De alveolos horizontales con rueda de alveolos vertical

**Realizado por:** Porras G., Gavilanes R. 2018

*Ventajas*

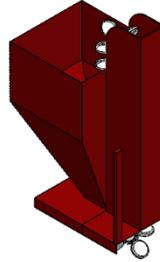
- No existe falla en la distancia de siembra.
- Fácil de construir

*Desventajas*

- Necesita un operario para colocar las semillas.

- Desprendimiento de los brotes de la semilla.
- Debe poseer un perfecto sincronismo entre las dos ruedas.

- *Cadena de cangilones*



**Figura 19-3:** Cangilones

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

#### *Ventajas*

- No necesita operario, ya que el sistema es automático.
- Menor costo en el proceso de siembra.
- No existe falla en la distancia de siembra.
- Menor riesgo de desprendimiento de los brotes de la semilla.

#### *Desventajas*

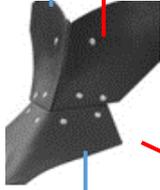
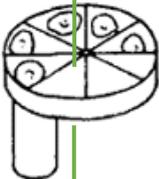
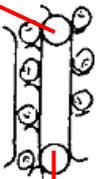
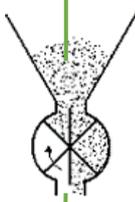
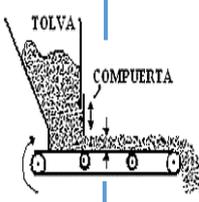
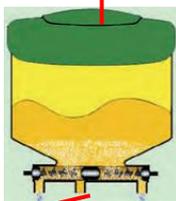
- Necesita una adecuada alineación de cadenas.
- Daños por la tierra en el mecanismo.

### **3.4.2 Matriz morfológica de alternativas para la máquina sembradora**

En este apartado obtendremos las alternativas de solución más adecuadas para resolver este problema, para lo cual partimos de las especificaciones del usuario, mecanismos o dispositivos existentes para cada función de la máquina y del análisis de las máquinas sembradoras existente en el mercado.

La matriz morfológica de alternativas se elabora considerando las combinaciones más convenientes para formular una solución que cumpla con los requerimientos anteriores, en la siguiente tabla se muestra el procedimiento desarrollado para hallar las posibles soluciones.

**Tabla 5-3:** Matriz morfológica de alternativas

Denominación	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Tolva			
Surcador			
Distribuidores de semilla			
Dosificadores de fertilizantes			
Tapador			

**Solución 1**

**Solución 2**

**Solución 3**

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

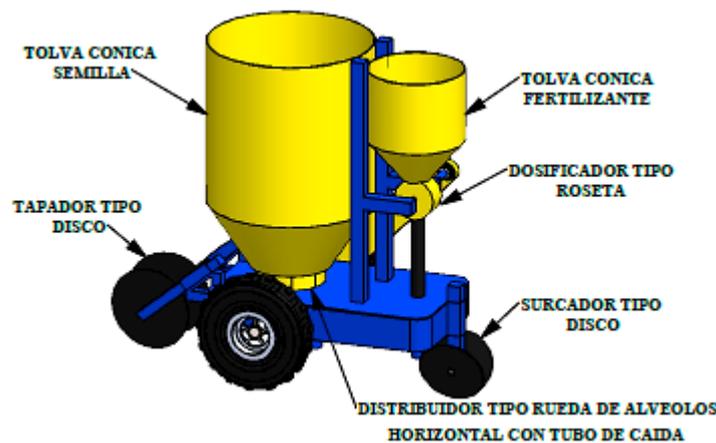
Al culminar con la tabla de la matriz morfológica y considerando la voz del usuario se obtiene tres alternativas de soluciones para máquina, los dispositivos utilizados en cada solución coinciden con los que más se emplean por los fabricantes de sembradoras de papas.

### 3.5 Descripción de las alternativas de solución

A continuación se muestra los esquemas y características de las tres soluciones desarrolladas en este proyecto, cabe indicar que todas realizan las mismas funciones simultáneamente, pero se diferencian en las ventajas y desventajas de acuerdo a los mecanismos y elementos que emplea cada solución.

El funcionamiento de las soluciones empieza mediante la fuerza de tiro dotada por un tractor agrícola que desplaza la máquina permitiendo realizar el surco y al mismo tiempo accionando la rueda de tracción de la máquina proporcionando así el movimiento para el sistema dosificador de fertilizante y el sistema de distribución de semillas. El sistema dosificador de fertilizante recoge el abono desde la tolva y lo transporta hacia el surco, posteriormente el sistema distribuidor de semillas recoge las papas de la tolva y lo deposita dentro del surco, finalmente la semilla es cubierta por una capa de tierra realizada por un tapador.

#### 3.5.1 Solución 1



**Figura 20-3:** Esquema de la Solución 1

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

La solución 1 está compuesta por dos tolvas cónicas, una para el fertilizante y otra para la semilla, un surcador tipo disco, un distribuidor de semillas tipo rueda de alveolos horizontal con tubo de caída, un dosificador de fertilizante tipo roseta y un tapador por disco.

#### *Ventajas*

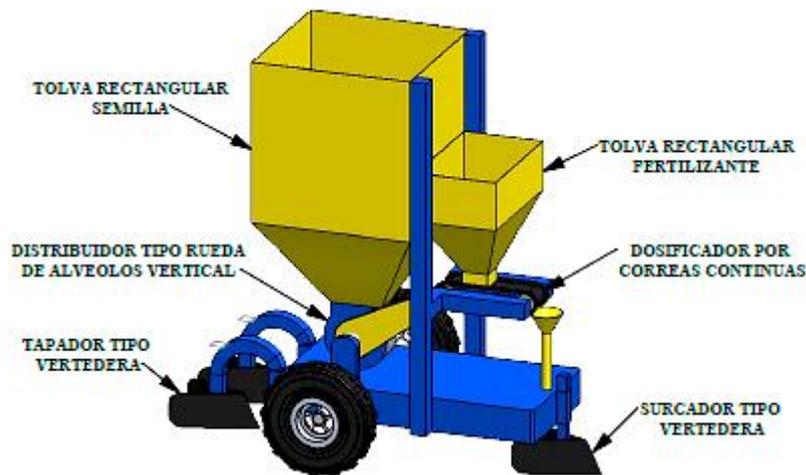
- Facilidad para formar el caballón al utilizar tapador tipo disco.

- Requiere poco espacio para el dosificador de fertilizante.
- Fácil construcción del distribuidor de fertilizante.

#### *Desventajas*

- Enredado de malezas en los discos.
- Los discos requieren mayor fuerza de penetración.
- Cortes en las semillas debido al tipo de distribuidor de semillas.
- Elevado nivel de construcción y costo de las tolvas.
- Menor precisión de dosificación de fertilizante.
- Mecanismo más complejo para transmitir movimiento entre ejes perpendiculares.

#### 3.5.2 *Solución 2*



**Figura 21-3:** Esquema de la Solución 2

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

La solución 2 está compuesta por dos tolvas rectangulares, una para el fertilizante y otra para la semilla, un surcador de vertedera, un distribuidor de semillas tipo rueda de alveolos vertical, un dosificador de fertilizante a través de banda y compuerta y un tapador tipo vertedera.

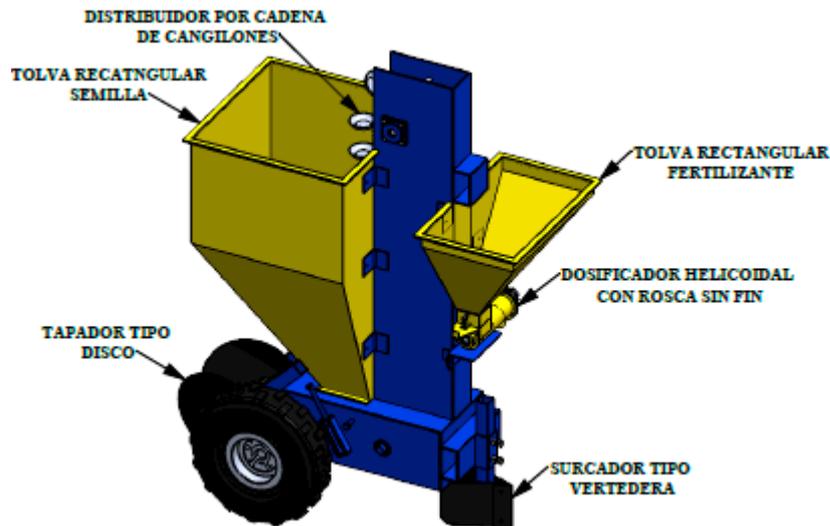
#### *Ventajas*

- Bajo tiempo y costo de construcción de las tolvas.
- No hay enredo de malezas.
- Dosificador con dos posibilidades de regulación (velocidad de rotación y compuerta).

### *Desventajas*

- Requiere de mayor espacio para el dosificador por banda.
- Dificultad para formar el caballón debido al tapador tipo vertedera.
- Corte de semillas debido al tipo de distribuidor de semillas.
- Requiere alineación entre los ejes de poleas que mueven la banda.

### **3.5.3 Solución 3**



**Figura 22-3:** Esquema de la Solución 3

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

La solución 3 está compuesta por dos tolvas rectangulares, una para el fertilizante y otra para la semilla, un surcador de vertedera, un distribuidor de semillas de cadenas con cangilones, un dosificador de fertilizante por tornillo sin fin y compuerta, y un tapador por disco.

### *Ventajas*

- Bajo tiempo y costo de construcción de las tolvas.
- Requiere menor espacio para el sistema dosificador de fertilizante.
- Mejor distribución y cuidado de las semillas debido al uso de cangilones.
- Mayor precisión de dosificación debido al uso de dosificador helicoidal con rosca sin fin.
- Dos posibilidades de regulación de fertilizante (velocidad de rotación y compuerta).

### Desventajas

- Al usar discos tapadores, la máquina requiere mayor fuerza para el funcionamiento.
- Enredo de malezas en los discos

### 3.6 Evaluación de alternativas

En base a las posibles soluciones encontradas a través de la matriz morfológica de alternativas, se procede a evaluar de acuerdo a las especificaciones más relevantes de la casa de calidad para determinar la solución final para el problema. El método que se va a utilizar en la evaluación es el de factores ponderados, el cual se desarrolla a continuación.

**Tabla 6-3:** Evaluación de las especificaciones más relevantes

	Dimensiones siembra	Costo de la máquina	Volumen de tolvas	Peso	Nivel de Auto.	Regulación de Fert.	Fuerza motriz	Economía	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Dimensiones de siembra</b>	---	1	0,5	1	0,5	0,5	1	1	6,5	0,18
<b>Costo de la máquina</b>	0	---	0	1	0	0	1	0,5	3,5	0,10
<b>Volumen de tolvas</b>	0,5	1	---	1	0,5	0,5	1	1	6,5	0,18
<b>Peso</b>	0	0	0	---	0	0	0,5	0,5	2	0,06
<b>Nivel de automatización</b>	0,5	1	0,5	1	---	0,5	1	1	6,5	0,18
<b>Regulación de fertilizante</b>	0,5	1	0,5	1	0,5	---	1	1	6,5	0,18
<b>Fuerza motriz</b>	0	0	0	0,5	0	0	---	0	1,5	0,04
<b>Economía</b>	0	0,5	0	0,5	0	0	1	---	3	0,08
<b>SUMA</b>									<b>36</b>	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 7-3:** Evaluación de las soluciones respecto a las dimensiones de siembra

<b>Dimensiones de siembra</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>	----	0,5	0,5	2	0,33
<b>Solución 2</b>	0,5	----	0,5	2	0,33
<b>Solución 3</b>	0,5	0,5	----	2	0,33
<b>SUMA</b>				<b>6</b>	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 8-3:** Evaluación de las soluciones respecto al costo de la máquina

<b>Costo de la máquina</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>	-----	1	0	2	0,33
<b>Solución 2</b>	0	-----	0	1	0,17
<b>Solución 3</b>	1	1	-----	3	0,50
<b>SUMA</b>				<b>6</b>	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 9-3:** Evaluación de las soluciones respecto al volumen de tolvas

<b>Volumen de tolvas</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>	-----	0,5	0,5	2	0,33
<b>Solución 2</b>	0,5	-----	0,5	2	0,33
<b>Solución 3</b>	0,5	0,5	-----	2	0,33
<b>SUMA</b>				<b>6</b>	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 10-31:** Evaluación de las soluciones respecto al peso

<b>Peso</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>	-----	1	1	3	0,5
<b>Solución 2</b>	0	-----	0,5	1,5	0,25
<b>Solución 3</b>	0	0,5	-----	1,5	0,25
<b>SUMA</b>				<b>6</b>	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 11-3:** Evaluación de las soluciones respecto al nivel de automatización

<b>Nivel de automatización</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>	-----	0,5	0,5	2	0,33
<b>Solución 2</b>	0,5	-----	0,5	2	0,33
<b>Solución 3</b>	0,5	0,5	-----	2	0,33
<b>SUMA</b>				<b>6</b>	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 12-2:** Evaluación de las soluciones respecto a la regulación de fertilizante

<b>Regulación de fertilizante</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>	-----	0,5	0	1,5	0,25
<b>Solución 2</b>	0,5	-----	0	1,5	0,25
<b>Solución 3</b>	1	1	-----	3	0,5
<b>SUMA</b>				<b>6</b>	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 13-3:** Evaluación de las soluciones respecto a la fuerza motriz

<b>Fuerza motriz</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>	-----	0,5	0,5	2	0,33
<b>Solución 2</b>	0,5	-----	0,5	2	0,33
<b>Solución 3</b>	0,5	0,5	-----	2	0,33
<b>SUMA</b>				<b>6</b>	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 14-4:** Evaluación de las soluciones respecto a la economía

<b>Economía</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>	-----	1	0	2	0,33
<b>Solución 2</b>	0	-----	0	1	0,17
<b>Solución 3</b>	1	1	-----	3	0,5
<b>SUMA</b>				<b>6</b>	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 15-3:** Evaluación de las soluciones

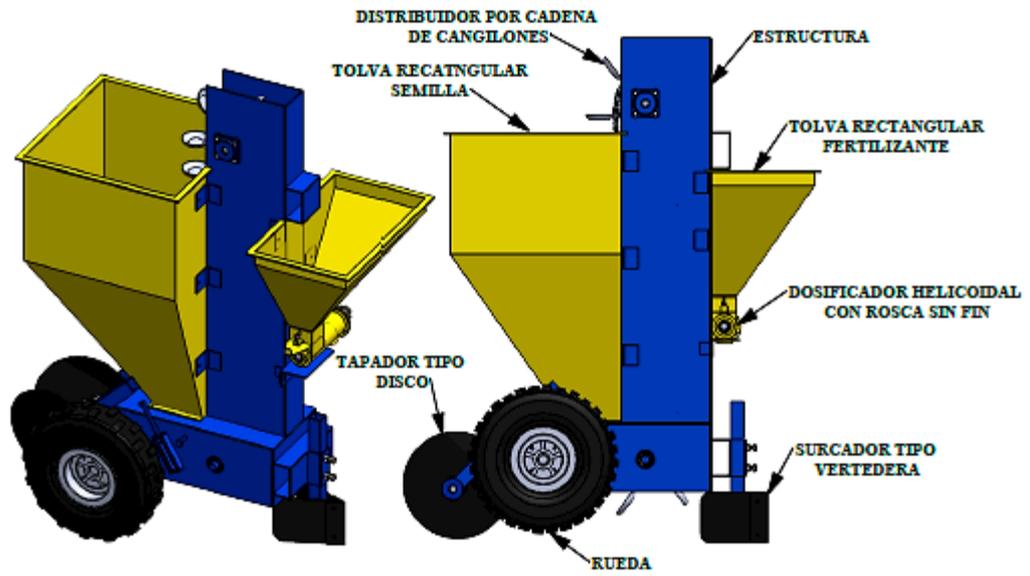
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>Dimensiones de siembra</b>	<b>Costo de la máquina</b>	<b>Volumen de tolvas</b>	<b>Peso</b>	<b>Nivel de automatización</b>	<b>Regulación de fertilizante</b>	<b>Fuerza motriz</b>	<b>Economía</b>	$\Sigma$	<b>Prioridad</b>
	<b>Solución 1</b>	0,06	0,03	0,06	0,03	0,06	0,05	0,01	0,03	0,33
<b>Solución 2</b>	0,06	0,02	0,06	0,01	0,06	0,05	0,01	0,01	0,28	3
<b>Solución 3</b>	0,06	0,05	0,06	0,01	0,06	0,09	0,01	0,04	0,39	<b>1</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Al culminar la evaluación de las soluciones respecto a las características más importantes que debe poseer la sembradora, se determina que la solución más idónea es la número 3.

### 3.7 Alternativa seleccionada

La alternativa seleccionada es la número 3 que consta de dos tolvas rectangulares (una para semilla y otra para el fertilizante), surcador tipo vertedera, distribuidor de semillas por cangilones, dosificador de fertilizante por tornillo sin fin y compuerta, y un tapador por discos, los mismo que se encargan de realizar una siembra correctamente.



**Figura 23-3:** Alternativa seleccionada con sus respectivas partes

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO DE MATERIALIZACIÓN DE LA MÁQUINA SEMBRADORA DE PAPAS

El capítulo tiene por objetivo determinar las dimensiones y materiales de los componentes que conforman la sembradora de papas, utilizando técnicas de diseño mecánico y selección de elementos estandarizados, y siguiendo la metodología propuesta en la Tabla 3.1.

#### 4.1 Cálculo de tolvas

En este apartado se determinó las dimensiones para las tolvas de semilla y fertilizante, basada en la capacidad de almacenamiento.

##### 4.1.1 Para semillas

El volumen total de la tolva se calcula a partir de la capacidad (Masa) y de la densidad aparente de la semilla.

$$V_T = \frac{m_p}{\rho_{ap}} \quad (1)$$

Donde:

$V_T$  = Volumen total de la tolva de semilla [ $m^3$ ]

$m_p$  = Masa de la semilla por tolva [kg]

$\rho_{ap}$  = Densidad aparente de la semilla [ $kg/m^3$ ]

La capacidad por tolva de semilla es de 1,5 qq (68,18 kg), la misma que tiene una densidad aparente de 500 a 600  $kg/m^3$  (densidad promedio 550  $kg/m^3$ ).

$$V_T = \frac{68,18 \text{ kg}}{550 \text{ kg/m}^3} = 0,124 \text{ m}^3 = 124000 \text{ cm}^3$$

Calculando el volumen por medio de figuras geométricas conocidas tenemos:

$$V_T = V_1 + V_2 \quad (2)$$

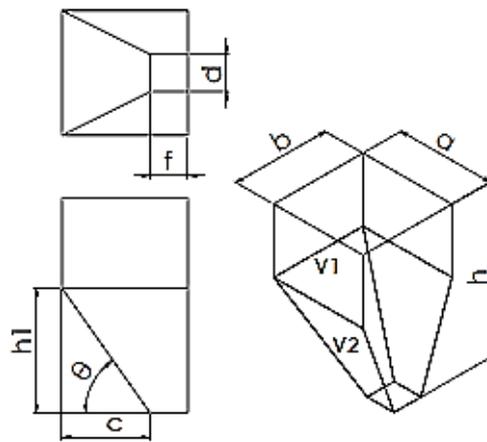
Donde:

$V_T$  = Volumen total de la tolva de semilla [m<sup>3</sup>]

$V_1$  = Volumen de la parte cúbica de la tolva [m<sup>3</sup>]

$V_2$  = Volumen del tronco de pirámide de la tolva [m<sup>3</sup>]

En la ecuación (2) reemplazamos las fórmulas del cálculo del volumen de un cubo y de un tronco de pirámide y obtuvimos la expresión (3).



**Figura 1-4:** Tolva con su respectiva nomenclatura

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$V_T = ab(h - h_1) + \frac{1}{3}h_1 \left[ ab + (a - c)(d) + \sqrt{ab(a - c)d} \right] \quad (3)$$

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{h_1}{c} \rightarrow h_1 = c * \operatorname{tg}\theta$$

De la ecuación (3) despejamos h, reemplazamos  $H_1$  Y considerando que el volumen de la tolva sea  $1,20 V_T$  (20 % mayor para evitar que las semillas se caigan), tenemos:

$$h = \frac{1,20 V_T - \frac{1}{3}c * \operatorname{tg}\theta \left[ ab + (a - c)(d) + \sqrt{ab(a - c)d} \right]}{ab} + c * \operatorname{tg}\theta \quad (4)$$

Asumiendo:

$$a = 50 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$d = 15 \text{ cm}$$

$$f = 15 \text{ cm}$$

$$\theta = 55^\circ \text{ (recomendado hasta } 60^\circ)$$

Entonces:

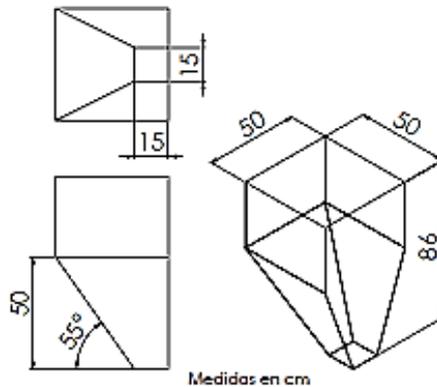
$$c = a - f = 50 - 15 = 35 \text{ cm}$$

Reemplazando en la ecuación (4) obtenemos el valor de la altura  $h$ :

$$h = 86,35 \text{ cm}$$

Finalmente las dimensiones de tolva de semilla son las siguientes:

$$a = 50 \text{ cm}, b = 50 \text{ cm}, d = 15 \text{ cm}, f = 15 \text{ cm}, h_1 = 50 \text{ cm}, h = 86 \text{ cm}$$



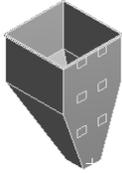
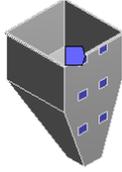
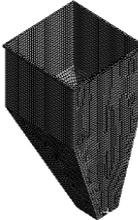
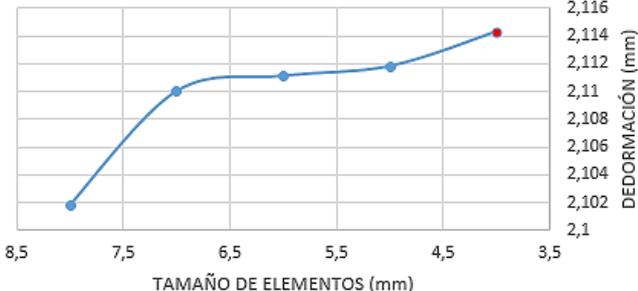
**Figura 2-4:** Dimensiones finales de la tolva de semilla

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

#### - *Análisis por MEF para la tolva de semilla*

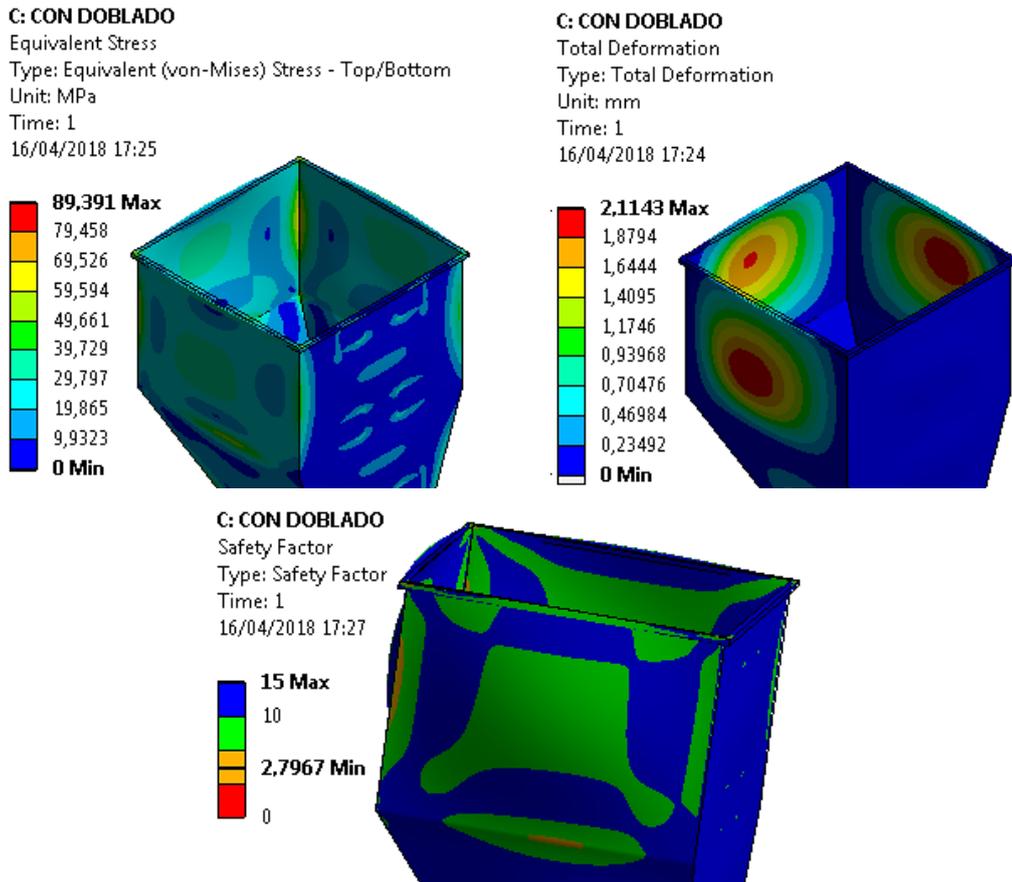
Para determinar el espesor de la tolva se realizó con la ayuda del software ANSYS, en donde se asignó la presión que ejerce la semilla sobre las caras y los apoyos de la tolva. El material utilizado es un ASTM A36 debido a que las papas no se encuentran almacenadas por mucho tiempo y las semillas no son directamente consumidas, además se usará un recubrimiento de maquinaria agrícola.

**Tabla 1-4:** Datos para el análisis por MEF para la tolva de semilla

<b>Geometría</b>	Tipo superficie																
<b>Material</b>	ASTM A36, 2 mm de espesor (ANEXO E)																
<b>Restricciones</b>	Apoyo A (Espaldar)	Fixed Support (Empotrado)															
	Apoyo B (Piso)	Fixed Support (Empotrado)															
<b>Cargas</b>	Presión en todas las caras	4635,4 Pa															
<b>Mallado</b>	Método	Multi zone All quad															
	Número de nodos	92822															
	Número de elementos	92484															
	Calidad de malla	0,98769															
<b>Convergencia</b>																	
<p>CONVERGENCIA</p>  <table border="1"> <caption>Data points for the Convergence Plot</caption> <thead> <tr> <th>Tamaño de Elementos (mm)</th> <th>Deformación (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8.5</td> <td>2.102</td> </tr> <tr> <td>7.5</td> <td>2.108</td> </tr> <tr> <td>6.5</td> <td>2.112</td> </tr> <tr> <td>5.5</td> <td>2.112</td> </tr> <tr> <td>4.5</td> <td>2.114</td> </tr> <tr> <td>3.5</td> <td>2.116</td> </tr> </tbody> </table>				Tamaño de Elementos (mm)	Deformación (mm)	8.5	2.102	7.5	2.108	6.5	2.112	5.5	2.112	4.5	2.114	3.5	2.116
Tamaño de Elementos (mm)	Deformación (mm)																
8.5	2.102																
7.5	2.108																
6.5	2.112																
5.5	2.112																
4.5	2.114																
3.5	2.116																

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

## Resultados de la simulación:



**Figura 3-4:** Resultados del análisis por MEF de la tolva de semilla

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

El factor de seguridad se consideró de acuerdo a las recomendaciones de (ÁLVAREZ MEJIA, 2007), en la que nos propone el siguiente rango de coeficientes:

$n = [1,25 \text{ a } 1,5]$  → Materiales muy confiables, usados bajo condiciones controlables y expuestas a cargas y tensiones que son definitivamente conocidas. El factor de seguridad se usa cuando minimizar el peso de la mayor importancia.

$n = [1,5 \text{ a } 2]$  → Materiales bien conocidos, utilizados en condiciones estables y sometidas a cargas que se pueden determinar con exactitud.

$n = [2 \text{ a } 2,5]$  → Materiales usuales a cargar usuales que pueden determinarse con precisión habitual. (ÁLVAREZ MEJIA, 2007)

Para el diseño se consideró un factor de seguridad mayor que 1,5.

#### 4.1.2 Para fertilizante

El volumen total de la tolva se calcula a partir de la capacidad (Masa) y de la densidad del fertilizante.

$$V_T = \frac{m_f}{\rho_f} \quad (5)$$

Donde:

$V_T$  = Volumen total de la tolva de fertilizante [ $m^3$ ]

$m_f$  = Masa de fertilizante por tolva [kg]

$\rho_f$  = Densidad del fertilizante [ $kg/m^3$ ]

La capacidad por tolva de fertilizante es de 0,5 qq (22,73 kg), la misma que tiene una densidad 1030  $kg/m^3$ .

$$V_T = \frac{22,73 \text{ kg}}{1030 \text{ kg}/m^3} = 0,022 \text{ m}^3 = 22067,96 \text{ cm}^3$$

Utilizando la ecuación (4) y considerando el 1,20  $V_T$  (20 % mayor para evitar que el fertilizante se derrame) se determina la altura  $h$ .

