

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño y prototipado de una cosechadora de papa para  
la variedad diacol capiro en la comunidad de Lastay,  
provincia de Concepción, departamento de Junín**

Luis Miguel Granados Parado  
Yosmer Luis Granados Parado

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Dr. Felipe Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Ma. Ing. Rafael De la Cruz Casaño  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 15 de agosto de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA COSECHADORA DE PAPA PARA LA VARIEDAD DIACOL CAPIRO EN LA COMUNIDAD DE LASTAY, PROVINCIA DE CONCEPCIÓN, DEPARTAMENTO DE JUNÍN**", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) **Luis Miguel GRANADOS PARADO y Yosmer Luis GRANADOS PARADO**, de la E.A.P. de **Ingeniería Mecánica**; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado **12 %** de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

**Ma. Ing. Rafael De la Cruz Casaño**  
Asesor de tesis

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Granados Parado Luis Miguel, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 43247891, de la E.A.P. de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: **"DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA COSECHADORA DE PAPA PARA LA VARIEDAD DIACOL CAPIRO EN LA COMUNIDAD DE LASTAY, PROVINCIA DE CONCEPCIÓN, DEPARTAMENTO DE JUNÍN "**, es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

15 de Agosto de 2023.



---

GRANADOS PARADO LUIS MIGUEL

DNI. No. 43247891

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Granados Parado Yosmer Luis, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 47264788, de la E.A.P. de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA COSECHADORA DE PAPA PARA LA VARIEDAD DIACOL CAPIRO EN LA COMUNIDAD DE LASTAY, PROVINCIA DE CONCEPCIÓN, DEPARTAMENTO DE JUNÍN** ", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

15 de Agosto de 2023.



---

GRANADOS PARADO YOSMER LUIS

DNI. No. 47264788

# DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA COSECHADORA DE PAPA PARA LA VARIEDAD DIACOL CAPIRO EN LA COMUNIDAD DE LASTAY, PROVINCIA DE CONCEPCIÓN, DEPARTAMENTO DE JUNÍN

## INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	8%
2	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%
4	<a href="https://repositorio.uan.edu.co">repositorio.uan.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="https://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://idus.us.es">idus.us.es</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://es.mascus.com">es.mascus.com</a> Fuente de Internet	<1%

9	<a href="https://usermanual.wiki">usermanual.wiki</a> Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
11	<a href="https://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="https://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="https://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="https://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="https://vdoc.pub">vdoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
19	<a href="https://doaj.org">doaj.org</a> Fuente de Internet	<1 %

20	Antonio García Barberá. "Study of the Degradation of New Lubricant Oil Formulations with the Design and Demands of Current and Future Engines", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 Publicación	<1 %
21	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
22	de.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	<1 %
24	Submitted to Universidad Santo Tomas Trabajo del estudiante	<1 %
25	arxiv.org Fuente de Internet	<1 %
26	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	glossary.uis.unesco.org Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	<1 %
29	www.norton-abrasivos.com.ar Fuente de Internet	<1 %

30	Submitted to CSU, San Jose State University Trabajo del estudiante	<1 %
31	acikerisim.omu.edu.tr Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.uisek.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 23 (2007)", Brill, 2012 Publicación	<1 %
36	cecap.anep.edu.uy Fuente de Internet	<1 %
37	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
38	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
39	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
40	prezi.com Fuente de Internet	<1 %

41	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://repositorio.uchile.cl">repositorio.uchile.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://www.costaricaviews.com">www.costaricaviews.com</a> Fuente de Internet	<1 %
44	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 29 (2013)", Brill, 2016 Publicación	<1 %
45	María Virginia Candal, Joyce Jiménez, Héctor Rojas. "Methodology for the Study of the Stress Concentrators in Plastic Parts", Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2007 Publicación	<1 %
46	<a href="http://eprints.uanl.mx">eprints.uanl.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
47	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
48	<a href="http://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org">idl-bnc-idrc.dspacedirect.org</a> Fuente de Internet	<1 %
49	<a href="http://manualzz.com">manualzz.com</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="http://repositorio.uide.edu.ec">repositorio.uide.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

<1 %

51

[repositorio.urp.edu.pe](http://repositorio.urp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

52

[repositorio.uteg.edu.ec](http://repositorio.uteg.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

53

[repositorio.uwiener.edu.pe](http://repositorio.uwiener.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

54

[tesis.pucp.edu.pe](http://tesis.pucp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

55

[www.evidaliahost.com](http://www.evidaliahost.com)

Fuente de Internet

<1 %

56

[www.lacamaradecaracas.org.ve](http://www.lacamaradecaracas.org.ve)

Fuente de Internet

<1 %

57

[www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Fuente de Internet

<1 %

58

"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 17 (2001)", Brill, 2005

Publicación

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

**ASESOR**  
**Mag. RAFAEL DE LA CRUZ CASAÑO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Mag. Rafael de la Cruz Casaño, por compartir sus conocimientos, por la paciencia y tiempo brindado cuando, en nuestras horas de trabajo, nos resultaba confuso el progreso de esta tesis.

A la plana docentes de la facultad de Ingeniería, quienes entendieron nuestra carga laboral y nos brindaron las mejores alternativas para transmitir sus conocimientos, siendo esta tesis el resultado de su sacrificio en las aulas.

A la Universidad Continental, por las oportunidades que nos brindaron en todo el proceso de mi desarrollo profesional.

## **DEDICATORIA**

Con todo nuestro corazón ponemos en ofrenda esta tesis a nuestra madre Ricarda, pues sin ella no hubiésemos alcanzado nuestro objetivo. Tus enseñanzas y valores consiguieron que día a día nos esforcemos en ser los mejores. A, Arroyo, nuestro querido padre Q. E. P. D. que a pesar de no tenerte físicamente sabemos que tú nunca nos has abandonado y siempre guías nuestros pasos, por tal motivo, sabemos que te encuentras alegre por haber cumplido con esta meta. A Dios, quien día a día nos da la salud que le pedíamos para poder afrontar y resolver todos los obstáculos que se presentan en nuestra vida personal y profesional.

## ÍNDICE

<b>Agradecimientos.....</b>	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>iv</b>
<b>Indice.....</b>	<b>v</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>x</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>xii</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>xv</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>xvi</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Capítulo I.....</b>	<b>20</b>
<b>Planteamiento del estudio.....</b>	<b>20</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	20
1.1.1. Planteamiento del problema .....	20
1.1.2. Formulación del problema.....	25
1.1.2.1. Problema general .....	25
1.1.2.2. Problemas específicos .....	25
1.2. Objetivos .....	25
1.2.1. Objetivo general .....	25
1.2.1. Objetivos específicos.....	25
1.3. Justificación.....	26
1.3.1. Justificación teórica.....	26
1.3.2. Justificación económica .....	26
1.3.3. Justificación práctica .....	26
1.3.4. Justificación metodológica .....	26
1.4. Importancia .....	27
<b>Capítulo II .....</b>	<b>28</b>
<b>Marco teórico .....</b>	<b>28</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	28
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	28
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	32
2.1.3. Antecedentes locales .....	35
2.2. Bases teóricas .....	36
2.2.1. Tractor agrícola .....	36
2.2.1.1. Potencia y fuerza de arrastre.....	36
2.2.1.2. Toma de fuerza mecánica.....	37

2.2.1.3.	Toma de fuerza hidráulica .....	37
2.2.1.4.	Elección de ruedas para máquinas agrícolas .....	39
2.2.2.	Estructura de la papa .....	40
2.2.2.1.	La papa .....	40
2.2.2.2.	Diacol Capiro .....	41
2.2.2.3.	Daños mecánicos producidos en la papa .....	41
2.2.2.4.	Características del sembrío .....	44
2.2.3.	Cosechadoras de papa .....	45
2.2.3.1.	Componentes primarios.....	45
2.2.3.2.	Tipos de cosechadoras.....	45
2.2.4.	Cadena de transmisión de tubérculos .....	47
2.2.4.1.	Cadena de varillas metálicas con unión espiral .....	47
2.2.4.2.	Cadena de varillas metálicas con unión por lona .....	48
2.2.5.	Leyes de movimiento de Newton .....	49
2.2.5.1.	Masa .....	50
2.2.5.2.	Peso50	
2.2.5.3.	Fuerza .....	51
2.2.5.4.	Ecuaciones de movimiento.....	51
2.2.5.5.	Posición según la aceleración.....	51
2.2.5.6.	Potencia .....	51
2.2.6.	Teoría de esfuerzo .....	52
2.2.6.1.	Von Misses .....	52
2.2.6.2.	Asme elíptica.....	52
2.2.6.3.	Coficiente de diseño y seguridad.....	53
2.2.7.	Principios básicos de oleohidráulica .....	54
2.2.7.1.	Principio de Pascal .....	54
2.2.7.2.	Componentes de un sistema hidráulico .....	54
2.2.7.3.	Componentes de un sistema hidráulico .....	55
2.2.8.	Motores hidráulicos.....	56
2.2.8.1.	Definición.....	56
2.2.8.2.	Tipos.....	56
2.2.8.3.	Selección de motores hidráulicos .....	58
2.2.9.	Válvulas hidráulicas .....	59
2.2.9.1.	Definición.....	59
2.2.9.2.	Clasificación.....	59
2.2.9.3.	Selección de válvulas hidráulicas .....	60

2.2.10. Cuñas.....	61
2.2.10.1. Definición.....	61
2.2.10.2. Esfuerzos por cizallamiento .....	61
2.2.10.3. Esfuerzo por aplastamiento .....	61
2.2.11. Pernos.....	62
2.2.11.1. Definición.....	62
2.2.11.2. Selección por cargas actuantes .....	62
2.2.12. Soldaduras.....	63
2.2.12.1. Definición.....	63
2.2.12.2. Arco eléctrico .....	63
2.2.12.3. Simbología.....	63
2.2.12.4. Chaflan o bisel.....	64
2.2.13. Rodamientos.....	65
2.2.13.1. Características .....	65
2.2.13.2. Selección de rodamientos .....	65
2.2.14. Chumaceras.....	66
2.2.14.1. Capacidad de carga dinámica .....	66
2.2.14.2. Carga radial dinámica.....	67
2.2.14.3. Cargas actuantes en un rodamiento .....	67
2.2.14.4. Fuerza real .....	68
2.2.14.5. Carga real estática .....	68
2.2.14.6. Transmisión de potencia.....	69
2.2.14.7. Relación de transmisión .....	69
2.2.15. Cadenas de rodillos .....	69
2.2.15.1. Normativa.....	69
2.2.15.2. Selección .....	70
2.2.16. Ajustes y tolerancias .....	71
2.2.16.1. Acabado superficial .....	73
2.2.16.2. Tolerancia geométrica .....	74
2.2.17. Aceros .....	75
2.2.17.1. Definición.....	75
2.2.17.2. Tipos de aceros .....	75
2.2.17.3. Normativa de aceros.....	76
2.3. Definición de términos básicos .....	77
2.3.1. Definiciones básicas .....	77
2.3.2. Lista de símbolos.....	80

<b>Capítulo III</b> .....	<b>84</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>84</b>
3.1. Método y alcance de la investigación .....	84
3.1.1. Tipo de investigación .....	84
3.2. Metodología para desarrollar el concepto de solución.....	84
3.2.1. Metodología VDI-2221 .....	84
3.2.2. Metodología Budynas – Shigley .....	85
3.2.3. Adaptación de metodología (VDI-2221 y Budynas).....	85
3.2.3.1. Reconocimiento de la necesidad .....	85
3.2.3.2. Concepto solución .....	86
3.2.3.3. Elaboración del proyecto.....	88
3.2.3.4. Fabricación y evaluación.....	88
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>90</b>
<b>Análisis y diseño de la solución</b> .....	<b>90</b>
4.1. Identificación de requerimientos.....	90
4.1.1. Aclarar y precisar el problema .....	90
4.1.1.1. Detallar el problema.....	90
4.1.1.2. Asumir el problema de forma crítica.....	90
4.1.2. Estado del arte .....	91
4.1.2.1. Arte internacional .....	91
4.1.2.2. Arte nacional .....	93
4.2. Análisis de solución .....	93
4.2.1. Caja negra.....	93
4.2.1.1. Señalar las secuencias de operaciones.....	95
4.2.1.2. Describir las funciones .....	95
4.2.1.3. Asociar las funciones.....	96
4.2.2. Caja blanca .....	97
4.2.3. Matriz morfológica.....	98
4.2.4. Concepto solución.....	99
4.2.4.1. Concepto de solución 1 .....	99
4.2.4.2. Concepto de solución 2 .....	100
4.2.4.3. Concepto de solución 3 .....	100
4.2.5. Evaluación técnico-económica.....	101
4.2.5.1. Análisis técnico de los conceptos de solución <b><i>Xi</i></b> .....	101
4.2.5.2. Análisis económico de los conceptos de solución <b><i>Yi</i></b> .....	102
4.2.5.3. Análisis técnico-económico.....	103

4.2.6.	Estructura modular o bloques.....	104
4.2.6.1.	Describir los bloques principales del bosquejo decisivo .....	104
4.3.	Diseño .....	105
4.3.1.	Diseño preliminar de módulos claves .....	105
4.3.1.1.	Boceto del enganche de 3 puntos .....	105
4.3.1.2.	Boceto del chasis .....	106
4.3.1.3.	Boceto de la transmisión de potencia .....	106
4.3.1.4.	Boceto de la cadena transportadora.....	107
4.3.2.	Modelamiento matemático .....	108
4.3.2.1.	Cálculo de las fuerzas del tractor.....	108
4.3.2.2.	Cálculos del implemento de corte .....	110
4.3.2.3.	Cálculos de la transmisión de potencia.....	110
4.3.3.	Modelamiento CAD .....	138
4.3.3.1.	Modelamiento de eje de arrastre «1» (punto crítico de la máquina) ....	139
4.3.3.2.	Modelamiento de anclaje de tres puntos .....	141
4.3.4.	Diseño definitivo .....	143
	<b>Capítulo V.....</b>	<b>144</b>
	<b>Fabricación.....</b>	<b>144</b>
5.1.	Fabricacion.....	144
5.1.1.	Instrucciones de fabricación.....	144
5.1.2.	Planos de fabricación.....	145
5.1.2.1.	Modelo definitivo .....	145
5.1.2.2.	Plano de explosión de bastidor .....	145
5.1.2.3.	Plano de explosión de cadena transportadora.....	146
5.1.2.4.	Plano de ensamblado de la máquina.....	146
5.1.2.5.	Plano de la cuchilla de corte .....	147
5.1.2.6.	Plano del anclaje central .....	147
5.1.2.7.	Plano de anclaje inferior .....	148
5.1.3.	Costos de fabricación .....	149
5.2.	Pruebas y resultados.....	151
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>154</b>
	<b>Trabajos futuros .....</b>	<b>156</b>
	<b>Lista de referencias .....</b>	<b>157</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>162</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Unidades de coeficientes de fricción de rodadura .....	37
Tabla 2. Clasificación de ruedas en relación a su trabajo .....	40
Tabla 3. Valores de coeficientes de fricción .....	41
Tabla 4. Categorías de las papas en relación a su diámetro y forma.....	42
Tabla 5. Parámetros del coeficiente de cultivo del terreno .....	44
Tabla 6. Coeficiente de seguridad para el cálculo de ejes.....	53
Tabla 7. Rango de factores de carga para la selección de chumaceras .....	68
Tabla 8. Factor de corrección para cadena de rodillos.....	70
Tabla 9. Muestra los rangos de las medias de ajustes para ejes y cubos.....	72
Tabla 10. Tipos de simbología de acabado superficial .....	74
Tabla 11. Clasificación de medidas de rugosidad.....	74
Tabla 12. Símbolos que caracterizan a cada tolerancia geométrica.....	75
Tabla 13. Matriz morfológica del concepto de solución.....	98
Tabla 14. Análisis técnico de solución.....	102
Tabla 15. Análisis económico de solución.....	103
Tabla 16. Resultado de análisis técnico vs. económico .....	103
Tabla 17. Coeficiente de factor de servicio.....	116
Tabla 18. Factor de corrección.....	117
Tabla 19. Resultado de momentos actuantes en el eje de arrastre .....	121
Tabla 22. Presupuesto para la investigación .....	149
Tabla 23. Factores de Densidad aproximadas de varios materiales.....	163
Tabla 24. Factores de servicio para transmisiones por cadena .....	163
Tabla 25. Características técnicas de Acero SAE 1010 .....	164
Tabla 26. Sensibilidad a la muesca .....	164
Tabla 27. Sensibilidad a la muesca cortante .....	165
Tabla 28. Factores de concentración de esfuerzos .....	165
Tabla 29. Resistencia mínima a la tensión.....	166
Tabla 30. Factor de tamaño «k <sub>b</sub> ».....	166
Tabla 31. Cargas simples reversibles.....	166
Tabla 32. Vida útil de chumaceras según su aplicación.....	167
Tabla 33. Valores mínimos de Factor de seguridad S <sub>0</sub> .....	167
Tabla 34. Coeficientes para el cálculo de la carga radial dinámica «Pr».....	168
Tabla 35. Cuñas y tornillos prisioneros .....	168

Tabla 36. Diámetros y áreas de roscas métricas .....	169
Tabla 37. Clasificación de pernos, birlos de acero y tornillos .....	170
Tabla 38. Características flexionantes de una soldadura a filete .....	171
Tabla 39. Resistencia ala torsión, fluencia y elongación de electrodos .....	172
Tabla 40. Propiedades de una cero ASTM A-36 .....	172

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Maquinas cosechadoras de papa que se utilizan en los países donde la producción de papa es alta.....	21
Figura 2. Localización satelital de la comunidad de Lastay, campo de estudio geográfico para el desarrollo de la investigación.....	22
Figura 3. Cosechadora de papa de tres puntos de enganche tipo cola de pato.....	23
Figura 4. Maquina cosechadora de papa de cadenas metalicas modelo CP-1 .....	23
Figura 5. Efecto que sufren las papas que fueron golpeadas durante la separación de tierra y producto (zarandeo) .....	24
Figura 6. Metodología aplicada en el proyecto diseñado de la cosechadora de papa .....	29
Figura 7. Resultados del modelamiento CAD del factor de seguridad mínimo 1.023 y máximo 2.47 .....	30
Figura 8. Esquema de justificación de una elección óptima de cosechadora de papas.....	31
Figura 9. Esquema estructural del dispositivo de transporte para la separación de tierra-papa .....	32
Figura 10. Vista delantera de la máquina cosechadora por discos.....	33
Figura 11. Se muestra la modificación del anclaje de 3 puntos con el tractor.....	34
Figura 12. Máquina cosechadora de papas .....	35
Figura 13. Modelado CAD factor de seguridad del bastidor .....	36
Figura 14. Variación de potencia hidráulica con relación a la potencia del motor .....	38
Figura 15. Representación de los grados de las cargas máximas obtenidas con la prueba de corte realizadas en la superficie de las papas .....	42
Figura 16. Tipos de magulladuras de las papas por una fricción mecánica.....	43
Figura 17. Características de las papas por ennegrecimiento interno .....	43
Figura 18. Dimensiones de un surco para un buen cultivo de papas .....	44
Figura 19. Máquina cosechadora de papa rotativa del tipo araña con tambor rotatorio y la criba es la pantalla.....	46
Figura 20. Máquina cosechadora de papa elevadora, con una cadena metálica como medio de transporte de la papa y los engranajes ovalados generan vibraciones para la separación con la tierra.....	47
Figura 21. Cadena transportadora de varillas de superficie lisa con unión espiral .....	48
Figura 22. Modelo de cadena transportadora de varillas de superficie lisa unidas por una cinta de lona.....	49
Figura 23. Sistema hidráulico básico .....	55
Figura 24. Motor de engranaje.....	57
Figura 25. Motor de paletas .....	57

Figura 26. Motor de pistones axiales .....	57
Figura 27. Motor de pistones radiales .....	58
Figura 28. Representación simbólica ISO1219.....	59
Figura 29. Características de un perno de cabeza hexagonal.....	62
Figura 30. Estructura base de un símbolo de soldadura.....	63
Figura 31. Simbología de soldadura .....	64
Figura 32 Representación gráfica de tipos de chaflan .....	64
Figura 33. Partes fundamentales de un rodamiento rígido de bola.....	65
Figura 34. Características de una cadena de rodillos de dos torones .....	70
Figura 35. Estructura de diseño por desarrollar .....	85
Figura 36. Máquina recolectora de papas de 2 hileras modelo WH-200 .....	91
Figura 37. Recolectora de patatas modelo 4U-2 .....	92
Figura 38. Recolectora de papa modelo convoyer digger 2 rows/siebkettenroder 2 reihig de doble hilera .....	92
Figura 39. Recolectora de papas modelo CP-1 .....	93
Figura 40. Caja negra.....	94
Figura 41. Asociación de las funciones de la maquina cosechadora .....	97
Figura 42. Caja blanca .....	97
Figura 43. Alternativa de solución 1 .....	99
Figura 44. Alternativa de solución 2.....	100
Figura 45. Alternativa de solución 3.....	100
Figura 46. Esquema del análisis técnico vs. económico .....	104
Figura 47. Enganche central de 3 puntos .....	105
Figura 48. Chasis de la cosecha .....	106
Figura 49. Componentes del sistema de arrastre.....	107
Figura 50. Cadena transportadora.....	107
Figura 51. Circuito del motor hidráulico que acciona la cadena transportadora.....	111
Figura 52. Modelo final de la cosechadora .....	112
Figura 53. Modelo final de cosechadora.....	115
Figura 54 Modelo final de la máquina cosechadora .....	117
Figura 55 Esfuerzos soportados por el eje de accionamiento .....	118
Figura 56. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en los ejes X-Y.....	120
Figura 57. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en los ejes X-Z.....	121
Figura 58. Especificaciones de chumaceras de pie .....	127
Figura 59. Punto de anclaje inferior.....	129
Figura 60. Selección de pernos para la cuchilla de corte .....	131
Figura 61. Selección de electrodo para la soldadura.....	134

Figura 62. Modelo final de Cosechadora de papa.....	139
Figura 63. Modelamiento CAD del esfuerzo por von Misses del eje que accionará la cadena transportadora de papa .....	139
Figura 64. Modelamiento CAD de la deformación que sufre el eje que accionará la cadena transportadora de papa .....	140
Figura 65. Modelamiento CAD del factor de seguridad del eje que accionará la cadena transportadora de papa .....	140
Figura 66. Modelamiento CAD del esfuerzo de von Misses del anclaje de tres puntos.....	141
Figura 67. Modelamiento CAD de la deformación que sufre el anclaje de tres puntos.....	142
Figura 68. Modelamiento CAD del factor de seguridad del anclaje de tres puntos.....	142
Figura 69. Boceto final de la máquina cosechadora de papa .....	143
Figura 70. Instrucciones de fabricación .....	144
Figura 71. Diseño definitivo de la máquina cosechadora .....	145
Figura 72. Detalles explosionados del bastidor del prototipo .....	145
Figura 73. Detalle del explosionado de la cadena transportadora.....	146
Figura 74. Detalle del ensamblado de la máquina cosechadora.....	146
Figura 75. Detalle del plano de la cuchilla de corte.....	147
Figura 76. Detalle del plano del anclaje central.....	147
Figura 77. Detalle del plano del anclaje central .....	148
Figura 78. Proceso de fabricación del prototipo .....	151
Figura 79. Se realiza el armado del bastidor respetando los 18° de inclinación.....	151
Figura 80. Se realiza el ensamblaje de los tres puntos al tractor de 65HP.....	152
Figura 81. Se realiza la primera prueba del prototipo donde se evidencia el descubrimiento de las papas, pero se tubo dificultad con la válvula reguladora de caudal (no controlada) .....	152
Figura 82. Se realiza el mantenimiento de la válvula reguladora de caudal .....	152
Figura 83. Se realiza el pintado final del prototipo.....	153
Figura 84. Se realiza la segunda prueba del prototipo evidenciado el funcionamiento de la válvula reguladora de caudal teniendo un control de la velocidad de la cadena transportadora .....	153

## RESUMEN

La mecanización en el cultivo de la papa es una buena alternativa para los agricultores, por tal motivo, esta tesis está encausada para dar una mejor opción a los agricultores en desarrollar la actividad de la cosecha de papa implementando una máquina cosechadora para mejorar este proceso en la provincia de Concepción, comunidad de Lastay. Si bien es cierto, en el mercado hay máquinas cosechadoras, estas no se adecuan a la geografía del valle del Mantaro, por lo que se optó por producir el diseño de un accesorio agrícola y prototiparlo para la actividad de la cosecha de papa con la finalidad que este prototipo se adapte a los terrenos del valle, los implementos de cosecha que utilizan los agricultores dañan a las papas generándoles golpes o magulladuras al momento de su extracción del terreno, por lo que se ha tomado en cuenta las necesidades y condición económica de los agricultores en el diseño y prototipado de la máquina cosechadora de papa que tendrá el principal objetivo de disminuir las mermas por debajo de 7 %.