Asumiendo:

$$a = 30 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$d = 7 \text{ cm}$$

$$f = 7,2 \text{ cm}$$

$$\theta = 55^\circ \text{ (recomendado hasta } 60^\circ)$$

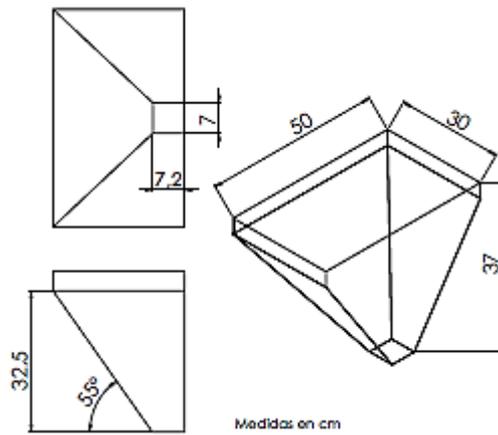
$$c = a - f = 30 - 7,2 = 22,8 \text{ cm}$$

Entonces el valor de la altura  $h$  es el siguiente:

$$h = 37 \text{ cm}$$

Finalmente las dimensiones de tolva de fertilizante son las siguientes:

$$\mathbf{a} = 30 \text{ cm}, \mathbf{b} = 50 \text{ cm}, \mathbf{m} = 7 \text{ cm}, \mathbf{f} = 7,2 \text{ cm}, \mathbf{h}_1 = 32,5 \text{ cm}, \mathbf{h} = 37 \text{ cm}$$



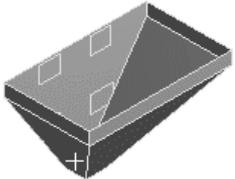
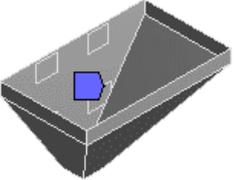
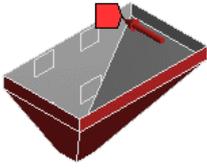
**Figura 4-4:** Dimensiones finales de la tolva de fertilizante

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

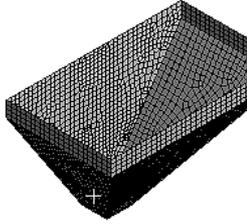
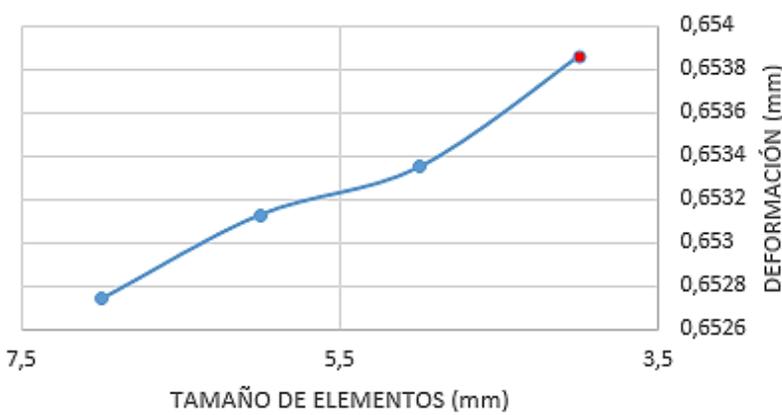
- *Análisis por MEF para la tolva del fertilizante*

Al igual que la tolva anterior, para determinar el espesor se utilizó el software ANSYS, en donde se asignó la presión que ejerce el fertilizante sobre las caras y los apoyos de la tolva. El material utilizado es un AISI 430 debido a que el fertilizante contiene agentes corrosivos y este material seleccionado es resistente a la corrosión (Agua, ácidos y soluciones alcalinas) y ataques químicos del ambiente.

**Tabla 2-4:** Datos para el análisis por MEF para la tolva de fertilizante

<b>Geometría</b>	Tipo superficie		
<b>Material</b>	AISI 430, 2 mm de espesor (ANEXO F)		
<b>Restricciones</b>	Apoyo A (Espaldar)	Fixed Support (Empotrado)	
<b>Cargas</b>	Presión en todas las caras	3734,78 Pa	

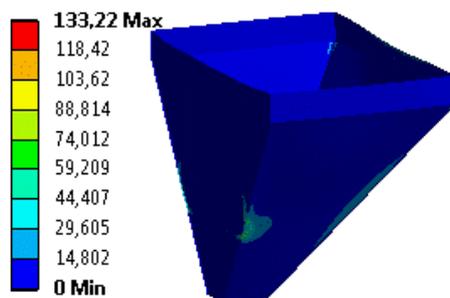
**Continuación Tabla 2-4:** Datos para el análisis por MEF para la tolva de fertilizante

<b>Mallado</b>	Método	Multi zone All quad	
	Número de nodos	27927	
	Número de elementos	27689	
	Calidad de malla	0,9734	
<b>Convergencia</b>			
			

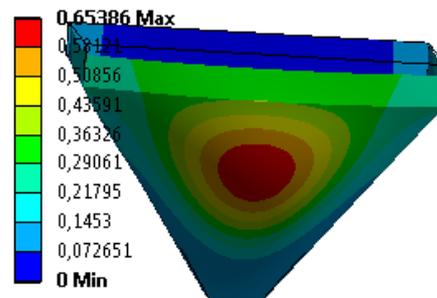
Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

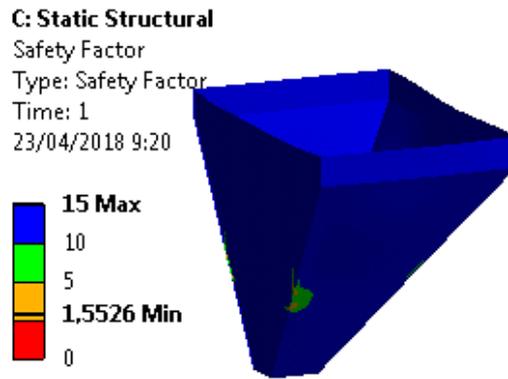
**Resultados de la simulación:**

**C: Static Structural**  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom  
 Unit: MPa  
 Time: 1  
 23/04/2018 9:18



**C: Static Structural**  
 Total Deformation  
 Type: Total Deformation  
 Unit: mm  
 Time: 1  
 16/04/2018 17:30



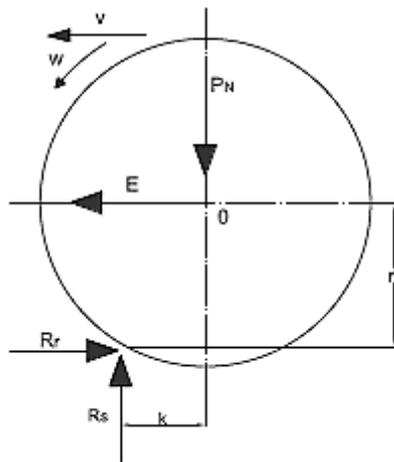


**Figura 5-4:** Resultados del análisis por MEF tolva de fertilizante

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

#### 4.2 Cálculo de la potencia en el eje de las ruedas de apoyo

Este tipo de sembradora obtiene la potencia a partir de las ruedas de apoyo, las mismas que giran al ser arrastrada la máquina por medio de un tractor agrícola dotando así de movimiento a todos los mecanismos que la conforman.



**Figura 6-4:** Diagrama de cuerpo libre de la rueda de apoyo

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Donde:

$P_N$  = Peso aplicado [N]

$r_0$  = Radio dinámico o radio bajo carga [m]

$E$  = Fuerza de empuje [N]

$R_s$  = Reacción del suelo [N]

$R_r$  = Resistencia a la rodadura [N]

$K$  = Distancia en la cual se aplica  $R_s$  [m]

Realizando una sumatoria de fuerzas y momentos de la figura anterior obtenemos las siguientes relaciones:

$$\sum F_y = 0 \quad \uparrow +$$

$$-P_N + R_s = 0$$

$$P_N = R_s \quad (6)$$

$$\sum F_x = 0 \quad \rightarrow +$$

$$-E + R_r = 0$$

$$E = R_r \quad (7)$$

$$\sum M_O = 0 \quad \curvearrowright +$$

$$R_s K - R_r r_0 = 0$$

$$R_r = \frac{K}{r_0} R_s \quad \rho = \frac{K}{r_0} \quad (\text{Coeficiente de rodadura } \rho = 0,15 \text{ para suelo labrado})$$

**Tabla 3-4:** Coeficiente de rodadura

Tipo de suelo	Tipo de tractor	
	De ruedas	De cadenas
Compacto	0.05	0.06
Rastrojo	0.10	0.08
Labrado	0.15	0.10

Fuente: (MOLINA AIZ, 2008)

$$E = \rho P_N \quad (8)$$

Para conocer la potencia se necesita conocer un valor aproximado del peso total de la máquina cargada de semilla y de fertilizante, cuya ecuación es la siguiente:

$$M_T = M_p + M_f + M_m \quad (9)$$

Donde:

$M_T$  = Masa total de la máquina cargada [kg]

$M_p$  = Masa de semillas [kg]

$M_f$  = Masa de fertilizante [kg]

$M_m$  = Masa de la máquina vacía [kg]

Asumiendo el peso de la máquina 1,5 veces el peso de las papas y del fertilizante, obtenemos la masa total.

$$M_T = M_p + M_f + 1,5(M_p + M_f)$$

$$M_T = 2,5(M_p + M_f)$$

$$M_T = 2,5(136,36 + 45,45)kg$$

$$M_T = 454,525 kg$$

Al valor anterior dividimos entre 4 para obtener el peso que soporta cada rueda y para seleccionar el neumático adecuado:

$$M_T = \frac{454,525}{4} kg$$

$$M_N = 113,63 kg$$

$$P_N = M_N * g \quad (10)$$

$$P_N = 113,63kg * 9,8 m/s^2$$

$$P_N = 1113,59 N$$

Reemplazando  $P_N$  En la ecuación (8), se obtiene el valor de la fuerza de empuje.

$$E = 0,15 * 1113,59 N$$

$$E = 167,04 N$$

Finalmente para el cálculo de la potencia se emplea la siguiente ecuación.

$$Pot_n = E * v \quad (11)$$

Donde:

$Pot_n$  = Potencia de la rueda [W]  $E$  = Fuerza de empuje [N]

$v$  = Velocidad [m/s]

Con la fuerza de empuje y las velocidades recomendadas de siembra, se determina la potencia a partir de la ecuación (11).

En base a las velocidades de funcionamiento de las sembradoras WATANABE y F.LLI SPEDO (4 – 8 km/h), para nuestro diseño se selecciona la velocidad de 4 km/h (1,11 m/s), ya que a velocidades mayores existe la posibilidad que los cangilones no recojan la semilla de la tolva.

$$Pot_n = 167,05 N * 1,11 m/s$$

$$Pot_n = 185,41 W = 0,25 HP$$

A partir de la velocidad recomendada 4 km/h determinamos las rpm.

$$\omega = \frac{v}{r_0} \quad (12)$$

Donde:

$\omega$  = Velocidad angular [rpm]

$v$  = Velocidad lineal [m/s]

$r_0 = 0,208 m$  (ANEXO G)

$$\omega = \frac{1,11 m/s}{0,208 m} = 5,34 rad/s$$

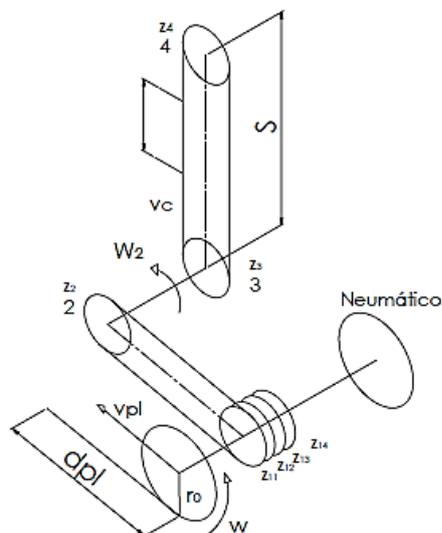
$$\omega = 51,01 rpm$$

### 4.3 Diseño del sistema de distribución de semillas

Este sistema está formado por cangilones y cadenas que permiten recoger y depositar la semilla.

#### 4.3.1 Determinación del número de dientes de las catalinas

Las catalinas se seleccionó en función de la distancia de siembra, la distancia entre cangilones y una velocidad lineal constante de 4 km/h.



**Figura 7-4:** Esquema del sistema de distribución de semilla

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- Velocidad lineal en los cangilones y en la rueda motriz

$$v_c = \frac{d_c}{t_c} \rightarrow t_c = \frac{d_c}{v_c} = \frac{d_c}{\omega_2 r_3} \quad (13)$$

$$v_{pl} = \frac{d_{pl}}{t_{pl}} \rightarrow t_{pl} = \frac{d_{pl}}{v_{pl}} = \frac{d_{pl}}{\omega r_0} \quad (14)$$

Donde:

$v_c$  = Velocidad de los cangilones [m/s]

$v_{pl}$  = Velocidad de plantación [m/s]

$d_c$  = Distancia entre cangilones [m]

$\omega_2$  = Velocidad angular en el eje 2 [rpm]

$r_3$  = Radio de la catalina 3 [m]

$d_{pl}$  = Distancia de plantación [m]

$t_c$  = Tiempo de recorrido entre cangilones [s]

$t_{pl}$  = tiempo de recorrido de plantación [s]

$\omega$  = Velocidad angular en la rueda de apoyo [rpm]

Considerando que el tiempo de recorrido entre cangilones es igual al tiempo de plantación, tenemos:

$$t_c = t_{pl} \quad (15)$$

Reemplazando la ecuación (13) y (14) en la relación (15) tenemos:

$$\frac{d_c}{\omega_2 r_3} = \frac{d_{pl}}{\omega r_0}$$

Despejando  $r_3$  Y considerando que la relación de transmisión es  $i = \omega/\omega_2$ , se obtiene la ecuación que nos servirá para determinar las catalinas necesarias.

$$r_3 = i \frac{d_c}{d_{pl}} r_0 \quad (16)$$

A partir de la ecuación anterior se determina el diámetro de la catalina 3

**Asumiendo:**

$$i = 1,6 \quad d_c = 10,16 \text{ cm} = 0,1016 \text{ m}$$

*Considerando las distancias de plantación:*

$$d_{pl_1} = 0,25 \text{ m}$$

$$d_{pl_2} = 0,30 \text{ m}$$

$$d_{pl_3} = 0,35 \text{ m}$$

$$d_{pl_4} = 0,40 \text{ m}$$

$$r_3 = 1,6 * \frac{0,1016 \text{ m}}{0,4 \text{ m}} * 0,208 \text{ m} = 0,0845 \text{ m}$$

$$D_3 = 0,1691 \text{ m} = 6,656 \text{ in}$$

Seleccionando la catalina número 40 – paso 0,5 in del Catálogo REYNORD (ANEXO H), tenemos los siguientes parámetros:

$$Z_3 = 42$$

$$D_3 = 6,691 \text{ in} \rightarrow r_3 = 0,0849757 \text{ m}$$

Despejando la relación de transmisión de la ecuación (16) y reemplazando los valores anteriores, se obtiene una  $i$  para cada distancia de plantación:

$$i = \frac{r_3 * d_{pl}}{d_c * r_0} \quad (17)$$

$$i_{11} = \frac{0,0845 \text{ m} * 0,4 \text{ m}}{0,1016 \text{ m} * 0,208 \text{ m}} = 1,61$$

$$i_{12} = \frac{0,0845 \text{ m} * 0,35 \text{ m}}{0,1016 \text{ m} * 0,208 \text{ m}} = 1,41$$

$$i_{13} = \frac{0,0845 \text{ m} * 0,30 \text{ m}}{0,1016 \text{ m} * 0,208 \text{ m}} = 1,21$$

$$i_{14} = \frac{0,0845 \text{ m} * 0,25 \text{ m}}{0,1016 \text{ m} * 0,208 \text{ m}} = 1,00$$

Asumiendo que  $Z_2 = Z_3 \rightarrow i = \frac{Z_2}{Z_1}$ , determinamos el número de dientes para cada distancia.

$$Z_{11} = \frac{Z_2}{i_{11}} = \frac{42}{1,61} = 26,11 \rightarrow 26$$

$$Z_{12} = \frac{Z_2}{i_{12}} = \frac{42}{1,41} = 29,84 \rightarrow 30$$

$$Z_{13} = \frac{Z_2}{i_{13}} = \frac{42}{1,21} = 34,82 \rightarrow 35$$

$$Z_{14} = \frac{Z_2}{i_{14}} = \frac{42}{1,00} = 41,78 \rightarrow 42$$

Corrigiendo la relación de transmisión tenemos:

$$i_{11c} = \frac{Z_2}{Z_{11}} = \frac{42}{26} = 1,62$$

$$i_{12c} = \frac{Z_2}{Z_{11}} = \frac{42}{30} = 1,4$$

$$i_{13c} = \frac{Z_2}{Z_{11}} = \frac{42}{35} = 1,2$$

$$i_{14c} = \frac{Z_2}{Z_{11}} = \frac{42}{42} = 1$$

Despejando  $d_{pl}$  De la ecuación (16), se verifican las distancias de plantación.

$$d_{pl11} = \frac{i_{11c} * d_c * r_0}{r_3} = \frac{1,62 * 0,1016 \text{ m} * 0,208 \text{ m}}{0,0849757 \text{ m}} = 0,402 \text{ m} = 40,2 \text{ cm}$$

$$d_{pl12} = \frac{i_{12c} * d_c * r_0}{r_3} = \frac{1,4 * 0,1016 \text{ m} * 0,208 \text{ m}}{0,0849757 \text{ m}} = 0,348 \text{ m} = 34,8 \text{ cm}$$

$$d_{pl13} = \frac{i_{13c} * d_c * r_0}{r_3} = \frac{1,1 * 0,1016 \text{ m} * 0,208 \text{ m}}{0,0849757 \text{ m}} = 0,298 \text{ m} = 29,8 \text{ cm}$$

$$d_{pl14} = \frac{i_{14c} * d_c * r_0}{r_3} = \frac{1 * 0,1016 \text{ m} * 0,208 \text{ m}}{0,0849757 \text{ m}} = 0,249 \text{ m} = 24,9 \text{ cm}$$

Una vez comprobado las distancias de plantación, se determina la velocidad lineal y angular en la cadena de cangilones.

$$\omega_{11} = \frac{\omega}{i_{11c}} = \frac{51,01 \text{ rpm}}{1,62} = 31,58 \text{ rpm} = 3,31 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{12} = \frac{\omega}{i_{12c}} = \frac{51,01 \text{ rpm}}{1,4} = 36,44 \text{ rpm} = 3,82 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{13} = \frac{\omega}{i_{13c}} = \frac{51,01 \text{ rpm}}{1,2} = 42,51 \text{ rpm} = 4,45 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{14} = \frac{\omega}{i_{14c}} = \frac{51,01 \text{ rpm}}{1} = 51,01 \text{ rpm} = 5,34 \text{ rad/s}$$

$$v_{11} = \omega_{11} * r_3 = 3,31 \text{ rad/s} * 0,0849757 \text{ m} = 0,28 \text{ m/s}$$

$$v_{12} = \omega_{12} * r_3 = 3,82 \text{ rad/s} * 0,0849757 \text{ m} = 0,32 \text{ m/s}$$

$$v_{13} = \omega_{13} * r_3 = 4,45 \text{ rad/s} * 0,0849757 \text{ m} = 0,38 \text{ m/s}$$

$$v_{14} = \omega_{14} * r_3 = 5,34 \text{ rad/s} * 0,0849757 \text{ m} = 0,45 \text{ m/s}$$

- *Numero de eslabones*

De acuerdo a las dimensiones de la tolva de semilla se estima un valor aproximado de la distancia entre centros de las catalinas.

$$S_{aprox} = 108 \text{ cm} = 42,52 \text{ in}$$

$$N_{est} = 2 \frac{S_{aprox}}{P} + \frac{Z_3 + Z_4}{2} + \left( \frac{Z_4 - Z_3}{2\pi} \right)^2 \frac{P}{S_{aprox}} \quad (18)$$

Donde:

$N_{est}$  = Número de eslabones [-]

$S_{aprox}$  = Distancia entre centros de ejes aproximado [in]

$Z_3$  = Número de dientes de la catalina 3 [-]

$Z_4$  = Número de dientes de la catalina 4 [-]

$P$  = Paso [in]

$$N_{est} = \frac{2(42,52)}{0,5} + \frac{42 + 42}{2}$$

$$N_{est} = 212,08 \approx 212$$

- *Longitud de cadena*

$$L_{cadena} = N_{est} * P \quad (19)$$

$$L_{cadena} = 212(0,5)$$

$$L_{cadena} = 106 \text{ in}$$

- *Numero de cangilones*

$$N_{cangilones} = \frac{L_{cadena}}{d_c} \quad (20)$$

$$N_{cangilones} = \frac{106 \text{ in}}{4 \text{ in}} = 26,5 \approx 26 \text{ cangilones}$$

- *Longitud corregida de la cadena*

$$L_{cadena} = N_{cangilones} * d_c \quad (21)$$

$$L_{cadena_c} = 26(4) = 104 \text{ in}$$

- *Número de eslabones corregido*

$$N_{estC} = \frac{L_{cadena_{co}}}{P} \quad (22)$$

$$N_{estC} = \frac{104 \text{ in}}{0,5 \text{ in}} = 208 \text{ eslabones}$$

- *Distancia entre centros de ejes corregido*

$$S_{co} = \frac{P}{4} \left[ N_{estC} - \frac{Z_3 + Z_4}{2} + \sqrt{\left( N_{estC} - \frac{Z_3 + Z_4}{2} \right)^2 - \frac{8(Z_4 - Z_3)^2}{4\pi^2}} \right] \quad (23)$$

$$S_{co} = \frac{0,5}{4} \left[ 208 - 42 + \sqrt{(208 - 42)^2} \right]$$

$$S_{co} = 41,5 \text{ in} = 105,41 \text{ cm}$$

#### 4.4 Diseño del dosificador de fertilizante

La dosificación del fertilizante se va a realizar a través de un tornillo sin fin, para lo cual a continuación se realiza el respectivo cálculo de la dosis necesaria y posteriormente el dimensionamiento del tornillo.

##### 4.4.1 Determinación de la dosis de fertilizante

El cálculo se realizó en base al peso de la semilla de primera, debido a que 1 quintal contiene menos papas y por lo cual la longitud de siembra es menor, necesitando así una mayor cantidad de dosificación de fertilizante.

- *Semilla de primera*

$$m_{sp} = 0,1685 \text{ kg}$$

$$N_{sp} = \frac{m_p}{m_{sp}} \quad (24)$$

Donde:

$N_{sp}$  = Número de semillas de primera en 1,5 qq. [-]

$m_p$  = Masa de semilla por tolva [kg]

$m_{sp}$  = Masa unitaria de la semilla de primera [kg]

$$N_{sp} = \frac{68,18 \text{ kg}}{0,1685 \text{ kg}}$$

$$N_{sp} = 405 \text{ semillas}$$

$$L_{sp} = d_{pl} * N_{sp} \quad (25)$$

Donde:

$L_{sp}$  = Longitud sembrada de la semilla de primera [m]

$$L_{sp11} = d_{pl11} * N_{sp} = 0,4 * 405 = 162 \text{ m}$$

$$L_{sp12} = d_{pl12} * N_{sp} = 0,35 * 405 = 141,75 \text{ m}$$

$$L_{sp13} = d_{pl13} * N_{sp} = 0,30 * 405 = 121,5 \text{ m}$$

$$L_{sp14} = d_{pl14} * N_{sp} = 0,25 * 405 = 101,25 \text{ m}$$

$$t_{pl-sp11} = \frac{L_{sp11}}{v} = \frac{162 \text{ m}}{1,11 \text{ m/s}} = 145,95 \text{ s}$$

$$t_{pl-sp12} = \frac{L_{sp12}}{v} = \frac{141,75 \text{ m}}{1,11 \text{ m/s}} = 127,70 \text{ s}$$

$$t_{pl-sp13} = \frac{L_{sp13}}{v} = \frac{121,5 \text{ m}}{1,11 \text{ m/s}} = 109,46 \text{ s}$$

$$t_{pl-sp14} = \frac{L_{sp14}}{v} = \frac{101,25 \text{ m}}{1,11 \text{ m/s}} = 91,22 \text{ s}$$

$$\dot{m}_{f-sp} = \frac{m_f}{t_{pl-sp}} \quad (26)$$

Donde:

$\dot{m}_{f-sp}$  = Flujo másico de fertilizante para semilla de primera [kg/s]

$m_f$  = Masa de fertilizante por tolva [kg]

$t_{pl-sp}$  = Tiempo de plantación para semilla de primera [s]

$$\dot{m}_{f-sp_{11}} = \frac{m_f}{t_{pl-sp_{11}}} = \frac{22,73 \text{ kg}}{145,95 \text{ s}} = 0,16 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{f-sp_{12}} = \frac{m_f}{t_{pl-sp_{12}}} = \frac{22,73 \text{ kg}}{127,70 \text{ s}} = 0,18 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{f-sp_{13}} = \frac{m_f}{t_{pl-sp_{13}}} = \frac{22,73 \text{ kg}}{109,46 \text{ s}} = 0,21 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{f-sp_{14}} = \frac{m_f}{t_{pl-sp_{14}}} = \frac{22,73 \text{ kg}}{91,22 \text{ s}} = 0,25 \text{ kg/s}$$

Una vez determinado los flujos másicos para cada distancia de siembra se presenta la siguiente tabla en la que se resumen todos los valores.

**Tabla 4-4:** Flujos másicos de fertilizante (kg/s) para la semilla de primera

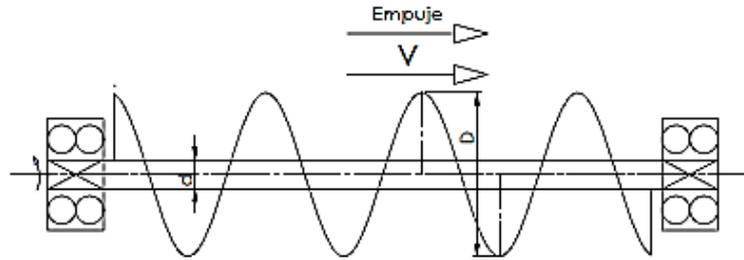
Distancia de siembra (cm)	Tamaño de semilla
	Primera
40	0,16
35	0,18
30	0,21
25	0,25

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

En base a la tabla 4.2 se escoge el valor de flujo para el diseño del tornillo sin fin, y las regulaciones que debe tener. Para nuestro diseño se seleccionó un flujo másico de 0,3 kg/s teniendo en cuenta que los datos obtenidos de flujo son aproximados, además el sistema dosificador tendrá una compuerta para regular la cantidad de fertilizante dependiendo de lo que se requiere.

#### 4.4.2 Diseño del tornillo sin fin según las Norma ISO 7119

Para el diseño del tornillo sin fin, partimos del flujo másico de 0,3 kg/s determinado anteriormente.