Para el diseño del prototipo se tuvo que adaptar una metodología teniendo como base a las metodologías VDI-2221 y SHIGLEY. La metodología adaptada consta de 4 etapas y como resultado del desarrollo de estas se determinó el concepto final, las dimensiones y materiales a utilizar en la fabricación del prototipo, con base en una lista de exigencias se determinó una matriz morfológica con 3 alternativas de solución, donde la alternativa «S1» cumplió con las características requeridas por el agricultor. Siendo una de estas características la adaptación de la cosechadora a tractores con una potencia que van desde los 65 a 110 HP de potencia, la cadena transportadora tendrá una velocidad de (204.2 rpm), para el eje que accionara la cadena transportadora se calculó con un factor de diseño de 3 como factor de seguridad, la cuchilla de corte tendrá un ángulo de 18° se utilizarán materiales SAE 1010 y ASTM A36 para la construcción del prototipo. Para la transmisión de potencia entre el motor hidráulico y el eje de accionamiento será por medio de cadena de rodillo H-50 y el tipo de lubricación «A». Se utilizó el modelamiento CAD para poder ratificar los datos obtenidos con los cálculos matemáticos, al realizar el estudio estático del eje que accionara la cadena transportadora (componente crítico), el factor de seguridad idóneo es  $F_s = 3$  y con el análisis matemático se consiguió un factor de seguridad ( $F_s = 3.1$ ), estando en el rango idóneo, se determinó que tendrá un impacto moderado según el cálculo matemático.

**Palabras claves:** magulladuras, ennegrecimiento del anillo vascular, golpes, simulación, prototipo, simulación

## ABSTRACT

Mechanization in potato cultivation is a good alternative for farmers, for this reason, this thesis is prosecuted to give farmers a better option in developing the potato harvest activity by implementing a harvesting machine to improve this process in the province of Concepción, community of Lastay. Although it is true, there are harvesting machines on the market, these are not adapted to the geography of the Mantaro Valley, so it was decided to produce the design of an agricultural accessory and prototype it for the potato harvest activity with the purpose of that this prototype adapts to the valley land, the harvesting implements used by the farmers damage the potatoes, causing blows or bruises when they are extracted from the land, so the needs and economic condition of the farmers have been taken into account. farmers in the design and prototyping of the potato harvesting machine that will have the main objective of reducing losses below 7%.

For the design of the prototype, a methodology had to be adapted based on the VDI-2221 and SHIGLEY methodologies. The adapted methodology consists of 4 stages and as a result of the development of these, the final concept, dimensions and materials to be used in the manufacture of the prototype were determined, based on a list of requirements, a morphological matrix was determined with 3 solution alternatives, where the alternative "S1" met the characteristics required by the farmer. Being one of these characteristics the adaptation of the harvester to tractors with a power ranging from 65 to 110 HP of power, the conveyor chain will have a speed of (204.2 rpm), for the axis that drives the conveyor chain it was calculated with a design factor of 3 as a safety factor, the cutting blade will have an angle of  $18^\circ$ , SAE 1010 and ASTM A36 materials will be used for the construction of the prototype. For the transmission of power between the hydraulic motor and the drive shaft, it will be by means of an H-50 roller chain and the type of lubrication "A". CAD modeling was used to ratify the data obtained with the mathematical calculations, when carrying out the static study of the axis that drives the conveyor chain (critical component), the ideal safety factor is  $F_s=3$  and with the mathematical analysis a safety factor ( $F_s=3.1$ ), being in the ideal range, it was determined that it will have a moderate impact according to the mathematical calculation.

**Keywords:** bruises, vascular ring blackening, blows, simulation, prototype, simulation.

## INTRODUCCIÓN

Los países de China e India son uno de los mayores productores de papa, seguidos por Alemania, Polonia, Francia y Holanda, es por lo que la tecnología que dichos países cuentan en la fabricación de maquinarias agrícolas es muy alta, por lo que en el Perú la mayoría de las máquinas agrícolas son importadas. En el Perú solo existe una empresa registrada en el rubro de la fabricación de máquinas e implementos agrícolas «Sermi» y existen muchos talleres informales que se dedican a ese rubro. Dichas empresas fabrican sus máquinas cosechadoras para las condiciones geográficas del sur del Perú y su objetivo inicial fue la cosecha de camote. Por la necesidad que tienen los agricultores llegan a utilizar estas máquinas para la cosecha de la papa, pero ocasionan mermas por las magulladuras y golpes que recibe la papa por la excesiva velocidad de la cadena transportadora y su diseño particular.

Las principales actividades a la que se dedican los campesinos del valle del Mantaro, es el cultivo de la papa. Los pobladores de la comunidad campesina de Lastay – Concepción también se dedica a esta actividad, los pobladores tienen el apuro de poder optimizar el proceso de la cosecha de papa, es por lo que se buscaron nuevas técnicas como el uso de máquinas cosechadoras tradicionales con base en cadenas remolcadas por un tractor de 105 a 165 HP y las de baja potencia que son de 65 a 105 HP. Estas cosechadoras tienden a dañar la papa por el diseño de la cadena que es fabricada a base de varillas ½” dobladas y terminadas en una punta que corta a la papa. Estas máquinas cosechadoras también son accionadas mediante un cardan que viene del tractor y tiene dificultad por estar expuesto al agua y lodo que se genera en este proceso de cosecha y tienden a oxidarse, por lo que una buena alternativa sería reemplazar la transmisión mecánica por la transmisión hidráulica.

Siendo la papa Diacol Capiro una de las variedades más delicadas, y si no se tiene un mayor cuidado en el proceso de la cosecha estas papas van a presentar un ennegrecimiento interno en el anillo vascular a consecuencia de los golpes que recibieron en la cosecha, por lo que van a ser rechazadas al momento de las pruebas que realizan las empresas procesadoras de papa.

La papa Diacol Capiro es una de las variedades que han sido mejoradas genéticamente para el uso en la industria alimenticia, estas son procesadas como hojuelas y bastones para las frituras, esta variedad de papa es producida en zonas que se encuentran entre los 2000 y 3200 m s. n. m. y es adaptable a variaciones del clima y de terreno de labranza, estando el valle del Mantaro apto para su producción, esta variedad de papa es la de mayor producción, pero también es la más delicada en comparación con otras variedades, por lo que uno de los

inconvenientes al manejar las máquinas cosechadoras de papa que actualmente hay en el mercado local es que estas golpean demasiado a la papa. Por otro lado, también la geografía es una desventaja para los agricultores (pendientes, quebradas, laderas y zonas planas) donde desarrollan la actividad del sembrío de la papa siendo dificultoso el ingreso de las máquinas cosechadoras de papa y dificultando su rendimiento en la actividad de la cosecha y en estos casos los agricultores realizan la cosecha en forma artesanal contratando personal para que realicen esta actividad, ocasionándoles costos elevados e incrementando el tiempo para este proceso.

Los agricultores del valle del Mantaro utilizan tractores agrícolas con potencias que van desde los 65 HP hasta los 105 HP, para realizar la cosecha de la papa.

Una vez comprobada la necesidad de los agricultores, se elige diseñar el prototipo de una máquina cosechadora que nos permite disminuir los daños en la papa en este proceso y que se adapte a las características geográficas. Para poder realizar el diseño de la máquina cosechadora se realizaron estudios nacionales e internacionales de las máquinas ya existentes, donde se obtuvo datos muy nutrientes como la velocidad a la que deben de trabajar las máquinas agrícolas que es de 7.5 km/h, para la fabricación del chasis y anclajes se utilizó aceros ASTM A-36 y para los brazos portadiscos un AISI 1045, para determinar la fuerza de corte actuante en la cuchilla utilizaron un coeficiente de labranza máximo ( $40 \text{ kgF/dm}^2$ ), la capacidad de carga de la máquina esta entre 100 a 160 kg/s y con un rendimiento de 0.35 ha/h.

La metodología utilizada para el desarrollo de la tesis fue del tipo tecnológico con un alcance aplicado desarrollando los conocimientos alcanzados en las asignaturas de Elementos de Máquinas, Resistencia de Materiales y Diseño De Máquinas, para el desarrollo del diseño del prototipo se utilizó la metodología adaptada del VDI-2221 y SHIGLEY, que en el desarrollo de sus cuatro etapas se determinaron las estructuras de funciones y la matriz morfológica de donde se obtuvo el diseño definitivo, para el análisis económico se realizó una evaluación técnica con base en la escala de valores del VDI 2225.

Para el modelamiento matemático se tomaron los datos técnicos de un tractor agrícola con una capacidad de arrastre de 110 HP, con los datos obtenidos de la ficha técnica de este tractor se realizaron todos los cálculos a los componentes críticos de la máquina a diseñar para luego ser validadas mediante la modelación y simulación CAD.

El capítulo I define el planteamiento del problema, se basa en diseñar y prototipar una cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro y que sea activada mediante el flujo hidráulico que proporcionará el tractor agrícola.

El capítulo II mencionan las investigaciones en campo que se realizó sobre el problema que se tiene que resolver, también se describen los principios teóricos que se tomaron en cuenta para el diseño y prototipado de la cosechadora de papa, tomando como raíz las variedades y propiedades de la papa y llegando a los conocimientos físicos y matemáticos que se deben tener en cuenta para el correcto diseño de máquinas.

El capítulo III menciona las metodologías de las que tomamos como base para adaptar una nueva metodología de diseño que se adapta a las necesidades de esta investigación, para ello se fusiona la metodología de diseño de Budynas – Shigley y la VDI 2221, fusionando estas dos metodologías de diseño se realizó una valoración técnico-económica y así llegar al concepto de solución para el diseño y fabricación.

El capítulo IV plasma los cálculos analíticos del diseño que sirvió para poder corroborar la adecuada selección de materiales y componentes para la máquina que se está diseñando, dichos cálculos analíticos se validan con el modelamiento en CAD.

El capítulo V plasma el proceso de fabricación de la máquina y las pruebas en campo a las que fue sometida, donde se obtuvo resultados favorables.

Con todo lo expuesto, lo que principalmente se quiere es coadyuvar con una de las actividades más importantes que se realiza en el valle del Mantaro, como lo es el labrado del campo, y al mismo tiempo se pretende motivar para seguir investigando en la implementación de infinitas soluciones con el fin de tecnificar y mecanizar el proceso de la cosecha de la papa.

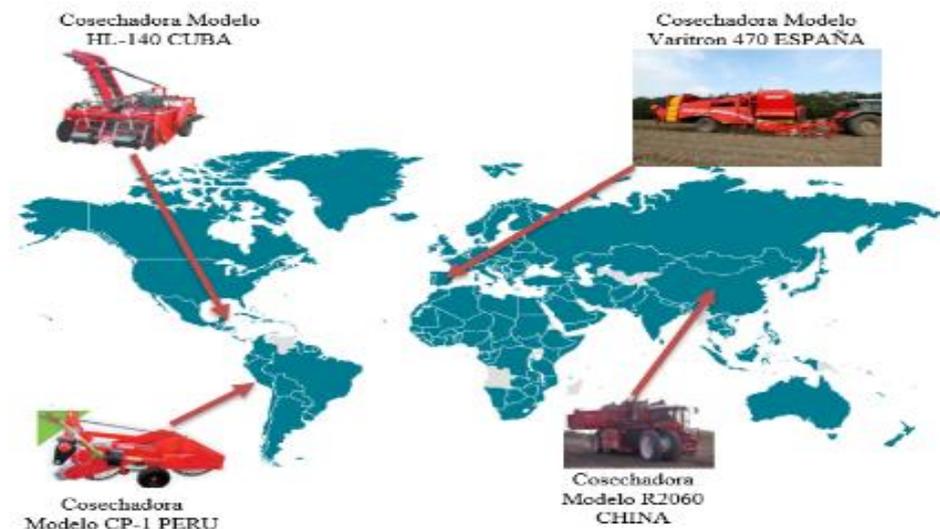
## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

##### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Con referencia a la presente investigación, se propone continuar con la investigación de la papa, cuya denominación científica es *Solanum tuberosum*. La relevancia de esta investigación radica que el tubérculo ocupa el cuarto lugar en los cultivos alimenticios más importantes en todo el mundo, ya que forma parte trascendental de la dieta de millones de personas; además, que es cultivado en varios países alrededor del mundo y cuenta con más de 5000 variedades (1). A nivel mundial, la producción de las papas llega a un aproximado de 341 millones de toneladas, esto en 20 millones de hectáreas y el productor más grande es China que cuenta con una producción entre 66 a 71 millones de toneladas, a este país le sigue Rusia, la India, Polonia y demás (1). Entonces, para llegar a esta alta producción estos países cuentan con una avanzada tecnología en el sector agrícola, entre ellas se encuentran máquinas e implementos agrícolas con un desempeño mayor a las que contamos en el mercado local. La figura 1 nos muestra las máquinas cosechadoras de papa e implementos usados en los diferentes países donde la producción de la papa es alta (2).



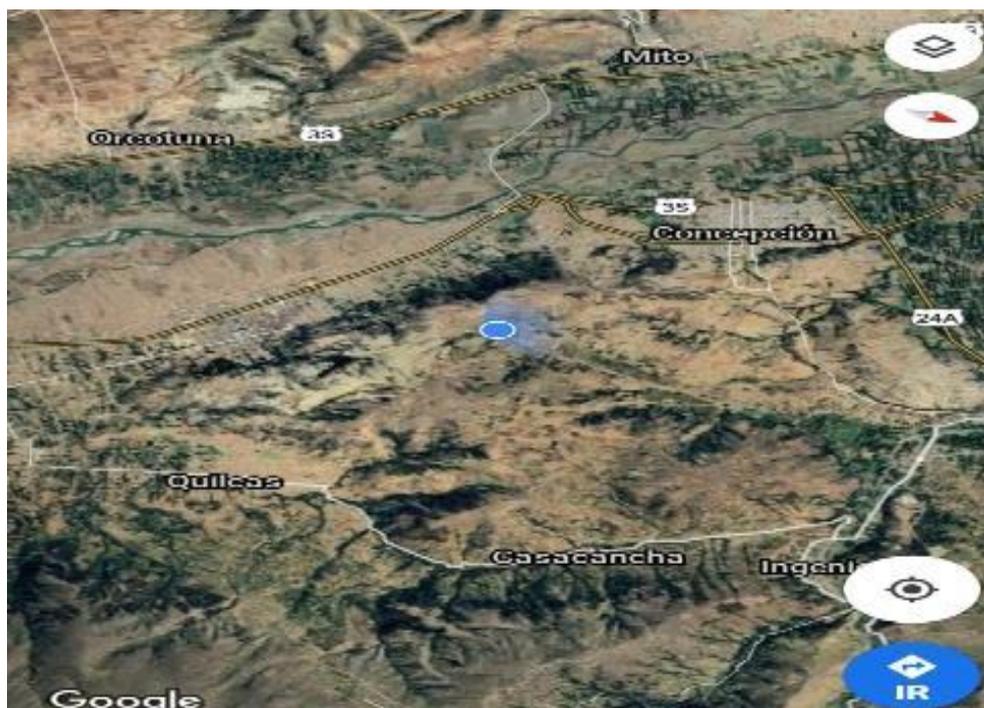
**Figura 1. Maquinas cosechadoras de papa que se utilizan en los países donde la producción de papa es alta.**

*Nota: tomada de Google Groups*

A nivel de Latinoamérica, Perú es el principal abastecedor de papa y su producción anual, según el registro del 2019, fue de 5.3 millones de toneladas (3). Actualmente, la papa se produce generalmente en las zonas andinas y contribuyen fundamentalmente al mundo, ya que es uno de los tubérculos que más se consume y aprecia, ya que de esta forma se puede colaborar con el fortalecimiento alimentario a nivel mundial (4). El Perú cuenta con la mayor cantidad de variedades en papas, 8 son especies nativas domesticadas y, además, existen 2031 n territorio peruano de las 4000 variedades presentes en América Latina.

Se sabe que la cosecha es una labor compleja y costosa realizada en la producción de la papa, ya que necesita una gran cantidad de trabajadores y una organización eficiente durante toda la labor del cultivo de papa (5). Este proceso corresponde a la etapa final del cultivo, donde se prepara o acondiciona al producto para venderlo. Esta fase se considera como un trabajo delicado, ya que los tubérculos pueden salir dañados (6). Debido a ello, debe de tenerse mucho cuidado con la actividad, tomando en cuenta que es una estructura viva, y a raíz de los golpes ocasionados en el proceso de la cosecha se generan las magulladuras en la superficie del tubérculo (7). En el país, la pérdida de la papa y la reducción de su calidad es uno de los principales problemas que se da durante la cosecha. Este ennegrecimiento se da por la manipulación de la máquina en los terrenos, ya que, al recogerlas, pueden generarse golpes, magulladuras, generando su deterioro inmediato. Con relación a ello, el sistema mecanizado debería lograr el tamizado del suelo y la limpieza del producto a cosechar de champas, terrones y piedras (8).

En la actualidad, se emplean 3 tipos de cosecha de papa, la cosecha manual, con arado artesanal y con implementos mecanizados, este último no está diseñado para el tipo de propiedades mecánicas y físicas que tiene la papa, ya que unas son más resistentes que otras, en la provincia de Concepción, en la comunidad de Lastay, situados en la región Junín, como se muestra en la figura 2, pertenece al valle fluvial interandino formado por el río del Mantaro.



*Figura 2. Localización satelital de la comunidad de Lastay, campo de estudio geográfico para el desarrollo de la investigación  
Nota: tomada de Google Groups por Google Maps*

En esta localidad se produce a gran escala la variedad Diacol Capiro, este tipo de papa fue modificada genéticamente, lo que genera que estas sean más delicadas frente a los golpes, causando el ennegrecimiento del anillo vascular por el incremento del azúcar, reduciendo el tiempo de almacenamiento o guardado.

Si bien este tubérculo se adecua a diversas circunstancias climáticas y diversos tipos de suelo, se visualiza un aumento de producción en terrenos francos areniscos, terrenos penetrantes, con un volumen adecuado de propagación y con un pH de 5.5 hasta llegar a 8 (9). En referencia a esta investigación, los terrenos agrícolas situados en el valle del Mantaro cumplen con las características ya mencionadas lo cual hace que esta variedad de papa tenga una mayor producción, sin embargo, tiene una compleja geografía por la variación del terreno (quebradas, zonas planas, pendientes y

laderas). Con referencia a ello, los agricultores suelen afrontar impedimentos y un alto gasto en mano de obra durante la temporada de cosecha, además, el no contar con una máquina de cosecha diseñada especialmente para este tipo de suelos conlleva a usar herramientas de cosecha de papa no muy eficientes, tales como el de la figura 3, que es usada en laderas y quebradas en la mayoría de las veces. También se usa cosechadoras de modelo CP-1, figura 4, que es utilizada en superficies planas, sin embargo, la alta velocidad a la que gira la faja transportadora maltrata a las papas generando pérdidas, ya que esta máquina está diseñada con base en la geografía de la costa y principalmente en la cosecha de camotes que son más resistentes al golpe (2).



*Figura 3. Cosechadora de papa de tres puntos de enganche tipo cola de pato  
Nota: tomada de talleres Lose (10)*



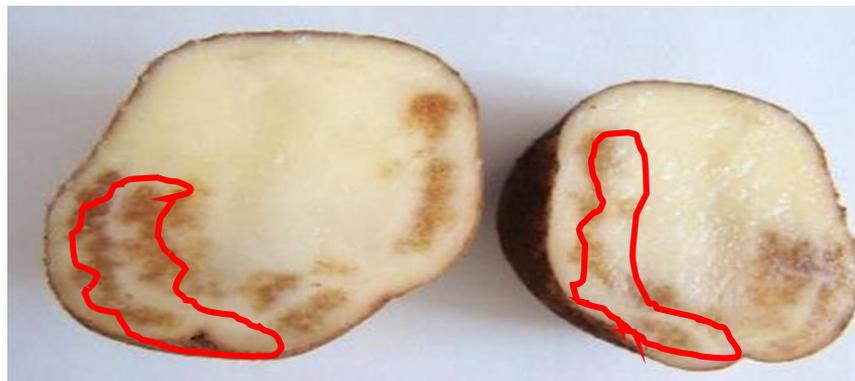
*Figura 4. Máquina cosechadora de papa de cadenas metálicas modelo CP-1  
Nota: tomada de Sermi, implementos agrícolas (11).*

Por otro lado, la papa es el cultivo de la papa es una de las actividades que mayormente dependen los agricultores de la comunidad campesina de Lastay, la cosecha de papa se practica utilizando implemento local de tracción animal y manual,

que se caracteriza por un alto requerimiento de horas, hombres, trabajo pesado y pérdidas considerables en el daño de los tubérculos y exposición ineficiente. Hoy en día todos los diseños y mejoras realizados son con las máquinas cosechadoras de papas, por lo que se puede concluir sobre cuatro principios básicos de trabajo. Estos son principios de funcionamiento alternativo, de transporte, de rotación, de giro y de usos múltiples relacionados con el movimiento de avance de la fuente de energía. Por lo tanto, la máquina cosechadora de papas a construir agrupa los mecanismos de cosechadora de transporte por faja-cadena, de cuchilla con disminución del ángulo de corte y de movimiento alternativo / vibratorio.

En el valle del Mantaro se encuentra la empresa Nuevo Horizonte, que tiene años en el mercado agrario y manifiesta que la mayoría de los agricultores cuentan con tractores agrícolas con potencias de arrastre de 65 HP a 155 HP, pero para las actividades de la siembra, cultivo y cosecha de papa los tractores que más son utilizados van desde una potencia de arrastre desde los 65 HP hasta 105 HP (12).

Los tubérculos que se cosechan con la máquina mostrada en la figura 4, luego pasar tres días desde que fueron almacenados salen a relucir los golpes que han sido generados por la cadena transportadora (2). En la figura 5 se puede apreciar que la papa al ser golpeada durante el zarandeo con la cadena transportadora presenta un ennegrecimiento interno evidenciándose en esa coloración marrón que presenta el tubérculo y, por consiguiente, las empresas abastecedoras realicen un descuento al agricultor por cada kilogramo de papa del total de su producción entre 0.5 céntimos hasta los 10 céntimos de sol (2). Además, al dar la primera pasada con el implemento mostrado en la figura 3, las papas no logran descubrirse en su totalidad, es por eso que el agricultor debe de pasar nuevamente la máquina cosechadora para así lograr descubrir todas las papas que no fueron descubiertos en la primera pasada (13).



**Figura 5. Efecto que sufren las papas que fueron golpeadas durante la separación de tierra y producto (zarandeo)**

Debido a los deterioros comprobados que soportan los tubérculos en la recolección y la falta de implementos mecanizados que carecen los agricultores, se propone como investigación tecnológica realizar una máquina cosechadora de papa, que contemple las exigencias de los agricultores de la comunidad de Lastay – Concepción (2).

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **1.1.2.1. Problema general**

- ¿Cómo diseñar y prototipar una cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro en la comunidad de Lastay, provincia de Concepción, departamento de Junín?

#### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo diseñar el bastidor de la cosechadora de papa para ser utilizado en tractores de 65 HP a 105 HP?
- ¿Cómo diseñar el mecanismo de la cosechadora adecuado para la papa de la variedad Diacol Capiro?
- ¿Cómo diseñar el sistema de acarreo y zarandeo poscosecha de la papa?
- ¿Cómo fabricar el prototipo de la cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro?
- ¿Cómo validar el funcionamiento del prototipo de la cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Diseñar y prototipar una cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro en la comunidad de Lastay, provincia de Concepción, departamento de Junín.

### **1.2.1. Objetivos específicos**

- Diseñar el bastidor de la cosechadora de papa para ser utilizados en tractores de 65 HP a 105 HP.

- Diseñar el mecanismo de la cosechadora adecuado para la papa de la variedad Diacol Capiro.
- Diseñar el sistema de acarreo y zarandeo poscosecha de la papa.
- Fabricar el prototipo de la cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro.
- Validar el funcionamiento del prototipo de la cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Justificación teórica**

Se desarrolló el diseño innovador de un prototipo de cosechadora de papa para una variedad delicada, de esta manera, se dará un aporte científico con las ecuaciones y la validación en software CAD del tipo de materiales a utilizar para el funcionamiento del prototipo.

#### **1.3.2. Justificación económica**

Se llevó a cabo la investigación porque generará beneficio económico para la comunidad y otras regiones, se busca lograr que el prototipo de la maquinaria coseche sin hacer daño al producto y sea accesible para el mercado.

#### **1.3.3. Justificación práctica**

La investigación realizada se sustenta en la necesidad de contar con una maquinaria cosechadora que cuide las papas al disminuir sus golpes, reduciendo el impacto del tubérculo mediante el ángulo de corte a la que se encuentre la cuchilla y el sistema de transporte y zarandeo generado por rodillos.

#### **1.3.4. Justificación metodológica**

Hoy en día, los procesos de la cosecha de papa generan daños al producto como golpes, cortes, magulladuras. Por tal motivo se plantea una nueva metodología de diseño, tomando como referencia los existentes y al aplicarlo en el prototipo se disminuirán los daños ya mencionados. Al comprobar el buen funcionamiento del prototipo, este tendrá aportes significativos en trabajos de investigaciones futuras.

#### **1.4. Importancia**

La fabricación de una cosechadora de papa reductora de ennegrecimiento de la variedad Diacol Capiro tendrá una gran relevancia porque es una innovación tecnológica que beneficiará a los agricultores de papa, en especial a los agricultores de pequeño y mediano alcance. Se enfoca en las personas que quieran mejorar la producción de sus tubérculos, ayudando a mantener la calidad, al evitar golpes o lesionar a la papa. También aportará a la ciencia mecánica, ya que será un sistema que innovará en la recolección de papas a través de mecanismos que mantengan su calidad para su comercialización, estos mecanismos se encontrarán actualizados con los sistemas recientemente actualizados; asimismo, para ser accesible a todos los sistemas, se buscará un gasto mínimo para su desarrollo.

El uso de la cosechadora de papa en los campos además de disminuir el gasto que se genera por la contratación de personal para la mano de obra mejorará la calidad de los tubérculos cosechados, ya que su principal objetivo es reducir las lesiones tanto externas como internas evitando su devaluación, ello ayudará a equilibrar los gastos de producción generados durante todas las etapas de cosecha de la papa. De este modo, ayudará a agricultores, en la comunidad de Lastay – Concepción, tanto grandes como pequeños a obtener ingresos para su familia, y a su vez aportará al valor bruto del subsector agrícola. Es decir, el beneficio se extiende de las familias agricultoras a la economía peruana.

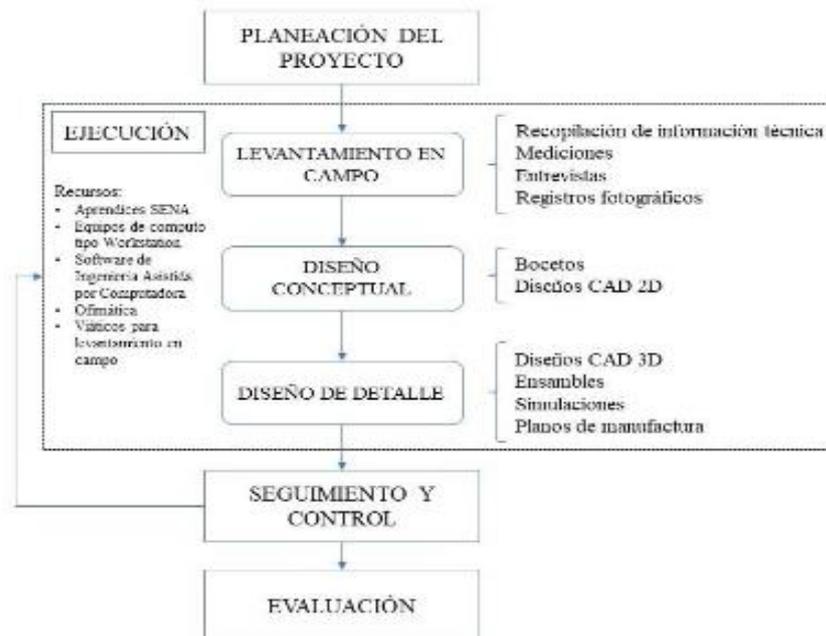
## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Vallejo et al. (14) en el artículo «Diseño de máquina para mejorar el proceso de cosecha de papa en Nariño – Colombia» mencionan que en el departamento de Nariño más de 25 000 familias se dedican al cultivo de la papa como fuente primaria de ingresos económicos para el cual cuentan con una extensión de terreno neto para el sembrío de la papa de 23 600 hectáreas y tienen un rendimiento de 21.42 toneladas por hectárea de sembrío. En Nariño se practican dos modalidades de sembrío de papa, la tradicional y la tecnificada, donde el 80 % de los agricultores de departamento en mención practican la modalidad tradicional porque la mayoría de sus terrenos se encuentran en quebradas y pendientes y son de poca extensión, por tal motivo, se decide fabricar una máquina cosechadora de papa para los agricultores que representan ese 80 % y utilizamos la metodología de diseño y desarrollo de productos con la aplicación estratégica PLM (*Product Lifecycle Management*) (14) tal y como muestra en la figura 6.



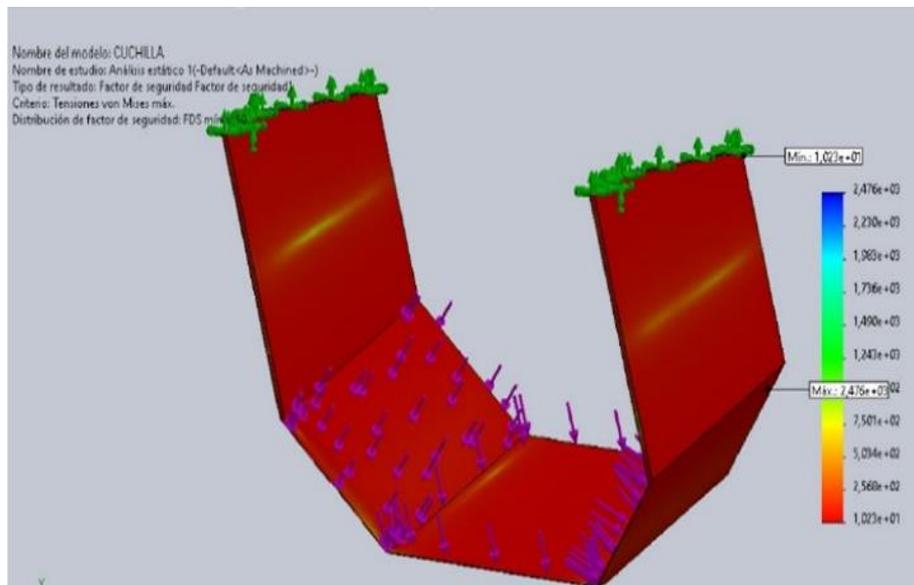
**Figura 6. Metodología aplicada en el proyecto diseñado de la cosechadora de papa**  
 Nota: tomada de Paola Vallejo Benítez et al. (14)

Para que la máquina cosechadora de papa consiga el objetivo planteado necesariamente se fue al campo para realizar el levantamiento los datos ambiguos obtenidos, para ello se acudió a los especialistas en el cultivo de la papa, llegando así a aclarar las necesidades de los agricultores, la geografía de los terrenos y el capital de inversión con lo que ellos pueden contar para así llegar a tecnificar sus cultivos de papa (14).

Para la cosecha y seleccionado de papa de una hectárea se necesitan la mano de obra de 25 personas, con la implementación de la máquina solo será necesario una persona para operarla y alrededor de 4 personas para seleccionar las papas para poder alcanzar este objetivo se tuvo que trabajar en el modelamiento de la máquina, se verificó la geografía del terreno encontrando pendientes de hasta 20 %, los surcos de los cultivos son de 90 cm y la papa alcanza una profundidad de 20 cm. Con estos datos se escogió un motocultor de 14 HP y 1800 rpm para el accionamiento de la máquina cosechadora, la estructura se realizará con perfiles de acero laminar HR, la cuchilla tendrá un ancho de 68 cm y con un ataque de profundidad de 40 cm (14).

Blanco et al. (15) en la tesis «Diseño de un prototipo mecánico de recolección y traslado de batata [*Ipomoea batatas* L.] para facilitar labores de cosecha a pequeños productores» desarrollaron el prototipo que está direccionado a los pequeños agricultores, para el cual utilizaron la metodología de diseño para la fabricación y

montaje DFMA, se analizaron los materiales existentes en el mercado local y se utilizó un acero AISI 1045 para fabricación de la cuchilla de corte, que al realizar el modelamiento CAD da como resultado un factor de seguridad de 1.023 que se ilustra en la figura 7 una distorsión de corte máximo de 0.7285 mm, para fabricación de la rejilla transportadora del tubérculo se utilizó un material ASTM A-706 que al realizar el modelamiento CAD se alcanza un factor de seguridad igual a 1.5, una deformación máxima de 1.56 mm, para el bastidor se utilizó perfiles estructurales (PTE) de una calidad ASTM A-200 C. para el ensamblaje se realizará por arco eléctrico para el que se seleccionó un electrodo de AWS E7018, al realizar el modelamiento matemático se obtuvo que la altura de cordón debe ser de 0.46 in, con un factor de seguridad por fatiga de 3 (15).



**Figura 7. Resultados del modelamiento CAD del factor de seguridad mínimo 1.023 y máximo 2.47**

*Nota: tomada de Blanco et al. (15)*

Lo resaltante de esta tesis fue que se enfocó en los pequeños agricultores, por lo que para diseñar la máquina se enfocaron en buscar que la materia prima para la fabricación sea comercial y de bajo precio, si como también para el accionamiento de la máquina puede utilizarse tractores, motocultores, y tracción animal.

Chutcheva et al. (16) en el artículo «Estudio de viabilidad de tipo óptimo de cosechadora de patatas» hallaron que para mantener la preparación técnica de la flota máquina-tractor en los niveles del 60-62 % de operatividad garantiza una producción entre el 30 y 35 %. Para el cual plantean un esquema de una cosechadora de dos hileras como se muestra en la figura 8. Una cosechadora autopropulsada proporciona un

llenado del búnker más rápido que el de una remolcada, lo que ocurre debido a un menor tiempo de respuesta y una mayor velocidad promedio debido a una mayor maniobrabilidad y perfecto ajuste de los cuerpos de trabajo. La consecuencia de una reducción en el nivel de equipo técnico, la obsolescencia física y funcional ha supuesto una reducción significativa en el volumen de trabajo mecanizado en la agricultura rusa. En la cadena tecnológica general de producción, la cosecha de papas es el proceso más complejo y lento.

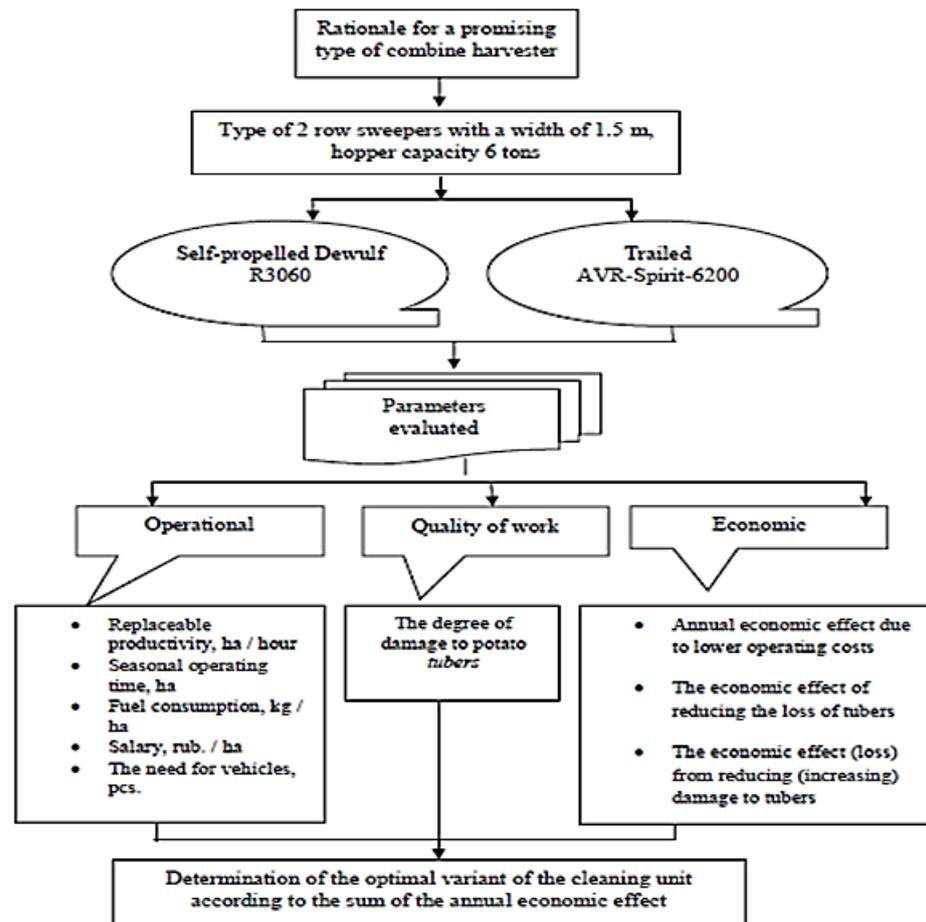
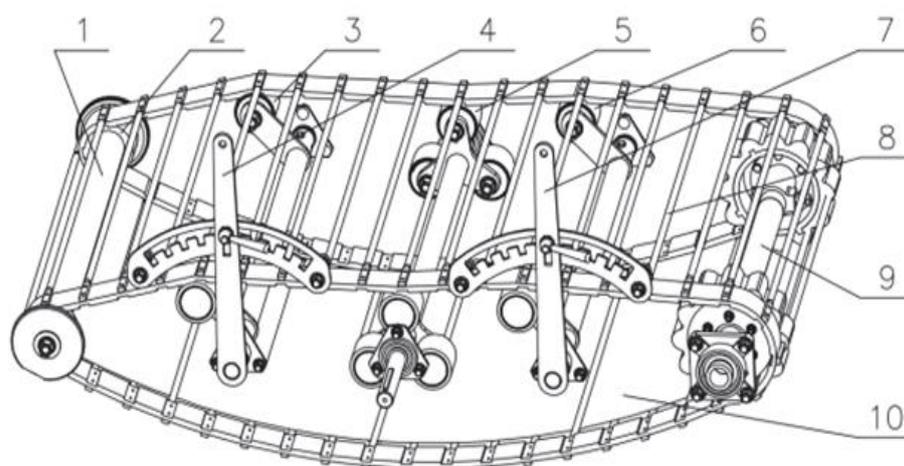


Figura 8. Esquema de justificación de una elección óptima de cosechadora de papas  
Nota: tomada de Chutcheva et al. (16)

Wei et al. (17) realizaron el artículo «Experimento y análisis de un dispositivo de transporte para la separación y trituración de suelos para una cosecha de patatas», su investigación la efectuaron en un dispositivo de transporte interno para la separación del suelo y un banco de pruebas de trituración de terrones, que podría usarse para establecer una proporción constante de papa-tierra. Como se puede visualizar en la figura 9 que está compuesta por 10 partes:

- 1) Rodillo de apoyo
- 2) Ruedas de goma posterior

- 3) Rueda de goma delantera
- 4) Manija de ajuste de amplitud delantera
- 5) Agitador de ruedas de goma
- 6) Rueda de goma de ajuste de amplitud trasera
- 7) Manija de ajuste de amplitud trasera
- 8) Tamiz de separación
- 9) Dispositivo de conducción
- 10) Lienzo



*Figura 9. Esquema estructural del dispositivo de transporte para la separación de tierra-papa*

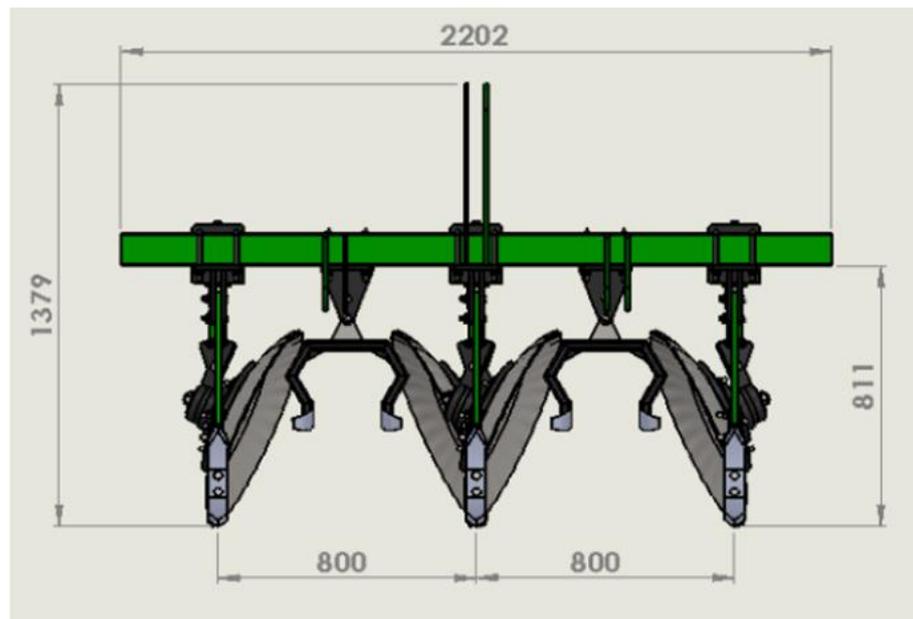
*Nota: tomada de Wei et al. (17)*

Se obtuvo que la tecnología para obtener la dinámica instantánea de la mezcla papa-tierra es que la aceleración máxima no excede los 28.20 rpm cuando la proporción de papa-tierra es de 18.07 % a 38.55 % y la aceleración máxima alcanzada es de 105,33 rpm cuando la proporción papa-suelo fue del 100 %. Concluyendo, que un dispositivo de transporte para la separación de la tierra aportó a la trituración de terrones para una cosechadora de papas. Las características de impacto del suelo de papa mezclados bajo diferentes parámetros se investigaron utilizando un dispositivo de registro de impactos (17).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Carmona (18) en la tesis «Diseño de una máquina aporcadora para optimizar el cultivo de papa en Pampa La Culebra, La Encañada, Cajamarca» se emplearon planchas de acero como el ASTM A36, rodamientos cónicos de modelo HR 3200013 XJ, se empleó un sistema de acople ASTM A36 con una masa de 32 kg. La máquina

aporcadora de papa está conformada de 4 discos como se visualiza en la figura 18, llegando a tener un peso de 417.98 kg, con un factor de diseño de 1.6 para lograr alcanzar una velocidad de 7.5 km/h se necesita un tractor 70 HP de potencia como mínimo, para determinar la potencia del tractor se trabajó en base de un coeficiente de labranza de un terreno medio, que refiere que no es compacto ni suelto  $60 \text{ kgF}/\text{dm}^2$  (18).



*Figura 10. Vista delantera de la máquina cosechadora por discos  
Tomada de Carmona (18)*

Garro (19) en la investigación «Diseño, construcción y evaluación de un prototipo arrancador de papa con tracción mecánica La Molina – 2018», por la necesidad de los campesinos al precisar que cuando llega la época de cosecha es escasa la mano de obra para realizar dicha labor, siendo este un factor por el cual se incrementa el costo de las jornadas de trabajo del personal destinado a la cosecha, el diseño de la máquina estaba basado en 3 modelos de cosechadoras existentes en el mercado y basándose en la metodología VDI-2225 y teniendo en cuenta el estado económico de los agricultores. El modelo posee un mejoramiento de posibilidades en el enganche a 3 puntos de tractor-implemento teniendo un desplazamiento lateral en momento del acople de 250 mm con respecto al eje central del tractor siendo favorable para un buen corte y bajo esfuerzo del tractor, que se puede agilizar más el ancho de trabajo, que se ilustra en la figura 11, concluyendo que se obtiene hasta 20 % en ahorro al no utilizar personal humano como mano de obra (19).



*Figura 11. Se muestra la modificación del anclaje de 3 puntos con el tractor Tomada de Garro (19)*

En este caso, la arrancadora de papa contó con una velocidad que varía entre 1 y 3 kilómetros por hora, cuenta con un mecanismo de vibración de 12 niveles, que puede ser graduado, su sistema de enganche fue de 3 puntos. Se concluyó que el enganche inferior y superior debe ser de 3 puntos así como las rejillas para la selección del tubérculo, la arrancadora de papas actúa de forma eficaz en la cosecha de camote con las adecuaciones pertinentes (19).

Uno de los datos más resaltantes de este estudio son las revoluciones máximas 400 rpm que debe tener un tractor, que mejorará la vida útil, el peso de la máquina cosechadora a diseñar será 380 kg, con este peso los agricultores no tendrán inconvenientes en su manipulación y maniobrabilidad.

Gutiérrez et al. (20) desarrollaron la tesis «Diseño y construcción de una máquina cosechadora de papas 2019» donde la máquina se caracteriza por estar diseñada para trabajar en terrenos planos y con pendientes máximo de 20° la estructura está fabricada de perfil rectangular de 1 x 2" x 2 mm para el espesor, como materia prima se emplearon planchas de acero negro ASTM A36, fierros AISI 1045 de 25 milímetros, electrodos Cellocord AP 6011. La cuchilla de corte está fabricada de un acero ASTM A-500 ensamblada con un ángulo de penetración de 22°, y alcanzando los 3 Km/h como máximo en la velocidad nominal de trabajo para un ancho del trabajo de 0.43 m, su profundidad de trabajo de 0.20 m, entre sus dimensiones, de largo fue de 0.80, con un ancho de 0.6 m y 0.70 m de altura (20). Concluyéndose que el diseño la máquina cosechadora de papas contaría como materias primas prevalecientes en el

mercado a costos asequibles, determinándose la eficacia de la máquina con un 66.86 % facultando que posee una mayor eficacia que el sistema manual o tradicional (20).

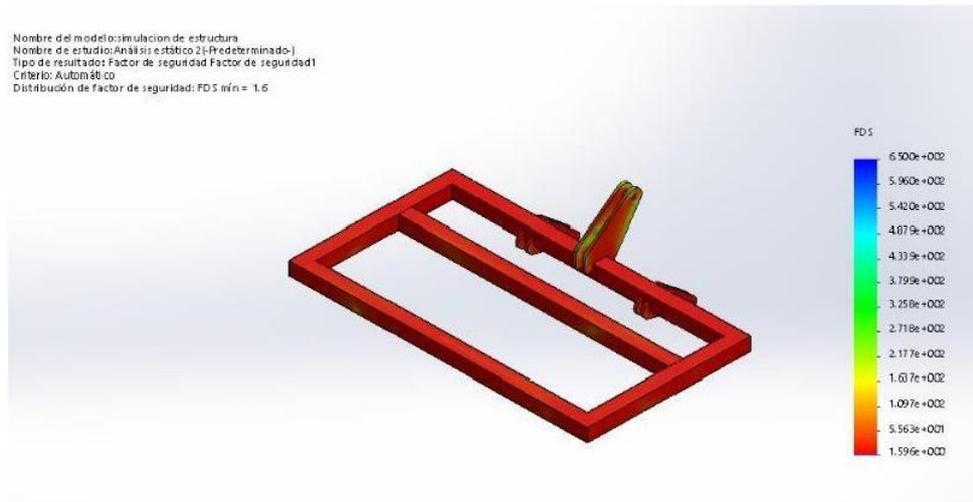
El diseño definitivo de la cosechadora de papa cuenta con tres ruedas como punto de apoyo y el mecanismo de anclaje a la máquina que la va impulsar en mediante una cadena de eslabones como se puede observar en la figura 12.



*Figura 12. Máquina cosechadora de papas  
Tomada de Gutiérrez et al. (20)*

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Aroni (21) desarrolló la investigación «Diseño de una máquina aporcadora de papa para terrenos de Chupaca» donde para el diseño y fabricación utilizó la metodología Alemana VDI 2222, donde la máquina fue considerablemente liviana con 417.97 kg de masa como cualquier mecanismo usado en la localidad de Chupaca, para el sistema de acople se empleó a los tres puntos de material ASTM – A36, el sistema de aporque fue mediante el timón de masa, con una masa de 56 kilos (21). El implemento agrícola se diseñó para ser acoplado a un tractor de 70 HP, para que se trabaje con una velocidad de 7.5 km/h. Todo ello fue evaluado por separado por intermedio del software «SolidWorks». Concluyéndose que el diseño de la máquina aporcadora bajo el método normalizado VDI 2222 posee un rendimiento en velocidad de 7.5 km/h a pleno trabajo, obteniendo los 417.98 kg de peso neto, es medio transportado lo genera un tractor agrícola de 70 HP de potencia de arrastre y fue diseñado con un FDS de 1.6 (21) tal y como se puede observar en la figura 13.



**Figura 13. Modelado CAD factor de seguridad del bastidor  
 Tomada de Aroni (21)**

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Tractor agrícola

#### 2.2.1.1. Potencia y fuerza de arrastre

Se realiza el uso de un tractor agrícola como origen de energía para el movimiento de la máquina cosechadora, para el desarrollo del prototipo se tomaron las características técnicas de un modelo de tractor TS6-110 con una fuerza 110 HP, el motor diésel produce un torque máximo de 510 Nm a unas revoluciones de 1400 rpm, una relación de transmisión 80:1, las ruedas de tracción son de dimensiones R38-800/70, tiene eficiencia de 85 %, un contrapeso de lastres de 350 kg y con un peso real de tractor de 4852 kg (22).