**Figura 8-4:** Tornillo sin fin

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- Determinación del diámetro de la hélice y longitud del tornillo

$$Q = \frac{\pi \lambda D^2}{4} \frac{P n}{60} \rho_f i \quad (27)$$

Donde:

$Q$  = Flujo másico [kg/s]

$\lambda$  = Coeficiente de relleno [-]

$D$  = Diámetro de la hélice [m]

$n$  = Revoluciones del tornillo [rpm]

$\rho_f$  = Densidad del fertilizante [kg/m<sup>3</sup>]

$i$  = Coeficiente debido a la inclinación [-]

En la ecuación (27) asumimos que el paso es igual al diámetro y despejamos el diámetro de la hélice:

$$D = \left( \frac{240Q}{\pi \lambda n \rho_f i} \right)^{1/3} \quad (28)$$

**Asumiendo:**

$n = 150 \text{ rpm} = 15,71 \text{ rad/s}$  recomendación

**Considerando:**

$\rho_f = 1030 \text{ kg/m}^3$

$\lambda = 0,4$  para material ligero y no abrasivo (ANEXO I)

$i = 1$  para  $0^\circ$  de inclinacion (ANEXO J)

Reemplazando en la ecuación (28), tenemos el diámetro de hélice:

$$D = 71,85 \text{ mm} \approx 70 \text{ mm}$$

Ahora determinamos la longitud del tornillo, con la siguiente expresión:

$$L_t = N_{esp.} * P \quad (29)$$

Donde:

$L_t$  = Longitud de tornillo [m]

$N_{esp.}$  = Numero de espiras [-]

$P$  = Paso [m]

**Asumiendo:**

$N_{esp.} = 3 \text{ espiras}$

$$L_t = 3 * 0,070 \text{ m}$$

$$L_t = 0,21 \text{ m}$$

- *Determinación de la potencia necesaria para el accionamiento*

$$Pot_t = Pot_H + Pot_N + Pot_I \quad (30)$$

$$Pot_H = C_0 Q L_t g \quad (31)$$

$$Pot_N = \frac{D L_t}{20} \quad (32)$$

Donde:

$Pot_t$  = Potencia del tornillo [W]

$Pot_H$  = Potencia necesaria para el desplazamiento del material [W]

$C_0$  = Coeficiente resistencia del fertilizante [-]

$L_t$  = Longitud de tornillo [m]

$g$  = Gravedad [ $m/s^2$ ]

$Pot_N$  =Potencia para el accionamiento en vacío [W]

$Pot_I$  = Potencia requerida por la inclinación [W]

Remplazando la ecuación (31) y (32) en la (30), determinamos la potencia del tornillo:

**Considerando:**

$C_0 = 1,2$  Material granulado (ANEXO K)

$g = 9,8$  m/s<sup>2</sup>

$Pot_I = 0$  No tiene ángulo de inclinación

$$Pot_t = 0,741 W + 0,735 W + 0 W$$

$$Pot_t = 1,48 W = 0,002 HP$$

- Determinación del torque y de la fuerza axial

$$T = \frac{Pot_t}{n} \quad (33)$$

Donde:

$T$  = Torque en el tornillo [Nm]

$Pot_t$  = Potencia del tornillo [W]

$n$  = Revoluciones del tornillo [rpm]

$$T = \frac{1,48 \frac{Nm}{s}}{15,71 \text{ rad/s}}$$

$$T = 0,094 Nm$$

Con el torque determinamos la fuerza axial con la ayuda de la siguiente expresión:

$$F_a = \frac{2T[\pi(1+R)D - 2\mu Pz]}{(1+R)D[2Pz + \mu\pi(1+R)D]} \quad (34)$$

Donde:

$F_a$  = Fuerza axial [N]

$R$  = Relación de d/D [-]

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento [-]

$z$  = Número de hélices [-]

$d$  = Diámetro del eje del tornillo [m]

**Asumiendo:**

$d = 25\text{mm} = 0,025\text{ m}$

$\mu = 0,3$  Para fertilizante – acero (Tesis EIM)

$$R = \frac{d}{D} = \frac{0,025\text{ m}}{0,07\text{ m}} = 0,36$$

Analizando la fuerza axial en una hélice y mediante la ecuación (34), la fuerza axial es de:

$$F_a = 2,21\text{ N}$$

- Diseño de la hélice

• A flexión

$$\sigma_f = \frac{M_f c}{I} = \frac{S_y}{\eta} \quad (35)$$

Donde:

$\sigma_f$  = Esfuerzo debido a la flexión [Pa]

$M_f$  = Momento flector [Nm]

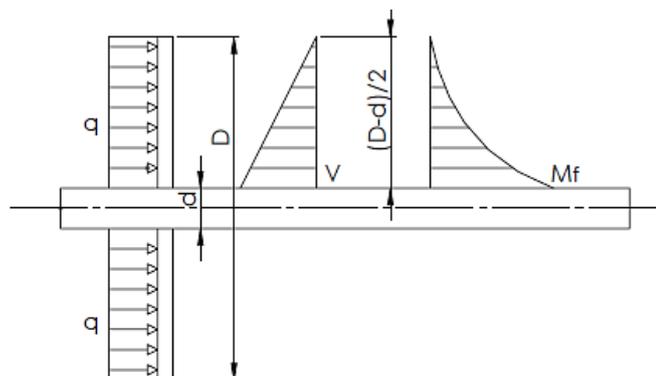
$c$  = Distancia entre el eje neutro y la fibra más lejana [m]

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal [m<sup>4</sup>]

$S_y$  = Resistencia a la fluencia [Pa]

$\eta$  = Factor de seguridad [-]

Determinamos la fuerza cortante y el momento flector a partir de la carga uniformemente distribuida ( $q$ ):



**Figura 9-4:** Diagrama de fuerza cortante y momento flector

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Carga uniformemente distribuida**

$$q = \frac{F_a}{D - d} \quad (36)$$

**Fuerza cortante**

$$V = q(D - d) \quad (37)$$

**Momento flector**

$$M_f = \frac{q}{2} \left( \frac{D - d}{2} \right)^2 \quad (38)$$

Donde:

$q$  = Carga distribuida [N/m]

$V$  = Fuerza cortante [N]

$M_f$  = Momento flector [NM]

$$q = \frac{2,21 \text{ N}}{(0,07 - 0,025) \text{ m}}$$

$$V = 49,11(0,07 - 0,025)$$

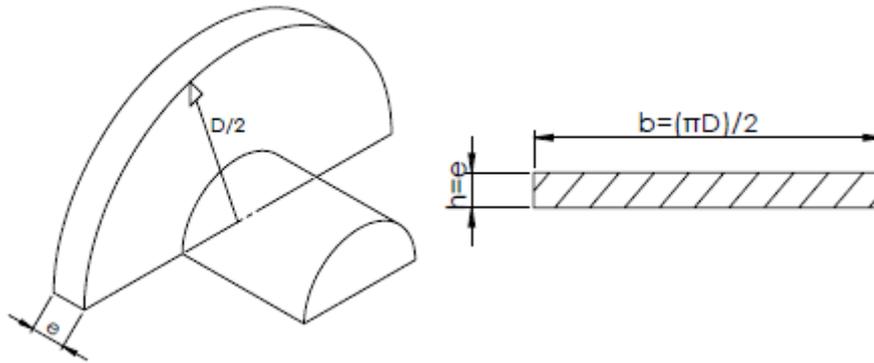
$$M_f = \frac{59,11}{2} \left( \frac{0,07 - 0,025}{2} \right)^2$$

$$q = 49,11 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$V = 2,21 \text{ N}$$

$$M_f = 0,012 \text{ Nm}$$

El momento de inercia para este tipo de sección es:



**Figura 10-4:** Sección transversal de la hélice

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$I = \frac{1}{12} \frac{\pi D}{2} e^3$$

$$I = \frac{1}{24} \pi D e^3 \quad (39)$$

$$A = \frac{\pi d e}{2} \quad (40)$$

Donde:

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal [m<sup>4</sup>]

$A$  = Área de la sección transversal [m<sup>2</sup>]

$e$  = Espesor de la hélice [m]

Reemplazando la ecuación (39) en la ecuación (35) y despejando e, determinamos el espesor de la hélice:

$$e = \left( \frac{12M_f\eta}{\pi DS_y} \right)^{1/2} \quad (46)$$

**Considerando:** Un AISI 304 debido a que el fertilizante contiene agentes corrosivos y este material seleccionado es muy resistente a la corrosión y ataques químicos del ambiente.

Acero inoxidable AISI 304:  $S_{ut} = 480,5 \text{ MPa}$   $S_y = 176,5 \text{ MPa}$  (ANEXO F)

$$\eta = 3$$

$$e = \left( \frac{12 * 0,012 * 3}{\pi * 0,07 * 176,5 * 10^6} \right)^{1/2}$$

$$e = 1,055 * 10^{-4} \text{ m} = 0,105 \text{ mm}$$

• *A corte*

$$\tau = \frac{3V}{2A} = 0,577 \frac{S_y}{\eta} \quad (41)$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo Cortante [Pa]

$V$  = Fuerza cortante [N]

$A$  = Área de la sección transversal [m<sup>2</sup>]

$S_y$  = Resistencia a la fluencia [Pa]

$\eta$  = Factor de seguridad [-]

En la ecuación (41) reemplazo el área y despejo el espesor:

$$e = \frac{3V\eta}{0,577\pi dS_y}$$

$$e = \frac{3 * 2,21 * 3}{0,577 * \pi * 0,025 * 176 * 10^6}$$

$$e = 2,49 * 10^{-6} \text{ m} = 0,0025 \text{ mm}$$

Debido a que se utilizó un factor de seguridad alto no es necesario realizar el análisis a fatiga y además el espesor que se necesita es muy pequeño. Se va utilizar un espesor de 2 mm, ya que se debe soldar la hélice con el eje del tornillo.

- Selección de la cadena de transmisión

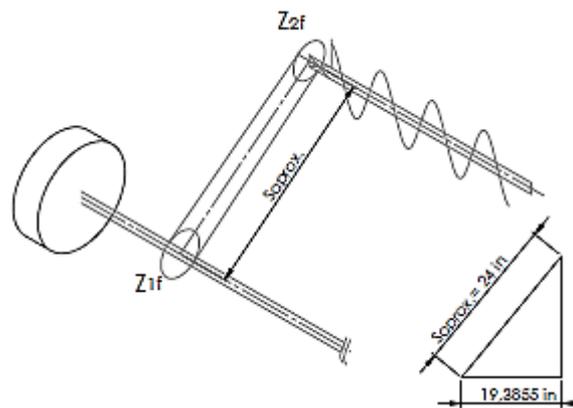
Teniendo en cuenta la potencia, las revoluciones de entrada y salida, se procede a seleccionar la cadena de transmisión de para el tornillo sin fin.

$$Pot_t = 1,48 \text{ W} = 0,002 \text{ HP}$$

$$\omega_e = \omega_{14} = 51,01 \text{ rpm}$$

$$\omega_s = n = 150 \text{ rpm}$$

$$i = \frac{\omega_e}{\omega_s} = \frac{51,01 \text{ rpm}}{150 \text{ rpm}} = 0,34$$



**Figura 11-4:** Transmisión de potencia tornillo sin fin

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Considerando que el eje donde va montado la catalina motriz es el mismo que une a las ruedas que soporta el peso de la máquina, se asume un diámetro para este eje de aproximadamente 40 mm la cual sirve para determinar  $Z_{1F}$  Y  $Z_{2F}$  Para esta transmisión.

$$P_D = f_{ser} * Pot_t \quad (42)$$

**Donde:**

$P_D$  = Potencia de diseño [HP]

$f_{ser}$  = Factor de servicio catálogo [-]

$$P_D = 1,2 * 0,002 \text{ Hp} = 0,0024 \text{ Hp}$$

Con  $P_D$ ,  $\omega_e$  Y para 1 hilera seleccionó: **Cadena # 40, P=0,50 in,  $Z_{1f} = 35$**  (ANEXO H)

$$Z_{2F} = iZ_{1F} = 0,34 * 35$$

$$Z_{2f} = 11,9 \approx 12$$

$$i_c = \frac{12}{35} = 0,34$$

$$S_{aprox} = 24 \text{ in}$$

$$N_{est} = \frac{2(24)}{0,50} + \frac{35 + 12}{2} + \left( \frac{12 - 35}{2\pi} \right)^2 \frac{0,50}{24}$$

$$N_{est} = 119,78 \approx 120$$

$$L_{cadena} = 120 * 0,50 = 60 \text{ in}$$

$$S_{co} = \frac{0,50}{4} \left[ 120 - \frac{47}{2} + \sqrt{\left( 120 - \frac{47}{2} \right)^2 - \frac{2(23)^2}{\pi^2}} \right]$$

$$S_{co} = 24,055 \text{ in}$$

A continuación determinamos la velocidad de la cadena del tornillo sin fin.

$$V_{cf} = \frac{Z_{1f} P \omega_e}{12} \quad (43)$$

Donde:

$V_{cf}$  = Velocidad de la cadena del fertilizante [ft/min]

$Z_{1f}$  = Numero de dientes de a catalina de entrada [-]

P = Paso [in]

$\omega_e$  = Revoluciones de entrada al tornillo [rpm]

$$V_{cf} = \frac{35 * 0,50 * 51,01}{12}$$

$$V_{cf} = 74,4 \frac{ft}{min} = 0,38 \frac{m}{s} < 30 \frac{m}{s} \quad ok$$

**Fuerza en la cadena:**

$$F = \frac{33000 P_D}{V_{cf}} \quad (44)$$

Donde:

F = Fuerza en la cadena [lbf]

$P_D$  = Potencia de diseño [HP]

$V_{cf}$  = Velocidad de la cadena del fertilizante [ft/min]

$$F = \frac{33000 * 0,0024}{74,4}$$

$$F = 1,06 \text{ lbf} = 4,71 \text{ N}$$

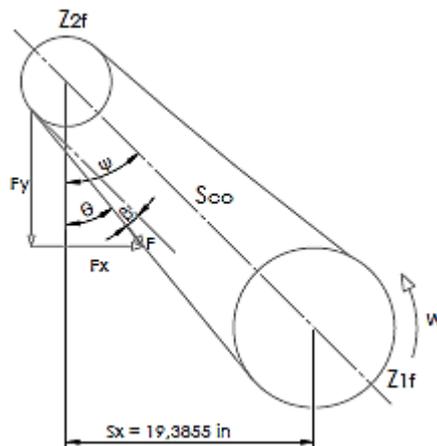
- *Diseño del eje del tornillo sin fin*

Las dimensiones del eje se procedió a especificar de acuerdo a las dimensiones de las catalinas que nos proporciona el catálogo de REXNORD.

$$Z_{1F} = 35 \rightarrow d_{eje-max} = 3,563 \text{ in} \rightarrow d_{1f} = 5,578 \text{ in} \rightarrow L_{Z_{1F}} = 1 \text{ in}$$

$$Z_{2F} = 12 \rightarrow d_{eje-max} = 0,844 \text{ in} \rightarrow d_{2f} = 1,932 \text{ in} \rightarrow L_{Z_{2F}} = 0,88 \text{ in}$$

Posteriormente se calcula las componentes de la fuerza en x e y con la fuerza de la cadena calculada anteriormente, y también se termina el torque que se produce.



**Figura 12-4:** Fuerzas en la cadena del dosificador

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$\beta = \frac{57(d_{1f} - d_{2f})}{2S_{co}} \quad (45)$$

$$\beta = \frac{57(5,578 - 1,932)}{2(24,055)} = 4,32^\circ$$

$$\sin \psi = \frac{19,38558}{24,055}$$

$$\psi = 53,7^\circ$$

$$\theta = \psi - \beta$$

$$\theta = 53,7^\circ - 4,32^\circ = 49,38^\circ$$

$$F_x = F \sin \theta$$

$$F_x = 1,06 \sin 49,38^\circ = 0,80 \text{ lbf} = 3,56 \text{ N}$$

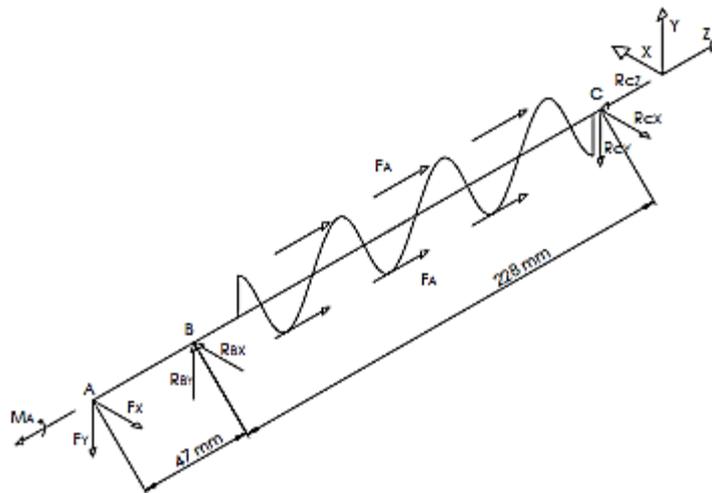
$$F_y = F \cos \theta$$

$$F_y = 1,06 \cos 49,38^\circ = 0,69 \text{ lbf} = 3,07 \text{ N}$$

$$T = \frac{1,06 \text{ lbf} * 1,932 \text{ in}}{2}$$

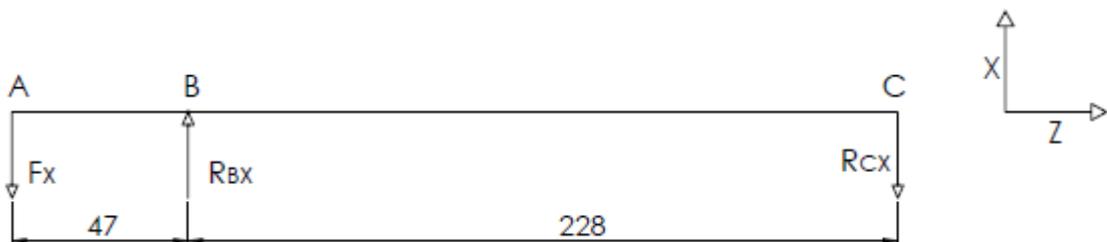
$$M_A = T = 1,02 \text{ lbf in} = 0,115 \text{ Nm}$$

En base al diagrama de cuerpo libre que se produce en el eje, se determina el momento flector máximo para saber la parte crítica del eje.



**Figura 13-4:** Diagrama de cuerpo libre en el eje del tornillo

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018



**Figura 14-4:** Diagrama de cuerpo libre plano xz

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Plano xz**

$$\sum M_C = 0 \curvearrowright +$$

$$F_x(275) - R_{Bx}(228) = 0$$

$$R_{Bx} = \frac{3,56 * 275}{228}$$

$$R_{Bx} = 4,29 \text{ N } \uparrow$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow +$$

$$-F_x + R_{Bx} - R_{Cx} = 0$$

$$R_{Cx} = -3,56 + 4,29$$

$$R_{Cx} = 0,73 \text{ N } \downarrow$$



**Figura 15-4:** Diagrama de cuerpo libre plano yz

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Plano yz**

$$\sum M_C = 0 \curvearrowright +$$

$$F_y(275) - R_{By}(228) = 0$$

$$R_{By} = \frac{3,07 * 275}{228}$$

$$R_{By} = 3,70 \text{ N } \uparrow$$

$$\sum F_y = 0 \uparrow +$$

$$-F_y + R_{By} - R_{Cy} = 0$$

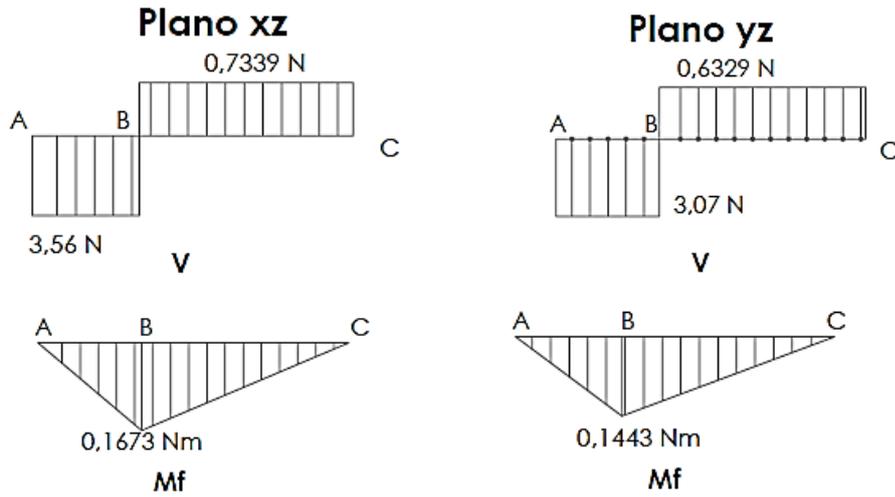
$$R_{Cy} = -3,07 + 3,70$$

$$R_{Cy} = 0,63 \text{ N } \downarrow$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow +$$

$$F_a - R_{Cz} = 0$$

$$F_a = R_{Cz} = 2,21 \text{ N } \rightarrow$$

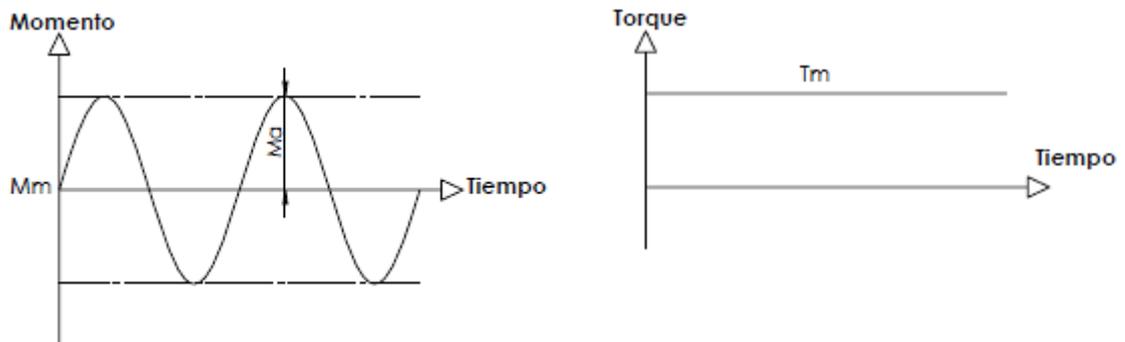


**Figura 16-4:** Diagramas del eje del tornillo sin fin

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$Mf_{max-res} = \sqrt{(0,1673)^2 + (0,1443)^2} = 0,22 \text{ Nm}$$

$$T = 0,115 \text{ Nm}$$



**Figura 17-4:** Esfuerzos para análisis a fatiga

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

La ecuación según ASME B106.1M para determinar el diámetro de un eje es la siguiente:

$$d = \left\{ \frac{16\eta}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (46)$$

Donde:

$d$  = Diámetro del eje [m]

$\eta$  = Factor de seguridad [-]

$K_f$  = Factor de flexión [-]

$M_a$  = Momento amplitud [Nm]

$S_e$  = Resistencia a la fatiga [mpa]

$K_{fs}$  = Factor de torsión [-]

$T_m$  = Torque medio [Nm]

$S_y$  = Límite de fluencia [mpa]

### Primera iteración:

Se consideró un AISI 304 debido a las características mencionadas anteriormente.

**AISI 304:**  $S_{ut} = 520 \text{ MPa}$ ,  $S_y = 220 \text{ MPa}$  (ANEXO L)

$$S_e = k(0,5S_{ut})$$

$$S_e = 0,6(0,5 * 520) = 156 \text{ MPa}$$

Asumiendo:  $K_f = 1,4$        $K_{fs} = 1,3$

$$d = \left\{ \frac{16 * 3}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{1,4 * 0,22}{156 * 10^6} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,3 * 0,115}{220 * 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 3,98 * 10^{-3} \text{ m} = 3,98 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$$

El diámetro en la parte crítica del eje del tornillo es aproximadamente de 4 mm, pero debido al montaje de una catalina con una chaveta en el extremo del eje, pues este diámetro se considera de 20 mm y se recalcula el factor de seguridad.

$$S_e = k(0,5S_{ut})$$

$$k = k_a k_b k_c k_d k_e k_f$$

$$k_a = aS_{ut}^b = 4,51(520)^{-0,265} = 0,86 \text{ (ANEXO M)}$$

$$k_b = 1,24d^{-0,107} = 1,24(20)^{-0,107} = 0,90 \text{ (ANEXO N)}$$

$$k_c = 1 \text{ (ANEXO O)}$$

$$k_d = 1 \text{ A una temperatura de } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (ANEXO P)}$$

$$k_e = 0,814 \text{ Con } 99\% \text{ de confiabilidad (ANEXO Q)}$$

$$k_f = 1$$

$$k = (0,86)(0,90)(1)(1)(0,814)(1) = 0,63$$

$$S_e = 0,63(0,5 * 520) = 163,8 \text{ MPa}$$

Ingresando a las tablas para flexión y torsión (ANEXO R y S)

$$\text{Flexión} \quad \frac{r}{D} = 0,04 \quad \frac{D}{d} = 1,25 \rightarrow K_t = 2,1$$

$$\text{Torsión} \quad \frac{r}{D} = 0,04 \quad \frac{D}{d} = 1,25 \rightarrow K_{ts} = 1,75$$

Para flexión  $\sqrt{a} = 0,2$  y para torsión  $\sqrt{a} = 0,16$  (ANEXO T)

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0,2}{\sqrt{1,2}}} = 0,85 \rightarrow k_f = 1 + 0,85(2,1 - 1) = 1,935$$

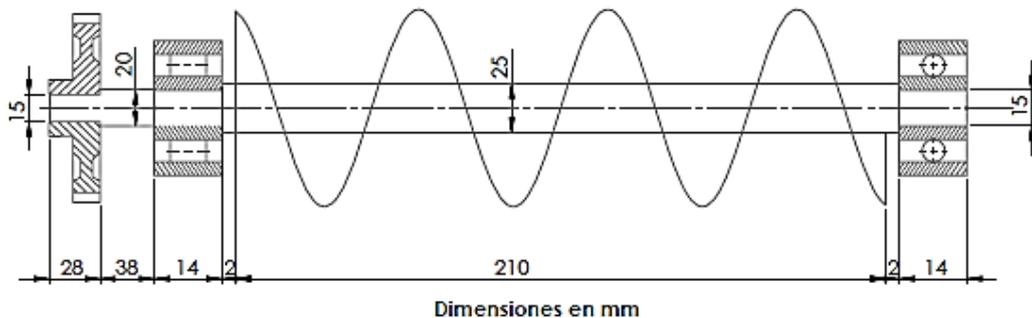
$$q_{fs} = \frac{1}{1 + \frac{0,16}{\sqrt{1,2}}} = 0,87 \rightarrow k_{fs} = 1 + 0,87(1,75 - 1) = 1,65$$

A partir de la ecuación (46), determinamos el factor de seguridad con el diámetro de 20 mm.

$$\frac{1}{\eta} = \frac{16}{\pi(0,02)^3} \left[ 4 \left( \frac{1,935 * 0,22}{156 * 10^6} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,65 * 0,115}{220 * 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\eta = 290,45 \text{ ok}$$

El factor de seguridad es muy elevado debido al aumento del diámetro para poder colocar las catalinas.



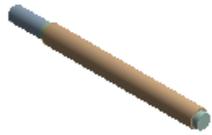
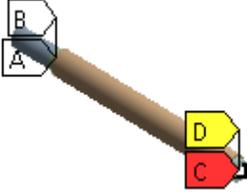
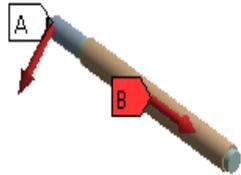
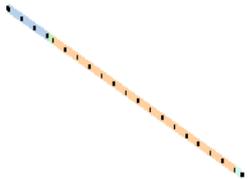
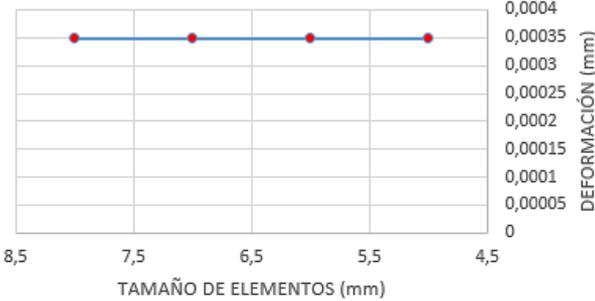
**Figura 18-4:** Dimensiones finales del eje del tornillo sin fin

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- Verificación de la rigidez por MEF para el eje del tornillo

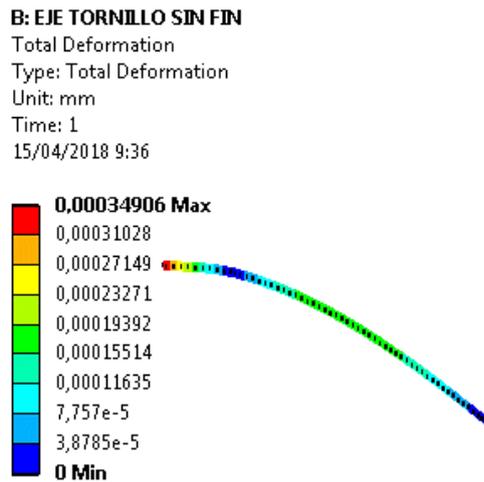
A los ejes se simuló en el software ANSYS para verificar su deformación.