La resistencia de tiro de tres puntos se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_T = Q_m + Q_L + Q_i \quad (1)$$

$$Fr = \mu_T * Q_T \quad (2)$$

$$Tr = Tm * r \quad (3)$$

$$Tr_{(real)} = Tr * n \quad (4)$$

$$F = \frac{Tr_{(real)}}{R} \quad (5)$$

$$F_T = F - Fr \quad (6)$$

La fuerza del arrastre actuante en los tres puntos del Tiro del tractor depende no solo del torque efectivo que proporciona el tractor agrícola, sino también de la masa de los contrapesos, del estado y características de los neumáticos, peso de la máquina cosechadora y las características geográficas del terreno donde se desarrolla los sembríos y por ende lugares donde tiene que ingresar las máquinas cosechadoras (2). En la tabla 1 se muestra la cifra que corresponde al coeficiente de fricción dependiendo del tipo de terreno (23).

**Tabla 1. Unidades de coeficientes de fricción de rodadura**

Naturaleza y tipo de suelo	Coefficiente de rodadura ( $\mu_r$ )
Terreno muy suelto y Arenilla	0,15 – 0,30
Tierra cultivada	0,10 – 0,20
Tierra cultivada seca	0,08 – 0,10
Suelo estéril	0,06 – 0,10
Trocha de tierra	0,04 – 0,06
Trocha de tierra afirmada	0,03 – 0,05
Piso asfaltado	0,02 – 0,03
Piso con cemento	0,01 – 0,02

*Nota:* Las micras es la unidad de medida del coeficiente de rodadura. Tomada de «Capacidad de Tiro en Tractores Agrícolas» por Ferrari y Ferrari (23)

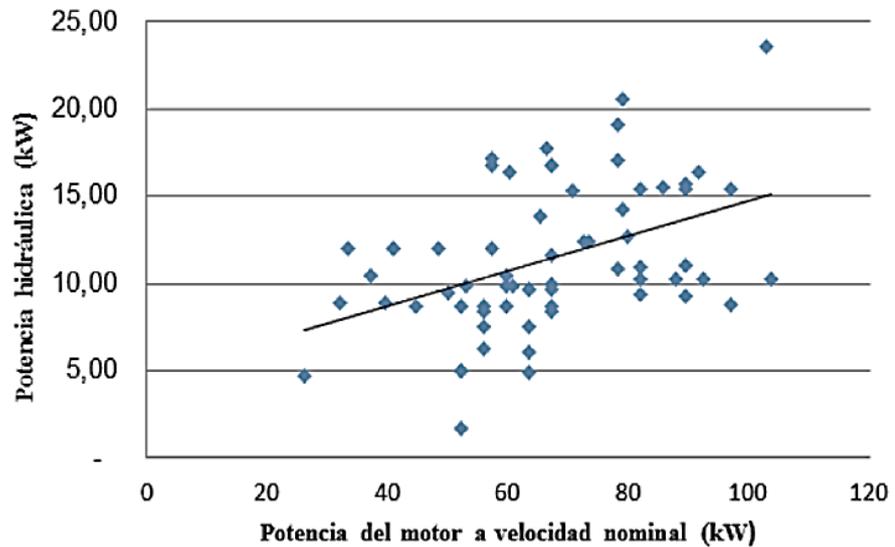
### 2.2.1.2. Toma de fuerza mecánica

En el estudio «Máquinas agrícolas y forestales, evaluación energética, metodología» (24) se utilizó el estándar MNX «Determinación de la potencia de los tractores agrícolas – Método de prueba de tomas de fuerza» (24). Análisis 6610 - Tractor agrícola tipo S, a 1774 rpm. y una frecuencia de rotación de 320, a una velocidad uniforme de rotación del motor diésel que esta entre 320 a 1774 rpm la potencia obtenida en la toma de fuerza fue de 24.14 Kw (24).

### 2.2.1.3. Toma de fuerza hidráulica

La revista *Agricultural Technical Sciences* publica un artículo donde se analiza el impacto que tienen los tractores agrícolas en México donde se determina la relación que hay entre la potencia de la toma de fuerza y el levante hidráulico (25), en esta, se realizó un análisis de tractores de un rango de 500 kg f hasta 5500 kg f. En los resultados obtenidos se evidencia que la potencia hidráulica se va incrementando conforme se incrementa la potencia del motor diésel, como se aprecia en la figura 14, por otro lado, también se observa que la presión hidráulica es homogénea, el grupo de 73 tractores evaluados

mantuvieron la presión regulada en un rango de 10 y 18 MPa, con excepción de 2 equipos que se mantuvieron en 48 MPa, de igual manera, las bombas hidráulicas reflejaron una variación de caudal de 10.20 a 85.50 L/min (25).



*Figura 14. Variación de potencia hidráulica con relación a la potencia del motor Tomada de Garay et al. (25)*

- **Bomba hidráulica**

Son componentes o elementos que transforman cualquier tipo de energía que reciban en energía hidráulica, la mayoría de las bombas usadas en los sistemas hidráulicos se consideran como de desplazamiento positivo, por lo tanto, se afirma que excepto para cambios de eficiencia, la bomba tiene un rendimiento constante sin importar la presión. La línea de alimentación y salida de la bomba debe estar completamente sellada para así crear un buen flujo, siendo este el único propósito de las bombas hidráulicas.

Para un buen rendimiento de la bomba es recomendable que el ingreso de aceite a la bomba debe generar un vacío máximo de 5 *inHg* (pulgada de mercurio) que equivale en promedio a 12.2 *psi* absoluto, esto según los fabricantes de componentes hidráulicos. Para que así pueda empujar el aceite al ingreso de la bomba (26).

- **Flujo**

Considerado el movimiento del aceite generado por la bomba hidráulica a través de todo el sistema, el flujo es la medida del volumen de un fluido que circula a través de un punto a otro en un tiempo determinado, su

unidad de medida para volúmenes grandes es *gpm* (galones por minuto) y los pequeños se puede expresar en  $cm^3/s$  (centímetros cúbicos por segundo) (26).

Según el comportamiento del fluido, se puede tener flujo laminar que es el movimiento del fluido suave y uniforme por el sistema y está regido por la unidad de medida de Reynolds, donde un flujo laminar es menor a 2300 Reynolds. Por otro lado, un flujo turbulento es el movimiento del fluido brusco y desordenado y es mayor a 2300 Reynolds (26).

$$Q = \frac{v}{t} \quad (7)$$

**Donde:**

Q= caudal  $m^3/s$

V= volumen  $m^3$

T= tiempo s

- **Presión de trabajo**

La presión hidráulica se genera cuando hay una resistencia al paso y esta puede venir de dos maneras, de una restricción en las tuberías o mangueras hidráulicas y también por las cargas a las que están sometidas los actuadores hidráulicos.

La caída de presión se da mayormente en el paso de un orificio, esto se utiliza para poder controlar el flujo o crear una diferencia de presión en un circuito oleo-hidráulico, la presión será igual a la fuerza entre el área (26).

$$P = \frac{F}{A} \quad (8)$$

**Donde**

Presión = bar

Fuerza = kilogramos fuerza (*kg f*)

Área = centímetros cuadrados ( $cm^2$ )

#### **2.2.1.4. Elección de ruedas para máquinas agrícolas**

Para la elección de neumáticos de las máquinas cosechadoras se tiene que consultar la tabla 2 en donde la máquina se acopla al tractor con las barras

que se regulan para el montaje de los tres puntos de acople, siendo el tractor agrícola quien sujeta el peso que transporta la máquina por intermedio de su faja de transporte (2).

Las ruedas de la máquina cosechadora están diseñadas para guiar el deslizamiento y como soporte para poder estacionarlo una vez desinstalada del tractor agrícola (12).

**Tabla 2. Clasificación de ruedas en relación a su trabajo**

<b>Ruedas utilizadas para máquinas agrícolas</b>	<b>Clase</b>
Banda de rodamiento de relieve longitudinal	I – 1
Implemento de baja tracción	I – 2
Banda de rodamiento de alta tracción	I – 3
Banda de rodamiento lisa	I – 6
Banda de rodamiento de relieve longitudinal – velocidad de carretera	F – 1

*Nota:* clasificación del tipo de rueda que se utilizan en las máquinas agrícolas Tomada de «Aprendiendo sobre neumáticos» por Good Year (27)

## **2.2.2. Estructura de la papa**

### **2.2.2.1. La papa**

Una de las principales actividades que le dan el sustento económico a la población nacional es la agricultura y comprende un área aproximada de 5 476 997 ha. Para su desarrollo que representa el 15 % de todo el espacio nacional (2). Fundamentalmente, en el departamento de Junín se evidencia que esta actividad es una de las fuentes de ingresos económicos, pues en el año 2010 la agricultura personificó el 5.9 % de ingresos en la actividad económica, y en comparación con los porcentajes de las regiones del Perú está en el tercer lugar como productora de papa (28).

- **Variedades**

En cada zona del Perú se producen distintas variedades de papas, por lo que se clasifican en dos grupos: variedades mejoradas, las papas que pertenecen a este grupo son el resultado de una elección metódica realizada por científicos con materiales nativos, en esta variedad se encuentra la papa Diacol capiro. Las otras variedades son las nativas y se caracterizan por ser cultivadas y clasificadas empíricamente por la agricultores y presión de la naturaleza (27).

### 2.2.2.2. Diacol Capiro

Diacol capiro en una variedad de papa, reconocida de la misma manera con el nombre de R-12 ha sido modificada para su uso en la industria alimenticia y se dispone para ser preparados como hojuelas y bastones. Esta papa se caracteriza por tener una cáscara de color rojizo y tiene una mejor producción en terrenos que estén a 2000 y 3000 m s. n. m. Una vez sembrada toma 5.5 meses para su maduración y cosecha con una producción promedio de 35 a 40 t/ha (28).

Por otro lado, las pequeñas cantidades de azúcares que tiene impide el ennegrecimiento y el deterioro del sabor al momento de convertirlo en fritura, es decir, cuando el contenido de azúcar supera el 0,1 %, las virutas se oscurecen, pierden su carácter y se queman con facilidad, lo que suele ocurrir cuando se machacan las patatas durante la recolección mecánica. Por otra parte, las patatas Diacol capiro el 21 % de materia interna es seca, lo que impide que se absorba el aceite durante la fritura (29).

- **Características físicas y mecánicas**

Como resultado de las pruebas realizadas, se puede comprobar que la pérdida de potencia se produce por el rozamiento existente entre el área de contacto de la cuchilla de corte de terreno que tiene la máquina, la tierra y la patata, se puede observar que en la tabla 3, se expresan los coeficientes de fricción que se tiene que tomar en cuenta para poder reducir el grado de daño mecánico, estos datos deben de ser considerados cuando se realiza el diseño de la máquina (29).

**Tabla 3. Valores de coeficientes de fricción**

	Acero pulido	Suelo	Caucho
<b>Tubérculo</b>	0.71 – 0.80	0.98 – 1.03	
<b>Tallos</b>	0.47 – 0.74	0.67 – 0.96	0.71 – 0.93

**Coefficiente de fricción ( $\mu$ )**

*Nota:* las magnitudes de los coeficientes de fricción se determinan en micras  
Adaptada de Buitrago et al. (29)

### 2.2.2.3. Daños mecánicos producidos en la papa

Se ejecutaron los ensayos mecánicos a tres tipos de papa (Capiro, pastusa y criolla) y dicho proceso demoró una temporalidad de noventa días y

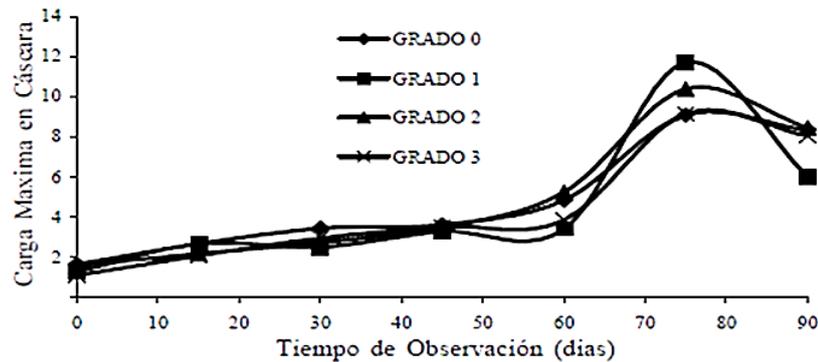
entre estos se tenía un intervalo de inspección que se desarrollaba cada quince días. Por ello, se clasificaron cuatro tamaños de papas, como se puede mostrar en la tabla 4, comparando estas con las papas criollas, las variedades Capiro y pastusa son de tres a cinco veces menos resistentes al punzonado, triturado y cortado. La carga máxima ha sido probada en 4 tamaños seleccionados de peladoras de papas Capiro y los resultados pueden ser observados en la figura 15 (29).

**Tabla 4. Categorías de las papas en relación a su diámetro y forma**

Clasificación «Norma NTC 341»		Clasificación para comercio	
Designación	Diámetro (mm)	Designación	Diámetro (mm)
Muy Grande	Mayor a 90	Grado – 0	Mayor a 90
Grande	65 a 90	Grado – 1	70 a 89
Mediano	45 a 64	Grado – 2	50 a 69
Pequeño	30 a 44	Grado – 3	35 a 49

*Nota:* La norma NTC 341 clasifica a las papas en grados de 0-4, que selecciona las papas en relación a las dimensiones de sus diámetros requeridos en la industria y el consumo.

Tomada de Buitrago et al. (29)



**Figura 15. Representación de los grados de las cargas máximas obtenidas con la prueba de corte realizadas en la superficie de las papas**  
Tomada de Buitrago et al. (29)

Con base en los ensayos mecánicos realizados a la papa Diacol capiro, se obtiene que los 4 grados con respecto a su tamaño soportan una carga en la cáscara menor al 50 % en comparación con la papa criolla.

- **Magulladuras**

El raspado o magulladuras la superficie (cáscara) de la papa es causado por la fricción mecánica que se genera entre la cuchilla de corte de la cosechadora que se está usando, algunos objetos externos tales como piedras filosas, retos de madera, la fricción entre la papa y tierra, todos estos daños a los que están expuestos las papas son generalmente en el proceso de la cosecha.

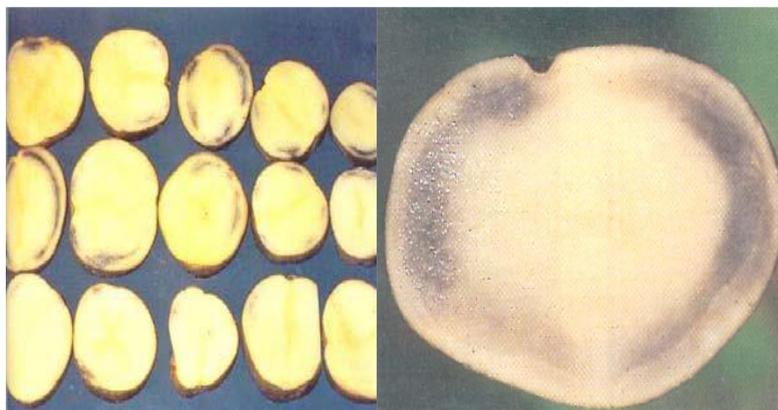
La mayoría de los daños son superficiales, pero hay un número de papas dañadas que solo se puede apreciar cuando realizas un rebanado de las papas, como se ilustra en la figura 16 donde se evidencia cuan grave fue el daño que sufrieron las papas por los cortes recibidos en el proceso de la cosecha (30).



*Figura 16. Tipos de magulladuras de las papas por una fricción mecánica.  
Tomada de Ortega (30)*

- **Ennegrecimiento interno**

El ennegrecimiento es un fenómeno que ocurre a raíz de los golpes que reciben las papas en la cara o superficie en la etapa de la cosecha mecanizada, que destruyen las células por lo que libera una enzima llamada polifenol oxidasa que tienden a reventar inmediatamente o al cabo de unos días, según la magnitud del golpe, lo que se refleja en los anillos vasculares de la patata, y después de 1 a 2 días las papas cambian de aspecto y se denota un color oscuro en muchas veces el color es negro, como se muestra en la figura 17 (30), por lo que son rechazados por las fábricas, ya que las papas no pasan el control de calidad, siendo esta una pérdida para los agricultores.



*Figura 17. Características de las papas por ennegrecimiento interno  
Tomada de Ortega (30)*

#### 2.2.2.4. Características del sembrío

La figura 18 muestra las medidas del suelo y sus características para un buen sembrío de papas, al respetar estas dimensiones la papa se va desarrollar mejor y no habrá ningún inconveniente de utilizar máquinas para el proceso de la cosecha y teniendo en cuenta que estas dimensiones a respetar son:

- a) Distancia mínima entre surcos es de 90 centímetros.
- b) Ancho del camellón luego del cultivo es de 50 centímetros.
- c) Profundidad de inserción de las raíces de la papa es de 25 cm (2).



Figura 18. Dimensiones de un surco para un buen cultivo de papas

Para el cultivo de la papa, el suelo no debe ser duro porque las raíces no están completamente desarrolladas, lo que provoca una baja producción del tubérculo. En la tabla 5 nos muestran los diferentes coeficientes de labranza que hay que tener en cuenta para los cálculos en cada tipo de suelo, en este caso se trabaja en terrenos sueltos a medios (2).

Tabla 5. Parámetros del coeficiente de cultivo del terreno

Estado del terreno	Coefficiente de Labranza (CL) $kg f / dm^2$
Terreno muy suelta	30
Terreno suelta	30 a 40
Terreno moderado	40 a 60
Llegando a terreno compactado	60 a 80
Terreno compactado	80 a 100

Nota: el coeficiente de cultivo del terreno a trabajar se localiza en  $40 kg f / dm^2$   
Tomada de Quevedo (31)

Teniendo el coeficiente de cultivo, se puede expresar la ecuación que se utilizara para calcular la fuerza actuante entre la cuchilla de corte y el estado del terreno (31).

$$F = CL \times b \times L \quad (9)$$

### **2.2.3. Cosechadoras de papa**

Para realizar la cosecha de la papa, primero se tiene que realizar el corte del follaje, la cosechadora comienza su proceso cortando el suelo a una profundidad tal que pueda estar más abajo que las papas para poder así sacar a la superficie las papas que se encuentre en lo más profundo del surco, después de este proceso las papas al estar unidas con la tierra suben hacia la cadena de transporte y en el trayecto se va separando los montículos de tierra y piedras pequeñas por los espacios que existen entre las varillas metálicas (2). Por último, las papas se dejan caer por la parte trasera de la máquina cosechadora sobre la superficie del suelo para poder ser recolectados (32).

#### **2.2.3.1. Componentes primarios**

- Bastidor: Es la denominación técnica que se le da a la estructura principal de una máquina y que sirve como el principal soporte de los demás subsistemas que tiene la máquina.
- Mecanismo de acoplamiento: Son los puntos en donde se va a acoplar el tractor agrícola con la máquina, en su mayoría estos mecanismos están incorporados en la estructura del chasis de la máquina.
- Sistema de accionamiento: Son las uniones de los elementos internos de una máquina que sirven para interrelacionar los mecanismos internos y poder generar el funcionamiento de la máquina.
- Aparato de extracción: Su principal función es sacar hacia la superficie del terreno todas las patatas ocultas en la tierra y esta tarea generalmente se da por el ángulo de ataque que cuenta la máquina.
- Transportadoras: Es el conjunto de varillas de acero unidas entre sí que se encargan de separar la papa de la tierra y transportarlo de un punto a otro. (32).

#### **2.2.3.2. Tipos de cosechadoras**

- **Simples**

Estas máquinas son de dimensiones reducidas y prácticas, pero tiene el inconveniente de tener baja rentabilidad, comúnmente se le conoce como

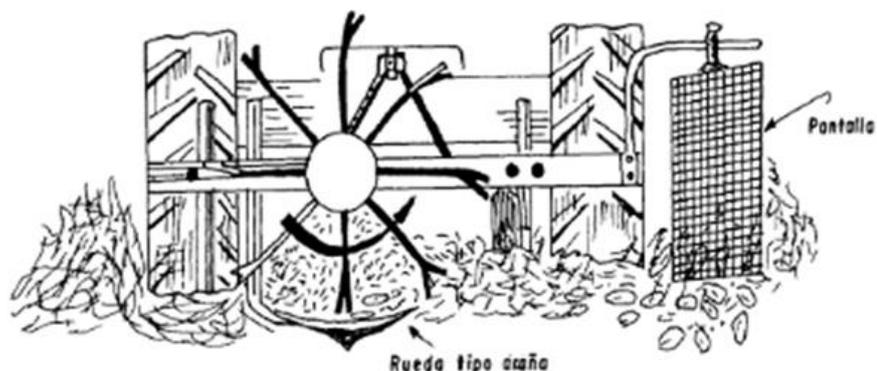
cosechadoras Cola de Pato que tienen la función de elevar las papas de la profundidad del surco a la superficie del suelo (2). Consiste en un bastidor lineal ensamblado sobre un enrejado o cuchilla y una cuenta con una cantidad determinada de varillas metálicas para la elevación de las papas (33).

- **Rotativos**

Son máquinas que tienen una estructura compleja, ensambladas en un chasis con palas excavadoras que tienen unas cuchillas en los extremos que giran en razón a un tambor que rota de forma perpendicular con el sentido de marcha, el implemento de cosecha es accionado por el tren de fuerza generada por el tractor (2). La papa y la tierra son separados mediante una criba que se encuentra montada en la parte frontal del tambor rotatorio, las papas son arrojadas gracias a la velocidad con la que gira el tambor y estas impactan con las cribas conforme se muestra en la figura 19, a raíz de esta acción la mayoría de las papas sufren golpes generándoles daños internos por lo que no se recomienda usarlo con la papa Diacol Capiro por ser esta una de las delicadas papas más delicadas (2).

«Esta máquina rotativa o llamada también tipo araña por la distribución de las palas y cuchillas, característico de su sistema de arranque de la papa. Una ventaja de estas máquinas es que pueden ser utilizadas en la mayoría de los tipos de terrenos a diferencia de otras máquinas.» (33)

«Esta máquina rotativa con forma de araña, gracias a su sistema de cosecha de patatas, es más adaptable a diferentes terrenos que otras máquinas.»

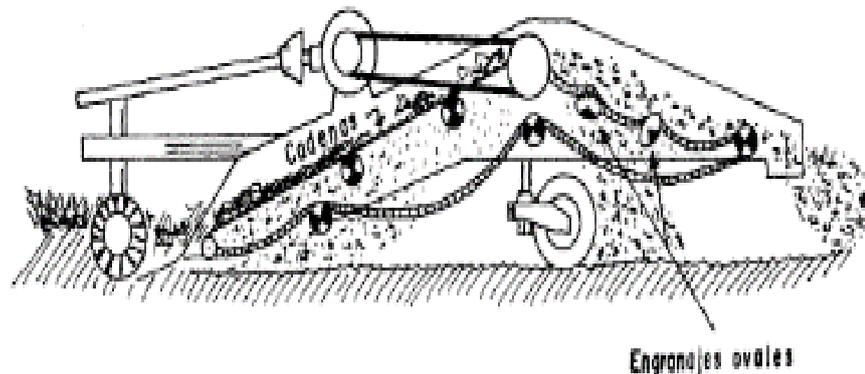


*Figura 19. Máquina cosechadora de papa rotativa del tipo araña con tambor rotatorio y la criba es la pantalla  
Tomada de Gil (33)*

- **Elevadoras**

Esta máquina es caracterizada por tener un sistema de desprendimiento del terreno por cuchilla con un ángulo de elevación determinada para introducirse la profundidad necesaria para alcanzar en su totalidad a las papas con el mismo principio de la cosechadora de papas tipo araña, después del corte del terreno, la tierra que está unida con las papas se desplazan por el mecanismo de elevación donde por la acción que tiene la cadena transportadora se produce la separación de la tierra con papa como se puede describir en la figura 20 (2).