**Tabla 5-4:** Datos para el análisis por MEF para el eje del tornillo sin fin

<b>Geometría</b>	Tipo viga														
<b>Material</b>	AISI 304 (ANEXO L)														
<b>Restricciones</b>	Apoyo B	Fixed rotation Displacement													
	Apoyo C	Fixed rotation Displacement													
<b>Cargas</b>	Fuerza A	$F_x = 0\text{ N}$ $F_y = -3,07\text{ N}$ $F_z = 3,56\text{ N}$													
	Fuerza axial	$F_x = 2,21\text{ N}$													
<b>Mallado</b>	Número de nodos	115													
	Número de elementos	57													
<b>Convergencia</b>															
<p>CONVERGENCIA</p>  <p>The graph shows a horizontal line at approximately 0.00035 mm deformation for element sizes between 8.5 mm and 4.5 mm, indicating convergence.</p> <table border="1"> <caption>Convergence Data</caption> <thead> <tr> <th>Tamaño de Elementos (mm)</th> <th>Deformación (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8.5</td> <td>0.00035</td> </tr> <tr> <td>7.5</td> <td>0.00035</td> </tr> <tr> <td>6.5</td> <td>0.00035</td> </tr> <tr> <td>5.5</td> <td>0.00035</td> </tr> <tr> <td>4.5</td> <td>0.00035</td> </tr> </tbody> </table>				Tamaño de Elementos (mm)	Deformación (mm)	8.5	0.00035	7.5	0.00035	6.5	0.00035	5.5	0.00035	4.5	0.00035
Tamaño de Elementos (mm)	Deformación (mm)														
8.5	0.00035														
7.5	0.00035														
6.5	0.00035														
5.5	0.00035														
4.5	0.00035														

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Resultados de la simulación:**



**Figura 19-4:** Deformación del eje del tornillo sin fin

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

El valor obtenido de la deformación comparamos con valores permisibles:

**Tabla 6-4:** Valores permisibles de deformación en árboles

Deformación		Aplicación	Deformación permisible
Deflexión (debido a flexión)	y	Deflexión máxima en árboles que soportan ruedas dentadas	$[y] = (0.002 \dots 0.0003)L$ , donde L es la distancia entre apoyos
		En el sitio de asiento de ruedas dentadas	$[y] = (0.01 \dots 0.03)m$ , donde es el módulo de la transmisión
		En el sitio de asiento de ruedas dentadas cónicas e hipoidales	$[y] = (0.005 \dots 0.007)m$ , donde m es el módulo de la transmisión
		Deflexión máxima en los arboles de los motores asíncronos	$[y] = 0.1h$ , donde h es la holgura entre el rotor y el estator
		Deflexión máxima en árboles en arboles de ventiladores	$[y] = (0.0003 \dots 0.0005)D$ , donde D es el diámetro del rotor
Deflexión angular (debido a flexión)	$\varphi$	En el sitio de asiento de ruedas dentadas	$[\varphi] = 0.001 \text{ rad}$
		En un cojinete	$[\varphi] = 0.001 \text{ rad}$
		En el asiento de rodamientos de bolas	$[\varphi] = 0.01 \text{ rad}$
		En el asiento de rodamientos de rodillos cilíndricos	$[\varphi] = 0.0025 \text{ rad}$
		En el asiento de rodamientos cónicos	$[\varphi] = 0.0016 \text{ rad}$
		En el asiento de rodamientos esféricos	$[\varphi] = 0.05 \text{ rad}$
Ángulo de torsión (por unidad de longitud)	$\theta/L$	Grúas desplazables y portátiles	$[\theta/L] = 0.0045 \dots 0.006 \text{ rad/m}$
		Husillos de tornos y taladros	$[\theta/L] = 0.00175 \text{ rad/m}$
		Árboles medios de destinación general	$[\theta/L] = 0.009 \text{ rad/m}$
		Árboles de cardanes de vehículos (d=30...50 mm)	$[\theta/L] = 0.005 \dots 0.007 \text{ rad/m}$

Fuente: (VANEGAS USECHE, 2011)

$$[y] = 0,0003L = 0,0003(228 \text{ mm}) = 0,0684 \text{ mm}$$

$$0,00034906 \text{ mm} < 0,0684 \text{ mm}$$

- Selección de rodamientos

• Rodamiento B → De bolas

### **Carga dinámica**

Datos:

$$F_{Br} = \sqrt{(R_{Bx})^2 + (R_{By})^2} = \sqrt{(4,29)^2 + (3,70)^2} = 5,67 \text{ N}$$

$$d_{eje} = 20 \text{ mm}, 150 \text{ RPM}$$

$$P = XF_r + YF_a \quad (47)$$

Donde:

$P$  = Carga equivalente del rodamiento [KN]

$X$  = Factor de carga radial [-]

$F_r$  = Carga radial del rodamiento [KN]

$Y$  = Factor de carga axial [-]

$F_a$  = Carga axial del rodamiento [KN]

$$F_a \approx 0 \quad \frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow X = 1$$

$$P = (1)(0,00567 \text{ KN}) = 0,00567 \text{ KN}$$

$$C' = P * \sqrt[p]{\frac{60 * n * L_{10h}}{10^6}} \quad (48)$$

Donde:

$C'$  = Capacidad de carga dinámica [KN]

$p$  = Exponente de la ecuación de vida útil [-]

$n$  = Velocidad de giro [RPM]

$L_{10h}$  = Vida nominal SKF [h]

$p = 3 \rightarrow$  de bolas,  $10/3 \rightarrow$  rodillos (Catálogo SKF)

$$C' = 0,00567 * \sqrt[3]{\frac{60 * 150 * 15000}{10^6}}$$

$$C' = 0,029 \text{ KN}$$

$$C' < C$$

Con la carga dinámica y el diámetro del eje determinado, selecciono el siguiente rodamiento de bolas:

$$\text{SKF} \rightarrow 6204 \quad C = 13,5 \text{ kN} \quad C_0 = 6,55 \text{ kN} \quad f_0 = 13 \text{ (ANEXO U)}$$

Con la ecuación (48), determinamos las horas de funcionamiento:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 150} \left( \frac{13,5}{0,00567} \right)^3$$

$$L_{10h} = 1,49 * 10^{12} \text{ h}$$

### **Carga estática**

$$P_0 = 0,6F_r + 0,5F_a \text{ (49)}$$

$$C_0' = S_0 P_0 \text{ (50)}$$

Donde:

$P_0$  = Carga estática equivalente del rodamiento [KN]

$C_0'$  = Capacidad de carga estática [KN]

$S_0$  = Factor de seguridad estática [-]

$$P_0 = 0,6(0,00567) = 0,0034 \text{ kN}$$

$$C_0' = S_0 P_0 \rightarrow S_0 = 1$$

$$C_0' = 0,0034 \text{ kN}$$

$$C_0' < C_0$$

- Rodamiento C → De Bolas

### **Carga dinámica**

Datos:

$$F_r = \sqrt{(R_{Cx})^2 + (R_{Cy})^2} = \sqrt{(0,73)^2 + (0,65)^2} = 0,98 \text{ N}$$

$$F_a = 2,21 \text{ N}$$

$$d_{eje} = 20 \text{ mm}, 150 \text{ RPM}$$

Para la selección del rodamiento de rígido de bolas empleamos la ecuación (47), para encontrar la carga dinámica.

$$\frac{f_0 F_a}{C_0} = \frac{13 * 0,00221 \text{ kN}}{6,55 \text{ kN}} = 0,0044 \rightarrow e = 0,16, X = 0,56, Y = 2,6 \quad (\text{ANEXO U})$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 1,66$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$$

$$P = 0,56 * 0,98 + 2,5 * 2,21$$

$$P = 6,07 \text{ N} = 0,00607 \text{ kN}$$

$$C' = 0,00607 * \sqrt[3]{\frac{60 * 150 * 15000}{10^6}}$$

$$C' = 0,031 \text{ kN}$$

$$C' < C$$

Con la carga dinámica y el diámetro del eje determinado, selecciono el siguiente rodamiento de rígido de bolas:

$$\text{SKF} \rightarrow 6204 \quad C = 13,5 \text{ kN} \quad C_0 = 6,55 \text{ kN} \quad f_0 = 13 \quad (\text{ANEXO U})$$

Con la ecuación (48), determinamos las horas de funcionamiento:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 150} \left( \frac{13,5}{0,00607} \right)^3 = 1,22 * 10^{12} \text{ h}$$

### ***Carga estática***

Con la ecuación (49), determinamos la carga estática equivalente:

$$P_0 = 0,6 * 0,98 + 0,5 * 2,21 = 1,69 \text{ N} = 0,00169 \text{ kN}$$

$$C_0' = 1(0,00169 \text{ kN})$$

$$C_0' = 0,00169 \text{ kN}$$

$$C_0' < C_0$$

### **4.5 Mecanismo para el cambio de velocidades**

Este mecanismo tiene como función cambiar la velocidad de distribución de semillas obteniendo así una mayor distancia entre golpes.

- *Determinación de la potencia y torque*

La potencia para el cambio de velocidades se determina una vez conocida la potencia en la rueda de apoyo y la potencia necesaria para mover el dosificador de fertilizante.

$$\mathbf{Pot_n = Pot_t + Pot_{cv} \quad (50)}$$

Donde:

$Pot_n$  = Potencia en la rueda [HP]

$Pot_t$  = Potencia del tornillo [HP]

$Pot_{cv}$  = Potencia para el cambio de velocidades [HP]

Despejando de la ecuación (50) y reemplazando los valores de potencia en la rueda y del tornillo sin fin tenemos:

$$Pot_{cv} = 0,25 \text{ HP} - 0,0024 \text{ HP}$$

$$\mathbf{Pot_{cv} = 0,2476 \text{ HP} = 184,64 \text{ W}}$$

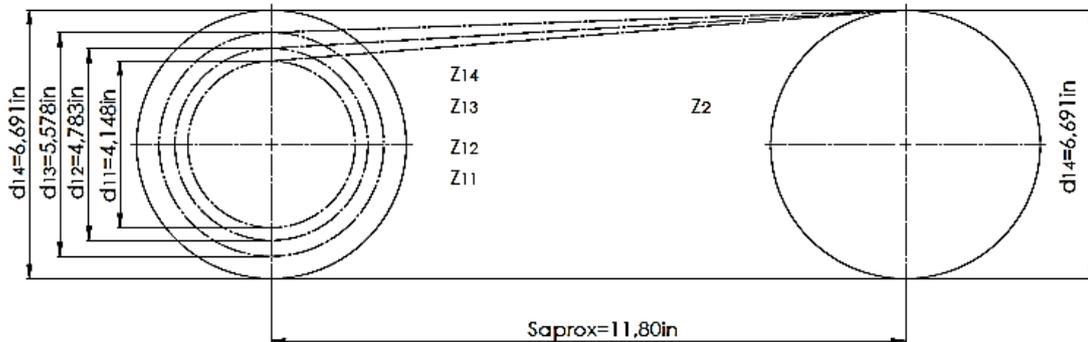
El torque generado en la catalina para el cambio de velocidades se determina mediante la siguiente fórmula:

$$T_{cv} = \frac{Pot_{cv}}{\omega} \quad (51)$$

$$T_{cv} = \frac{184,64 \text{ Nm/s}}{5,34 \text{ rad/s}} = \mathbf{34,56 \text{ Nm}}$$

- Selección de la cadena de transmisión

Para la transmisión del cambio de velocidades se selecciona del catálogo REXNORD (ANEXO H) una cadena número 40 de paso 0,50 in y de acuerdo al número de dientes determinado para cada distancia de siembra se tiene los diámetros de paso de las catalinas.



**Figura 20-4:** Dimensiones para el cambio de velocidades

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

El número de eslabones se determina mediante la ecuación (18), y se asume una distancia entre ejes  $S_{aprox}$  De 30 cm (11,8 in)

$$N_{esl_{11}} = 2 \frac{11,8in}{0,50in} + \frac{26 + 42}{2} + \left( \frac{42 - 26}{2\pi} \right)^2 \frac{0,50in}{11,8in} = 81,47 \approx 82$$

$$N_{esl_{12}} = 2 \frac{11,8in}{0,50in} + \frac{30 + 42}{2} + \left( \frac{42 - 30}{2\pi} \right)^2 \frac{0,50in}{11,8in} = 83,35 \approx 84$$

$$N_{esl_{13}} = 2 \frac{11,8in}{0,50in} + \frac{35 + 42}{2} + \left( \frac{42 - 35}{2\pi} \right)^2 \frac{0,50in}{11,8in} = 85,75 \approx 86$$

$$N_{esl_{14}} = 2 \frac{11,8in}{0,50in} + \frac{42 + 42}{2} + \left( \frac{42 - 42}{2\pi} \right)^2 \frac{0,50in}{11,8in} = 89,2 \approx 90$$

Del cálculo realizado se observa que el mayor número de eslabones se obtiene combinado las dos catalinas de 42 dientes, además se debe incorporar a la transmisión tensores para compensar la longitud de cadena cuando se realiza las otras combinaciones de catalinas.

La longitud de la cadena se determina mediante la ecuación (19) y asumiendo 93 eslabones para la cadena.

$$L_{cadena} = 93 * 0,50 in$$

$$L_{cadena} = 46,5 in$$

- *Determinación de fuerzas en la cadena*

Las fuerzas para esta transmisión se determinan mediante el torque y los diámetros de paso de las catalinas utilizadas.

Considerando:

$$d_{11} = 4,148 \text{ in} = 0,105 \text{ m}$$

$$d_{12} = 4,783 \text{ in} = 0,121 \text{ m}$$

$$d_{13} = 5,578 \text{ in} = 0,141 \text{ m}$$

$$d_{14} = 6,691 \text{ in} = 0,170 \text{ m}$$

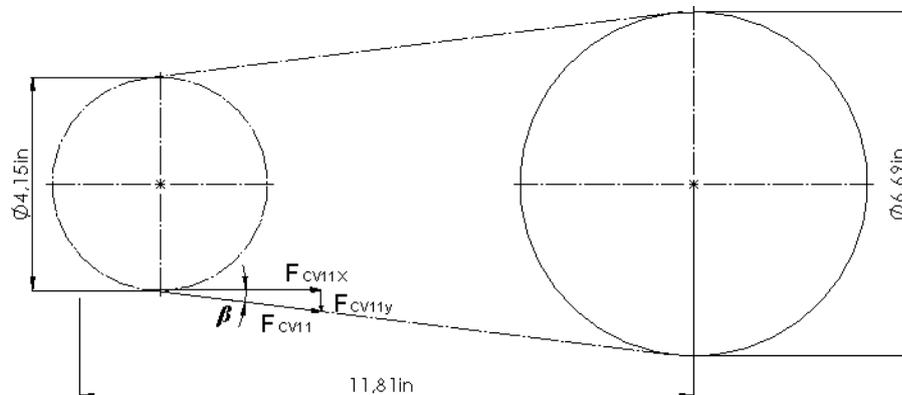
$$F_{CV11} = \frac{2T_{cv}}{d_{11}} = \frac{2 * 34,56 \text{ Nm}}{0,105 \text{ m}} = 658,29 \text{ N}$$

$$F_{CV12} = \frac{2T_{cv}}{d_{12}} = \frac{2 * 34,56 \text{ Nm}}{0,121 \text{ m}} = 571,24 \text{ N}$$

$$F_{CV13} = \frac{2T_{cv}}{d_{13}} = \frac{2 * 34,56 \text{ Nm}}{0,141 \text{ m}} = 486,76 \text{ N}$$

$$F_{CV14} = \frac{2T_{cv}}{d_{14}} = \frac{2 * 34,56 \text{ Nm}}{0,170 \text{ m}} = 406,59 \text{ N}$$

La mayor fuerza se encuentra al combinar las catalinas de 26 y 42 dientes, el ángulo  $\beta$  de la fuerza se calcula mediante la ecuación (45).



**Figura 21-4:** Fuerza en la cadena con las catalinas de 26 y 42 dientes

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$\beta = \frac{57(d_2 - d_{14})}{2S_{co}}$$

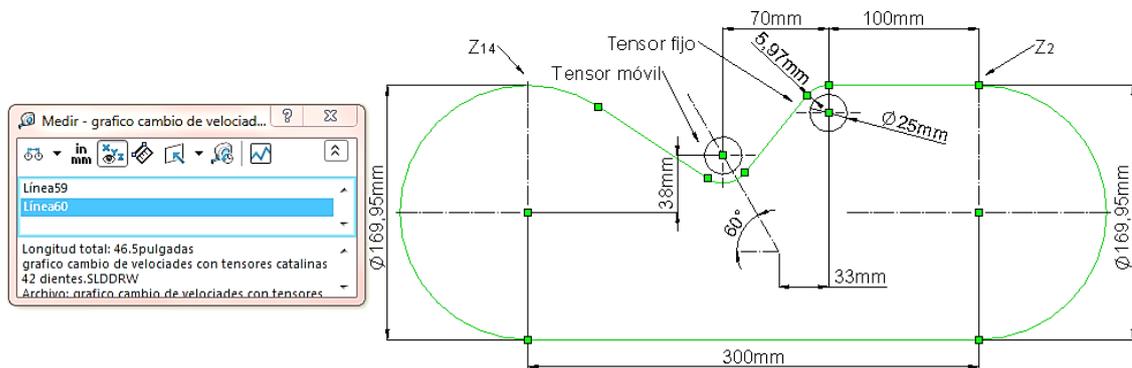
$$\beta = \frac{57(6,691in - 4,148in)}{2(11,81in)} = 6,14^\circ$$

$$F_{CV_{11x}} = F_{CV_{11}} * \cos 6,14^\circ = 654,51 N$$

$$F_{CV_{11y}} = F_{CV_{11}} * \sin 6,14^\circ = 70,41 N$$

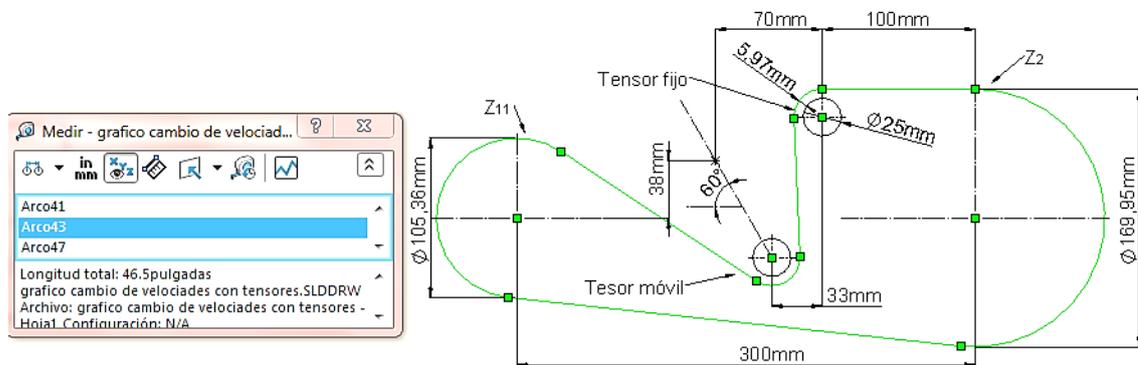
- *Ubicación de los sensores*

Para tensar la cadena cuando se combina las catalinas de 26 y 42 dientes se colocan dos sensores, uno fijo y uno móvil, la distancia que debe recorrer el tensor móvil se determina mediante el software SOLIDWORKS, considerando que la longitud de la cadena es de 46,5 in y asumiendo un diámetro para los rodillos sensores de 25 mm, a este diámetro se debe sumar la mitad de la altura de la cadena indicado como G en el catálogo y de valor 0,47 in (11,94 mm).



**Figura 22-4:** Ubicación de sensores para catalinas de 42 dientes

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018



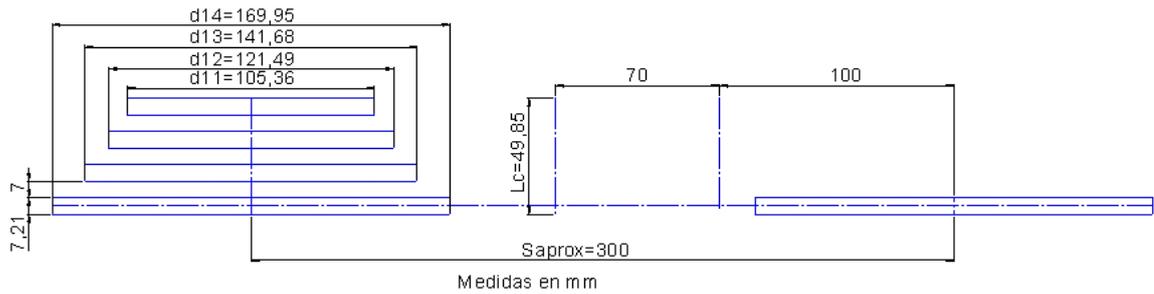
**Figura 23-4:** Ubicación de sensores para catalinas de 26 y 42 dientes

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- *Longitud del perno tensor*

El mecanismo tensor está formado por tornillos que permiten realizar las combinaciones de catalinas y a la vez tensar la cadena. Considerando el ancho del diente de las catalinas número

40 de valor 0,284 in (7,21 mm) y una separación entre catalinas de 7 mm, se puede determinar la longitud de los pernos.



**Figura 24-4:** Longitud del perno del tensor

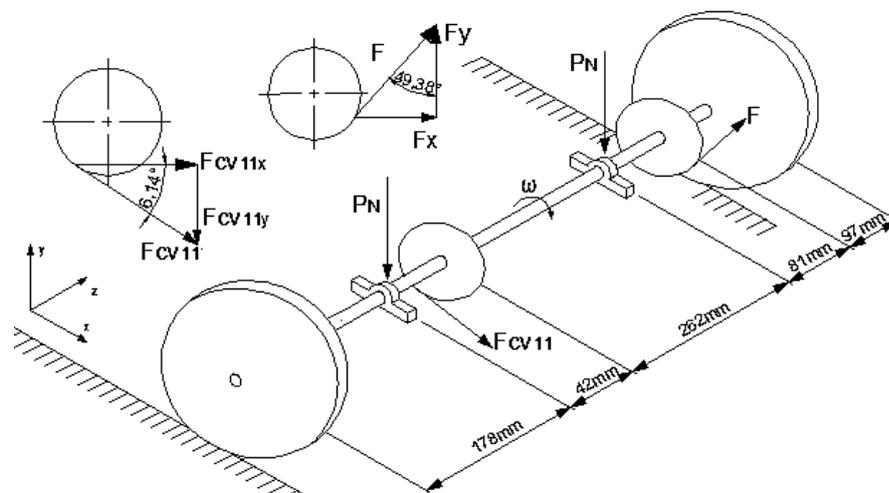
Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

De la figura anterior se determina una longitud de los pernos necesaria para el cambio  $L_c$  De 50 mm y considerando además una distancia de 20 mm desde la catalina más pequeña a la tuerca se selecciona pernos M12 de 100 mm de longitud (ANEXO V).

#### 4.6 Diseño de ejes

- *Diseño de eje de las ruedas de apoyo*

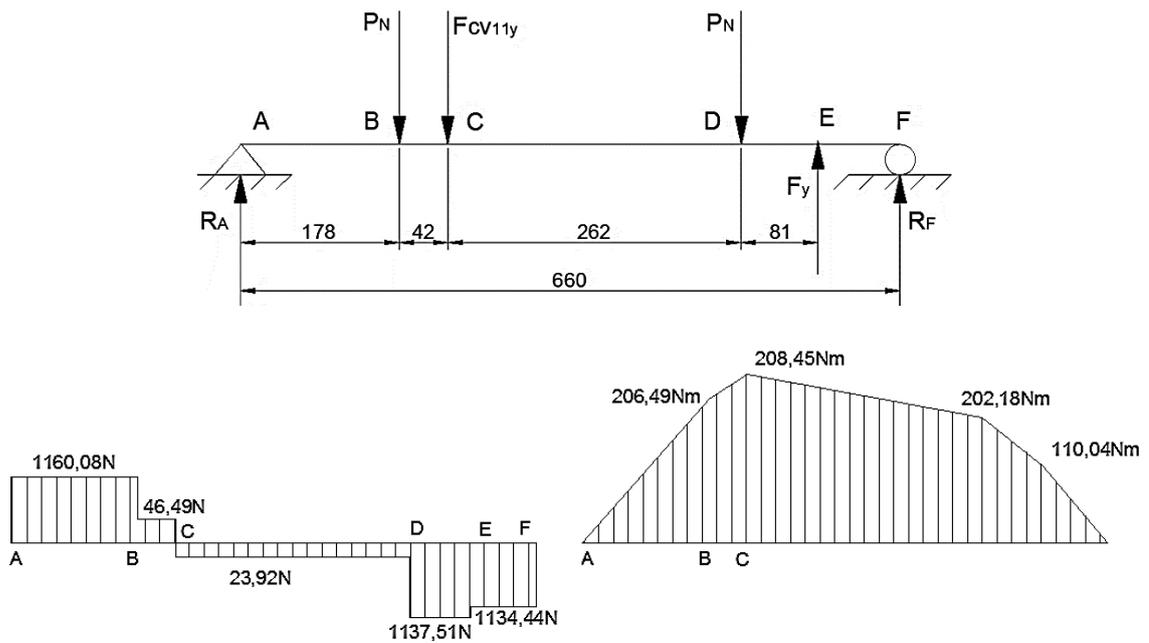
Para el diseño de este eje se considera la ubicación de las catalinas que se utilizarán para el cambio de velocidades y para el dosificador de fertilizante, además del ancho de las ruedas de apoyo.



**Figura 25-4:** Fuerzas en el eje de las ruedas de apoyo

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Análisis en el plano yz



**Figura 26-4:** Diagramas en el eje de la ruedas de apoyo plano yz

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$\sum M_A = 0 \text{ } \curvearrowright +$$

$$-P_N(178) - F_{cv11y}(220) - P_N(482) + F_y(563) + R_F(660) = 0$$

$$R_F = \frac{P_N(178) + F_{cv11y}(220) + P_N(482) - F_y(563)}{660}$$

$$R_F = 1134,44 \text{ N}$$

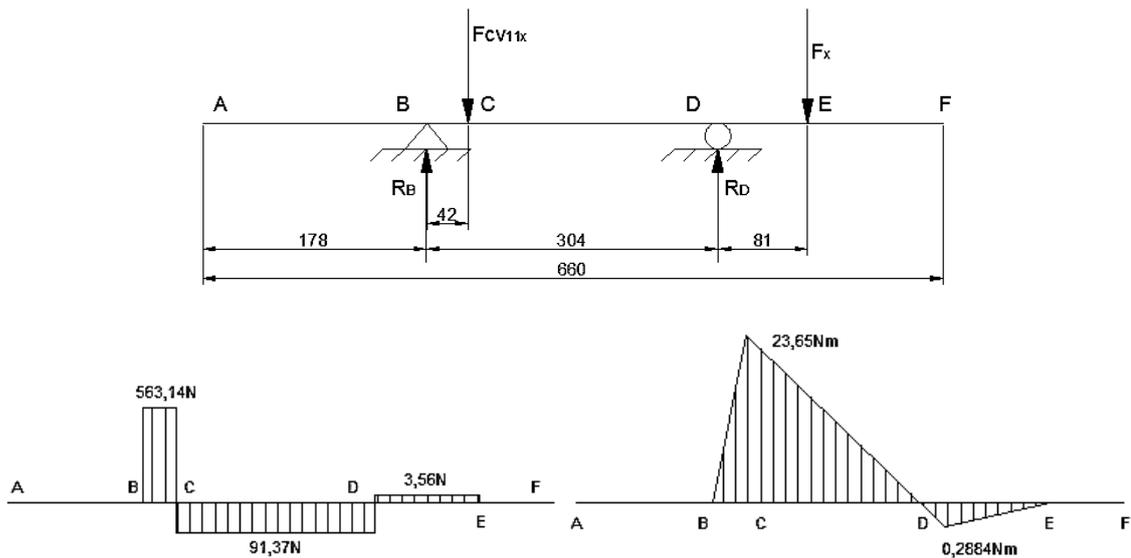
$$\sum F_y = 0 \text{ } \uparrow +$$

$$R_A - P_N - F_{cv11y} - P_N + F_y + R_F = 0$$

$$R_A = P_N + F_{cv11y} + P_N - F_y - R_F = 0$$

$$R_A = 1160,08\text{ N}$$

Análisis en el plano xz



**Figura 27-4:** Diagramas en el eje de la ruedas de apoyo plano xz

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$\sum M_B = 0 \quad \curvearrowright +$$

$$-F_{cv11x}(42) + R_D(304) - F_x(385) = 0$$

$$R_D = \frac{F_{cv11x}(42) + F_x(385)}{304}$$

$$R_D = 94,93 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 \quad \uparrow +$$

$$R_B - F_{cv11x} + R_D - F_x = 0$$

$$R_B = F_{cv11x} - R_D + F_x = 0$$

$$R_B = 563,14 \text{ N}$$

El mayor momento flector se encuentra aplicado en el punto C, razón por la cual se determina el diámetro del eje en este punto.

$$M_C = \sqrt{208,45^2 + 23,65^2} = 209,79 \text{ Nm}$$

El material seleccionado para el eje es un acero AISI 4340 (ANEXO W) que tiene como \$S\_y = 1000\text{MPa}\$ y \$S\_{ut} = 1200\text{MPa}\$, debido a que es un acero que cumple con las características de

resistencia que se requiere para el diseño de este eje debido a las cargas, además es uno de los más utilizados en arboles de transmisión.