«Uno de los factores más importantes para obtener una buena separación del producto cosechado es la velocidad a la que gira la cadena transportadora, es decir a mayor velocidad mayor es la limpieza de la papa, pero también es mayor el daño ocasionado en la papa por los golpes que estos reciben.» (33)



*Figura 20. Máquina cosechadora de papa elevadora, con una cadena metálica como medio de transporte de la papa y los engranajes ovalados generan vibraciones para la separación con la tierra  
Tomada de Gil (33)*

## **2.2.4. Cadena de transmisión de tubérculos**

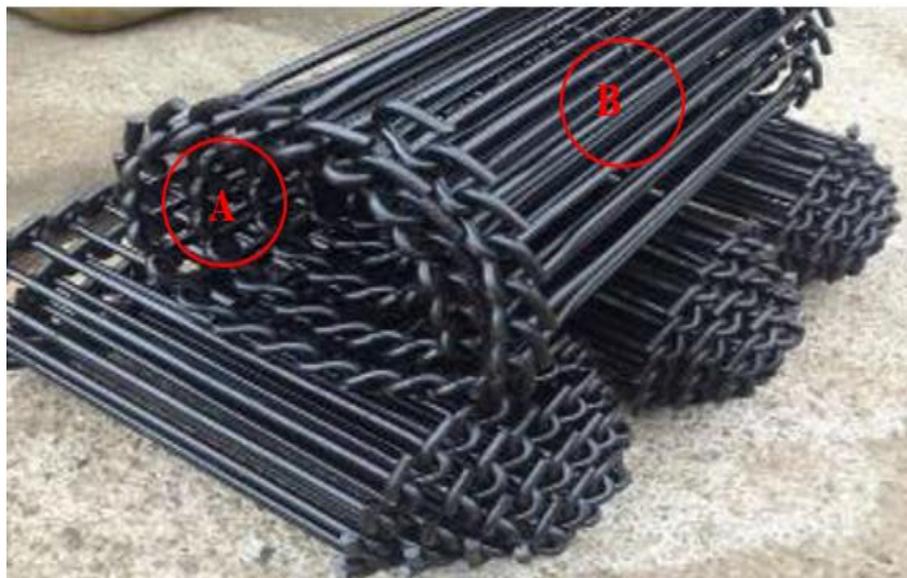
### **2.2.4.1. Cadena de varillas metálicas con unión espiral**

«Este modelo de transporte está formado por varillas de superficie lisa con un diámetro de 10 mm ensambladas una con otra por un gancho espiral que llevan en sus extremos para así poder ser articulados» tal como se ilustra en la figura 21 (2).

Una de las características de este modelo es que «tiene una distancia uniforme de varilla en varilla, donde los dientes del piñón encajan a la con

exactitud y son similares a las articulaciones de una cadena de torones y por lo que difícilmente este llega a descarrilarse» (2).

Por otro lado, una desventaja de este modelo cadena es que su vida útil es corta y tienen que ser reemplazados en su totalidad generando un costo alto en su remplazo, que se hace en un promedio de 10 a 15 hectáreas de cosecha, esto varía directamente del tipo del terreno en las que son utilizadas, ya que en terrenos abrasivos la vida útil disminuye, otra desventaja es también los puntos filudos que tienen en los extremos en la zona articulada en donde las papas sufren cortes cuando se transportan (2).



*Figura 21. Cadena transportadora de varillas de superficie lisa con unión espiral Tomada de Agrícola Castelao (34)*

*Nota: A) Punto filoso donde se origina el daño a la papa B) Unión donde articulan los eslabones de la cadena transportadora.*

#### **2.2.4.2. Cadena de varillas metálicas con unión por lona**

«Este modelo de cadena está conformada por varillas metálicas lisas de 10 mm de diámetro acopladas a una cinta uniformemente de lona unida a los extremos con pernos», mostrados en la figura 22 (2).

Una de las ventajas de este modelo de cadena transportadora es que al estar ensambladas en los extremos a una lona no se generan cortes ni daños por magulladuras hacia las papas y también el costo de mantenimiento es menor porque se puede reemplazar solo las varillas dañadas o cualquiera de las lonas de los extremos independientemente (2).

Por otro lado, «una desventaja de este modelo de cadena es la pérdida de sincronización que debe haber entre piñón y las varillas metálicas por la rigidez y la distancia fija que se tiene por lo que se debe tener una mayor precisión en la fabricación de los piñones como así también la separación de varilla entre varilla al momento del ensamblaje» (2).



*Figura 22. Modelo de cadena transportadora de varillas de superficie lisa unidas por una cinta de lona  
Tomada de Beltec (35)*

*Notas: A) Paso y/o separación de las barras de acero B) cinta de lona como material base para unir las varillas metálicas*

### **2.2.5. Leyes de movimiento de Newton**

Issac Newton planteo tres leyes que son conocidas como los cimientos de la mecánica clásica y sus definiciones son las siguientes:

- Primera ley de Newton: Comprende que, al aplicar una fuerza neta encima de un cuerpo estas fuerzas se cancelan, por lo tanto, el movimiento es cero.
- Segunda ley de Newton: Interrelaciona una fuerza aplicada a un objeto en relación a su aceleración, esto sucede si la fuerza neta tiene valor distinto a cero.
- Tercera ley de Newton: Relaciona las fuerzas ejercidas entre dos cuerpos que interactúan entre sí.

### 2.2.5.1. Masa

«Como definición de masa se tiene que es la cantidad de masa que contiene un objeto, esto indica que cuanto mayor es la masa se tendrá mayor dificultad al moverlo y, por ende, será mayor la resistencia que el objeto ofrece hacia la aceleración, donde según el sistema internacional a la masa se le mide en kilogramos ( $kg$ )» (36).

$$m = \frac{f}{a} \quad (10)$$

**Donde**

$m$  = masa ( $kg$ )

$f$  = fuerza ( $N$ )

$a$  = aceleración ( $m/s$ )

$$U = F * d \quad (11)$$

$U$  = trabajo (*joule*)

$F$  = fuerza ( $N$ )

$d$  = distancia ( $m$ )

Así mismo, la masa mantiene una relación directa entre la materia y volumen, con esto podemos afirmar que «cuando se incrementa la materia su volumen también tiende a incrementarse y esta varía según la densidad que caracteriza a esa materia» (37).

$$Densidad = \frac{masa}{Volumen} \quad (12)$$

### 2.2.5.2. Peso

Es la fuerza que se ejerce sobre un cuerpo por la gravedad a la tierra, por otro lado, el peso y la masa están relacionados entre sí. Por tal motivo es común que las personas confundan los términos de masa y peso, cuando un cuerpo tenga mayor masa mayor será su peso (36).

$$W = m * g \quad (13)$$

### 2.2.5.3. Fuerza

En la vida cotidiana las personas relacionan fuerza con un empujón o un tirón, pero el concepto correcto para la fuerza es la interacción que se da en un cuerpo con su entorno, también puede ser de dos cuerpos y su entorno. También se pueden identificar varios tipos de fuerzas como: «fuerza normal, de contacto, de largo alcance, de fricción y de tensión» (36). Todas estas están relacionadas en la forma en que interactúan los cuerpos entre sí o con el entorno que los rodean, según el sistema internacional la magnitud con la cual se mide la fuerza es el (*N*) Newton (36).

$$F = m * a \quad ( 14 )$$

### 2.2.5.4. Ecuaciones de movimiento

«Si en una partícula actúan diversas fuerzas, la fuerza resultante estará determinada por la suma de los vectores actuantes en la partícula», a partir de eso Newton expresó la ecuación de movimiento como (38)

$$\sum F = m * a \quad ( 15 )$$

### 2.2.5.5. Posición según la aceleración

«Mientras se conozca la velocidad a la cual se desplaza una partícula y se pueda medir la distancia de su trayectoria, podemos determinar que aceleración tiene esa partícula en todo momento» (2). La relación entre la velocidad «*v*» a lo largo de la trayectoria, la aceleración «*a<sub>c</sub>*» y el desplazamiento «*s*» también se puede expresar mediante la siguiente ecuación (38):

$$s = s_0 + v_0 * t + \frac{1}{2} a_c * t^2 \quad ( 16 )$$

### 2.2.5.6. Potencia

En el mundo cotidiano confunden la potencia con fuerza o energía, para la física la potencia llega a ser la rapidez con la que se realiza un trabajo, según el sistema internacional la unidad con la que se mide la potencia es el Watt (*w*). Pero en el diseño de máquinas se trabaja con *hours power (HP)* como unidad de medida de potencia, por lo que  $1 HP = 746 w$  (36).

$$P = \frac{W}{t} \quad (17)$$

## 2.2.6. Teoría de esfuerzo

### 2.2.6.1. Von Misses

Para calcular el diámetro de ejes se requiere una combinación de esfuerzos medios y alternos de von Misses, donde el esfuerzo puede considerarse alternante o promediada con la tensión axial y de flexión. (2). En presencia de cargas axiales, también se producen flexiones y torsiones, que son mucho mayores en las zonas críticas (39).

Para hallar el cálculo del diámetro de ejes se trabaja con la fórmula:

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi S_y} \left[ 4(K_f * M)^2 + 3(K_{fs} * T)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (18)$$

$$KF = 1 + q(Kq - 1) \quad (19)$$

$$KFs = 1 + qc(KTs - 1) \quad (20)$$

### 2.2.6.2. Asme elíptica

Si se observa que se interceptan las líneas de fluencia se puede notar que, según el punto de vista de ASME elíptico, el rango completo no es conservador en su totalidad (39).

Para hallar a una mayor precisión el diámetro del eje, la ecuación a trabajar es la siguiente:

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f * M}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} * T}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (21)$$

La determinación de las entradas que afectan las resistencias máximas a la fatiga fue evaluada con mucha precaución en un análisis de laboratorio, con un entorno con limitaciones estrictamente reguladas (2). En la prueba se utilizó la regla de correcciones sustractivas, conocida con el nombre de

multiplicativas, el acero utilizado para realizar los ensayos fue un 4340, el resultado obtenido en la forma aditiva fue un cociente de 0.40 y el cociente obtenido de forma multiplicativa fue de 0.85 (2). Por lo consiguiente, la ecuación de Marín es representada de la siguiente manera (39):

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e \quad ( 22 )$$

### 2.2.6.3. Coeficiente de diseño y seguridad

En el estudio de la ingeniería existe la inquietud durante el diseño, porque hay una serie de factores empíricos que alejan de la precisión en un cálculo de diseño, dentro de ellos están la validez de las ecuaciones a utilizar los materiales, y el cambio de la carga analizada (2).

Por lo tanto, se utilizan diferentes métodos con el fin de minimizar estas incertidumbres, uno de ellos es el método estocástico y el método determinístico. En esta ocasión, se utilizara un coeficiente de diseño, que pertenece a la familia de métodos determinísticos, este coeficiente expresa el máximo valor permisible que se debe considerar en el diseño de ingeniería (2). Por lo que se denota como «n» al factor de diseño o coeficiente de seguridad (39).

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{\text{resistencia a la fluencia}}{\text{esfuerzo admisible}} \quad ( 23 )$$

Al momento de realizar el cálculo de elección de eje o flecha, el tipo de carga que va a soportar el eje influye directamente con el factor de seguridad a tomar en cuenta, los datos representados en la tabla 6 son los valores más recomendados según la norma ANSI-ASME (2).

**Tabla 6. Coeficiente de seguridad para el cálculo de ejes**

<b>Tipos de carga</b>	<b>Valor de factor de seguridad</b>
Cargas estables	2.0
Cargas con impacto moderado	3.0
Cargas con impacto fuerte	4.0

*Nota:* el valor del coeficiente de seguridad está establecido conforme a la norma ANSI – ASME. Tomada de Díaz (40)

## 2.2.7. Principios básicos de oleohidráulica

### 2.2.7.1. Principio de Pascal

El físico-matemático Blaise de Pascal en su teoría de estudio establece que los líquidos son incompresibles distintos que los gases, ya que cuando a un líquido se le aplica presión, esta se transmite de manera uniforme en todas direcciones, ejerciendo una fuerza determinada en un área determinada e igual (41). La unidad a la que se mide la presión según el sistema internacional es el Pascal ( $Pa$ ), pero actualmente se utiliza el Bar como unidad de medida de la presión (41).

$$P = \frac{F}{A} \quad (24)$$

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad (25)$$

#### Donde

$P$  = presión ( $Bar$ )

$F$  = fuerza ( $kg f$ )

$A$  = área ( $cm^2$ )

$D$  = diámetro ( $cm$ )

### 2.2.7.2. Componentes de un sistema hidráulico

Un sistema hidráulico este compuesto por cuatro grupos básicamente y estos pueden ser:

- **Bombas**

Son elementos que transforman la energía que reciben, esta puede ser mecánica o eléctrica en energía hidráulica (41).

- **Elementos de regulación y control**

Tienen la función de controlar, mantener los parámetros regulados y controlar el sistema hidráulico (presión, caudal, temperatura y dirección) que estos cumplan su función con las que fueron reguladas (41).

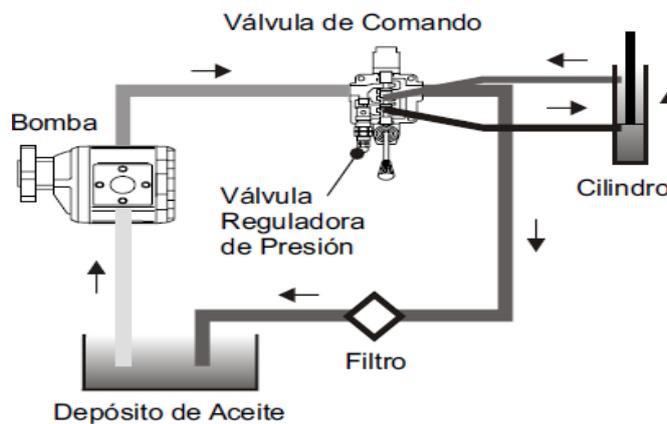
- **Accionadores**

Encargados de realizar la transformación de energía hidráulica en energía mecánica (cilindros hidráulicos, motores) (41).

- **Acondicionadores y accesorios**

En este grupo tenemos a los filtros, manómetros, sensores, enfriadores, acumuladores y el tanque hidráulico (41).

Todos estos elementos cumplen una tarea importante para el buen funcionamiento de los sistemas hidráulicos, como se puede observar en la figura 23 con base en estos se agregan más componentes opcionales (41).



*Figura 23. Sistema hidráulico básico  
Tomada de Lizana (41)*

### **2.2.7.3. Componentes de un sistema hidráulico**

Al momento de diseñar un circuito hidráulico los factores primordiales a tomar en cuenta son los siguientes: presión de trabajo, capacidad del caudal o potencia, el rendimiento hidráulico, el control que va a tener el sistema hidráulico (válvulas direccionales), la velocidad a la que va a trabajar, el peso que va a cargar o transportar, el mantenimiento que se le va a hacer y los repuestos comerciales que sean de fácil adquisición.

Una vez determinado el problema y luego de analizar la aplicación a la que va a estar expuesto los componentes hidráulicos que se van a utilizar para realizar el diseño del circuito hidráulico, tienen que ser evaluados con la lista presentada anteriormente teniendo en cuenta el lugar donde se va a desarrollar dicho proyecto, la solvencia económica de los que van a adquirir la máquina o el diseño hidráulico para la mejora de sus procesos (42).

## 2.2.8. Motores hidráulicos

### 2.2.8.1. Definición

Los motores hidráulicos son componentes que tienen la función de convertir el flujo hidráulico en energía mecánica rotativa. Cumple la función inversa a la de una bomba hidráulica, los motores reciben el caudal generado por la bomba y este caudal es el que les genera el movimiento rotativo a los motores hidráulicos.

Una característica de los motores hidráulicos es que estos deben tener conectada la línea de drenaje directamente al tanque hidráulico para una libre descarga de este. Ya que si se lograra conecta a un *manifold* de retorno o a las líneas del filtro de retorno, esto le genera una contrapresión en la línea de drenaje y puede dañar los componentes internos del motor (41).

$$Ph = \frac{P * Q}{600} \quad (26)$$

$$T = \frac{DV * \Delta P}{2 * \pi} \quad (27)$$

$$V = \frac{Q}{6 * A} \quad (28)$$

#### Donde

$Ph$  = potencia hidráulica ( $kw$ )

$P$  = presión ( $bar$ )

$Q$  = caudal ( $L/min$ )

$T$  = torque ( $Nm$ )

$Dv$  = desplazamiento volumétrico ( $cm^3$ )

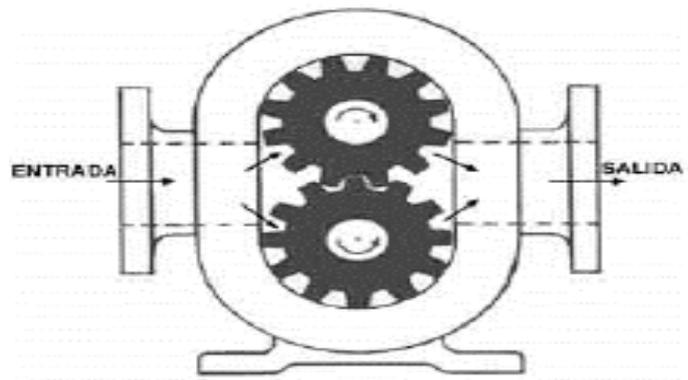
$\Delta P$  = caída o diferencia de presión ( $bar$ )

$V$  = velocidad ( $m/s$ )

$A$  = área anular ( $cc$ )

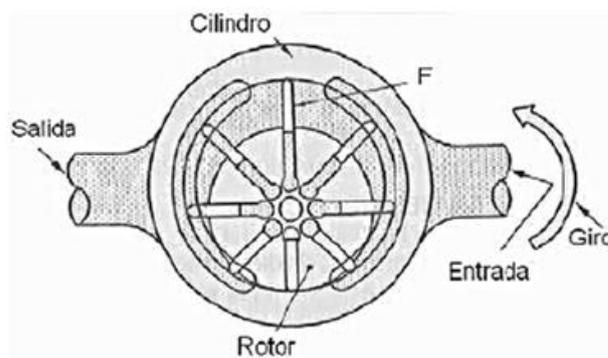
### 2.2.8.2. Tipos

**Motores de engranajes:** tiene la capacidad de equilibrarse hidráulicamente para igualar los esfuerzos internos y se puede encontrar motores de engranajes internos y engranajes externos, este tipo de motores es considerado el más rudo y simple (43).



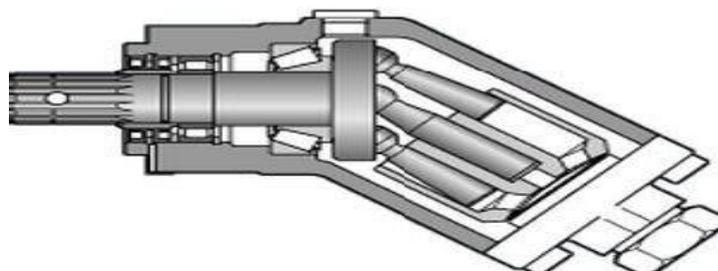
*Figura 24. Motor de engranaje  
Tomada de Morales et al. (43)*

**Motores de paletas:** tiene el mismo principio de las bombas de paletas, con la diferencia que el movimiento radial es forzado, que genera un desequilibrio en el rotor a consecuencia de las cargas interiores, ya que la presión que recibe el motor solo actúa en la parte del rotor (43).



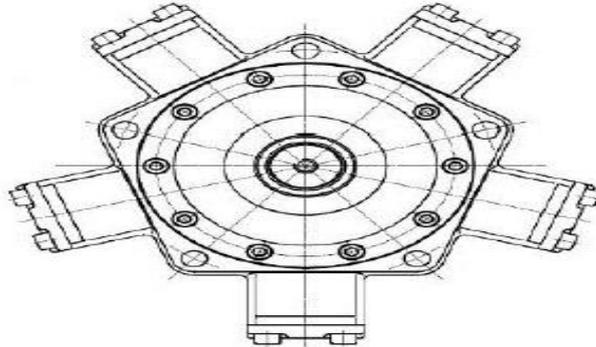
*Figura 25. Motor de paletas  
Tomada de Morales et al. (43)*

**Motores de pistones axiales:** caracterizados por ser los mejores en alcanzar los mayores pares de giro por lo que trabajan a presiones elevadas con un buen rendimiento (43).



*Figura 26. Motor de pistones axiales  
Tomada de Morales et al. (43)*

**Motores de pistones radiales:** caracterizados por ser motores lentos, pero con una salida de par elevado teniéndolos de dos formas: excéntrica y configuración estrella (43).



*Figura 27. Motor de pistones radiales  
Tomada de Morales et al. (43)*

### 2.2.8.3. Selección de motores hidráulicos

Los motores hidráulicos se encuentran en el campo de los actuadores hidráulicos, son quienes reciben la energía oleohidráulica y la transforman en energía mecánica rotatoria (43).

Al realizar una buena selección del motor hidráulico se debe tener en cuenta:

- **La cilindrada y presión**

Este viene ser la cantidad de aceite que necesita un motor para poder dar una vuelta completa, la cilindrada va relacionada con la cantidad de caudal que emana la bomba hidráulica, así como también la presión. Cuanto mayor sea la cilindrada del motor, mayor tiene que ser el caudal de la bomba para garantizar un buen rendimiento.

- **La velocidad**

Se debe tener en cuenta el tipo de trabajo que realizará el motor hidráulico ya que se clasifican en 3: lenta, mediana y alta velocidad.

- **El rendimiento**

En este caso, se pueden dividir en 3 casos: volumétrico, hidráulico y rendimiento total.

- **La potencia**

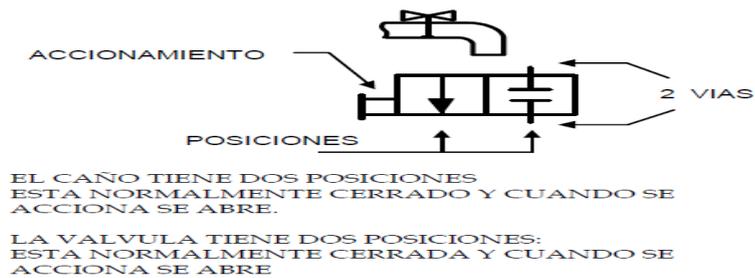
Está relacionada con la cantidad de vueltas a la que gira el motor el eje del hidráulico y el par de salida del motor.

Como se darán cuenta todos los criterios de selección de un motor hidráulico está relacionado con la bomba hidráulica y el tipo de trabajo que se quiere obtener (43).

## 2.2.9. Válvulas hidráulicas

### 2.2.9.1. Definición

Son los componentes hidráulicos que se encargan de abrir o cerrar el flujo para controlarlos, dividirlos y modificarlos para el accionamiento de los elementos de trabajo (cilindros y motores hidráulicos) y su simbolización está definida por la ISO 1219 (44).



*Figura 28. Representación simbólica ISO1219  
Tomada de Tecsup Virtual (44)*

### 2.2.9.2. Clasificación

- **De acuerdo con su construcción**

Existen 2 tipos, las válvulas de cierre son las que «no permiten fugas del fluido (estancas), pero su accionamiento es dificultoso, ya que necesitan un mayor esfuerzo» y estas válvulas correderas «tienen un *spool* o correderas, que se desliza en el cuerpo interior de la válvula y es lubricada por el mismo aceite hidráulico, por lo que para su accionamiento no se necesita mucho esfuerzo», tienen una pequeña fuga de aceite interna que le permite la lubricación del mismo (44).

- **De acuerdo con el número de vías y posición:**

teniendo en cuenta que la representación de las válvulas es única en las que se muestran las posiciones y la dirección del fluido de las vías representadas por la flecha (44).

- **De acuerdo con el posicionamiento de su corredera**

Se tienen 2 tipos de válvulas de dirección de flujo, los de desplazamiento continuo y desplazamiento digital, la primera tiene infinitas posiciones intermedias y cuentan diferentes características de estrangulamiento y la segunda cuenta con cantidades limitadas de sus posiciones (44).

### **2.2.9.3. Selección de válvulas hidráulicas**

Para seleccionar el tipo de válvula a utilizar en un diseño hidráulico se tiene que considerar 6 puntos:

- Determinar las condiciones de servicio: propiedades del fluido, la clase de presión ANSI que soportará el cuerpo de la válvula, ruido permitido
- Cálculo de requisitos preliminares: determine los niveles de cavitación, el número de Reynolds del sistema.
- Selección de los diámetros internos: esta selección se hace con base en los números de Reynolds y los niveles de cavitación ya calculados.
- Selección del cuerpo de válvula y cuerpo interno: tener en cuenta la cantidad de caudal que va a fluir por la válvula para elegir el tamaño del cuerpo, la distancia que recorre el *spool* de la válvula, grupo interno y opciones de cierre.
- Selección de los materiales de los internos: se debe tener en cuenta la aplicación pertinente, verificar que los materiales de los internos estén disponibles.
- Consideración de opciones: considere el tipo de cierre, empaquetadura, tipo de material de cierre.

Todas las características para poder seleccionar las válvulas están regidas por la norma ANSI/ISA-75.08.01 (45).

## 2.2.10. Cuñas

### 2.2.10.1. Definición

«Son elementos mecánicos que limitan el movimiento radial entre dos cuerpos (eje y cubo), sus dimensiones están determinadas según las normas DIN». Por otro lado, si el ambiente no es destructivo se puede utilizar el acero (46).

Al diseñar y fabricar una cuña, se debe tener en cuenta a que la carga de torsión estará expuesta, además, sus dimensiones tales como: altura, grosor y profundidad serán calculados con referencia al diámetro del eje (39).

### 2.2.10.2. Esfuerzos por cizallamiento

Este fenómeno se presenta cuando hay un mayor torque con relación al valor crítico el cual se determina gracias al coeficiente de seguridad que se obtiene entre la resistencia a la fluencia del material a utilizar y el esfuerzo cortante calculado (1). El torque y la fuerza del eje son constantes (46).

Para hallar las dimensiones de la longitud de la chaveta se parte del esfuerzo cortante (1):

$$L \geq \frac{f_s(2T)}{d \cdot w(0,577)S_y} \quad (29)$$

### 2.2.10.3. Esfuerzo por aplastamiento

Cabe mencionar que los esfuerzos de compresión se consideran estáticos porque no causan daños por fatiga. Independientemente de que si la fuerza a la que está sometido la chaveta es uniforme o tiende a variar, solo se debe usar el mayor valor de la fuerza a la que está sometido la chaveta para calcular el esfuerzo de presión por contacto (46).

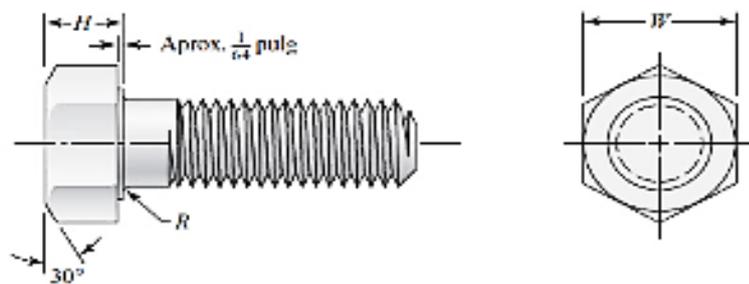
Usamos la fórmula para calcular de la longitud de la chaveta a partir del esfuerzo por contacto:

$$L \geq \frac{(4T) \cdot f_s}{d \cdot h \cdot S_y} \quad (30)$$

## 2.2.11. Pernos

### 2.2.11.1. Definición

«Los pernos son utilizados para para asegurar, conectar dos o más partes y transferir potencia debido a que el tipo de sujeción que nos proporciona es no permanente. Los pernos de cabeza hexagonales estándar que son más usados en la industria y se puede observar en la figura 29, los esfuerzos actuantes en los pernos se concentran en el extremos de sus hilos, el diámetro de las caras del disco tienen las mismas dimensiones con el ancho entre sus caras del hexágono.» (39)



*Figura 29. Características de un perno de cabeza hexagonal  
Tomada de Budynas et al. (39)*

### 2.2.11.2. Selección por cargas actuantes

«Dado que los pernos son componentes externos cuya función es de ensamblar dos o más componentes, pues estos están sujetos a cargas de corte, fuerza de tracción, movimientos cíclicos y fricción y, por lo tanto, los pernos se fatigan con el paso del tiempo», por lo que necesariamente se debe realizar los cálculos con las fórmulas expresadas y así poder evitamos cometer errores en su elección (39).

$$\sigma' = \frac{P}{A_b} \quad (31)$$

$$F_i = 0.9 * A_t * S_p \quad (32)$$

$$\tau = \frac{F_c}{A_s} \quad (33)$$

$$\tau = \frac{0.577 * S_y}{F_s} \quad (34)$$

$$F = Ft * Fs \quad (35)$$

## 2.2.12. Soldaduras

### 2.2.12.1. Definición

La terminología *soldadura* se refiere a cuatro situaciones muy distintas tales como; los materiales de aporte, el proceso de unión de metales por soldadura, la junta o unión de la soldadura y el depósito de soldadura.

Estas situaciones y todos los procesos de soldaduras se rigen con base en la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) (47).

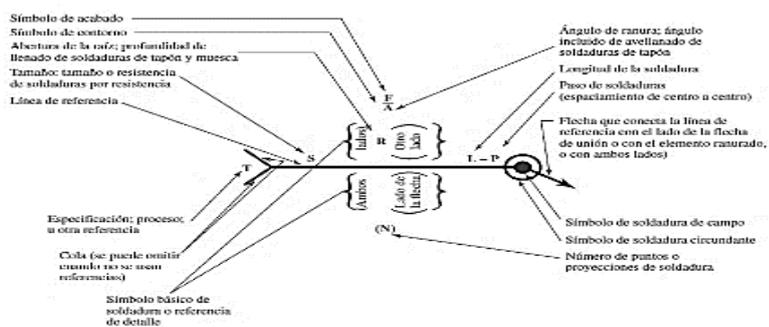
### 2.2.12.2. Arco eléctrico

Se induce una corriente eléctrica, llamada arco, por medio de una columna de gas ionizado, llamada plasma, a temperaturas entre 5000 y 30 000 °C, según la porción de corriente que fluye y las características de la línea de gas (48). Al generarse el arco eléctrico en el proceso de la soldadura con electrodo recubierto manualmente, la temperatura a la que alcanza el núcleo de la soldadura es de aprox. 6000 °C (48).

### 2.2.12.3. Simbología

Para expresar la idea del diseñador y se refleje en el diseño, la idea expresada debe comunicarse claramente al soldador para que produzca según lo previsto, por lo que se utiliza el simbolismo y así garantizar una comunicación efectiva entre el diseñador y el fabricante(48).

La figura 30 expresa el punto donde se debe aplicar el tipo de soldadura y las características según la simbología que se le designa, la figura 31 detalla los distintos tipos de soldadura según su respectiva simbología.



**Figura 30. Estructura base de un símbolo de soldadura**  
Tomada de Budynas et al. (39)

Cordón	Filete	Tapón o muesca	Ranura				
			Cuadrada	V	Bisel	U	J

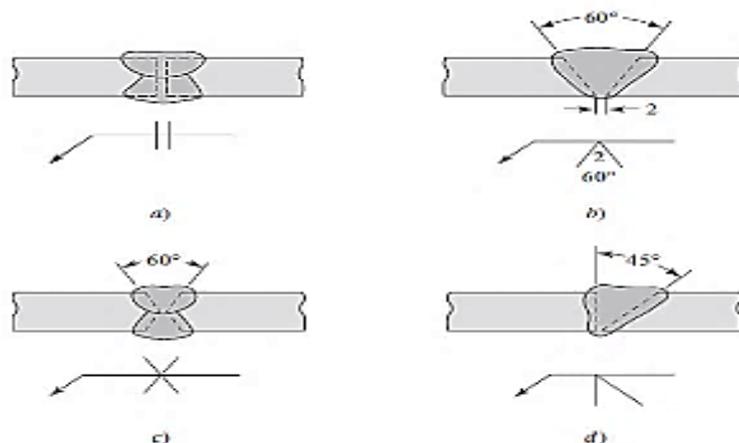
**Figura 31. Simbología de soldadura**  
Tomada de Budynas et al. (39)

El uso de estos símbolos generalmente se refleja en los dibujos detallados, estos símbolos no se pueden cambiar porque se basan en el estándar internacional «AWS», y estos símbolos deben seguirse tal y como el diseñador lo expreso en el momento de la producción para garantizar la confiabilidad del equipo.

#### 2.2.12.4. Chaflan o bisel

El chaflan o bisel se utiliza como depósitos para el material de aporte que en este caso es el electrodo y sirve para tener una mejor unión entre las piezas por soldar, los tipos de chaflan «J» y «U» se utilizan cuando el espesor del material a soldar es considerable (48).

Existen cuatro tipos de chaflan básicos que suelen ser los más utilizados en la industria metalmeccánica como así se puede visualizar en la figura 32, estos chaflan son seleccionados de acuerdo al trabajo y esfuerzo a la que va estar sometidos el cordón de soldadura y ellos son: a) Soldadura a tope en ambos lados de las piezas a unir, b) V simple con abertura de raíz con un bisel a 60°, c) Doble V sin abertura de raíz, d) Bisel básico con inclinación de 45° (1).

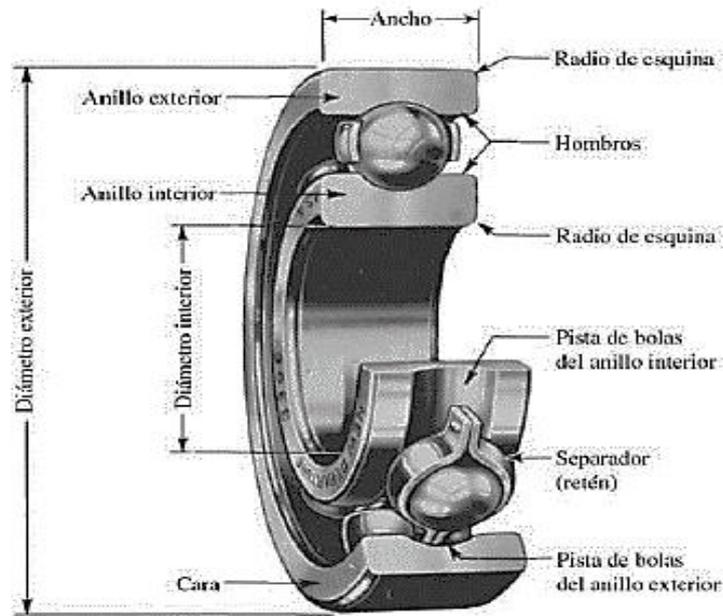


**Figura 32 Representación gráfica de tipos de chaflan**  
Tomada de Budynas et al. (39)

## 2.2.13. Rodamientos

### 2.2.13.1. Características

Los rodamientos se fabrican para soportar fuerzas radiales, fuerzas de empuje puras y fuerzas de compresión cada una de manera independiente, el rodamiento rígido de bolas cuenta con cuatro componentes principales y la designación de cada una de ellas pueden ser observados en la figura 33 (39).



*Figura 33. Partes fundamentales de un rodamiento rígido de bola  
Tomada de Budynas et al. (39)*

### 2.2.13.2. Selección de rodamientos

El tipo de lubricación que se va aplicar a los cojinetes reduce la fricción y evita la corrosión de los componentes internos, lo cual favorece para un mejor rendimiento de los cojinetes (1). Se tienen que analizar diversos factores que se debe tomar en cuenta para la correcta selección de un rodamiento y los principales son:

- Angulo de Desalineación del eje
- RPM de trabajo
- Procedimiento de montaje
- Exposición a elementos contaminantes
- Sellos de lubricación
- Distribución del espacio donde se va instalar el rodamiento
- Diseño de otros componentes (poleas, engranajes, etc)
- Exposición a vibraciones

- Magnitud y dirección de las cargas
- Precisiones de montaje
- Exposición a temperaturas
- Lubricación
- Ajustes y tolerancias
- Método de adherencia

«La normativa ISO 5593 establece estos 14 factores para realizar una selección adecuada de un cojinete» (49).

La carga dinámica es una de las características de los rodamientos y que es usada por la mayoría de los catálogos de rodamientos y su cálculo se realiza con la siguiente ecuación (1):

$$C_{10} = F_d * f_s \left( \frac{XD}{X^\circ + (\theta - X^\circ)(1 - RD)^{\frac{1}{b}}} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (36)$$

$$XD = \left( \frac{\mathcal{L}_D * n_D * 60}{10^6} \right) \quad (37)$$

#### 2.2.14. Chumaceras

«La chumacera es un elemento mecánico donde descansa y gira un eje y lo podemos encontrar de varios tipos, las más comunes son: chumacera de piso y chumacera de pared, la carcasa de las chumaceras está fabricada de hierro fundido donde en su interior se aloja un cojinete de bolas y es ahí donde se produce el giro del eje» (1). estas chumaceras tienen un mecanismo de autoalineamiento que trabaja como una rotula y esta se da al contacto de la superficie interna de la carcasa con la superficie externa del cojinete de esteras. Al momento de realizar el montaje se debe considerar el tipo de chumacera que se está instalando, el ajuste adecuado que se le da al eje y validar si esta chumacera es adecuada para el trabajo que va a realizar, de lo contrario se estaría acortando la vida útil (50).

##### 2.2.14.1. Capacidad de carga dinámica

Para que un grupo de cojinetes tengan una vida útil mayor se debe hacer un buen alineamiento de las chumaceras a pesar que estos sean autoalineantes, para que así la carga sea uniforme entre todos los puntos de apoyo, obviamente, con las mismas condiciones, para poder calcular el

esfuerzo que soporte el material se trabaja con la ecuación número 38, esta fue sustentada estadísticamente al 90 % de la capacidad del rodamiento que significa el número de revoluciones a la que está expuesto, el tiempo de vida útil y la confiabilidad se expresa en horas trabajadas y este debe de estar encima del 90 % (1). Las cargas dinámicas son el resultado de cargas permanentes sobre el rodamiento, la relación que hay entre la vida nominal y la carga dinámica se basan en la siguiente formula (50):

$$L_{10} = \left(\frac{Cr}{Pr}\right)^3 \quad (38)$$

#### 2.2.14.2. Carga radial dinámica

La carga dinámica en la carcasa del cojinete de la chumacera se considera cuando hay una carga uniforme y una carga radial, no se debe olvidar que dicho cojinete está sujeto a cargas compuestas, por la carga axial debe convertirse en una carga radial este cambio de cargas afectarán directamente al tiempo de vida útil que tiene el cojinete, al convertir las cargas radiales y axiales se le denomina carga radial equivalente y se relaciona con el cálculo de la vida útil del cojinete de bolas en uso de las chumaceras (1). Y se utiliza la siguiente ecuación:

$$Pr = X * Fr + Y * Fa \quad (39)$$

#### 2.2.14.3. Cargas actuantes en un rodamiento

Para hallar los esfuerzos actuantes en el cojinete de la chumacera no basta con realizar los cálculos, si no también identificar otros esfuerzos que ejercen sobre él, por ejemplo: la carga de trabajo, la carga total de potencia de trabajo que soporta las chumaceras y el peso de los componentes de rotación, estas cargas pueden ser combinadas o unitarias (1). Los cojinetes de chumacera también están sujetas a vibración y choque de distintos grados, por tal motivo, cuando se realiza el cálculo del tiempo de vida útil este debe ser multiplicado por el factor de carga «fw» como indica la tabla 7 teniendo como referencia los antecedentes de trabajos anteriores (50).

$$Fact. = fw * F \quad (40)$$

**Tabla 7. Rango de factores de carga para la selección de chumaceras**

Condiciones de carga	Aplicaciones	<i>f<sub>w</sub></i>
Impactos pequeños o sin impactos	Máquinas eléctricas, máquinas herramientas, etc.	1 a 1.2
Impactos moderados	Vehículos, máquinas agrícolas, mecanismos de conducción, equipos hidráulicos, máquinas metalmecánicas, maquinaria de maderera, equipo de transmisión de potencia, etc.	1.2 a 1.5
Impactos violentos	Maquinaria agrícola, molinas de bola y de tubo, cribas vibradoras, etc.	1.5 a 3

*Nota:* *f<sub>w</sub>* = Factor de carga a las que está expuesta los rodamientos según su aplicación  
Adaptada de NTN Corporation (50)

#### 2.2.14.4. Fuerza real

Llamada también fuerza de carga actual, es el resultado de las cargas actuantes a las que está sometida el cojinete «Fact» y el factor de arrastre «Fz», el factor de arrastre depende de la forma que se realiza el accionamiento del eje donde está montada la chumacera, el accionamiento puede realizarse por medio engranajes, cadenas, fajas en V, fajas planas, fajas trapezoidales y fajas dentadas (1).

En el momento que se transmite la potencia hacia la chumacera esto lo realiza por medio de cadena y también por el factor de arrastre que tiene un rango de 1,2 a 1,5 (50).

$$Fr = Fact * Fz \quad (41)$$

#### 2.2.14.5. Carga real estática

Para determinar la carga sobre un cojinete de chumacera, que opera en una máquina estacionaria que tiene una velocidad menor a 10 rpm o con un ligero movimiento oscilante, para este caso se debe considerar la carga radial dinámica y estática que corresponden al cojinete (1). Para este caso usaremos la ecuación( 42], no dejando de lado las otras constantes para realizar el cálculo de cojinetes de bolas (50).

$$S_o = \frac{C_{or}}{P_{or}} \quad (42)$$

#### 2.2.14.6. Transmisión de potencia

Se llama transmisión de potencia a un componente que entrega energía a otro con una relación estándar interactúan entre sí. La potencia emitida va a depender directamente al torque y la velocidad angular (39).

La potencia puede ser calculada con la ayuda de las siguientes formulas:

$$Pot = T * \omega \quad ( 43 )$$

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} \quad ( 44 )$$

$$T = F * d \quad ( 45 )$$

#### 2.2.14.7. Relación de transmisión

Es la interacción entre un engranaje que se encarga de impulsar a uno que es conducido, para hallar esta relación se utiliza la fórmula [46] y sirve para todo tipo de engranaje (engranajes rectos, tornillos sin fin, cónicos y helicoidales) (39).

$$n_1 = \frac{N_2 * n_2}{N_1} \quad ( 46 )$$

**Donde:**

$n$  = numero de revoluciones (RPM)

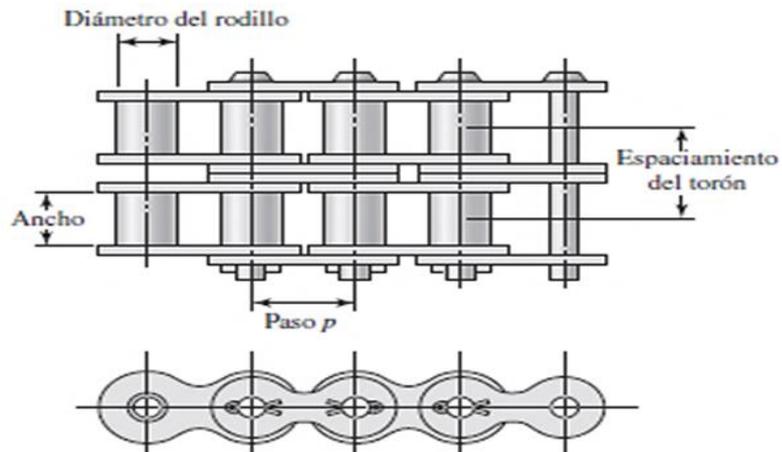
$N$  = numero de dientes del engranaje

#### 2.2.15. Cadenas de rodillos

##### 2.2.15.1. Normativa

La transmisión de potencia generado por cadena tiene la peculiaridad de ser constante (39). Según la norma ANSI las cadena de rodillos se clasifican en relaciona su tamaño como se muestra en la figura 34 y están fabricadas de 1, 2, 3 y 4 torones y su selección depende del tamaño de la fuerza que se va a necesitar para accionar una máquina (39).

La norma  $\langle \text{ANSI|B29.1|1995} \rangle$  menciona que las cadenas toman distintas medias en relación al paso que hay entre los rodillos (39).



**Figura 34. Características de una cadena de rodillos de dos torones**  
Tomada de Budynas et al. (39)

### 2.2.15.2. Selección

El factor de seguridad así como también las dimensiones de la máquina son factores para tomar en cuenta para la selección de cadena (39). No olvidando las variables que se toma en cuenta por el diseñador, para hallar los cálculos de selección de cadena de un solo torón se toma en cuenta las fórmulas [(47) y (48)] y la fórmula (49) tomando como dato los factores de corrección ( $K_r$ ) mostradas en la tabla 8 se obtendrán los resultados para la selección la cadena (39).

$$H_d = H_{nom} * K_s * n_d \quad (47)$$

$$H_1 = 0.004 * N^{1.08} * n^{0.9} * p^{(3-0.07*p)} \quad (48)$$

$$H_2 = \frac{1000 * K_r * N^{1.5} * p^{0.8}}{n^{1.5}} \quad (49)$$

**Tabla 8. Factor de corrección para cadena de rodillos**

Numero de cadena	Kr
25 a 35	29
41	3.14
40 a 240	17

*Nota:* El factor de corrección  $K_r$  depende del número de cadena que se utilizara Tomada de Budynas et al. (39)

### 2.2.16. Ajustes y tolerancias

Para fabricar una pieza mecánica y realizar un correcto ensamblaje se le tiene que dar medidas mínimas y máximas denominadas ajustes de dimensiones, cuyo rango debe ser determinado por el diseñador respetando la norma **ISO 286** y aplicando también la experiencia que tiene el diseñador (51)

«Se le denomina tolerancia a las imprecisiones encontradas en la fabricación de piezas mecánicas que hacen que la medida de la pieza varíe dentro del rango definido por la norma ISO 286, que incluye el límite máximo y mínimo permisible con respecto a la línea cero.» (51)

«La calidad del ajuste está con base en un rango dependiendo el tipo de trabajo que desarrollará el componente a fabricar, estas dimensiones pueden ser aplicadas a ejes y cubos». (1) Como se puede observar en la Tabla 9 el valor de ajuste que se debe utilizar dependiendo del diámetro y la calidad (1).

«Para el ajuste en la fabricación de cubos el valor de calidad de 1 a 5 y estos son aplicados en los componentes de instrumentos de precisión, el valor de calidad en el rango de 6 a 11 son parámetros para la fabricación de máquinas y cuando la fabricación de un componente será por un proceso de laminado, forjado, extrusión los valores de calidad deben estar en el rango de 12 a 16 » (52).

**Tabla 9. Muestra los rangos de las medias de ajustes para ejes y cubos**

Grupo de dimensiones (mm)		Calidad																	
Mayor de	Hasta	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3	6	0.4	0.5	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6	10	0.4	0.5	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	570	900
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	710	1200	1900
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

*Nota:* El grupo de dimensiones son las medidas del diámetro de eje o cubos  
Tomada de Venegas (52)

«Todavía no existe un proceso en la ingeniería mecánica que permita fabricar exactamente las mismas piezas», pero las piezas de las máquinas se fabrican en un área específica según los estándares internacionales. Por ejemplo, «podemos comprar una llanta para un automóvil de tamaño 14 fabricado en China y luego montarle un neumático de tamaño 14 fabricado en Alemania». Estos componentes deben «ensamblarse fácilmente, debido a que deben operar a temperaturas de hasta 20 °C, como se especifica en la norma ISO 286 para montaje y tolerancias durante la fabricación».

#### **2.2.16.1. Acabado superficial**

«Al procesar piezas mecánicas, el acabado de la superficie debe adaptarse al trabajo para aumentar la vida útil de la pieza y mejorar su rendimiento» (1)

Los objetivos que tiene el acabado superficial son:

- «Crear una capa que pueda proteger a los componentes del óxido, absorción y corrosión.» (53)
- «Mejorar el aspecto físico de los componentes que van a estar a la vista de los clientes para una mejor aceptación.» (53)
- «Técnicamente la función del acabado superficial es minimizar el rozamiento, desgastes por fricción, mejorar el intercambio de componentes cuando estos hayan cumplido su vida útil y mejorar la soldabilidad entre los componentes.» (53)

En la tabla 10 se denotan los 3 símbolos principales para determinar el tipo de acabado superficial que debe tener las piezas a fabricar y nos indica que: el símbolo A debe estar acompañado de una nota determinada por el diseñador, el símbolo B es de cumplimiento obligatorio y te da la opción de poder sacar o no viruta al momento del acabado y el símbolo C indica que está prohibido desprender viruta, la tabla 11 expresa los valores de rugosidad aplicables en las piezas a mecanizar, estos valores son las sobre medidas que se le puede aplicar a la pieza mecanizada (1).

**Tabla 10. Tipos de simbología de acabado superficial**

A	B	C
		

*Nota: la combinación de símbolos y notas deben ser asignadas por el diseñador*

**Tabla 11. Clasificación de medidas de rugosidad**

⟨Ra μm⟩	⟨Designación N⟩
⟨0.025⟩	N <sub>1</sub>
⟨0.05⟩	N <sub>2</sub>
⟨0.1⟩	N <sub>3</sub>
⟨0.2⟩	N <sub>4</sub>
⟨0.4⟩	N <sub>5</sub>
⟨0.8⟩	N <sub>6</sub>
⟨1.6⟩	N <sub>7</sub>
⟨3.2⟩	N <sub>8</sub>
⟨6.3⟩	N <sub>9</sub>
⟨12.5⟩	N <sub>10</sub>
⟨25⟩	N <sub>11</sub>
⟨50⟩	N <sub>12</sub>

*Nota: Ra = valor de rugosidad superficial; N = tipo de rugosidad*

«Queda a criterio del diseñador la combinación de simbología de acabado superficial de rugosidad que él puede aplicar a los distintos elementos a fabricar, cabe mencionar también que un elemento puede tener distintos acabados superficiales.» (1)

### 2.2.16.2. Tolerancia geométrica

«La norma ISO 8015 es la encargada de establecer la posición, forma y orientación de los componentes diseñados» las tolerancias geométricas normalizadas más utilizadas los podemos observar en la tabla 12.