**Asumiendo:**  $\eta = 2$  ;  $k = 0,6$  ;  $k_f = 1,4$  ;  $k_{fs} = 1,3$

Reemplazando en la ecuación (46) tenemos

$$d = \left\{ \frac{16(2)}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{1,4 * 209,79Nm}{360MPa} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,3 * 34,56Nm}{1000MPa} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$\mathbf{d = 0,02553m = 25,53mm}$$

Para corregir el factor de seguridad se selecciona un diámetro de 30 mm en el punto C.

$$k_a = 4,51(1200MPa)^{-0,265} = 0,69$$

$$K_b = 1,24(30)^{-0,107} = 0,86$$

$$K_e = 0,814$$

$$K_c = K_d + K_{ef} = 1$$

$$k = 0,69 * 0,86 * 0,814 = 0,48$$

$$S_e = 0,48 * 0,5 * 1200MPa = 288MPa$$

Ingresando a las tablas para flexión y torsión (ANEXO R y S)

$$\text{Flexión} \quad \frac{D}{d} = 1,27 ; \frac{r}{d} = 0,04 \rightarrow k_t = 1,9$$

$$\text{Torsión} \quad \frac{D}{d} = 1,27 ; \frac{r}{d} = 0,04 \rightarrow k_{ts} = 1,75$$

Para flexión  $\sqrt{a} = 0,2$  y para torsión  $\sqrt{a} = 0,16$  (ANEXO T)

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0,2}{\sqrt{1,2}}} = 0,85 \rightarrow k_f = 1 + 0,85(1,9 - 1) = 1,765$$

$$q_{fs} = \frac{1}{1 + \frac{0,16}{\sqrt{1,2}}} = 0,87 \rightarrow k_{fs} = 1 + 0,87(1,75 - 1) = 1,65$$

Mediante la ecuación (46) se determina el coeficiente de seguridad

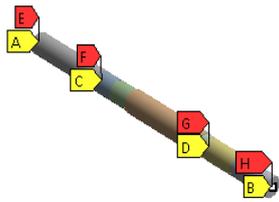
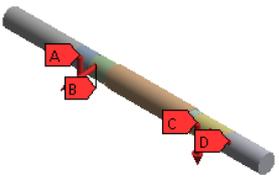
$$\frac{1}{\eta} = \frac{16}{\pi(0,03)^3} \left[ 4 \left( \frac{1,765 * 209,79 \text{ Nm}}{288 \text{ MPa}} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,65 * 34,56 \text{ Nm}}{1000 \text{ MPa}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\eta = 2,06$$

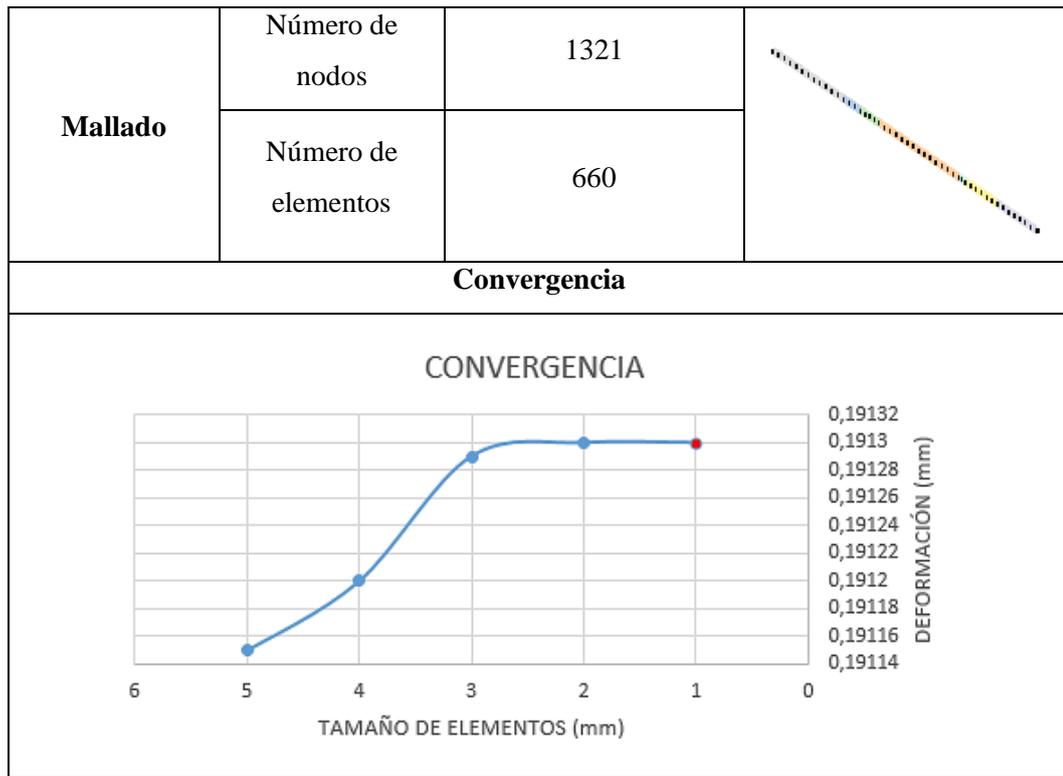
- Verificación de la rigidez por MEF para el eje de las ruedas de apoyo

A los ejes se simuló en el software ANSYS para verificar su deformación.

**Tabla 7-4:** Datos para el análisis por MEF para el eje de las ruedas de apoyo

<b>Geometría</b>	Tipo viga		
<b>Material</b>	AISI 4340 (ANEXO W)		
<b>Restricciones</b>	Apoyo A	Fixed rotation Displacement	
	Apoyo B	Fixed rotation Displacement	
	Apoyo D	Fixed rotation Displacement	
	Apoyo F	Fixed rotation Displacement	
<b>Cargas</b>	Fuerza B	$F_x = 0 \text{ N}$ $F_y = -1113,6 \text{ N}$ $F_z = 0 \text{ N}$	
	Fuerza C	$F_x = 0 \text{ N}$ $F_y = -70,41 \text{ N}$ $F_z = 654,51 \text{ N}$	
	Fuerza D	$F_x = 0 \text{ N}$ $F_y = -1113,6 \text{ N}$ $F_z = 0 \text{ N}$	
	Fuerza E	$F_x = 0 \text{ N}$ $F_y = 3,07 \text{ N}$ $F_z = 3,56 \text{ N}$	

**Continuación Tabla 7-4:** Datos para el análisis por MEF para el eje de las ruedas de apoyo

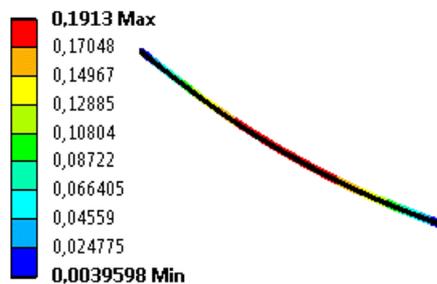


Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Resultados de la simulación:**

**A: EJE RUEDAS DE APOYO**

Total Deformation  
 Type: Total Deformation  
 Unit: mm  
 Time: 1  
 15/04/2018 9:41



**Figura 28-4:** Deformación del eje de las ruedas de apoyo

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

El valor obtenido de la deformación comparamos con valores permisibles:

$$[y] = 0,0003L = 0,0003(660 \text{ mm}) = 0,2 \text{ mm}$$

$$0,1913 \text{ mm} < 0,2 \text{ mm}$$

- Selección de rodamientos

- Rodamiento B y D → Chumacera cuadrada

### **Carga dinámica**

Datos:

$$F_{Br} = \sqrt{1113,59^2 + 563,14^2} = 1247,88 = 1,25KN$$

$$F_{Dr} = \sqrt{1113,59^2 + 94,93^2} = 1117,63N = 1,12KN$$

$$d_{eje} = 30 \text{ mm y } 51,01 \text{ RPM}$$

La chumacera se seleccionó con la fuerza radial mayor, utilizando las ecuaciones (47), (48) y (49).

$$F_a \approx 0 \quad \frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow X = 1$$

$$P = (1)(1,25 \text{ KN}) = 1,25 \text{ KN}$$

$$C' = 1,25 * \sqrt[3]{\frac{60 * 51,01 * 15000}{10^6}}$$

$$C' = 4,48 \text{ KN}$$

$$C' < C$$

Con la carga dinámica y el diámetro del eje determinado, se seleccionó la siguiente chumacera:

$$\text{NTN} \rightarrow \text{UCF 206} \quad C = 19,5 \text{ kN} \quad C_o = 11,2 \text{ kN} \quad (\text{ANEXO X})$$

Con la ecuación (48), determinamos las horas de funcionamiento:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 51,01} \left( \frac{19,5}{1,25} \right)^3$$

$$L_{10h} = 1240415 \text{ h}$$

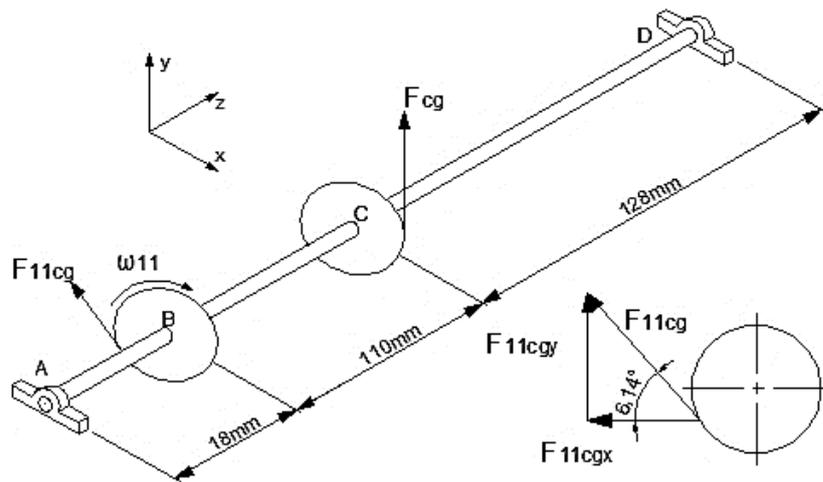
### **Carga estática**

$$P_0 = 0,6(1,25) = 0,75 \text{ KN}$$

$$C'_0 = 1(0,75 \text{ KN}) = 0,75 \text{ KN}$$

$$C'_0 < C_0$$

- Diseño del eje inferior de la cadena de cangilones



**Figura 29-4:** Fuerzas en el eje inferior de la cadena de cangilones

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Para el diseño de este eje se considera una eficiencia de la transmisión del 95%, así la potencia en este eje es:

$$Pot_{icg} = 0,95 * Pot_{cv}$$

$$Pot_{icg} = 0,95 * 184,64W$$

$$Pot_{icg} = 175,41W$$

Calculando el torque tenemos:

$$T_{icg} = \frac{Pot_{icg}}{\omega_{11}} = \frac{175,41W}{3,31 \frac{rad}{s}} = 53Nm$$

Las fuerzas en las catalinas se determinan de la siguiente manera:

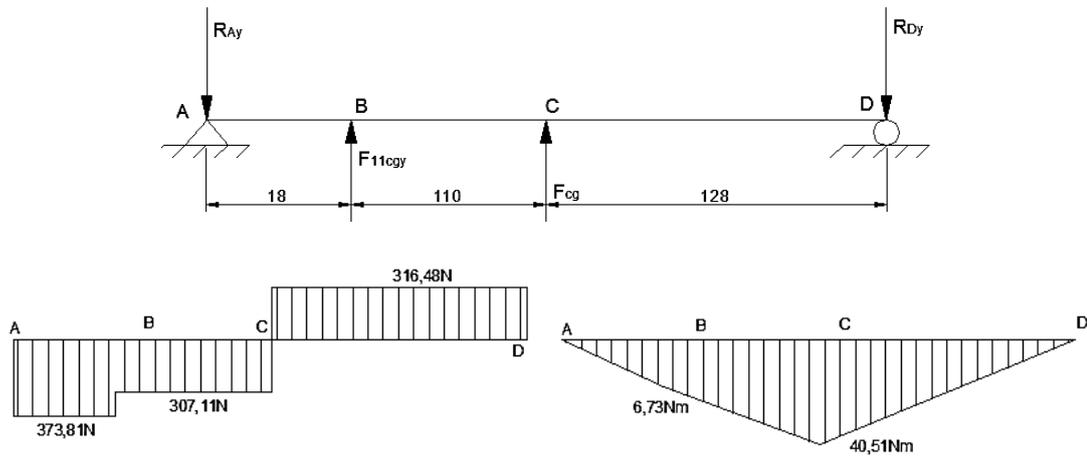
$$F_{cg} = \frac{2 * T_{icg}}{D_3} = \frac{2 * 53Nm}{0,16995m} = 623,59N$$

$$F_{11cg} = \frac{2 * T_{icg}}{D_2} = \frac{2 * 53Nm}{0,16995m} = 623,59N$$

$$F_{11cg_x} = F_{11cg} * \cos 6,14^\circ = 620 N$$

$$F_{11cg_y} = F_{11cg} * \sin 6,14^\circ = 66,70 \text{ N}$$

Análisis en el plano yz



**Figura 30-4:** Diagramas en el eje inferior de la cadena de cangilones plano yz

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$\sum M_A = 0 \curvearrowright +$$

$$F_{11cg_y}(18) + F_{cg}(128) - R_{Dy}(256) = 0$$

$$R_{Dy} = \frac{F_{11cg_y}(18) + F_{cg}(128)}{256}$$

$$R_{Dy} = 316,48 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \uparrow +$$

$$-R_{Ay} + F_{11cg_y} + F_{cg} - R_{Dy} = 0$$

$$R_{Ay} = F_{11cg_y} + F_{cg} - R_{Dy}$$

$$R_{Ay} = 373,81 \text{ N}$$

Análisis en el plano xz

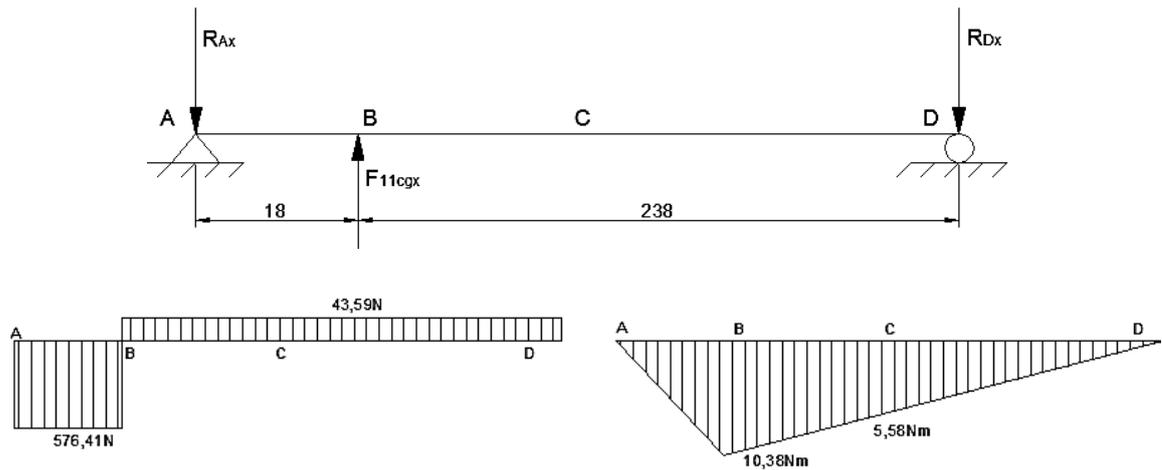


Figura 31-4: Diagramas en el eje inferior de la cadena de cangilones plano xz

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$\sum M_A = 0 \text{ } \cup +$$

$$F_{11cg_x}(18) - R_{Dx}(256) = 0$$

$$R_{Dx} = \frac{F_{11cg_x}(18)}{256}$$

$$R_{Dx} = 43,59 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 \text{ } \uparrow +$$

$$-R_{Ax} + F_{11cg_x} - R_{Dx} = 0$$

$$R_{Ax} = F_{11cg_x} - R_{Dx}$$

$$R_{Ax} = 576,41 \text{ N}$$

El mayor momento flector se encuentra aplicado en el punto C, razón por la cual se determina el diámetro del eje en este punto.

$$M_c = \sqrt{40,51^2 + 5,58^2} = 40,89 \text{ Nm}$$

El material para el eje es un acero AISI 1018 (ANEXO Y) que tiene como  $S_y = 235 \text{ MPa}$  y  $S_{ut} = 410 \text{ MPa}$ , debido a que este eje no soporta cargas elevadas, su bajo costo y fácil mecanización.

Asumiendo:  $\eta = 2$ ;  $k = 0,6$ ;  $k_f = 1,4$ ;  $k_{fS} = 1,3$

Reemplazando en la ecuación (46) tenemos

$$d = \left\{ \frac{16(2)}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{1,4 * 40,89Nm}{123MPa} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,3 * 53Nm}{235MPa} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0,02210m = 22,10mm$$

Para corregir el factor de seguridad se selecciona un diámetro de 25 mm en el punto C

$$k_a = 4,51(410MPa)^{-0,265} = 0,92$$

$$K_b = 1,24(25)^{-0,107} = 0,88$$

$$K_e = 0,814$$

$$K_c = K_d + K_{ef} = 1$$

$$k = 0,92 * 0,87 * 0,814 = 0,66$$

$$S_e = 0,66 * 0,5 * 410MPa = 135,3MPa$$

Ingresando a las tablas para flexión y torsión (ANEXO R y S)

$$\text{Flexión} \quad \frac{D}{d} = 1,28; \frac{r}{d} = 0,05 \rightarrow k_t = 2$$

$$\text{Torsión} \quad \frac{D}{d} = 1,28; \frac{r}{d} = 0,05 \rightarrow k_{ts} = 1,65$$

Para flexión  $\sqrt{a} = 0,54$  y para torsion  $\sqrt{a} = 0,4$  (ANEXO T)

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0,54}{\sqrt{1,2}}} = 0,67 \rightarrow k_f = 1 + 0,67(2 - 1) = 1,67$$

$$q_{fs} = \frac{1}{1 + \frac{0,4}{\sqrt{1,2}}} = 0,73 \rightarrow k_{fs} = 1 + 0,73(1,65 - 1) = 1,47$$

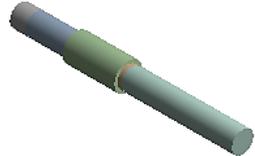
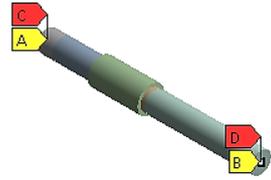
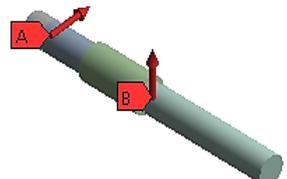
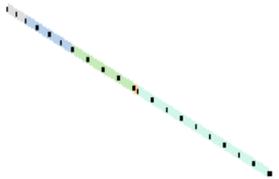
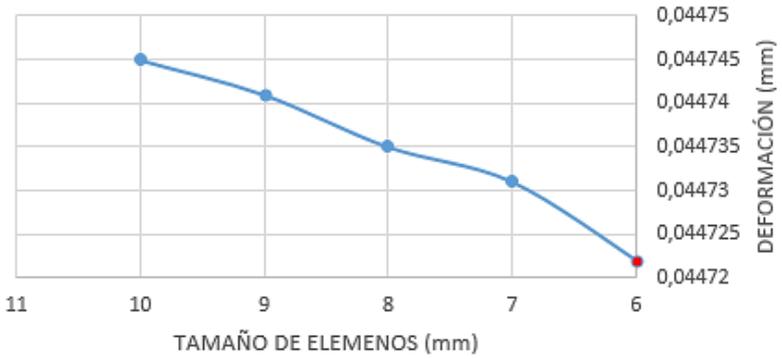
Mediante la ecuación (46) se determina el factor de seguridad

$$\frac{1}{\eta} = \frac{16}{\pi(0,025)^3} \left[ 4 \left( \frac{1,67 * 40,89Nm}{135,3MPa} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,47 * 53Nm}{235MPa} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\eta = 2,64$$

- Verificación de la rigidez por MEF para el eje inferior de los cangilones

**Tabla 8-4:** Datos para el análisis por MEF para el eje inferior de los cangilones

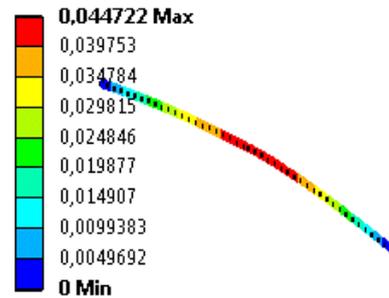
<b>Geometría</b>	Tipo viga														
<b>Material</b>	AISI 1018 (ANEXO Y)														
<b>Restricciones</b>	Apoyo A	Fixed rotation Displacement													
	Apoyo D	Fixed rotation Displacement													
<b>Cargas</b>	Fuerza B	$F_x = 0\text{ N}$ $F_y = 66,7\text{ N}$ $F_z = -620\text{ N}$													
	Fuerza C	$F_x = 0\text{ N}$ $F_y = 623,59\text{ N}$ $F_z = 0\text{ N}$													
<b>Mallado</b>	Número de nodos	89													
	Número de elementos	44													
<b>Convergencia</b>															
<p><b>CONVERGENCIA</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for Convergence Graph</caption> <thead> <tr> <th>Tamaño de Elementos (mm)</th> <th>Deformación (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>0,044745</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0,044740</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>0,044735</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0,044730</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0,044725</td> </tr> </tbody> </table>				Tamaño de Elementos (mm)	Deformación (mm)	10	0,044745	9	0,044740	8	0,044735	7	0,044730	6	0,044725
Tamaño de Elementos (mm)	Deformación (mm)														
10	0,044745														
9	0,044740														
8	0,044735														
7	0,044730														
6	0,044725														

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

## Resultados de la simulación:

### B: EJE INFERIOR CANGILONES

Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
15/04/2018 9:45



**Figura 32-4:** Deformación del eje inferior de los cangilones

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

El valor obtenido de la deformación comparamos con valores permisibles:

$$[y] = 0,0003L = 0,0003(256 \text{ mm}) = 0,0768 \text{ mm}$$

$$0,044722 \text{ mm} < 0,0768 \text{ mm}$$

- Selección de rodamientos

- Rodamiento A y D → De Bolas

### *Carga dinámica*

Datos:

$$F_{Ar} = \sqrt{(R_{Ax})^2 + (R_{Ay})^2} = \sqrt{(576,41)^2 + (373,81)^2} = 687 \text{ N} = 0,69 \text{ KN}$$

$$F_{Dr} = \sqrt{(R_{Dx})^2 + (R_{Dy})^2} = \sqrt{(43,59)^2 + (316,48)^2} = 319,47 \text{ N} = 0,32 \text{ KN}$$

$$d_{eje} = 25 \text{ mm y } 31,61 \text{ rpm}$$

Los rodamientos se seleccionaron con la fuerza radial mayor, utilizando las ecuaciones (47), (48) y (49).

$$F_a \approx 0 \quad \frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow X = 1$$

$$P = (1)(0,69 \text{ KN}) = 0,69 \text{ KN}$$

$$C' = 0,69 * \sqrt[3]{\frac{60 * 31,61 * 15000}{10^6}}$$

$$C' = 2,11 \text{ KN}$$

$$C' < C$$

Con la carga dinámica y el diámetro del eje determinado, se seleccionó el siguiente rodamiento:

$$\text{SKF} \rightarrow 6005 \quad C = 11,9 \text{ kN} \quad C_o = 6,55 \text{ kN} \quad (\text{ANEXO Z})$$

Con la ecuación (48), determinamos las horas de funcionamiento:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 31,61} \left( \frac{11,9}{0,69} \right)^3$$

$$L_{10h} = 2704692 \text{ h}$$

### ***Carga estática***

$$P_0 = 0,6(0,69) = 0,41 \text{ KN}$$

$$P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$$

$$C'_0 = 1(0,41 \text{ KN}) = 0,41 \text{ KN}$$

$$C'_0 < C_0$$

### - *Diseño del eje superior de la cadena de cangilones*

Para el diseño de este eje igualmente se considera una eficiencia de la transmisión del 95%, así la potencia en este eje es:

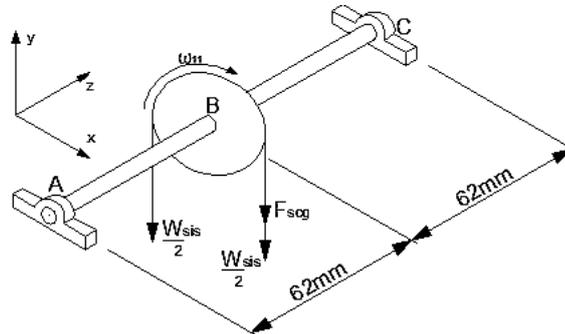
$$Pot_{scg} = 0,95 * Pot_{icg}$$

$$Pot_{scg} = 0,95 * 175,41W$$

$$**Pot_{scg} = 166,64W**$$

Calculando el torque tenemos:

$$T_{scg} = \frac{Pot_{scg}}{\omega_{11}} = \frac{166,64W}{3,31 \frac{rad}{s}} = 50,34Nm$$



**Figura 33-4:** Fuerzas en el eje superior de la cadena de cangilones

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Las fuerzas en las catalinas se determinan de la siguiente manera:

$$F_{scg} = \frac{2 * T_{scg}}{D_3} = \frac{2 * 50,34Nm}{0,16995m} = 592,40N$$

En este eje se considera el peso de las semillas transportadas y el peso de la cadena

$$W_p = m_{sp} * g * N_{cangilones}$$

$$W_p = 0,1685kg * 9,8 \frac{m}{s^2} * 26$$

$$W_p = 42,93N$$

El peso de la cadena por unidad de longitud es de 0,39lb/ft y la longitud es de 106 pulgadas (8,83ft)

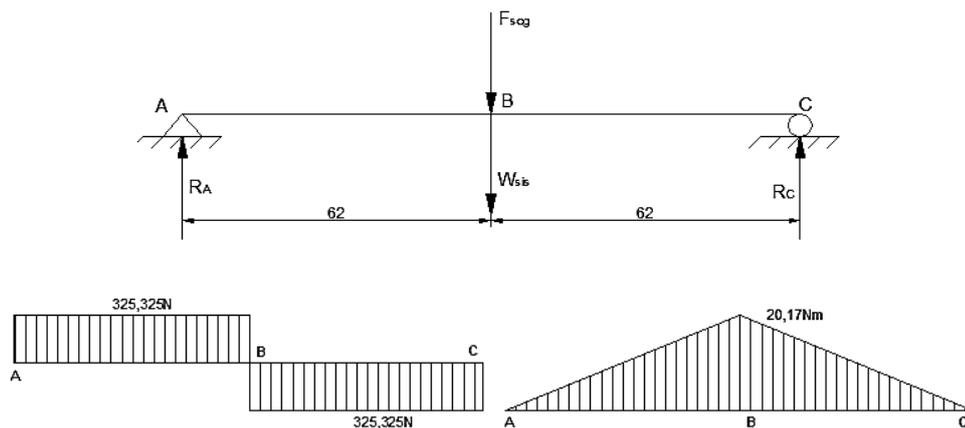
$$W_c = 0,39 \frac{lb}{ft} * 8,83ft$$

$$W_c = 3,44lb = 15,32N$$

El peso del conjunto cadena-semillas es:

$$W_{sis} = W_p + W_c$$

$$W_{sis} = 58,25N$$



**Figura 34-4:** Diagrama en el eje superior de la cadena de cangilones

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$\sum M_A = 0 \cup +$$

$$-F_{scg}(62) - W_{sis}(62) + R_C(124) = 0$$

$$R_C = \frac{F_{scg}(62) + W_{sis}(62)}{124}$$

$$R_C = 325,325N$$

$$\sum F_y = 0 \uparrow +$$

$$R_A - F_{scg} - W_{sis} + R_C = 0$$

$$R_A = F_{scg} + W_{sis} - R_C = 0$$

$$R_A = 325,325N$$

#### ***Determinación del diámetro del eje en el punto crítico***

El mayor momento flector se encuentra aplicado en el punto B, motivo por el que se determina el diámetro del eje en este punto.

$$M_B = 20,17Nm$$

El material seleccionado para el eje es un acero AISI 1018 (ANEXO Y) que tiene como  $S_y = 235MPa$  y  $S_{ut} = 410MPa$ , teniendo en consideración las características indicadas en el anterior eje.