«Las tolerancias geométricas deben usarse solo para afectar la intercambiabilidad de las partes, el desempeño de las partes ensambladas y para evitar defectos de fabricación.» (54)

«Una vez construida la máquina y aplicadas las tolerancias geométricas a todas sus piezas, los costes de fabricación aumentarán, por lo que solo se debe aplicar a aquellas piezas que lo necesiten.» (1)

**Tabla 12. Símbolos que caracterizan a cada tolerancia geométrica**

Tipo de tolerancia	Característica	Símbolo
Forma	Rectitud	
	Planicidad	
	Redondez	
	Cilindricidad	
	Forma de una línea	
Orientación	Forma de una superficie	
	Paralelismo	
	Perpendicularidad	
Situación	Inclinación	
	Posición	
	Conectividad y coaxialidad	
Oscilación	Simetría	
	Circular	
	Total	

*Nota:* forma = corresponde a la parte superficial del componente; orientación = los ejes «X, Y, Z» son el punto de referencia; situación = generalmente dados en ejes, el punto centro de la pieza es la referencia de la tolerancia; oscilación = generalmente es aplicable para piezas en revolución.

## 2.2.17. Aceros

### 2.2.17.1. Definición

Por lo general todos los aceros tienen una composición de aleación de hierro y carbono, siendo el acero el más importante en la ingeniería y la construcción debido que el 80 % de los metales producidos son compuestos por el acero. La composición de los aceros esta normada por la el Instituto Americano del Acero y Hierro (AISI) y por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE).

Se puede obtener en el mercado los aceros al simple carbono y aceros aliados, el carbono es indispensable para formar las estructura interna de los aceros y gracias a este se da la selección del tratamiento térmico, cuando en el acero se tiene solo un pequeño porcentaje de carbono se le llama acero al bajo carbono (55).

### 2.2.17.2. Tipos de aceros

En la ingeniería y la industria se cuenta con 4 tipos de acero según su composición:

- Acero al carbono:

El porcentaje de carbono en un acero varían entre los rangos 0.05 % a 1 % y ocasionalmente de 1 % a 2 % (55).

- Acero aleado:

Son aceros que muy aparte del carbono contienen porcentajes de otros elementos en su composición química, como el níquel, cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno, estos elementos le proporcionan al acero características especiales (55).

- Acero para herramientas:

Considerados como una pequeña porción, pero importante en la producción total del acero, los aceros para herramientas son hechos para conseguir altos estándares en calidad y son utilizados en herramientas de diversos componentes mecánicos, en la actualidad la producción de aceros rápidos o para herramientas superan las 100 variedades. La composición de estos aceros supera el 1.2 % y se le adiciona otras cantidades de aleaciones. Los aceros rápidos pueden ser endurecidas en agua, aceite y aire (55).

- Acero inoxidable:

La corrosión es uno de los enemigos de los aceros, por tal motivo los usuarios optaban por alternativas para proteger al acero de este mal como revestimiento con no metales y pinturas, pero esta protección para la corrosión es de corto plazo. Por lo que se crea una gran familia de aceros resistentes al calor y a la corrosión estos son los aceros inoxidables clasificados por la norma AISI (55).

### **2.2.17.3. Normativa de aceros**

En la actualidad la producción de acero nacional e internacional va aumentando por lo que en el mercado se encuentra una variedad de aceros que están clasificados de acuerdo con la norma ASTM (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales) y los más utilizados son:

- **ASTM A36:** Son aceros aplicados para la fabricación de perfiles estructurales.
- **ASTM A529:** Es un acero ordinario y se le puede encontrar en perfiles y barras en su mayoría son usados en construcción de edificios de acero.

- **ASTM A572:** Caracterizado por tener una variedad de grados de dureza dependiendo del perfil y espesor del material y por supuesto su fuerza de fluencia.
- **ASTM A992:** Adicionada recientemente para la construcción de edificios, pero solo se puede encontrar en perfiles del tipo (W) con una buena característica en soldabilidad y ductilidad.
- **ASTM A500:** Presentada en perfil de tubos circulares huecos HSS forjados en frío.
- **ASTM A501:** Con características similar al A36 se utiliza en perfiles circulares, rectangulares y cuadradas.

También pueden utilizarse otros materiales con características diferentes en esta lista, pero con la aprobación de diseñador y el ejecutor. Tomando previamente un análisis de esfuerzos y simulación de este (56).

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Definiciones básicas**

#### **Labranza:**

Es preparar la extensión del terreno donde se va realizar el proceso del cultivo de diversos productos agrícolas.

#### **Cadena de rodillos:**

Es la unión de eslabones externos e internos cuya principal función es la transmisión de potencia y/o sincronización de los elementos internos de máquinas.

#### **Cadena transportadora:**

Elemento mecánico de sistema de transporte constante encargado transportar productos y/o materias desde un punto A hasta un punto B.

#### **Cuchilla de corte:**

Parte expuesta de una máquina encargado del corte de terreno por el ángulo de corte que se encuentra diseñado, generalmente es fabricada de aceros aleados resistentes a la fricción.

**Merma:**

Es la porción de pérdidas de un producto que son ocasionadas en el transcurso de varios procesos.

**Reja:**

Son una las partes principales que tienen los implementos agrícolas que trabajan excavando el terreno, tienen el mismo propósito que las cuchillas de corte.

**Paso de cadena:**

Son las distancias y/o separaciones que hay entre las varillas de la cadena transportadora, estas separaciones tienen que ser uniformes.

**Tiro:**

Es el punto en donde se va anclar el implemento agrícola con la parte posterior del tractor, los tiros son estándares y constan de tres puntos principales.

**Lastre:**

Masa sólida que se utiliza para incrementar la carga del tractor agrícola en los puntos donde se genera la tracción para así evitar que las ruedas patinen.

**Hojuelas:**

Son los cortes que se le realiza a la papa para ser procesadas, estos cortes deben de ser finos de forma circular para luego ser fritos en abundante aceite.

**Bastones:**

Son uno de los cortes más comunes que se le realiza a la papa antes de ser procesadas, son cortes rectangulares alargadas uniformes.

**Tractor agrícola:**

Máquina motriz auto-impulsada que genera energía hidráulica y mecánica con el propósito de remolcar y/o accionar diversos implementos agrícolas.

**Fuerza de tiro:**

Es la fuerza producida cuando el tractor arrastra una máquina agrícola.

**Revolución:**

Movimiento de un sólido que gira sobre su eje.

**AWS:**

Sociedad Americana de Soldadura

**ASTM:**

Asociación Americana de Ensayo de Materiales

**VDI:**

Asociación Alemana de Ingenieros

**SAE:**

Sociedad de Ingeniería Automotriz

**ASME:**

Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos

**ANSI:**

Instituto Estadounidense de Estándares Nacionales

**CAD:**

Diseño Asistido por Computadora

**DIN:**

Instituto Alemán de Normalización

**FS o n:**

Factor de seguridad

**Fd o nd:**

Factor de diseño

**D:**

Diámetro

**L:**  
Longitud

**G:**  
Centroide

**J:**  
Modelo de chafan para soldadura

**U:**  
Modelo de chafan para soldadura

### 2.3.2. Lista de símbolos

**$s_y$**   
Resistencia a la fluencia ( $MPa$ )

**$n$**   
Factor de seguridad.

**$k_f$**   
Factor de concentración de esfuerzos – momento flector

**$k_{fs}$**   
Factor de concentración de esfuerzos – momento torsor

**$M$**   
Momento flector ( $Nm$ )

**$T$**   
Momento torsor ( $Nm$ )

**$S_e$**   
Límite de resistencia a la fatiga.

**$K_a$**

Factor de modificación por la condición superficial

**$K_b$**

Factor de modificación por el tamaño

**$K_c$**

Factor de modificación por la carga

**$K_d$**

Factor de modificación por la temperatura

**$K_e$**

Factor de confiabilidad

**$S'_e$**

Límite de resistencia a la torsión ( $MPa$ )

**$\sigma$**

Esfuerzo admisible ( $MPa$ )

**$d$**

Diametro ( $m$ )

**$h$**

Altura ( $m$ )

**$F$**

Carga primaria ( $N$ )

**$F''$**

Carga secundaria ( $N$ )

**$\eta$**

Numero de perno

**$V$**

Carga externa ( $N$ )

**$\tau$**

Esfuerzo cortante (*MPa*)

**$F_c$**

Cargan en el centroide (*N*)

**$A_s$**

Área de corte (*mm<sup>2</sup>*)

**$A_b$**

Área de contacto (*mm<sup>2</sup>*)

**$C_{10}$**

Capacidad de carga dinámica (*KN*)

**$F_D$**

Carga (*KN*)

**$L_D$**

Vida útil deseada (*h*)

**$N_D$**

Velocidad deseada (*RPM*)

**$a$**

Tipo de rodamiento

**$H_{Tab}$**

Potencia tabulada (*HP*)

**$N_d$**

Factor de diseño (*HP*)

**$K_s$**

Factor de servicio

**$H_{Nom}$**

Potencia nominal ( $HP$ )

**$K_1$**

Factor de corrección

**$K_2$**

Factor de corrección de longitud

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método y alcance de la investigación**

#### **3.1.1. Tipo de investigación**

La investigación en la que se está trabajando es del tipo tecnológico, conocido también como investigación de desarrollo, cuenta con el fin de inventar algún tipo de artefacto, obtención de nuevos productos, el mejoramiento de nuevos procesos y productos para llevarlo al mercado y de este modo generar algún tipo de ingreso (57). La fabricación en forma de prototipo de la maquina respetando la escala 1:1 de la cosechadora de papa tiene el objetivo de mejorar la descarga de estos tubérculos para aventajar al agricultor. Por este objetivo se determinó un tipo de investigación tecnológica. Un estudio con el alcance aplicado tiene el fin de brindar soluciones a cuestiones de corto y medio plazo a través de la aplicación de conocimientos de tipo científico que se adquieren para mejores resultados en todo el proceso o producto (57).

### **3.2. Metodología para desarrollar el concepto de solución**

#### **3.2.1. Metodología VDI-2221**

En el año 1987, la Asociación Alemana de Ingeniería desarrolló la metodología VDI-2221, siendo una metodología considerada como el crecimiento del VD1-2222. Este método cuenta con 4 etapas y 7 fases, respecto a la normativa técnica, esta normativa se aplica generalmente en el área de la Ingeniería Mecánica (58).

### 3.2.2. Metodología Budynas – Shigley

El método de Budynas señala que el diseño busca el desarrollo de un plan para la satisfacción de sus necesidades, logrado a través de la resolución del problema. La metodología consta de cuatro fases e interacciones que tienen el fin de responder las siguientes cuestiones, «¿cómo se empieza un diseño?, ¿qué es un proceso de diseño?, ¿el ingeniero diseñador comienza su diseño solo ideas y necesidades?, ¿qué sigue luego de generar las ideas?, ¿qué factores influyen para la toma de decisiones? Y por último, ¿cómo culmina el diseño?» (39).

### 3.2.3. Adaptación de metodología (VDI-2221 y Budynas)

En la demanda de una metodología de diseño que se adecue y que cuente con los requisitos a usar durante todas las etapas para la realización del proyecto, se unieron dos metodologías con las que, al cumplir con cada una de sus fases, se llegó a satisfacer tanto al cliente como al diseñador.

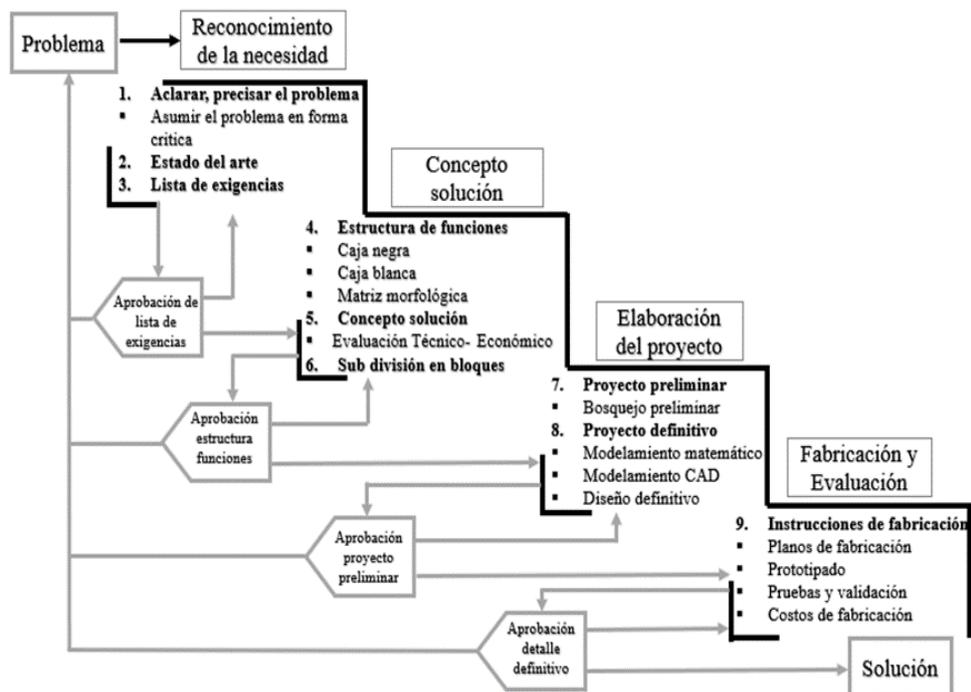


Figura 35. Estructura de diseño por desarrollar Adaptada de Blanco (58) y Budynas et al. (39)

#### 3.2.3.1. Reconocimiento de la necesidad

- **Aclarar y precisar el problema**

Es la recopilación de información requerida para el desarrollo de una nueva propuesta y llevarlo a la fabricación de un prototipo, la información recopilada parte de las necesidades del cliente (agricultor), esta información se

recibe y analiza, porque en gran parte de la información es incompleta. «Para poder mejorar la información y los datos que el cliente expreso al diseñador, este debe de ir al campo en busca de más datos reales y exactos basándose en el área donde trabajara la máquina a diseñar» (1).

- **Estado del arte**

Comprende en almacenar información de artículos, tesis y trabajos de investigación que tengan en común el problema de estudio. Dicha información ayudará a evaluar, comparar y mejorar las alternativas de solución que estas plantean en su desarrollo del proyecto con el fin de tomar como base datos principales que se adecuen a la realidad de nuestro diseño y de nuestro campo de estudio.

- **Lista de exigencias**

Son criterios que el investigador tiene que considerar durante la investigación y al momento de fabricar el prototipo y están ligadas las condiciones donde se desarrolla la investigación.

Diferenciando las exigencias de los deseos, siendo las exigencias los pasos primordiales para el funcionamiento de la máquina y los deseos son equipamientos o funciones opcionales que no afectan en el funcionamiento de la máquina.

### **3.2.3.2. Concepto solución**

- **Estructura de funciones**

La cosecha de papa inicia con el acoplamiento de la cosechadora al tractor, el sistema de transmisión se realiza por medio del sistema hidráulico directo al *manifold* de implementos del tractor, luego se cosecha un surco y con base en eso se regula la velocidad de las cadenas transportadoras en relación con cómo se encuentra el terreno, puesta en marcha el implemento, su rendimiento promedio es de  $ha / h$  (1).

- **Caja negra**

La ejecución de la caja negra se basa en determinar cuáles son las funciones de ingreso y las funciones de salida que correspondan a las funciones generales de la máquina cosechadora de papa y ellas serian (señal, energía y materia) (1).

- **Caja blanca**

Se identifican las reacciones que perjudican el proceso por los cambios que se generan tanto en la entrada como la salida ya determinada en la caja negra, esto con el objetivo de minimizar o eliminar dichas reacciones negativas.

- **Matriz morfológica**

Para encontrar un concepto de solución adecuado al lugar de investigación, se elaboró una matriz morfológica, que consistió en encontrar variantes de trabajo adecuadas a cada proceso y disponerlas de tal manera que pudieran ser comparadas con el siguiente proceso. «Obtener alternativas de solución aceptables» (1).

- **Concepto solución**

Son alternativas que el investigador llega a tener después de las evaluaciones realizadas en las que se tiene que escoger la más adaptable a los agricultores viendo su maniobrabilidad y ergonomía de este.

- **Evaluación técnica y económica**

«En el desarrollo de la evaluación económica y técnica de la opción de solución son analizados con los valores de la metodología VDI-2225. Los valores del análisis técnico y económico que esté próximo al valor ideal de 1 será el concepto de solución definitivo» (1). Para su desarrollo se utilizaron las ecuaciones siguientes:

$$X_i = \frac{(g_1 \times p_1) + (g_2 \times p_2) + \dots + (g_n \times p_n)}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n)p_{max}} \leq 1 \quad (50)$$

$$Y_i = \frac{(g_1 \times p_1) + (g_2 \times p_2) + \dots + (g_n \times p_n)}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n)p_{max}} \leq 1 \quad (51)$$

Los resultados de análisis en el punto «p» están en un rango de 0 – 4 tomando a 0 como no satisfactorio, 1 llegaría ser casi aceptable, el termino 2 sería suficiente, 3 ya llegaría a estar aceptable y el termino 4 sería muy aceptable.

- **Subdivisión en bloques**

Para realizar un análisis más detallado la máquina cosechadora de papa se divide en 4 bloques principales.

### **3.2.3.3. Elaboración del proyecto**

- **Proyecto preliminar**

Se encuentra representada por un bosquejo inicial, con base en este, se realizan las evaluaciones y modificaciones con el fin de mejorar la solución y que esta sea aceptable por el agricultor.

- **Proyecto definitivo**

Representada por un bosquejo final, que ya tiene la aceptación del agricultor y por supuesto ya pasó por las evaluaciones técnico-económicas. Se podría decir que este bosquejo será el que se ejecutará.

- **Modelamiento matemático**

Para poder seleccionar de los materiales por utilizar se tiene que realizar un análisis matemático de resistencia a las cargas a las que va a estar expuesta la máquina y validada con las características de aquellos materiales disponibles en el mercado local.

- **Modelamiento CAD**

Como un segundo filtro antes de designar la calidad de acero que se utilizará en la construcción del prototipo se realiza una simulación CAD y se valida con los datos obtenidos en el modelamiento matemático. De este modo se estaría garantizando el buen rendimiento de la máquina.

- **Diseño definitivo**

Es el resultado gráfico de todo el estudio realizado, apto para realizar la fabricación del prototipo y comprende los planos de ensamble del prototipo.

### **3.2.3.4. Fabricación y evaluación**

- **Instrucciones de fabricación**

Son los pasos por seguir para realizar la fabricación del prototipo que se desarrolló con el programa Project del software Windows.

- **Planos de fabricación**

Divido en 4: planos explosionados, de detalle, de soldadura e hidráulico.

- **Prototipado**

Es una versión inicial de la máquina que se diseñó y se quiere conseguir el correcto funcionamiento, para su posterior evaluación en campo.

- **Pruebas y validación**

Es la conclusión de las pruebas cuando el prototipo esté en funcionamiento, que sirve para poder realizar el levantamiento de algunas observaciones que salieron en el proceso.

- **Costo de fabricación**

El importe para fabricar el prototipo está dividido en costos directos, costos indirectos y costos de mano de obra.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN**

#### **4.1. Identificación de requerimientos**

##### **4.1.1. Aclarar y precisar el problema**

###### **4.1.1.1. Detallar el problema**

Los agricultores de la comunidad campesina de Lastay – Concepción tienen imperfecciones al momento de realizar la cosecha de papas porque los dos modelos de máquinas cosechadoras de papas más utilizados en la región les generan pérdidas monetarias por el daño que reciben las papas en este proceso y la cantidad de personal a emplear para la cosecha.

###### **4.1.1.2. Asumir el problema de forma crítica**

La recolección o cosecha artesanal de papas requiere el empleo de 18 trabajadores por hectárea de cultivo de los cuales 10 son mujeres y 8 son varones, y la recolección de la papa les toma 3 días de 8 horas de trabajo por jornada, sin embargo, para el proceso de seleccionado y embarque se le adiciona más días de trabajo

Una hectárea de cultivo produce 25 a 30 t de papas, el 50 % se envía a la industria o mercado mayorista, el 30 % es almacenada para semilla y venta a mercados locales, el 13 % se envía a criadores de cerdos y queda un 7 % de pérdida por los daños que recibió la papa en la cosecha.

#### 4.1.2. Estado del arte

##### 4.1.2.1. Arte internacional

- **Cosechadora modelo WH-200**

La compañía Alemana Grimme se especializa en la fabricación de máquinas utilizadas en el sector agrícola y están pendientes de los avances tecnológicos que va mejorando día a día. Entre sus modelos existentes destaca la máquina cosechadora de papa ilustrada en la figura 36, el modelo WH-200 tiene un tamaño intermedio y un diseño consistente.



*Figura 36. Máquina recolectora de papas de 2 hileras modelo WH-200 Tomada de Grimme (59)*

Para el accionamiento de este ejemplar de cosechadora de papas se tiene que utilizar un tractor agrícola con una potencia de arrastres de 87 HP como mínimo, las revoluciones mínimas que tiene que alcanzar el eje de la toma de fuerza debe ser de 540 rpm, para que las papas sean separadas y transportadas se utiliza un sistema de cadenas unidas por una cinta de lona y esta cosechadora tiene un peso de 1300 kg.

- **Cosechadora modelo 4U-2**

Weifang Shengxuan Machinery SX es una compañía China se dedica manufacturar equipos para el sector agricultura y a la venta de tractores agrícolas. Tienen una amplia gama de máquinas entre ellas incluye la recolectora de papas modelo 4U-2 visualizado en la figura 37, esta máquina también es utilizada en la recolecta de maní, zanahorias y ajo.



*Figura 37. Recolectora de patatas modelo 4U-2  
Tomada de «Alibaba» por Shengxuan (60)*

Esta cosechadora tiene un rango de potencia de 50 a 70 HP, un ancho de trabajo de 160 cm, las papas se transportan sobre varillas articuladas, son de una construcción liviana y la producción estimada que desempeña es 1 hectárea por hora de trabajo aproximado, tiene un peso de 290.

- **Cosechadora modelo *convoyer digger 2 rows/siebkettenroder 2 reihig***

La empresa polaca Bomet se especializa en el desarrollo de diseños y producción de implementos y herramientas para el sector de la agricultura. La cosechadora de papas mostradas en la figura 38 es la versión mejorada de la cosechadora **convoyer digger 1 rows/siebkettenroder**, esta una máquina tiene una capacidad de cosecha de dos surcos o doble hilera con un buen rendimiento.



*Figura 38. Recolectora de papa modelo convoyer digger 2 rows/siebkettenroder 2 reihig de doble hilera  
Tomada de Bomet (61)*

La potencia mínima que necesita esta cosechadora es 53 HP, el mecanismo de traslado de papas es por cadenas conectadas a una lona, con un

ancho de cobertura es de 150 centímetros, el peso bruto de esta cosechadora es de 860 kg y el rendimiento promedio de media hectárea por cada hora de trabajo.

#### 4.1.2.2. Arte nacional

- **Cosechadora modelo CP-1**

SERMI, es una empresa Peruana con su sede de producción ubicada en la provincia de Cañete, se dedica a la producción de metalmecánica cuenta con una gran trayectoria en la fabricación de equipos agrícolas y pone a la venta las máquinas recolectoras de papas modelo CP como se muestra en la figura 39.



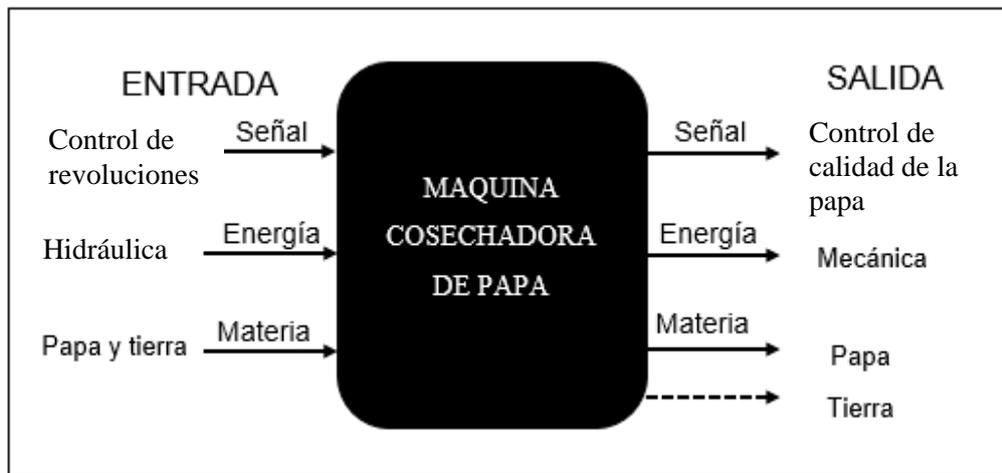
*Figura 39. Recolectora de papas modelo CP-1  
Tomada de Sermi Implementos Agrícolas (11)*

El modelo CP funciona con una potencia de 45 a 65 HP, la cuchilla tiene un ángulo de corte de 30°, el transporte de las papas se realiza a través de un varillaje conectado espiralmente en los externos y una caja reductora velocidad con una relación de transmisión de 7:3, la fase de agitación se realiza utilizando batidores excéntricos.