**Asumiendo:**  $\eta = 2$  ;  $k = 0,6$  ;  $k_f = 1,4$  ;  $k_{fS} = 1,3$

Reemplazando en la ecuación (46) tenemos:

$$d = \left\{ \frac{16(2)}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{1,4 * 20,17Nm}{123MPa} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,3 * 50,34Nm}{235MPa} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0,01893m = 18,93mm$$

Para corregir el factor de seguridad se selecciona un diámetro de 22 mm en el punto B.

$$k_a = 4,51(410MPa)^{-0,265} = 0,92$$

$$K_b = 1,24(20)^{-0,107} = 0,89$$

$$K_e = 0,814$$

$$K_c = K_d = K_{ef} = 1$$

$$k = 0,92 * 0,89 * 0,814 = 0,67$$

$$S_e = 0,67 * 0,5 * 410MPa = 137,35MPa$$

Ingresando a las tablas para flexión y torsión (ANEXO R y S)

$$\text{Flexión} \quad \frac{D}{d} = 1,14; \frac{r}{d} = 0,02 \rightarrow k_t = 2,45$$

$$\text{Torsión} \quad \frac{D}{d} = 1,14; \frac{r}{d} = 0,02 \rightarrow k_{ts} = 1,8$$

Para flexión  $\sqrt{a} = 0,54$  y para torsion  $\sqrt{a} = 0,4$  (ANEXO T)

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0,54}{\sqrt{0,5}}} = 0,57 \rightarrow k_f = 1 + 0,57(2,45 - 1) = 1,83$$

$$q_{fs} = \frac{1}{1 + \frac{0,4}{\sqrt{0,5}}} = 0,64 \rightarrow k_{fs} = 1 + 0,64(1,8 - 1) = 1,51$$

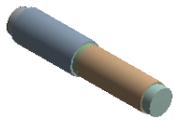
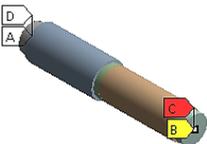
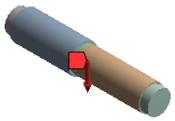
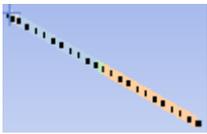
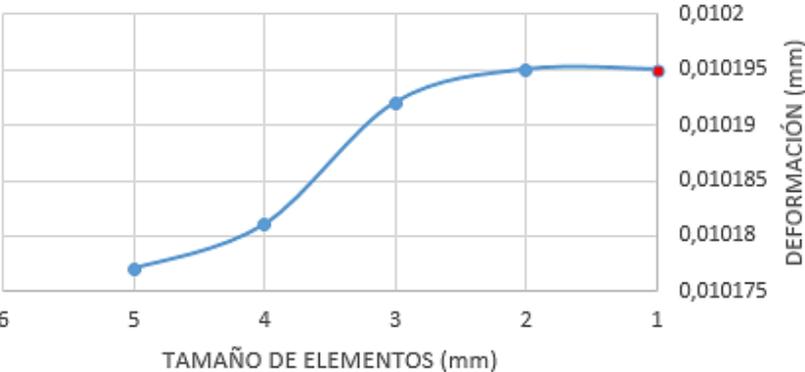
Mediante la ecuación (46) se determina el factor de seguridad

$$\frac{1}{\eta} = \frac{16}{\pi(0,022)^3} \left[ 4 \left( \frac{1,83 * 20,17Nm}{137,35MPa} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,51 * 50,34Nm}{235MPa} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\eta = 2,7$$

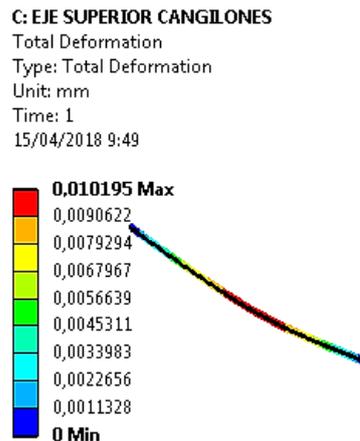
- Verificación de la rigidez por MEF para el eje superior de los cangilones

**Tabla 9-4:** Datos para el análisis por MEF para el eje superior de los cangilones

<b>Geometría</b>	Tipo viga														
<b>Material</b>	AISI 1018 (ANEXO Y)														
<b>Restricciones</b>	Apoyo A	Fixed rotation Displacement													
	Apoyo D	Fixed rotation Displacement													
<b>Cargas</b>	Fuerza B	$F_x = 0\text{ N}$ $F_y = -650,65\text{ N}$ $F_z = 0\text{ N}$													
<b>Mallado</b>	Número de nodos	249													
	Número de elementos	124													
<b>Convergencia</b>															
<p><b>CONVERGENCIA</b></p>  <table border="1"> <caption>Data points for the Convergence Graph</caption> <thead> <tr> <th>Tamaño de Elementos (mm)</th> <th>Deformación (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>0,010178</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,010182</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,010192</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,010195</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,010196</td> </tr> </tbody> </table>				Tamaño de Elementos (mm)	Deformación (mm)	5	0,010178	4	0,010182	3	0,010192	2	0,010195	1	0,010196
Tamaño de Elementos (mm)	Deformación (mm)														
5	0,010178														
4	0,010182														
3	0,010192														
2	0,010195														
1	0,010196														

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

## Resultados de la simulación:



**Figura 35-4:** Deformación del eje superior de los cangilones

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

El valor obtenido de la deformación comparamos con valores permisibles:

$$[y] = 0,0003L = 0,0003(124 \text{ mm}) = 0,0372 \text{ mm}$$

$$0,010195 \text{ mm} < 0,0372 \text{ mm}$$

- Selección de rodamientos

- Rodamiento A y C → De Bolas

### *Carga dinámica*

Datos:

$$F_{Ar} = 0,325 \text{ KN}$$

$$F_{Cr} = 0,325 \text{ KN}$$

$$d_{eje} = 20 \text{ mm y } 31,61 \text{ rpm}$$

Los rodamientos se seleccionaron con la fuerza radial de 325 KN, utilizando las ecuaciones (47), (48) y (49).

$$F_a \approx 0 \quad \frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow X = 1$$

$$P = (1)(0,325 \text{ KN}) = 0,325 \text{ KN}$$

$$C' = 0,325 * \sqrt[3]{\frac{60 * 31,61 * 15000}{10^6}}$$

$$C' = 0,99 \text{ KN}$$

$$C' < C$$

Con la carga dinámica y el diámetro del eje determinado, se seleccionó el siguiente rodamiento:

$$\text{SKF} \rightarrow 6204 \quad C = 13,5 \text{ kN} \quad C_o = 6,55 \text{ kN} \quad f_0 = 13 \text{ (ANEXO U)}$$

Con la ecuación (48), determinamos las horas de funcionamiento:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 31,61} \left( \frac{13,5}{0,325} \right)^3$$

$$L_{10h} = 37789876 \text{ h}$$

#### ***Carga estática***

$$P_0 = 0,6(325) = 0,195 \text{ KN}$$

$$P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$$

$$C_0' = 1(0,325 \text{ KN}) = 0,325 \text{ KN}$$

$$C_0' < C_0$$

#### **4.7 Diseño del surcador**

El diseño se empieza determinando la fuerza necesaria para realizar la abertura del surco, a partir de la siguiente ecuación:

$$F = \mu * S \text{ (51)}$$

Donde:

$F$  = Fuerza de tracción del implemento [N]

$\mu$  = Resistencia específica del terreno [N/cm<sup>2</sup>]

$S$  = Sección de laboreo [cm<sup>2</sup>]

El valor de la resistencia específica según (CAÑAVATE, 2012) para cada tipo de suelo se presenta en la Tabla 4.10, para nuestro caso de estudio el suelo es Franco-arcilloso.

**Tabla 10-4:** Resistencia específica para distintos suelos

Suelo	Resistencia [N/cm <sup>2</sup> ]
Arcillo-limoso	$\mu = 7 + 0,049v^2$
Franco-arcilloso	$\mu = 6 + 0,049v^2$
Franco-arcilloso-limoso	$\mu = 4,8 + 0,024v^2$
Franco	$\mu = 3 + 0,020v^2$
Limo-arenoso	$\mu = 3 + 0,032v^2$
Franco-arenoso	$\mu = 2,8 + 0,013v^2$
Arenoso	$\mu = 2 + 0,013v^2$

Fuente: (CAÑAVATE, 2012)

Donde:

$v$  = Velocidad de avance [km/h]

$$\mu = 6 + 0,049(4 \text{ km/h})^2$$

$$\mu = 6,784 \frac{N}{cm^2} = 67840 \text{ Pa}$$

De la misma manera de acuerdo a este autor, la sección de laboreo se calcula de la siguiente manera:

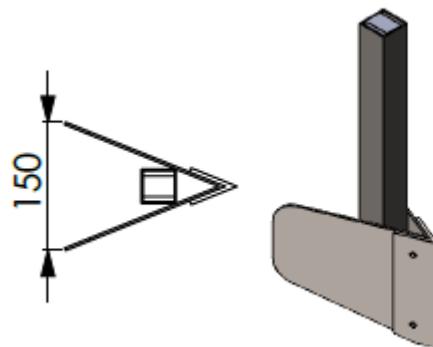
$$S = n * a * p \quad (52)$$

Donde:

$n$  = Número de cuerpos del arado [-]

$a$  = Anchura de cada cuerpo [cm]

$p$  = Profundidad de trabajo [cm]



**Figura 36-4:** Ancho de labranza

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

$$S = (1)(15 \text{ cm})(10 \text{ cm})$$

$$S = 150 \text{ cm}^2$$

Con los valores anteriores se calcula la fuerza y la potencia necesaria para labrar un surco:

$$F = 6,784 \frac{N}{\text{cm}^2} * 150 \text{ cm}^2$$

$$F = 1017,6 \text{ N} = 1,02 \text{ kN}$$

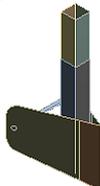
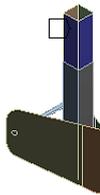
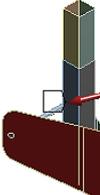
$$Pot_{\text{surcador}} = (1017,6 \text{ N})(1,11 \text{ m/s})$$

$$Pot_{\text{surcador}} = 1129,54 \text{ W} = 1,51 \text{ HP}$$

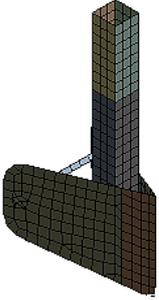
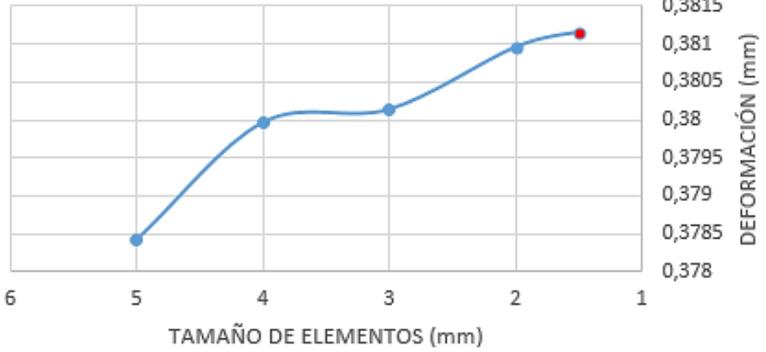
El diseño del surcador se realizó por análisis de Método de Elementos Finitos mediante el software ANSYS y posteriormente se verificó su factor de seguridad.

- *Análisis por MEF para el diseño del surcador*

**Tabla 11-4:** Datos para el análisis por MEF para el surcador

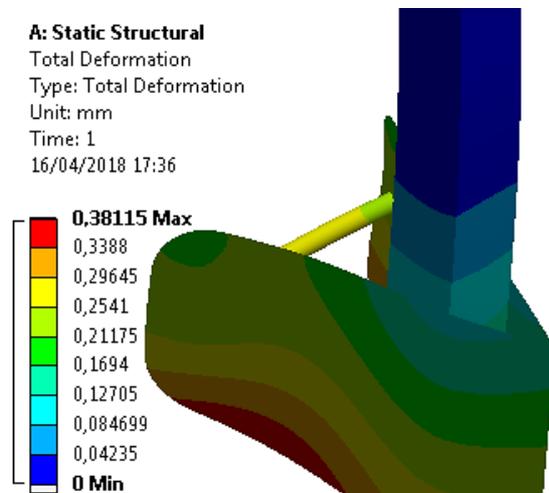
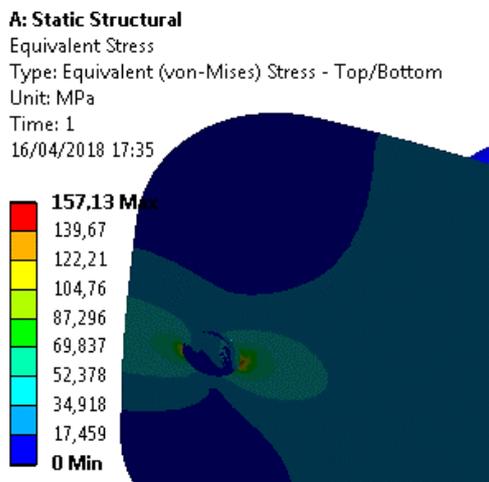
<b>Geometría</b>	Tipo superficie		
<b>Material</b>	Cuchilla Anti abrasiva	5 mm de espesor	ANEXO AA
	Aletas ASTM A36	4 mm de espesor	ANEXO E
	Brazo ASTM A-500	40x40x2 mm	ANEXO BB
	Refuerzo para las aletas ASTM A36	D= 10 mm	ANEXO CC
<b>Restricciones</b>	Apoyo A	Fixed Support (Empotrado)	
<b>Cargas</b>	Presión en las caras	67840 Pa	

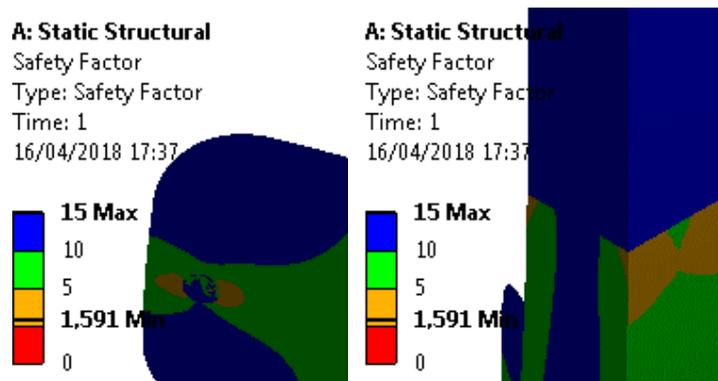
**Continuación Tabla 11-4: Datos para el análisis por MEF para el surcador**

<b>Mallado</b>	Método	MultiZone Quad/Tri	
	Número de nodos	60079	
	Número de elementos	58941	
	Calidad de malla	0,95277	
<b>Convergencia</b>			
 <p style="text-align: center;"><b>CONVERGENCIA</b></p>			

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Resultados de la simulación:**





**Figura 37-4:** Resultados del análisis por MEF del surcador

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Una vez simulado el surcador se observa todos los resultados, por la cual el surcador es aceptable.

#### 4.8 Diseño del tapador

El tapador más adecuado para esta máquina es por discos, el mismo que se encarga de cubrir la semilla y forma un caballón apropiado.

El disco tapador se seleccionó de acuerdo a las ventajas respecto a las vertederas, ángulos de corte y de incidencia, diámetros y filos de disco, mediante la tabla de usos que nos ofrece el catálogo (ANEXO DD):

**Diámetro:** 342,9 mm (13,5 in)

**Espesor:** 3 mm

**Filo:** Bisel exterior

**Superficie:** Lisa

Cabe mencionar que este disco, ya viene con su respectivo rodamiento (Serie 205).

- *Diseño del brazo del disco*

El diseño se empieza determinando la fuerza que va a estar sometido cada disco, a partir de las ecuaciones (51) y (52):

**Datos:**

$$n = 1$$

$$a = 15 \text{ cm}$$

$$p = 12 \text{ cm}$$

$$\mu = 6,784 \text{ N/cm}^2 = 67840 \text{ Pa}$$

$$S = (1)(15 \text{ cm})(12 \text{ cm})$$

$$S = 180 \text{ cm}^2$$

Con el valor anterior se calcula la fuerza y la potencia necesaria para el tapador de semillas:

$$F = 6,784 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} * 180 \text{ cm}^2$$

$$F = 1221,12 \text{ N} = 1,22 \text{ kN}$$

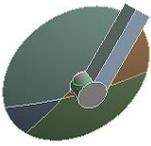
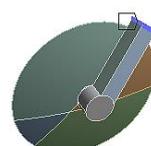
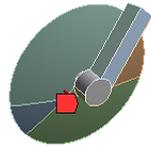
$$Pot_{\text{tapador}} = (1221,12 \text{ N})(1,11\text{m/s})$$

$$Pot_{\text{tapador}} = 1355,44 \text{ W} = 1,82 \text{ HP}$$

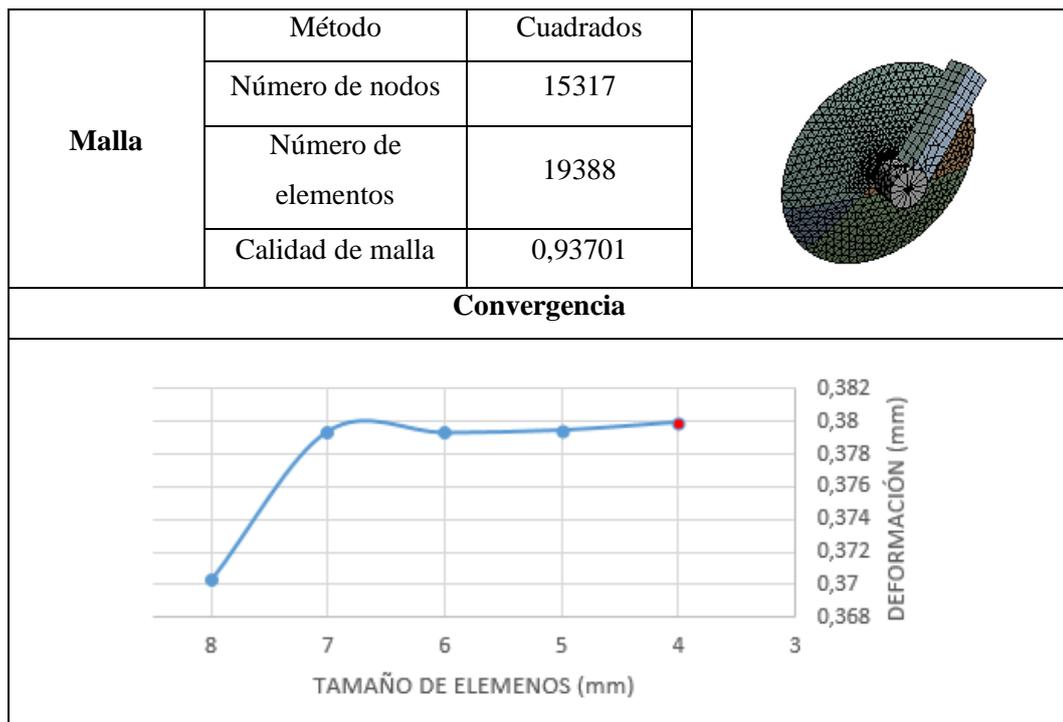
Al igual que el resto de elementos, el diseño del tapador se realizó por análisis de Método de Elementos Finitos mediante el software ANSYS y posteriormente se verificó su factor de seguridad.

- *Análisis por MEF para el diseño del tapador*

**Tabla 12-4:** Datos para el análisis por MEF para el tapador

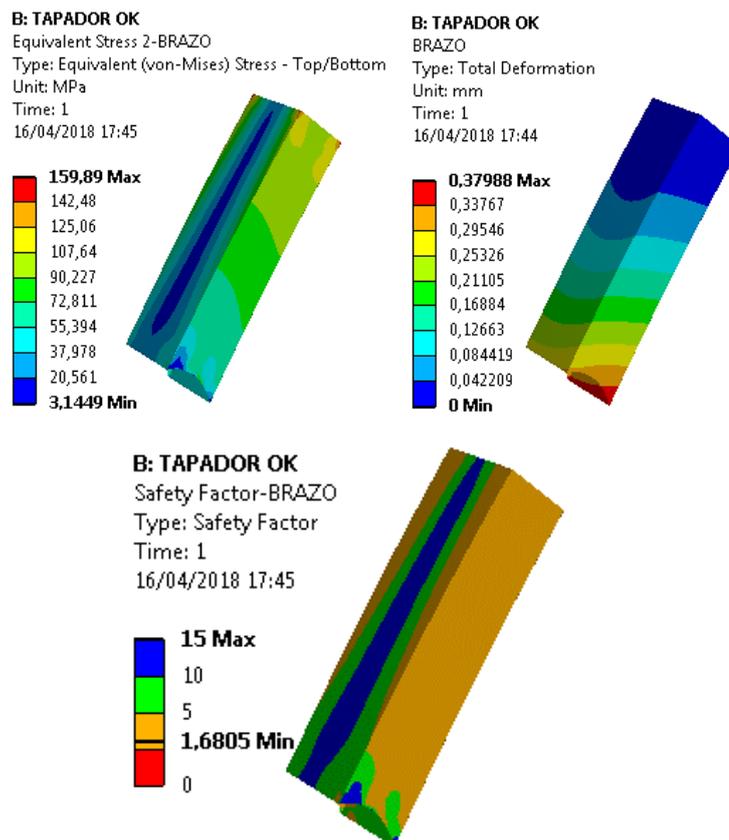
<b>Geometría</b>	Tipo superficie			
<b>Material</b>	Brazo ASTM A-500		40x40x2 mm	ANEXO BB
<b>Restricciones</b>	Apoyo A	Fixed Support (Empotrado)		
<b>Cargas</b>	Presión en las caras	67840 Pa		

**Continuación Tabla 12-4:** Datos para el análisis por MEF para el tapador



Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Resultados de la simulación:**



**Figura 38-4:** Resultados del análisis por MEF del brazo del tapador

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Una vez simulado el tapador se observa los resultados deseados, por la que el brazo del tapador es aceptable.

#### 4.9 Diseño de la estructura

El diseño de la estructura se realizó mediante el software ANSYS, para lo cual se dividió en dos partes: a) Estructura de soporte de los componentes de la máquina, b) Estructura de enganche al tractor agrícola. Cabe mencionar que se utilizó un acero ASTM A36 para la estructura y el enganche debido a que es un material de bajo costo, comercial y más utilizado en estructura metálicas.

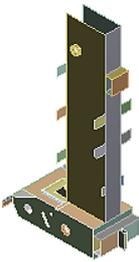
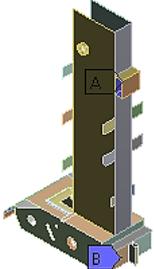
##### a) Estructura de soporte de los componentes de la máquina

Para esta estructura se aplicó todas las reacciones que intervienen en los elementos que conforman la máquina, y se utilizó el acero ASTM A36 (ANEXO E).

##### - Análisis por MEF para la estructura de soporte

El análisis de las estructuras se realizó en el software ANSYS, mediante el método de elementos finitos.

**Tabla 13-4:** Datos para el análisis por MEF para la estructura de soporte

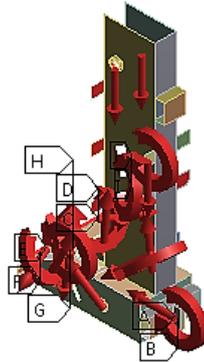
<b>Geometría</b>	Tipo superficie		
<b>Material</b>	ASTM A36, plancha 4 mm (ANEXO E)		
<b>Restricciones</b>	Apoyo A	Fixed Support (Empotrado)	
	Apoyo B	Fixed Support (Empotrado)	

**Continuación Tabla 13-4:** Datos para el análisis por MEF para la estructura de soporte

<b>Cargas y momentos</b> <b>F [N]</b> <b>M [Nmm]</b>	Surcador	$F_x = -1304,5$ $F_y = 0$ $F_z = 0$		$M_x = 0$ $M_y = 0$ $M_z = -3,247 * 10^5$	
	Tapador	Izquierdo	$F_x = 642$ $F_y = -277,15$ $F_z = -1742,6$		$M_x = -4,1 * 10^5$ $M_y = -2,3 * 10^5$ $M_z = -1,2 * 10^5$
		Derecho	$F_x = 642$ $F_y = -277,15$ $F_z = 1742,6$		$M_x = 4,02 * 10^5$ $M_y = 2,34 * 10^5$ $M_z = -1,2 * 10^5$
	Tolva semilla	Espaldar	$F_x = -470,87$ $F_y = -1564,9$ $F_z = 5,79 * 10^{-2}$		$M_x = -47,74$ $M_y = 12,213$ $M_z = 89,227$
		Piso	$F_x = -470,87$ $F_y = -2619,4$ $F_z = -5,8 * 10^{-2}$		$M_x = 13,633$ $M_y = -7,8739$ $M_z = 3,45 * 10^5$
	Tolva fertilizante	$F_x = -541,39$ $F_y = 0$ $F_z = 0$		$M_x = 0$ $M_y = 0$ $M_z = -83355$	
	Eje ruedas	Reacción B	$F_x = 563,14$ $F_y = 1113,59$ $F_z = 0$		
		Reacción D	$F_x = 94,93$ $F_y = 1113,59$ $F_z = 0$		
	Eje inferior cangilones	Reacción A	$F_x = -576,41$ $F_y = 373,81$ $F_z = 0$		
		Reacción D	$F_x = -43,59$ $F_y = 316,48$ $F_z = 0$		

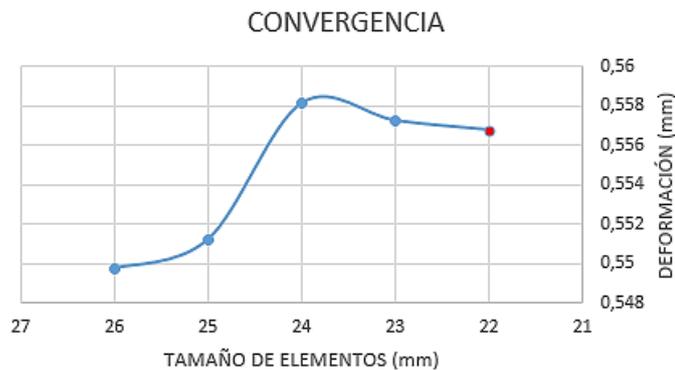
**Continuación Tabla 13-4:** Datos para el análisis por MEF para la estructura de soporte

	Eje superior	Reacción A	$F_x = -325,325$ $F_y = 0, F_z = 0$	
		Reacción C	$F_x = -325,325$ $F_y = 0, F_z = 0$	
	Tornillo sin fin	Reacción A	$F_x = -3,56$ $F_y = -3,07$ $F_z = 2,21$	$M_x = 854,98$ $M_y = -912,56$ $M_z = 109,4$



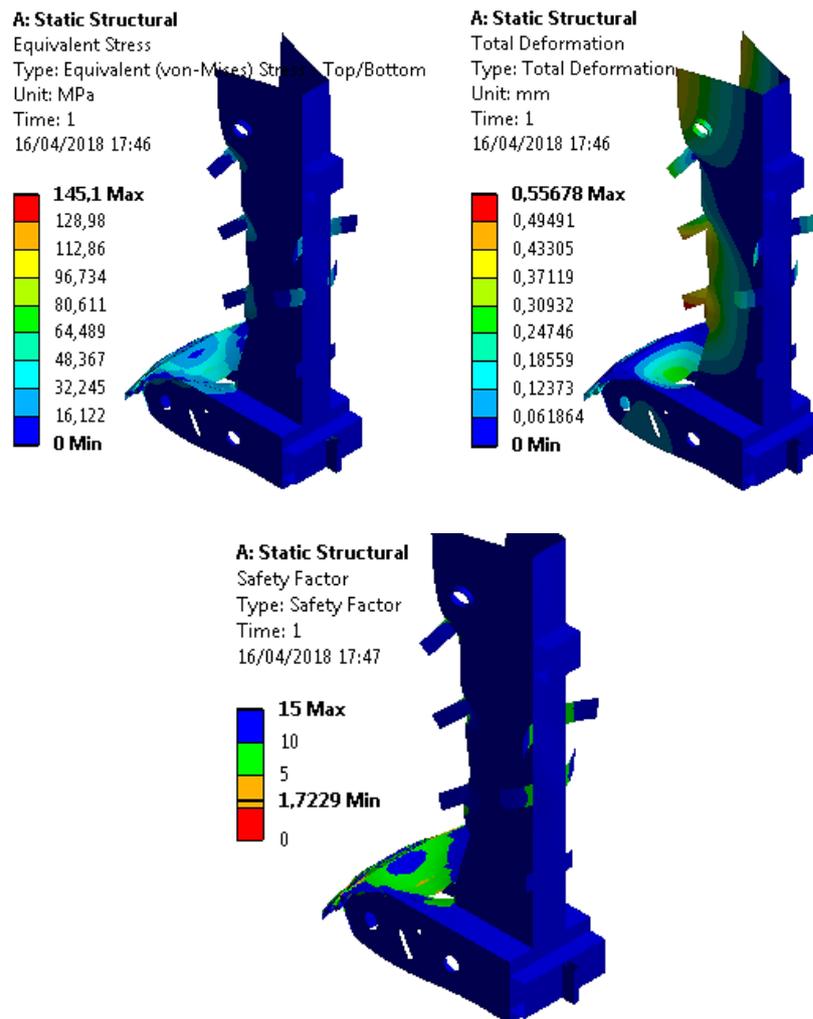
<b>Mallado</b>	Método	Multi zone Quad/Tri	
	Número de nodos	5998	
	Número de elementos	3565	
	Calidad de malla	0,90016	

**Convergencia**



Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

## Resultados de la simulación:



**Figura 39-4:** Resultados del análisis por MEF de la estructura de soporte

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

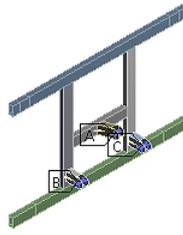
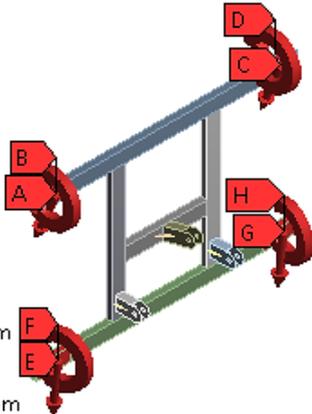
### *b) Estructura de enganche para el tractor agrícola (Norma ISO 730-2)*

Para esta estructura se aplicó las reacciones producidas en la estructura anterior y se utilizó el perfil rectangular 50x100x3 mm de acero estructural (ANEXO 29).

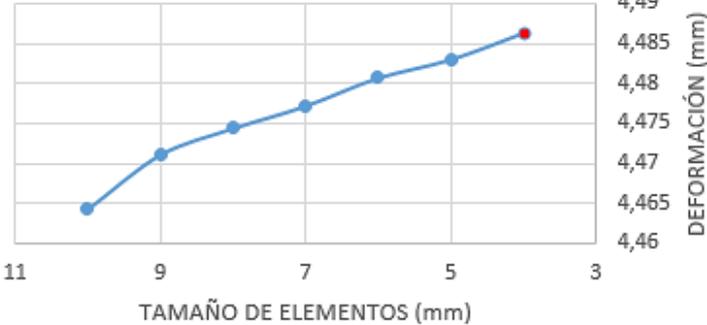
#### *- Análisis por MEF para la estructura de enganche*

Para esta estructura se aplicó el mismo análisis que la estructura de soporte.

**Tabla 14-4:** Datos para el análisis por MEF para la estructura de enganche

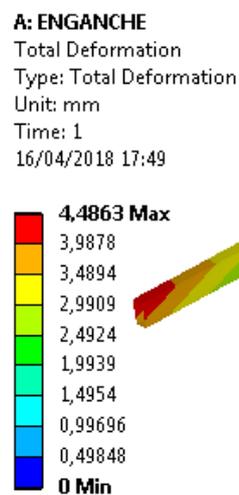
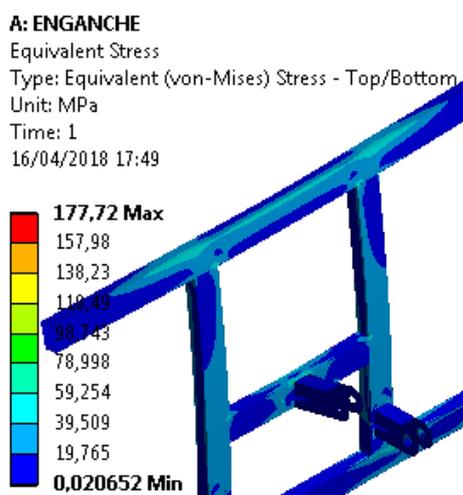
<b>Geometría</b>	Tipo superficie		
<b>Material</b>	ASTM A36	50x100x3 mm (ANEXO BB) Plancha 10 mm espesor (ANEXO E)	
<b>Restricciones</b>	Apoyo A	Fixed Support (Empotrado)	
<b>Cargas y momentos</b> <b>F [N]</b> <b>M [Nmm]</b>	Superior Izquierdo	$F_x = -800,63$ $F_y = -1857,4$ $F_z = 3,61$	$M_x = 318,52$ $M_y = -774,06$ $M_z = 90268$
	Superior Derecho	$F_x = -800,63$ $F_y = -1857,4$ $F_z = -3,61$	$M_x = -318,52$ $M_y = 774,06$ $M_z = 90268$
	Inferior Izquierdo	$F_x = -127,1$ $F_y = -1158,9$ $F_z = -1,40$	$M_x = -33303$ $M_y = -3817,3$ $M_z = -2,09 * 10^5$
	Inferior Derecho	$F_x = -127,1$ $F_y = -1158,9$ $F_z = 1,40$	$M_x = 33303$ $M_y = 3817,3$ $M_z = -2,09 * 10^5$
<p><b>A: ENGANCHE</b> INFERIOR D Time: 1, s 15/04/2018 10:34</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li><b>A</b> SUPERIOR I: 2022,6 N</li> <li><b>B</b> SUPERIOR I: 90272 N·mm</li> <li><b>C</b> SUPERIOR D: 2022,6 N</li> <li><b>D</b> SUPERIOR D: 90272 N·mm</li> <li><b>E</b> INFERIOR I: 1165,8 N</li> <li><b>F</b> INFERIOR I: 2,1167e+005 N·mm</li> <li><b>G</b> INFERIOR D: 1165,8 N</li> <li><b>H</b> INFERIOR D: 2,1167e+005 N·mm</li> </ul>			

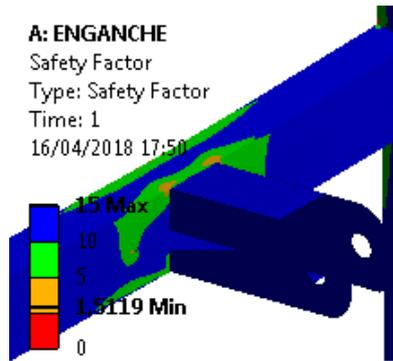
**Continuación Tabla 14-4:** Datos para el análisis por MEF para la estructura de enganche

<b>Mallado</b>	Método	Multi zone Quad/Tri	
	Número de nodos	140907	
	Número de elementos	140807	
	Calidad de malla	0,99334	
<b>Convergencia</b>			
<p><b>CONVERGENCIA</b></p> 			

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Resultados de la simulación:**





**Figura 40-4:** Resultados del análisis por MEF de la estructura de enganche

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

De acuerdo a las deformaciones y factores de seguridad, se puede apreciar que ambas estructuras cumplen con los requisitos de resistencia y por lo tanto son aceptables para la construcción.

#### 4.10 Cálculo de soldadura

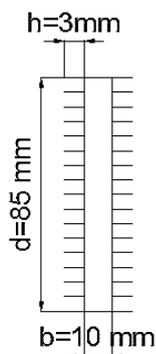
El proceso de soldadura que se selecciona es por electrodo revestido (SMAW), debido a que es el proceso más utilizado, bajo costo y disponible en la mayoría de talleres de metal mecánica.

El diseño de la soldadura se realizó en el elemento estructural que soporta mayores cargas, por ende este elemento se considera como crítico.

##### - Soldadura en el punto de enganche

El punto más crítico son en los brazos inferiores y las cargas que actúan en la soldadura son las siguientes:

$$F = 1026,4 \text{ N}, M = 533,9 \text{ Nm} = 533900 \text{ Nmm}$$



**Figura 41-4:** Soldadura en el punto de enganche

Fuente: (Autores)

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{Mc}{I} = \frac{S_y}{n} \quad (53)$$

$$A = 1,414hd \rightarrow (\text{BUDYNAS, y otros, 2008})$$

$$A = 1,414(5)(85) = 600,95 \text{ mm}^2$$

A continuación se determina segundo momento unitario de área, considerando un  $h=5$  mm por recomendación de la Norma AWS D1.1:

$$I_u = \frac{d^3}{6}$$

$$I_u = \frac{(885)^3}{6} = 102354,17 \text{ mm}^3$$

$$I = 0,707hI_u$$

$$I = 0,707(5)(102354,17) = 361821,98 \text{ mm}^4$$

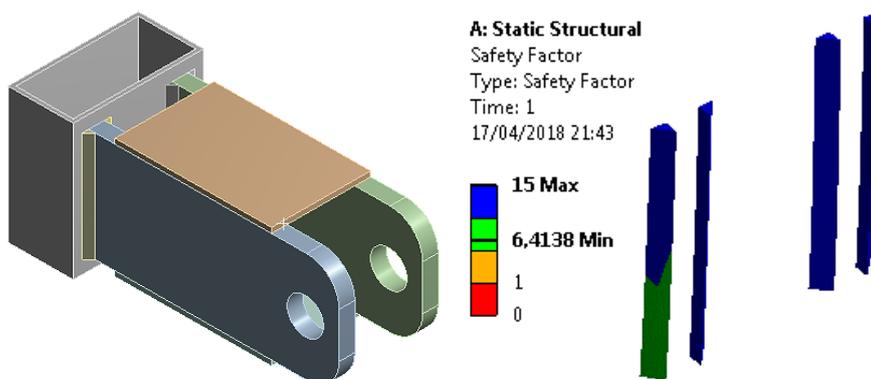
Se utiliza un electrodo E7018 con  $S_y = 445 \text{ MPa}$ , el cual permite soldar acero estructural por recomendación de Ferrocortes para determinar el factor de seguridad:

$$\frac{1026,4}{2(600,95)} + \frac{533900 * 42,5}{361821,98} = \frac{445}{n}$$

$$n = 7$$

Según (NORTON, 2009) el factor de seguridad mínimo para soldaduras en aceros A36 es de 2,21 a 4,06.

Posteriormente se verifica el factor de seguridad de la soldadura en ANSYS, dando como resultado el siguiente valor:



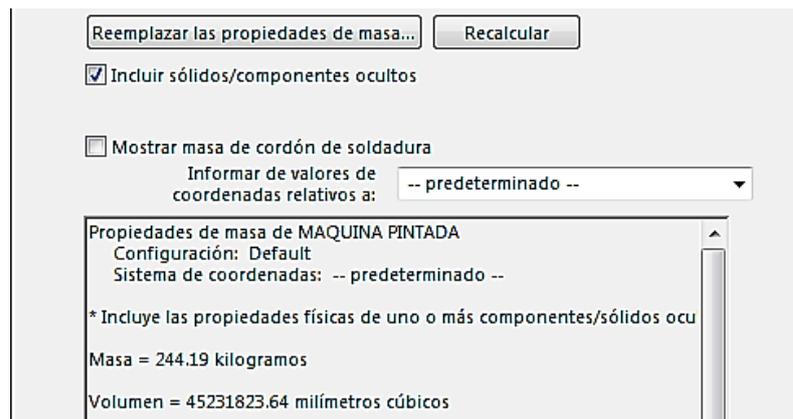
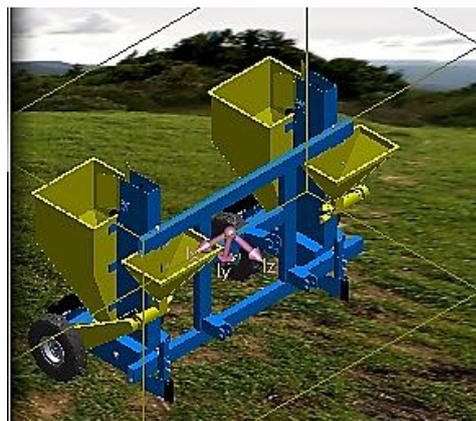
**Figura 42-4:** Factor de seguridad de la soldadura

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

La variación del factor de seguridad es porque en el cálculo realizado a mano no se tomó en cuenta las fuerzas que producen corte debido a que se considera solas las fuerzas y momentos que producen esfuerzos normales, mientras que en el ANSYS se tomó en cuenta todas estas fuerzas y momentos.

#### 4.11 Cálculo de la potencia total necesaria para la máquina sembradora de papas

Para el cálculo de la potencia real se verifica que la masa asumida inicialmente de la máquina tenga similitud la masa de la máquina construida, para lo cual se procedió a asignar materiales en el modelado de SOLIDWORKS de la máquina sembradora de papas.



**Figura 43-4:** Masa real de la sembradora de papas

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Con la masa de la sembradora en vacío obtenida en el SOLIDWORKS se calcula la masa total de la sembradora cargada completamente.

$$M_T = M_p + M_f + M_m$$

$$M_T = (136,36 + 45,45 + 244,19)kg$$

$$M_T = 426 \text{ kg} \rightarrow \text{Masa real SOLIDWORKS}$$

$$M_T = 454,525 \text{ kg} \rightarrow \text{Masa asumida}$$

Una vez obtenida la masa real se observa que tiene similitud con la masa asumida inicialmente, con la cual se considera la masa asumida para el cálculo de potencia.

La potencia total necesaria para poner en marcha a la sembradora es la suma de todas las potencias que intervienen en la máquina.

$$Pot_n = 185,41 \text{ W} = 0,25 \text{ HP}$$

$$Pot_{surcador} = 1129,54 \text{ W} = 1,51 \text{ HP}$$

$$Pot_{tapador} = 1355,44 \text{ W} = 1,82 \text{ HP}$$

$$Pot_{sembradora} = 4 * (185,41 \text{ W}) + 2 * (1129,54 \text{ W}) + 4 * (1355,44 \text{ W})$$

$$Pot_{sembradora} = 8422,48 \text{ W} = 11,29 \text{ HP} \approx 12 \text{ HP}$$

## CAPÍTULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA SEMBRADORA DE PAPAS

El objetivo de este capítulo consiste en la construcción, ensamble y pruebas de funcionamiento de la máquina sembradora de papas, cuyos elementos más importantes se diseñaron y se seleccionaron en el capítulo de materialización, siguiendo la respectiva secuencia para cada elemento de los sistemas que conforman la sembradora, los mismos que son: estructura, sistema de distribución de semilla, sistema de dosificación de fertilizante, surcador y tapador

#### 5.1 Construcción

Para la construcción de la máquina sembradora de papas, se utilizó una gran cantidad de máquinas y herramientas, las cuales se mencionan a continuación:

**Tabla 1-5:** Máquinas y Herramientas

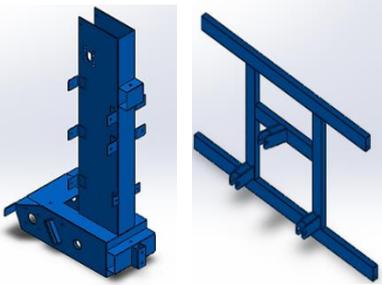
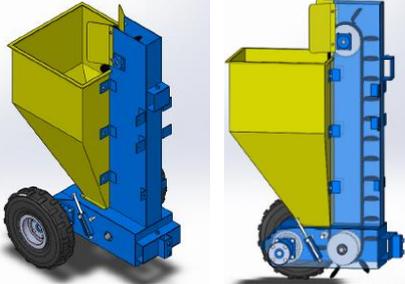
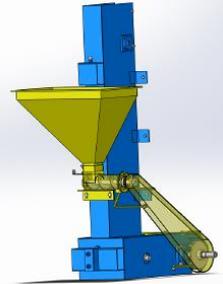
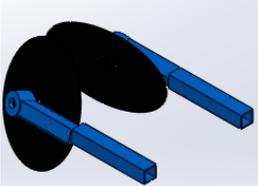
HERRAMIENTAS	MÁQUINAS
- Flexómetro	- Dobladora Manual
- Rayador	- Taladro manual y pedestal
- Escuadras	- Cizalla hidráulica
- Cizalla	- Soldadora eléctrica
- Brocas	- Amoladora
- Calibrador pie de rey	- Torno
- Discos de pulir	- Fresadora
- Juego de llaves	- Limadora
- Arco de cierra	- Compresor
- Martillo	
- Limas	
- Compás	
- Entenalla	
- Destornilladores	

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 5.1.1 Sistemas que componen la sembradora de papas

La máquina se divide en 5 sistemas para facilitar la construcción y montaje de la misma, cuyos sistemas se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 2-5:** Sistemas de la Sembradora de papas

SISTEMAS	GRÁFICO
Sistema estructural	
Sistema de distribución de semilla	
Sistema de dosificación de fertilizante	
Surcador	
Tapador	

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 5.1.2 Procedimiento de construcción

En la tabla a continuación se indica el material utilizado para cada sistema y la cantidad requerida:

**Tabla 3-5:** Materiales utilizados para la construcción de la sembradora de papas

SISTEMA	ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL	
Estructura	Estructura principal	1	Plancha acero ASTM A36 1220x3000x4 mm	
	Enganche	1	Tubo rectangular ASTM A-36 50x100x3 mm	
Sistema de distribución de semilla	Tolva Semilla	2	Plancha acero ASTM A36 1220x2440x2 mm	
	Eje principal	2	Eje sólido AISI 4340 Ø38x660 mm	
	Eje superior	2	Eje sólido AISI 1018 Ø25x138 mm	
	Eje Inferior	2	Eje sólido AISI 1018 Ø32x300 mm	
	Cadenas	3	Número 40	
	Catalinas Número 40		8	42 dientes
			2	35 dientes
			2	30 dientes
			2	26 dientes
	Rodamientos y chumaceras		4	Rodamientos rígidos de bolas 6204
			4	Rodamientos rígidos de bolas 6005
			4	Chumaceras cuadrada UCF206
	Cangilones	*	Plancha acero ASTM A36 1220x2440x2 mm	
	Pernos, tuercas y arandelas		8	UNC 7/16x1 in
			40	M8x1,25x20 mm
Neumáticos	4	RIN 4.00-8		

**Continuación Tabla 3-5:** Materiales utilizados para la construcción de la sembradora de papas

Sistema de dosificación de fertilizante	Tolva Fertilizante	1	Plancha acero AISI 430 1220x2440x2 mm
	Tornillo sin fin	2	Eje sólido AISI 304 Ø25x300 mm
	Carcaza tornillo	*	Plancha acero AISI 430 1220x2440x2 mm
	Protector de cadena	*	Plancha acero ASTM A36 1220x2440x2 mm
	Cadena	1	Número 40
	Catalinas Número 40	2	12 dientes
		2	35 dientes
	Rodamientos	4	Rodamientos rígidos de bolas 6204
	Manguera	1	Flexible Ø38x1200 mm
	Pernos, tuercas y arandelas	12	M10x1,5x20 mm
6		UNC 1/4X3/4 in	
8		M8x1,25x20 mm	
Surcador	Brazo	1	Tubo cuadrado ASTM A-500 40x40x2mm
	Aletas	*	Plancha acero ASTM A36 1220x3000x4 mm
	Cuchilla	1	Plancha anti abrasiva 150x240x5 mm
Tapador	Brazo	*	Tubo cuadrado ASTM A-500 40x40x2mm
	Discos	4	Discos aporcadores Ø320 mm
	Pernos y tuercas	16	M10x1,50x60 mm

(\*) Para la construcción de estos elementos se realizó con la sobra de material de otro proceso.

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 5.1.3 *Tiempos de construcción de la sembradora*

En la siguiente tabla se muestra el tiempo requerido para la construcción de la máquina, detallando sus respectivas operaciones.

**Tabla 4-5:** Tiempos requeridos para la construcción

SISTEMA	ELEMENTO	OPERACIONES	TIEMPO (DÍAS)
Estructura	Estructura principal	Medición y trazado	0,50
		Corte	0,25
		Soldado	2
		Pulido	1
		Taladrado y roscado	0,25
	Enganche	Medición y trazado	0,50
		Corte	0,25
		Soldado	0,50
		Taladrado	0,25
		Pulido	0,50
Sistema de distribución de semilla	Tolva Semilla	Medición y trazado	0,25
		Corte	0,25
		Doblado	0,25
		Soldado	0,75
		Taladrado	0,25
		Pulido	0,50
	Eje principal	Torneado	0,50
		Fresado	0,50
	Eje superior	Torneado	0,25
	Eje Inferior	Torneado	0,25
		Fresado	0,50
	Catalinas Número 40	Torneado	0,50
		Ranurado	1
	Cangilones	Medición y trazado	0,50
		Corte	1
		Embutido	0,50
		Soldado	2
		Taladrado y pulido	2

**Continuación Tabla 4-5: Tiempos requeridos para la construcción**

	Alojamientos	Medición y corte	0,25	
		Torneado	1	
		Taladrado	0,50	
	Acoples ruedas	Medición y trazado	0,25	
		Corte	0,25	
		Soldado	0,25	
		Torneado	0,50	
		Taladrado	0,50	
	Sistema de dosificación de fertilizante	Tolva Fertilizante	Medición y trazado	0,25
			Corte	0,25
Doblado			0,25	
Soldado			0,75	
Taladrado			0,25	
Pulido			0,50	
Tornillo sin fin		Torneado	0,50	
		Medición y trazado	0,25	
		Soldado	1	
Carcaza tornillo		Medición y trazado	0,25	
		Corte	0,25	
		Doblado	0,25	
		Soldado	1	
		Taladrado	0,25	
		Pulido	0,25	
Protector de cadena		Medición y trazado	0,25	
		Corte	0,25	
		Doblado	0,25	
		Soldado	0,50	
		Taladrado	0,25	
		Pulido	0,25	
Catalinas Número 40		Torneado	0,25	
		Taladrado	0,25	
		Roscado	0,50	
Surcador		Brazo	Medición y trazado	0,25
			Corte	0,25

**Continuación Tabla 4-5: Tiempos requeridos para la construcción**

	Aletas	Medición y trazado	0,25
		Corte	0,25
		Soldado	0,25
		Pulido	0,25
	Cuchilla	Medición y trazado	0,25
		Corte	0,25
		Limado	0,50
		Taladrado	0,25
Tapador	Brazo	Medición y trazado	0,25
		Corte	0,50
		Torneado	0,50
		Soldado	1
		Pulido	0,50
	Placas de ajuste	Medición y trazado	0,25
		Corte	0,25
		Taladrado	0,50
Operación complementaria		Pintura	2
<b>SUBTOTAL (DIAS)</b>			<b>39</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

#### 5.1.4 Pintura

El proceso de pintado empieza con la preparación de la superficie en cual se basa en la Norma SSPC-SP-2 (Limpieza con herramientas manuales).

##### - Fondo de pintura

Posteriormente se seleccionó el Primer Epóxico Unidas Anticorrosivo (Fondo) de acuerdo sus usos que trae su ficha técnica y por recomendación del distribuidor de pinturas, este fondo se lo aplica en una sola pasada. Para su aplicación se siguió con la recomendación de su ficha técnica que se menciona a continuación:

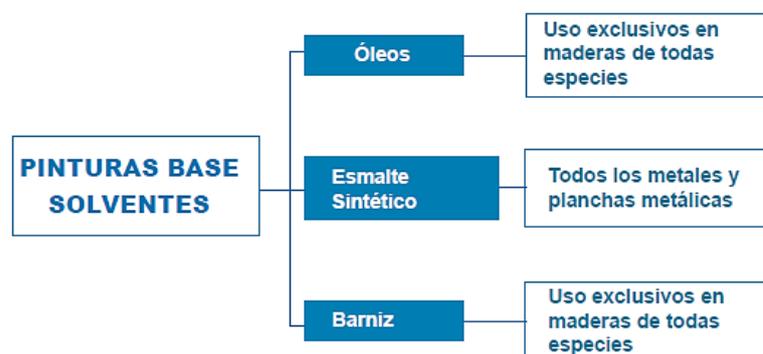
<b>Color:</b>	1430 Amarillo 1431 Rojo Óxido 1437 Gris
<b>Acabado:</b>	Semibrillante
<b>Sólidos por Volumen:</b>	55 +/- 2%
<b>Número de componentes:</b>	Dos
<b>Proporción de la mezcla:</b>	4 partes por volumen del Componente A. 1 parte por volumen de DC 010
<b>Tiempo de vida útil de la mezcla:</b>	12 horas a 25°C 10 horas a 30°C
<b>Punto de inflamación:</b>	Mayor de 21°C
<b>Espesor recomendado:</b>	Húmedo: 136 micras Seco: 75 micras
<b>Rendimiento teórico:</b>	7 m <sup>2</sup> /litro a 75 micras
<b>Método de aplicación:</b>	Pistolas: sin aire (Airless) con- vencional / Brocha y Rodillo
<b>Dilución:</b>	Reductor Epóxico 1170 diluir máx. 25 % por Vol. (1 litro)
<b>Limpieza de equipos:</b>	Reductor Epóxico Cód. 1170
<b>Tiempo de secado entre manos:</b>	4 horas
<b>Norma INEN aplicable:</b>	INEN 1046

**Figura 1-5:** Ficha técnica del fondo

Fuente: (UNIDAS, 2018)

- **Pintura**

La pintura se seleccionó de acuerdo a la siguiente recomendación:



**Figura 2-5:** Aplicación de pinturas

Fuente: (DOMÍNGUEZ COLOMA, 2012)

Para el pintado de nuestra sembradora se utilizó la pintura Marine Enamel (Esmalte marino de alto desempeño), cuyas recomendaciones de usos menciona maquinaria agrícola:

<b>Color:</b>	Según carta RAL - UNIDAS
<b>Acabado:</b>	Brillante
<b>Sólidos por Volumen:</b>	42 %
<b>Número de componentes:</b>	Uno
<b>Punto de inflamación:</b>	Sobre los 21 °C
<b>Espesor recomendado:</b>	Húmedo: 100 micras. Seco: 50 micras.
<b>Rendimiento teórico:</b>	8.0 m <sup>2</sup> /litro a 50 micras <i>*No se está considerando el porcentaje de pérdida por aplicación.</i>
<b>Método de Aplicación:</b>	Pistolas: sin aire (Airless), convencional Brocha y Rodillo
<b>Dilución:</b>	Reductor Cód. 403. Máximo 10 %
<b>Diámetro de boquilla:</b>	0.33 – 0.48 mm
<b>Presión de boquilla:</b>	175 bar
<b>Limpieza de equipos:</b>	Reductor Cód. 403

**Figura 3-5:** Ficha técnica de la pintura

Fuente: (UNIDAS, 2018)

El proceso de pintado se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:

- Ciudad de Ambato , Temperatura de 19° C a 20° C (26/02/2018), Humedad 25 %

El espesor que se considero es de 75 micras (3 capas) para la aplicación del fondo y de 50 micras (2 capas) para la aplicación de la pintura, este espesor se seleccionó considerando un ambiente seco y las recomendaciones del fabricante de pintura, además se midió con el medidor de capas de tipo electromagnético.

## 5.2 Ensamble de la sembradora de papas

El ensamble de la sembradora de papas consiste en adherir los sistemas y elementos que la componen a la estructura principal, siguiendo una secuencia lógica que nos facilite un montaje rápido y adecuado.

En la presente tabla se detalla el tiempo necesario para el montaje de cada sistema de dicha máquina.

**Tabla 5-5:** Montaje de la sembradora de papas

<b>SISTEMA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO (DÍAS)</b>
Sistema de distribución de semilla	Montaje de eje y catalinas	0,75
	Montaje de chumaceras y rodamientos	
	Montaje de acoples y ruedas	
	Montaje de eje superior e inferior	
	Montaje de tolva de semilla	
	Montaje de cadenas	
	Montaje de rodillos tensores	
Sistema de dosificación de fertilizante	Montaje de rodamientos en el tornillo sin fin	0,50
	Montaje del tornillo con la carcaza	
	Montaje de catalinas en el tornillo y en el eje principal	
	Montaje de la tolva	
	Montaje del conjunto carcaza-tornillo en la estructura	
	Montaje de cadenas	
	Montaje del protector de la cadena	
	Montaje de la manguera	
Surcador	Montaje de la cuchilla	0,25
	Montaje del surcador a la estructura	
Tapador	Montaje de rodamientos	0,25
	Montaje del sistema tapador	
	Montaje del tapador con la estructura	
Enganche	Montaje del enganche con las 2 máquinas sembradora	0,25
<b>SUBTOTAL (DIAS)</b>		<b>2</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### **5.2.1 Tiempo total de construcción y ensamble de la sembradora**

En la siguiente tabla se describe el tiempo total necesario para llevar a cabo la construcción y ensamble de la máquina sembradora de papas.

**Tabla 6-5:** Tiempo total de la sembradora de papas

DESCRIPCIÓN	TIEMPO (DÍAS)
Tiempo de construcción	39
Tiempo de ensamble	2
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

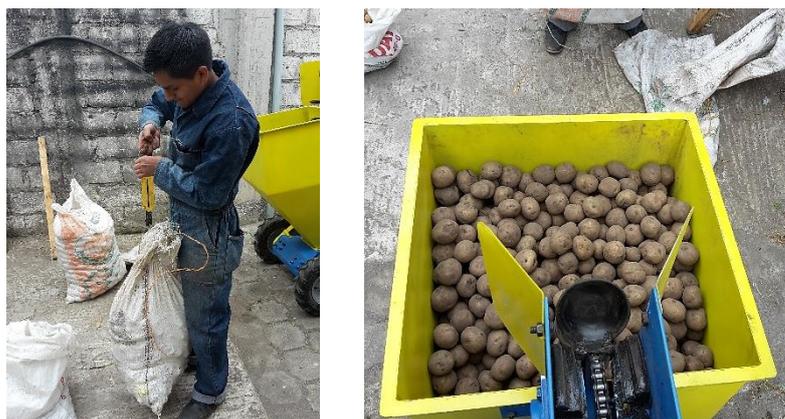
El tiempo total necesario para la construcción de esta máquina es de 41 días laborables (2 meses), además este tiempo incluye la compra de todos los materiales.

### 5.3 Pruebas de funcionamiento

Al culminar con todo el proceso de construcción se procede a realizar las pruebas a la máquina sembradora de papas con la finalidad de verificar el funcionamiento de acuerdo a los requerimientos establecidos para este proyecto.

#### 5.3.1 Pruebas del distribuidor de semillas

- **Verificación de la capacidad de tolvas.** Esta prueba tiene como finalidad verificar que las tolvas cumplan con la capacidad establecida de almacenamiento de semillas (1,5qq por tolva).



**Figura 4-5:** Capacidad de la tolva de semilla

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- **Verificación de la distancia entre semillas sembradas.** Esta prueba tiene como finalidad verificar que se cumpla con las distancia de siembras requeridas (25-30-35-40 cm).



**Figura 5-5:** Medición de distancia entre semillas

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Una vez realizada la siembra mediante la máquina, se realizó la respectiva medición dando como resultado los siguientes valores:

**Tabla 7-5:** Distancia entre semillas

N°	Distancia entre semillas			
	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm
1	24	30,5	35	39,5
2	25,5	31	36	40
3	24,5	29,5	34,7	39,5
4	26	29	35,6	40
5	25	30,3	36,5	40,6
6	25,4	29,4	35	40
7	24,5	31	34	41
8	24	30	34,5	40
9	25	31,5	35	41,5
10	25	30	36	40,5
<b>Promedio</b>	24,9	30,2	35,2	40,3
<b>Error (%)</b>	0,44	0,73	0,66	0,65

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

De acuerdo a los valores anteriores se determina que el error porcentual con referencia a la medida requerida es inferior al 1%, por la cual es aceptable la distancia entre semillas.

### 5.3.2 Pruebas del dosificador de fertilizante

- **Verificación de la capacidad de tolvas.** Esta prueba tiene como finalidad verificar que las tolvas cumplan con la capacidad establecida de almacenamiento de fertilizante (0,5qq por tolva).



**Figura 6-5:** Capacidad de la tolva de fertilizante

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- **Verificación de la dosificación de fertilizante.** Esta prueba tiene como objetivo comprobar la dosificación de fertilizante.



**Figura 7-5:** Dosificación de fertilizante

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 5.3.3 Pruebas del surcador

- **Verificación del surcado.** Mediante esta prueba se verifica que el sistema surcador proporcione un surco adecuado para alojar las semillas.



**Figura 8-5:** Elaboración del surco

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 5.3.4 Pruebas del tapador

- *Verificación de la profundidad de tapado de semillas.* Mediante esta prueba se comprueba la profundidad de tape de semilla establecida (10-15 cm).



**Figura 9-5:** Elaboración y profundidad de tapado

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Al culminar la siembra se procedió a medir la profundidad a la cual quedaron las semillas tapadas, obteniendo las siguientes mediciones:

**Tabla 8-5:** Profundidad de tapado

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Profundidad (cm)	10	13	12,5	11,5	10,5	14,5	13,7	13	15	12	12,6

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

De acuerdo a los valores anteriores se determina que la profundidad promedio se encuentra dentro del rango establecido para el tapado de la semilla.

### 5.3.5 Pruebas adicionales

- **Verificación de la distancia entre surcos.** Se comprueba la distancia entre surcos establecida (1,40-1,50 m).



**Figura 10-5:** Distancia entre surcos

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- **Verificación de la máquina en general.** Mediante esta prueba se verifica que la sembradora de papas no presente problemas en su funcionamiento.



**Figura 11-5:** Chequeo general de la máquina

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

La máquina no presenta ningún problema que afecte a la funcionalidad de cada uno de sus sistemas y elementos.

Una vez realizadas las pruebas mencionadas anteriormente, se determina que para la siembra se necesita de un operario para el tractor agrícola y de una persona, que se encargue de acoplar y desacoplar la máquina con el tractor; y de llenar las tolvas con las semillas y fertilizante.

#### 5.4 Comparación de siembra manual y mecanizada

Esta comparación se desarrolla para determinar los beneficios de la máquina sembradora respecto a la siembra manual que se sigue utilizando en la Hacienda “San Carlos”. En la siguiente tabla se presenta la comparación, considerando algunos parámetros.

**Tabla 9-5:** Comparación de la siembra

PARÁMETROS	SIEMBRA MANUAL	SIEMBRA MECANIZADA
Tiempo necesario (3qq)	Alto	Bajo
Número de trabajadores	Alto	Bajo
Calidad de siembra	Media	Alto

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

De acuerdo a la tabla anterior se puede ver que la siembra de papas mecanizada cumple con los parámetros más altos en comparación con la siembra manual, por la cual la sembradora de papas es de mucha utilidad en la producción de papas.

#### 5.5 Comparación de la sembradora diseñada respecto a sembradoras extranjeras.

En la siguiente tabla se muestra las dimensiones, características y peso de las dos máquinas.

**Tabla 10-5:** Comparación de las sembradoras

DATOS	WATANABE	F. LLI SPEDO	SEMBRADORA DISEÑADA
Longitud (m)	1,68	0,90	1,20
Ancho (m)	2,40	1,40	2,27
Altura (m)	1,80	1,09	1,49
Peso en vacío (kg)	660	150	244,15
Capacidad semilla (kg)	350	100	136,36
Capacidad abono (kg)	200	-----	45,45
Distancia semillas (cm)	30 hasta 70	25,30,35,40	25,30,35,40
Distancia hileras (cm)	90 a 110	-----	140 a 150
Eganche categoría	2	2	2
Velocidad (km/h)	8	8	4

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

De acuerdo a la tabla anterior, la sembradora tiene su deficiencia en la máxima velocidad de trabajo ya que al realizar el diseño con la velocidad máxima de 8 km/h, nuestra sembradora sería más robusta y por lo tanto su peso aumentaría y durante su funcionamiento la rueda motriz no giraría.

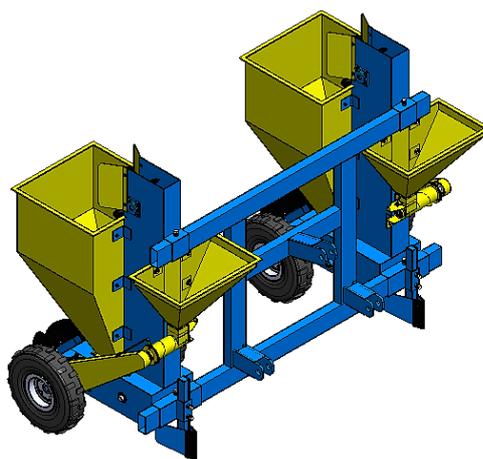
## CAPÍTULO VI

### 6. MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS DE LA MÁQUINA SEMBRADORA DE PAPAS

En este Capítulo se elabora un manual de operación y de mantenimiento de la máquina para preservar un buen funcionamiento y durabilidad de la misma, además se realiza un análisis de costos.

#### 6.1 Manual de operación

Este manual tiene la finalidad de mencionar las actividades a ejecutarse antes, durante y después de poner en funcionamiento la sembradora de papas, cabe mencionar que como primer paso para la siembra, el terreno debe estar previamente preparado.



**Figura 1-6:** Sembradora de papas

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- **Enganche de la máquina al tractor agrícola.** Acercar el tractor agrícola a la máquina para que los puntos de enganche del tractor encajen en los alojamientos de la sembradora, los puntos de acople del tractor deben estar regulados horizontalmente.



**Figura 2-6:** Enganche del tractor con la máquina

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- **Traslado de la sembradora.** Una vez acoplada la sembradora, se traslada hacia el lugar de siembra. Esta máquina se debe trasladar manteniéndola elevada.



**Figura 3-6:** Traslado de la máquina

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- **Regulación de la siembra de la máquina.** Una vez en el lugar de siembra se procede a regular la distancia entre semillas a través de los pernos reguladores y la distancia entre surcos, cabe mencionar que los pernos reguladores se debe ubicar en la marca que se requiera y del mismo modo en el enganche.



**Figura 4-6:** Regulación de la siembra

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- **Regulación del surcador y tapador.** Esta regulación se realiza de acuerdo a la profundidad que se requiere para el tapado de las semillas.



**Figura 5-6:** Regulación del surcador y tapador

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- **Llenado de tolvas.** Una vez hecho todas las regulaciones mencionadas, se procede a llenar las tolvas de semilla y de fertilizante de acuerdo a su capacidad de almacenamiento, para esta actividad la máquina debe estar apoyada en el suelo.



**Figura 6-6:** Llenado de tolvas

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- **Regulación de la dosificación de fertilizante.** Una vez llenadas las tolvas, se abre la compuerta para el paso del fertilizante de acuerdo a la cantidad que se desea.



**Figura 7-6:** Regulación de fertilizante

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- ***Puesta en marcha del tractor agrícola.*** Una vez realizados todos los pasos anteriores se pone en marcha el tractor agrícola y se baja el hidráulico del mismo, para que la máquina comience su operación.



**Figura 8-6:** Puesta en marcha del tractor

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- ***Carrera de regreso de siembra.*** Para realizar la siembra en la carrera de regreso se debe elevar la máquina y a continuación posicionar el tractor para las nuevas hileras de siembra.



**Figura 9-6:** Carrera de regreso

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

- ***Desenganche de la máquina.*** Una vez culminada la labor de siembra, se desacopla la sembradora del tractor agrícola en el lugar de almacenamiento de esta máquina.



**Figura 10-6:** Desenganche de la máquina

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Durante el trabajo y transporte de esta máquina está prohibido subirse, ya sea para el transporte del operario o control de la máquina; así como el uso de ropas que puedan quedarse atrapadas en la misma.

## 6.2 Manual de mantenimiento

Este manual menciona las actividades a desarrollarse para mantener en condiciones adecuadas y prevenir daños en la máquina sembradora de papas. Estas actividades se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 1-6:** Manual de mantenimiento de la sembradora de papas

PERIODOS DE TRABAJOS	ELEMENTOS A INSPECCIONAR							ACTIVIDADES A EJECUTARSE
	Chumaceras	Cadenas	Ruedas	Tolvas	Tapador	Surcador	Cangilones	
D		X		X	X	X	X	Limpieza
A	X	X						Lubricación
A		X					X	Verificar que no exista rozamiento
A					X	X		Verificar filo de corte
A			X					Verificar la presión
A		X						Verificar tensión cadena
A/D	X	X	X	X	X	X	X	Inspección general

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Donde:

A= Antes del funcionamiento

D= Después del funcionamiento

Las posibles modificaciones que realice el usuario anulan la garantía del fabricante para los desperfectos que ocasionen estos cambios realizados, los mismos que pueden afectar directamente al funcionamiento y conservación de la máquina.

### 6.2.1 Riesgos y medidas preventivas

Los riesgos que presenta esta máquina son importantes dar a conocer ya que pueden ocasionar lesiones a los operarios, los cuales al tener conocimientos de los mismos se pueden eliminar.

- ***Riesgos ergonómicos***

La sembradora presenta este riesgo debido a que al depositar la semilla y fertilizante en las tolvas el operario realiza esfuerzo físico al elevar los costales hasta la boca de la tolva.

Es por esto que se recomienda:

- Ubicación correcta del operario para levantar los costales de semillas y fertilizante.
- La posición del operario al momento de levantar los costales del suelo debe ser con el cuerpo al frente y con la espalda recta.
- El operario debe acercarse lo más cerca posible para elevar la carga hacia las tolvas.

- ***Riesgos de atrapamiento y corte***

Este riesgo se presenta en las cadenas que tiene la máquina para la transmisión debido a que se puede producir el atrapamiento de las manos o de la ropa que utiliza el operario, además el operario puede sufrir de cortes por los discos que posee la máquina. Para lo cual se recomienda:

- No usar ropa como: bufandas, pulseras, y buzos de mangas largas.
- Para evitar cortes se debe utilizar guantes durante la limpieza de la sembradora.

### **6.3 Análisis de costo de la máquina sembradora de papas**

Para determinar los costos que implica este proyecto se divide en costos directos, costos indirectos y costos de ingeniería.

#### **6.3.1 Costos directos**

Para el análisis de los costos directos se toma en cuenta los materiales, máquinas y herramientas, mano de obra y transporte. En las siguientes tablas se detalla los costos directos que implica la construcción de la sembradora.

**Tabla 2-6:** Costos de materiales

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>V.UNITARIO USD</b>	<b>V. SUBTOTAL USD</b>
1	Plancha acero ASTM A36 1220x3000x4 mm	104,94	104,94
2	Plancha acero ASTM A36 1220x2440x2 mm	31,72	63,44
1	Plancha acero AISI 430 1220x2440x2 mm	97,08	97,08
1	Plancha anti abrasiva 150x240x5 mm	5	5
1	Tubo rectangular ASTM A-36 50x100x3 mm	41,59	41,59
1	Tubo cuadrado ASTM A-500 40x40x2mm	14,3	14,3
1	Platina 18x6 mm	6,88	6,88
2	Eje sólido AISI 4340 Ø38x660 mm	23,56	47,12
2	Eje sólido AISI 1018 Ø25x138 mm	1,14	2,28
2	Eje sólido AISI 1018 Ø32x300 mm	3,63	7,26
2	Eje sólido AISI 304 Ø25x300 mm	7,29	14,58
1	Eje sólido de Nylon Ø35x130 mm	3,51	3,51
4	Cadenas Numero 40	19,5	78
8	Catalina 42 dientes	25	200
4	Catalina 35 dientes	21,28	85,12
2	Catalina 30 dientes	17,02	34,04
2	Catalina 26 dientes	15	30
2	Catalina 12 dientes	6,5	13
12	Rodamientos rígidos de bolas 6204	4,54	54,48
4	Rodamientos rígidos de bolas 6005	5,42	21,68
4	Chumaceras cuadrada UCF206	30	120
2	Juego de ruedas neumáticas 4.00-8	202,92	405,84
1	Manguera flexible Ø38x1200 mm	7,5	7,5
1	Varilla roscada Ø1/2"x1000 mm	1,67	1,67
1	Varilla cuadrada 8x8 mm	2	2
4	Discos aporcadores Ø320 mm	10	40
4	Seguros Ø25 mm	0,37	1,48

**Continuación Tabla 2-6: Costos de materiales**

104	Tornillo con tuerca UNC 3/16x1/2 in	0,1	10,4
4	Prisioneros UNC 5/16x5/16 in	0,06	0,24
2	Prisioneros UNC 5/16x3/8 in	0,1	0,2
12	Prisioneros UNC 3/8x1 in	0,2	2,4
8	Prisioneros UNC 3/8x3/8 in	0,14	1,12
16	Pernos y tuercas UNC 7/16x1 in	0,33	5,28
48	Pernos y tuercas M8x1,25x20 mm	0,15	7,2
12	Pernos y tuercas M10x1,5x20 mm	0,26	3,12
6	Pernos y tuercas UNC 1/4x3/4 in	0,13	0,78
8	Pernos y tuerca UNC 1/2x1 in	0,34	2,72
16	Pernos y tuerca M10x1,5x60 mm	0,42	6,72
8	Perno avellanado y tuerca inoxidable M8x1,25x15 mm	0,16	1,28
12	Arandelas planas M8	0,03	0,36
8	Arandelas planas M10	0,1	0,8
2	Paquete de electrodos E6011	13,85	27,7
1	1/2 Paquete de electrodos E6013	13,2	13,2
1	1/4 Paquete de Electrodo E7018	7,8	7,8
1	Pintura	39,88	39,88
<b>SUBTOTAL</b>			<b>1633,99</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 3-6: Costos de máquina y herramientas**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>HORAS DE EQUIPOS</b>	<b>COSTO/HORA USD</b>	<b>V. SUBTOTAL USD</b>
Soldadora eléctrica	70	1,5	105
Torno	25	1,5	37,5
Fresadora	12	2	24
Limadora	8	1	8
Dobladora Manual	2	0,75	1,5
Cizalla Manual	30	0,5	15
Cizalla hidráulica	2	20	40
Taladro manual	1	0,5	0,5
Taladro pedestal	14	1,25	17,5

**Continuación Tabla 3-6:** Costos de máquina y herramientas

Amoladora	30	0,5	15
Compresor	8	2	16
Herramientas de taller	70	0,25	17,5
<b>SUBTOTAL</b>			<b>297,5</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

**Tabla 4-6:** Costos de mano de obra

<b>OPERARIO</b>	<b>HORAS DE TRABAJO</b>	<b>SALARIO/HORA USD</b>	<b>V. SUBTOTAL USD</b>
Tornero	25	3,4	85
Fresador	12	3,5	42
Soldador	70	3,5	245
Ayudantes	80	3,4	272
<b>SUBTOTAL</b>			<b>644</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

Se suma todos los costos anteriores y se considera el precio de transporte para sacar el costo total directo de la máquina sembradora.

**Tabla 5-6:** Costo total directo

<b>COSTOS TOTAL DIRECTO</b>	<b>TOTAL USD</b>
Materiales	1633,99
Equipos y herramientas	297,5
Mano de obra	644
Transporte	100
<b>TOTAL</b>	<b>2675,49</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 6.3.2 Costos indirectos

Para el análisis de los costos indirectos se estima el número de horas de investigación y diseño por parte de los autores de este proyecto, los mismos que se muestran a continuación:

**Tabla 6-6:** Costos indirectos

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO (HORAS)</b>	<b>V.UNITARIO USD</b>	<b>V. SUBTOTAL USD</b>
Investigación	50	5	250
Diseño	30	5	150
<b>TOTAL</b>			<b>400</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

### 6.3.3 Costos totales

Consiste en la suma de los costos directos e indirectos, relacionados con el diseño, construcción y ensamble de la máquina sembradora.

**Tabla 7-6:** Costo total de la sembradora

<b>COSTO MÁQUINA</b>	<b>V. TOTAL USD</b>
Directos	2675,49
Indirectos	400
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>3075,49</b>

Realizado por: Porras G., Gavilanes R. 2018

El costo total que alcanza la sembradora de papas es de 3075,50 USD, cuyo costo es inferior a los precios de las máquinas que existe en el País, las cuales son importadas.

## 6.4 Financiamiento

El costo total de la SEMBRADORA DE PAPAS DE DOS HILERAS CON UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTE es de 3075,50 USD, el mismo que fue pagado por nuestro patrocinador la Hacienda “San Carlos”, la cual está haciendo uso de esta máquina en la producción de papas de calidad.

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

- En base al estudio bibliográfico se determinó las características y tipos de máquinas sembradoras de papas extranjeras existentes en nuestro País, también se obtuvo información acerca del proceso de siembra de papas de la Hacienda “San Carlos” mediante una entrevista con su propietario para conocer las exigencias que debe tener la sembradora de este proyecto.
- Los elementos diseñados y seleccionados cumplen con los requerimientos de resistencia mecánica para soportar la capacidad requerida para esta máquina, los mismos que fueron analizados y a su vez verificados mediante una simulación en el software ANSYS obteniendo resultados satisfactorios.
- La sembradora de papas se construyó siguiendo las normas de seguridad, procesos de manufactura y una secuencia lógica para el ensamble de cada sistema y el ensamble total de la misma.
- Se realizó dos pruebas a la sembradora de papas, la primera con la máquina en vacío para verificar su funcionamiento y la segunda con la máquina totalmente cargada, dando como resultado un error de la distancia entre semillas inferior al 1%, una distancia entre surcos regulable de 1,40 a 1,50 m, un surco tipo V que permite alojar la semilla en su centro, la posibilidad de regular la cantidad de fertilizante y una profundidad regulable del tapado de semillas entre 10 a 15 cm.
- Se elaboró dos manuales para la máquina, el primero es un manual de operación para conocer los pasos a realizarse antes, durante y después de la siembra mecanizada, y el segundo un manual de mantenimiento para garantizar el buen funcionamiento y durabilidad de la sembradora de papas.

- Al culminar con el diseño y la construcción de la sembradora se determinó que el costo total fue de 3075,50 USD el mismo que incluye materiales, mano de obra, transporte y actividades de diseño e investigación, permitiendo que nuestra máquina sea muy competitiva económicamente con las máquinas extranjeras.

## **7.2 Recomendaciones**

- Se recomienda cargar a la máquina con la capacidad que está diseñada, y que un sobre exceso provocaría falla en algún elemento y el derrame de las semillas o fertilizante por el movimiento sobre el suelo irregular.
- Para la siembra de papas se debe preparar el terreno previamente para evitar que las ruedas patinen y sobre esfuerzos en el surcador y tapador de la máquina.
- Se recomienda realizar trabajos de investigación referentes a la suspensión de las sembradoras de papas y sus deficiencias.
- Se sugiere que se realicen el diseño y construcción de otras máquinas para la mecanización agrícola en nuestro País, ya que las diversas máquinas existentes son extranjeras y el costo de la adquisición es elevado.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALFERSAN S. A. U.** Serie GL 410. *Alfersan S. A. U.* [En línea] <http://alfersan.com/serie-gl-410/>.

**ALONSO, Jorge Luis.** Novedoso programa facilita la caracterización de tubérculos de papa. *Redepapa*. [En línea] 25 de Noviembre de 2012. <https://redepapa.org/2012/11/25/novedoso-programa-facilita-la-caracterizacion-de-tuberculos-de-papa/>.

**ALVARADO CHAVES, Armando.** *Maquinaria y mecanización agrícola*. Primera. San José : Universidad Estatal a Distancia, 2004. ISBN 9968-31-332-7.

**ÁLVAREZ MEJIA, Fernando.** *Elementos de diseño de maquinaria agrícola*. Primera. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2007. págs. 15-16.

**BAKER, C. J., et al.** *Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación*. Segunda. Zaragoza : Acribia, S.A., 2008.

**BARREIRO, Pilar & RUIZ ALTISENT, Margarita.** *Características de las máquinas plantadoras y transplantadoras*. Madrid : s.n., 2000. pág. 60.

**BONILLA, Ana.** Herramientas de diseño e ingeniería. *Bizkaia*. [En línea] Enero de 2003. [Citado el: 07 de Junio de 2017.]

[http://www.bizkaia.eus/Home2/Archivos/DPTO8/Temas/Pdf/ca\\_GTcapitulo1.pdf?idioma=CA](http://www.bizkaia.eus/Home2/Archivos/DPTO8/Temas/Pdf/ca_GTcapitulo1.pdf?idioma=CA).

**BUDYNAS, Richard G. & NISBETT, J. Keith.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Octava. México, D. F. : McGraw-Hill, 2008.

**CAÑAVATE, J. O.** *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. Madrid-España : Mundi Prensa, 2012. págs. 52-53.

**CARRETERO CAÑADO, Isidoro, et al.** *Manual práctico de agricultura*. Madrid : Cultural, S. A., 2013. ISBN 84-8055-939-X.

**CHECCHI & MAGLI.** Plantadora de patatas. *Tecnogranja*. [En línea] [http://www.tecnogranja.com.uy/uploads/productos/attachments/2293\\_f3001.pdf](http://www.tecnogranja.com.uy/uploads/productos/attachments/2293_f3001.pdf).

**CUESTA, Xavier, et al.** Manual del cultivo de papa para pequeños productores. *INIAP*. [En línea] 2014. <http://www.iniap.gob.ec>.

**DOMÍNGUEZ COLOMA, Germán.** Técnica y herramientas en pinturas industrial. *Pinturas Industrial*. [En línea] 23 de Octubre de 2012.

<https://es.slideshare.net/germandominguezc/tecnicas-y-herramientas-en-pintura-industrial-14857370>.

**ECURED.** EcuRed. *EcuRed*. [En línea] 2 de Abril de 2016. [https://www.ecured.cu/Papa\\_\(tub%C3%A9rculo\)](https://www.ecured.cu/Papa_(tub%C3%A9rculo)).

- FERNÁNDEZ , Beascoa & SOLAGUREN, Manuel.** Diseño de una plantadora mecánica de patatas. *Técnica Industrial*. [En línea] Febrero de 2011. [Citado el: 01 de Junio de 2017.] <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/76/825/a825.pdf>.
- FRIEDRICH, Theodor.** Equipos y maquinaria de tracción mecánica para la agricultura de conservación. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)*. [En línea] 31 de Agosto de 2006. [Citado el: 28 de Junio de 2017.] [http://www.fao.org/ag/ca/Training\\_Materials/CD27-Spanish/tme/tme\\_pres\\_tractor.pdf](http://www.fao.org/ag/ca/Training_Materials/CD27-Spanish/tme/tme_pres_tractor.pdf).
- GARCÍA TORRES, Edwin Marcelo.** Diseño y construcción de un prototipo con sistema SCADA aplicado al control del micro clima y dosificación del producto almacenado en silos. *Universidad Politécnica Salesiana*. [En línea] Junio de 2012. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1902/5/04%20Diseno%20construccion%20dosificadores.pdf>.
- HURTADO, Guillermo & ROMÁN CORTEZ, Miguel.** Guía técnica: cultivo de la papa. *CENTA*. [En línea] Diciembre de 2002. [Citado el: 6 de Junio de 2017.] <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Papa.pdf>.
- IKEDA, Regis, et al.** Optimización de la aplicación de enmiendas y fertilizantes. *International Plant Nutrition Institute - IPNI*. [En línea] Julio de 2010. [https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/2F3CC44B1BB2B6B20525777D0074E0D7/\\$file/1.+Enmiendas+y+fertilizantes.pdf](https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/2F3CC44B1BB2B6B20525777D0074E0D7/$file/1.+Enmiendas+y+fertilizantes.pdf).
- INDUSTRIAS I.** Transporte de sólidos. *Universidad de Buenos Aires*. [En línea] 2015. [http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/08\\_Apunte%20TteSolidos.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/08_Apunte%20TteSolidos.pdf).
- LESUR, Luis.** *Manual de maquinaria agrícola y labranza de la tierra: una guía paso a paso*. Primera. México : Trillas, 2006. ISBN 968-24-7462-0.
- LUCERO P., Fernán M.** Manual del cultivo de papa para la Sierra Sur. *INIAP*. [En línea] 2011. <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Manual%20del%20cultivo%20de%20papa%20para%20la%20Sierra%20Sur..pdf>.
- MOGORRÓN C., Heliodoro.** Siembra directa, mínimo laboreo y laboreo en bandas. *Interempresas*. [En línea] 21 de Octubre de 2016. [Citado el: 18 de Julio de 2017.] <http://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/163250-Siembra-directa-minimo-laboreo-y-laboreo-en-bandas.html>.
- MOLINA AIZ, Francisco Domingo.** *Motores y máquinas agrícolas*. Almería : Universidad de Almería, 2008. pág. 157.
- MONTEROS G., A.** Rendimientos de papa en el Ecuador. *INIAP*. [En línea] Junio de 2016. [http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios\\_agroeconomicos/rendimiento\\_papa.pdf](http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_papa.pdf).
- MONTESDEOCA M., Fabián.** Guía para la producción, comercialización y de la semilla de papa de calidad. *International Potato Center*. [En línea] Mayo de 2005.

[https://nkxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Guia\\_produccion\\_uso\\_semilla.pdf](https://nkxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Guia_produccion_uso_semilla.pdf).

**NARANJO IZURIETA, Christian Eduardo.** Diseño y construcción de una máquina elaborada de hilo PET. *Universidad Internacional del Ecuador*. [En línea] Febrero de 2015. [Citado el: 27 de Junio de 2017.] <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/656/1/T-UIDE-0601.pdf>.

**NORTON, Robert L.** *Diseño de maquinaria*. Cuarta. México, D. F. : McGraw-Hill, 2009.

**PUMISACHO, Manuel & SHERWOOD, Stephen.** El cultivo de la papa en el Ecuador. *Repositorio Digital INIAP*. [En línea] 2013.

<http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/2802/4/iniapsc190.pdf>.

**RIBA ROMEVA, Carles.** Diseño concurrente. *UPC*. [En línea] Enero de 2002. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**RUIZ ALTISENT, M.** Máquinas plantadoras de patatas. *Archivo digital UPM*. [En línea] Febrero de 1971. [Citado el: 31 de Mayo de 2017.] [http://oa.upm.es/15916/1/02\\_004.pdf](http://oa.upm.es/15916/1/02_004.pdf).

**UNIDAS, PINTURAS. 2018.** Pinturas Unidas. *Pinturas Unidas*. [En línea] 2018. <http://www.pinturasunidas.com/producto/industrial>.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN.** Los chutes o tolvas. *Slideshare*. [En línea] 2015. [Citado el: 31 de Mayo de 2017.] <https://es.slideshare.net/mauricioantonio1291/tolvas>.

**VANEGAS USECHE, Libardo.** Universidad Tecnológica de Pereira. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] 25 de Abril de 2011. [Citado el: 9 de Diciembre de 2017.] [http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/PresCap7\\_Arb.pdf](http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/PresCap7_Arb.pdf).

**WATANABE.** Plantadoras de patatas. *WATANABE*. [En línea] <http://www.watanabe.com.br/produto/plantadeira-de-batata-2>.

## **ANEXOS**