## 4.2. Análisis de solución

### 4.2.1. Caja negra

La caja negra tiene que desarrollarse colocando las 3 funciones básicas de entradas y salidas (Señal|Energía|Materia) que corresponden a la función global de la máquina cosechadora de papa, las entradas y salidas de materia y energía son expresadas en la figura 40.



*Figura 40. Caja negra*

**Entradas:**

- **Señal**

El tractor agrícola genera velocidades en su toma de fuerza de 540 rpm en *realitin* mínimo de aceleración y 1000 rpm en *realitin* máximo de aceleración.

- **Energía**

El tractor agrícola brinda la energía hidráulica a través de una toma de fuerza que se conecta a la cosechadora a través de un motor hidráulico.

Los tractores existentes en el área de estudio proporcionan una potencia de 65 – 115 HP.

- **Materia**

La papa está a una profundidad de 25 cm promedio del terreno de sembrío, el cual es retirado por el corte de terreno que realiza la cuchilla a un ángulo de 18° que hace que la papa ingrese a la cadena transportadora de la máquina, pero estas papas ingresan mezcladas con tierra.

**Salidas:**

- **Señal**

Las revoluciones de la cadena transportadora son regulables a través de un sistema hidráulico, por medio de un motor hidráulico, válvula estranguladora de caudal y una transmisión de cadena. Para controlar la calidad de la papa.

- **Energía**

La energía hidráulica acciona a un motor hidráulico, este consume el caudal que recibe y lo convierte en energía mecánica, el motor hidráulico transmite la potencia por medio de una cadena hacia la faja transportadora.

El corte del terreno se produce por la fricción existente entre el suelo y la cuchilla de la maquina cuando la tractor tira de esta.

- **Materia**

Las papas quedan en la parte externa del suelo, están libres de tierra para su recolección.

La tierra se separa de la papa y cae al suelo por los espacios vacíos existente entre las varillas de la cadena transportadora.

#### **4.2.1.1. Señalar las secuencias de operaciones**

El funcionamiento inicial de la máquina cosechadora, debe comenzar a inspeccionar la máquina, engrasar los componentes giratorios, articulados y verificar el estado de los componentes y verificar si los elementos de sujeción están con el torque adecuado. A continuación, enganchar la maquina al tractor en los brazos de anclaje y el tercer punto y finalizando en conectar las mangueras hidráulicas del motor a las tomas rápidas del tractor.

A medida que el tractor arrastra la máquina, este por medio de la cuchilla corta el terreno a lo largo de la trayectoria que se desplaza el tractor, la cosechadora alimenta las papas mezcladas con tierra, esta se separa y cae al piso por la velocidad y vibración que se genera en el trayecto de la faja que transportará por el espacio vacío que hay entre varillas metálicas de la cadena.

La tierra se desplaza por los espacios vacíos que existen entre las varillas de la transportadora y, por último, las papas que quedaron recorren el trayecto de la cadena transportadora y caen sobre la superficie de suelo para su recolección.

#### **4.2.1.2. Describir las funciones**

**Preparar:** El arranque inicial comienza con la lubricación e inspección de la maquina cosechadora.

**Acoplar:** El tractor cuenta con dos brazos y un tercer punto de enganche, es ahí donde se acopla la maquina cosechadora y se asegura con un pin de enganche, la energía hidráulica se acopla mediante mangueras hidráulicas hacia el motor.

**Transmisión de potencia:** La transmisión de la máquina se transmite mediante la fuente de poder hidráulico y se acopla con conexiones hidráulicas para generar energía mecánica y controlar las rpm del motor hidráulico.

**Corte del terreno:** Se realiza al momento que la cuchilla es introducida en el terreno y tirada por el tractor.

**Alimentación:** Se realiza mediante el transporte de las papas y tierra por la cadena transportadora.

**Elevación y transporte:** Por la velocidad que tiene la cadena transportadora se desliza en la papa y tierra que fue recogida por el corte.

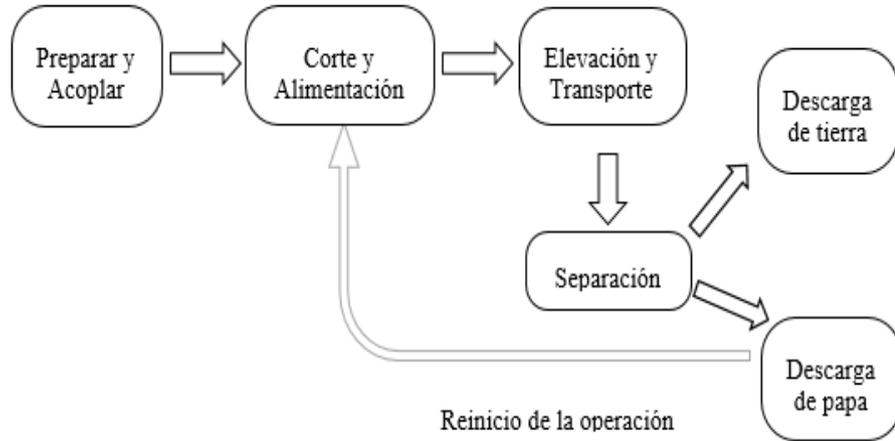
**Separación:** Por medio de la vibración que se genera en la trayectoria del transporte y la separación que hay entre las varillas de la cadena transportadora, las papas se logran separarse de la tierra.

**Descarga de la tierra:** La cadena transportadora fue fabricada con una separación uniforme entre sus varillas con el propósito de que por ahí la tierra se desplace y cae al piso.

**Descarga del tubérculo:** Las papas recorren toda la trayectoria de la cadena transportadora llegando hasta la parte trasera de la máquina, es ahí por donde caen sobre la superficie del campo.

#### **4.2.1.3. Asociar las funciones**

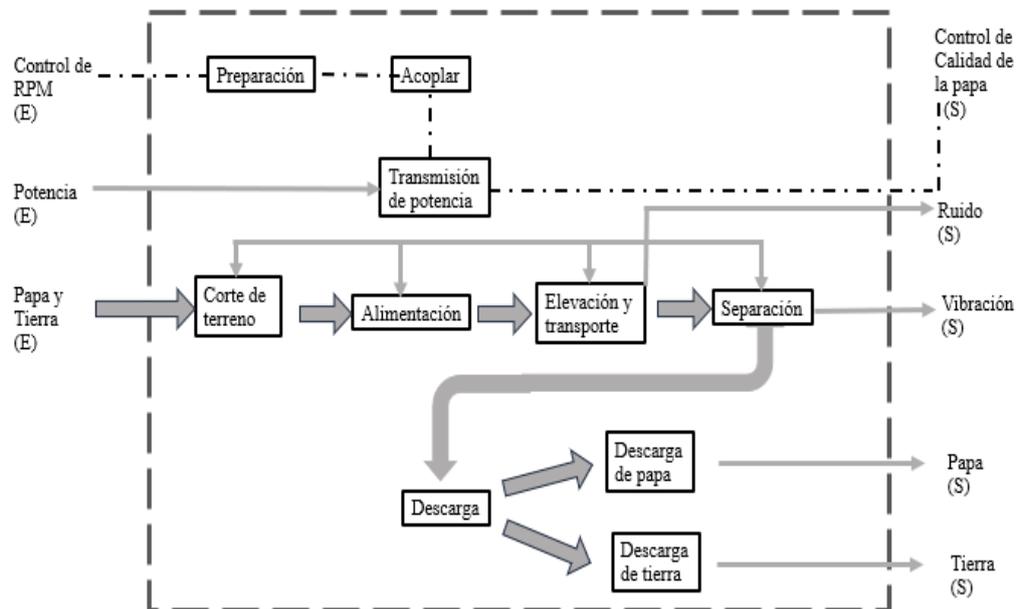
Se presenta en la figura 40 el esquema donde se asocian las funciones principales de la maquina diseñada.



**Figura 41. Asociación de las funciones de la máquina cosechadora**

#### 4.2.2. Caja blanca

Las reacciones adversas derivadas de la alteración que experimentan las fases de entrada que en sus salidas deben identificarse para reducirlas o eliminarlas como se muestra en la figura 42, estas se producen en la máquina diseñada, como, la vibración generada en la función de separación, el ruido que se genera en la función de elevación y transporte.



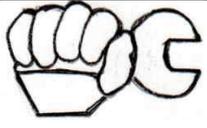
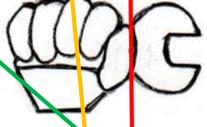
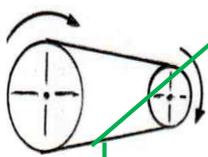
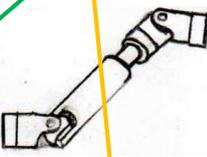
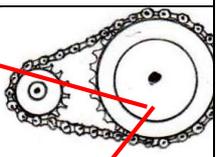
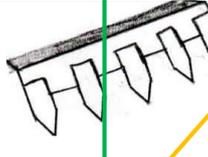
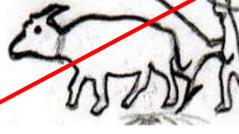
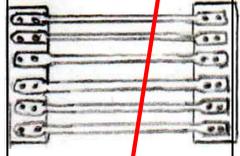
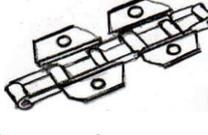
**Figura 42. Caja blanca**

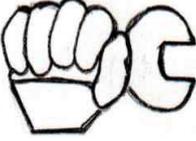
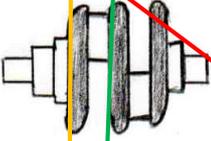
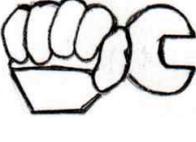
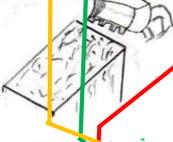
**Nota: la caja blanca define el efecto causado por la interacción de funciones**

### 4.2.3. Matriz morfológica

La matriz morfológica se elaboró con la finalidad de encontrar las soluciones conectando las alternativas propuestas a cada función principal ya identificada en la caja blanca, la tabla 13 describe la solución.

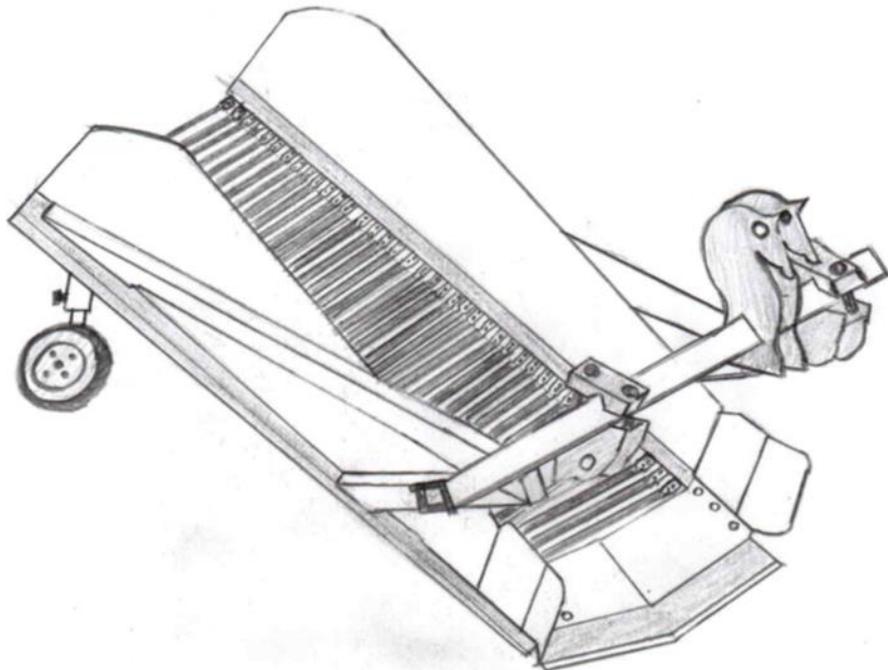
**Tabla 13. Matriz morfológica del concepto de solución**

Funciones principales	Alternativas de solución a las funciones			
	⟨01⟩	⟨02⟩	⟨03⟩	⟨04⟩
Preparar	 Automatizada	 Manual		
Acoplar	 Automatizada	 Manual		
Transmisión de potencia	 Faja en «V»	 Cardan	 Faja dentada	 Cadena de rodillo
Corte del terreno	 Cuchilla dentada	 Cuchilla lisa	 Cuchilla en «V»	
Alimentación	 Motriz	 Animal		
Elevación y transporte	 Cadena con lona	 Cadena unión «S»	 Cadena articulada	

<b>Separación</b>	 Manual	 Excéntrico	 Vibración	
<b>Descarga de tierra</b>	 Manual	 Zarandeo		
<b>Descarga de papa</b>	 Manual	 Automático	 Automático	 Automático
<b>Concepto de solución</b>		<b>S 1</b>	<b>S 2</b>	<b>S 3</b>

#### 4.2.4. Concepto solución

##### 4.2.4.1. Concepto de solución 1

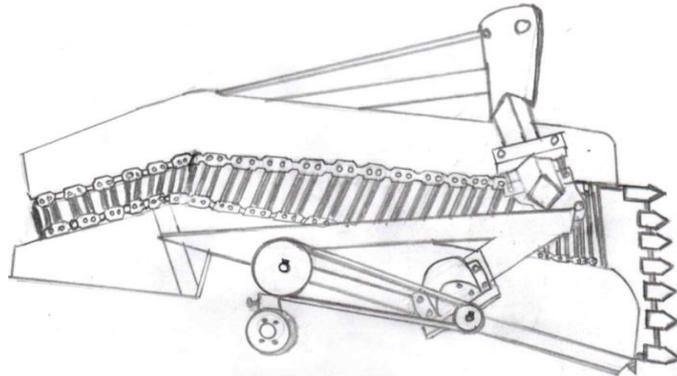


*Figura 43. Alternativa de solución 1*

La máquina está unida al tractor a través de los 3 soportes de sujeción con una capacidad para poder soportar una fuerza de tracción máxima de 110 HP que es generada desde un tractor agrícola, la maquina al ser arrastrada por el tractor corta el terreno y llega a una profundidad en relación al ángulo de

corte de la cuchilla que se le asigno, lo que hacen que la papa y la tierra se suban a la máquina y recorran todo el trayecto de la transportadora, la papa y la tierra son separadas en la misma cadena transportadora en el transcurso del transporte lo que hace que la tierra cae al piso por la abertura existente entre las varillas, para finalizar, la papa es expulsada de la máquina y cae encima del terreno. Este primer diseño se presenta en la figura 43.

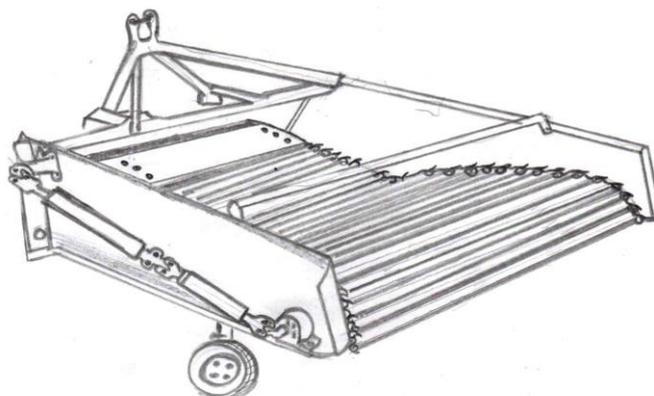
#### 4.2.4.2. Concepto de solución 2



*Figura 44. Alternativa de solución 2*

En la figura 44 muestra otra opción solución. Para operar esta máquina, se debe conectar a un tractor agrícola, cuyo principal sistema de enganche es de tres puntos, que se alimenta a través de la hoja metálica dentada que tiene en la parte delantera, su transmisión de potencia es a través de una faja trapezoidal tipo «V». Para el transporte y elevación de las papas se usa cadenas acoplada con barras de metal, para separar la tierra de la papa se utiliza el paso que hay entre las varillas metálicas y la descarga del tubérculo es por la parte trasera de la cosechadora quedando en la superficie del terreno.

#### 4.2.4.3. Concepto de solución 3



*Figura 45. Alternativa de solución 3*

La alternativa de solución número 3 se puede mostrar en la figura 45, esta máquina cosechadora debe estar conectada a un tractor agrícola, la preparación del sistema es del modo manual, el enganche de la máquina con el tractor se realiza mecánicamente por los tres pines de sujeción en los 3 puntos de anclaje, el abastecimiento de la papa es mediante una cuchilla lisa, la potencia es transmitida mediante un línea cardánica, el izaje y transporte de la papa con la tierra se realizan utilizando una cadena de unión espiral «S» que también tiene la función de separar la tierra de la papa por el espacio vacío que hay entre las varillas, el proceso de descarga se da por el lado trasero de la máquina quedando las papas en la superficie del campo o sembrío para su recolección.

#### **4.2.5. Evaluación técnico-económica**

##### **4.2.5.1. Análisis técnico de los conceptos de solución $\langle X_i \rangle$**

Para el desarrollo de la evaluación técnica de las alternativas de solución se trabajó con la tabla 14, estos datos están basados en el patrón que deja el rango de valores de la metodología VDI-2225. El criterio de solución se determinará con base en la alternativa que se aproxime al valor técnico ideal de 1 utilizando la siguiente fórmula:

$$X_i = \frac{(g_1 \times p_1) + (g_2 \times p_2) + \dots + (g_n \times p_n)}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n)p_{max}} \leq 1 \quad (50)$$

Los resultados de análisis en el punto «p» están en un rango de 0 – 4 tomando a 0 como no satisficible, 1 llegaría ser casi aceptable, el termino 2 sería suficiente, 3 ya llegaría a estar aceptable y el termino 4 sería muy aceptable.

**Tabla 14. Análisis técnico de solución**

ANÁLISIS TÉCNICO $\langle Xi \rangle$							
COSECHADORA DE PAPA PARA LA VARIEDAD DIACOL CAPIRO							
		Opción $\langle S1 \rangle$		Opción $\langle S2 \rangle$		Opción $\langle S3 \rangle$	
$g_n$	Principales características	$p_n$	$g_n \times p_n$	$p_n$	$g_n \times p_n$	$p_n$	$g_n \times p_n$
8	Función principal	4	32	4	32	4	32
9	Dimensiones	4	36	3	27	2	18
9	Control de rpm	3	27	2	18	2	18
9	Seguridad	4	36	3	27	3	27
6	Accionamiento	3	18	2	12	2	12
7	Materia Prima	3	21	2	14	3	21
7	Fabricación	4	28	4	28	3	21
4	Ensamblaje	4	16	2	8	2	8
7	Transporte	4	28	2	14	2	14
4	Cuidado	3	12	3	12	2	8
9	Precio	4	36	2	36	3	27
79	Suma de resultados	40	290	29	210	28	206
<b>Resultado del <math>\langle Xi \rangle</math></b>		<b>0.92</b>		<b>0.66</b>		<b>0.65</b>	

Nota:  $g_n$  = valores que toman las características del 1 al 9;  $g_n \times p_n$  = es el producto de los valores g y p

#### 4.2.5.2. Análisis económico de los conceptos de solución $\langle Yi \rangle$

Para el desarrollo de la evaluación económica de las alternativas de solución se trabajó con la tabla 15, estos datos están basados en el patrón que deja el rango de valores de la metodología VDI-2225. El criterio de solución se determinará con base en la alternativa que se aproxime al valor técnico ideal de 1 utilizando la siguiente fórmula:

$$Y_i = \frac{(g_1 \times p_1) + (g_2 \times p_2) + \dots + (g_n \times p_n)}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n)p_{max}} \leq 1 \quad (51)$$

Los resultados de análisis en el punto «p» están en un rango de 0 – 4 tomando a 0 como no satisficible, 1 llegaría ser casi aceptable, el termino 2 sería suficiente, 3 ya llegaría a estar aceptable y el termino 4 sería muy aceptable.

**Tabla 15. Análisis económico de solución**

ANÁLISIS ECONÓMICO (Yi)							
COSECHADORA DE PAPA PARA LA VARIEDAD DIACOL CAPIRO							
		Opción (S1)		Opción(S2)		Opción(S3)	
$g_n$	Principales características	$p_n$	$g_n \times p_n$	$p_n$	$g_n \times p_n$	$p_n$	$g_n \times p_n$
8	Función principal	3	24	4	32	4	32
9	Dimensiones	4	36	3	27	2	18
9	Control de rpm	4	36	2	18	3	27
9	Seguridad	4	36	4	36	3	27
6	Accionamiento	4	24	2	12	2	12
7	Materia Prima	3	21	2	14	4	28
7	Fabricación	4	28	4	28	3	21
4	Ensamblaje	4	16	3	12	2	8
7	Transporte	4	28	3	21	2	14
4	Cuidado	3	12	3	12	2	8
9	Precio	4	36	3	27	3	27
79	Suma de resultados	41	297	33	239	30	222
<b>Resultado del (Yi)</b>		<b>0.94</b>		<b>0.75</b>		<b>0.70</b>	

Nota:  $g_n$  = valores que toman las características del 1 al 9;  $g_n \times p_n$  = es el producto de los valores g y p

#### 4.2.5.3. Análisis técnico-económico

El análisis de resultados obtenidos en las evaluaciones técnicas y económicas basados únicamente en resultados que superan el 60 %. La idea de solución idónea es el equilibrio existente que se reflejan en los valores técnicos y económicos, el valor de este resultado debe ser el más cercano a la unidad, con los resultados obtenidos al analizar las tres ideas de solución se graficó la tabla 16.

**Tabla 16. Resultado de análisis técnico vs. económico**

	(S <sub>1</sub> )	(S <sub>2</sub> )	(S <sub>3</sub> )
(X <sub>i</sub> )	<b>0,92</b>	<b>0,66</b>	<b>0,65</b>
(Y <sub>i</sub> )	<b>0,94</b>	<b>0,75</b>	<b>0,70</b>

Nota: S1, S2, S3 son opciones de solución;  
Xi = valor técnico; Yi = valor económico

Para poder interpretar adecuadamente los resultados del factor técnico «Xi» y el factor económico «Yi», se construyó una gráfica mostrada en la figura 46, donde la alternativa de solución ideal es la que se acerca a la línea transversal denominado SOLUCIÓN IDEAL.

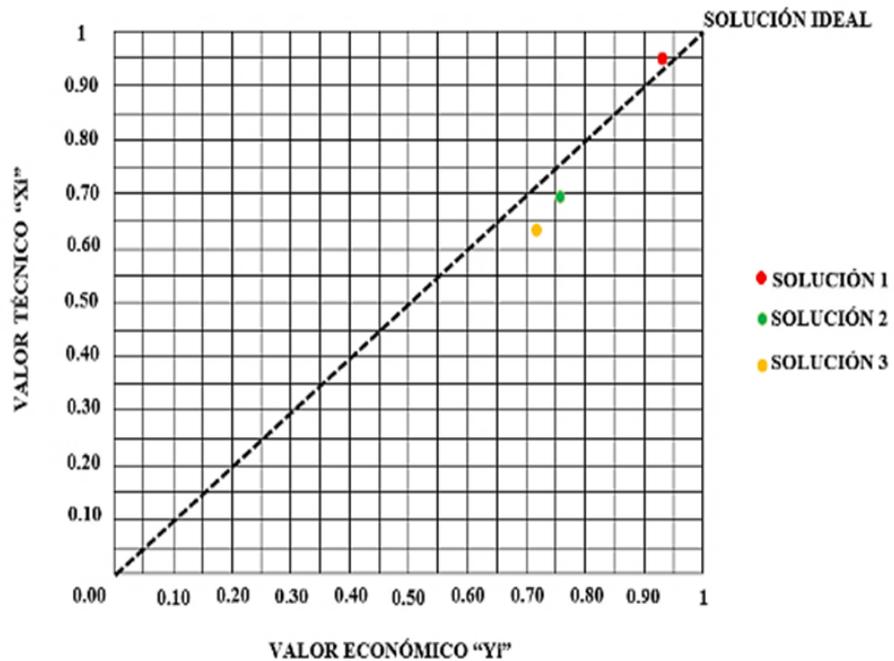


Figura 46. Esquema del análisis técnico vs. económico

Realizando el análisis del gráfico se establece que el resultado de la opción de solución 1 se aproxima a la solución ideal, siendo esta la óptima para el desarrollo del prototipo por el equilibrio entre lo económico y técnico.

#### 4.2.6. Estructura modular o bloques

##### 4.2.6.1. Describir los bloques principales del bosquejo decisivo

Una vez realizado el análisis utilizando la matriz morfológica y evaluando el resultado técnico y económico de las 3 alternativas de solución, se llega a discernir que la alternativa 1 «S1» es la ideal para el desarrollo del prototipo porque tiene el mejor equilibrio entre el aspecto técnico y económico también está más próximo a la solución ideal, por tal motivo, se divide en bloques el desarrollo de la máquina.

- **Primer bloque:**

En este módulo se desarrolló el modo de preparación y la forma de acople de la máquina siendo estos de forma manual conforme a los resultados obtenidos en los análisis efectuados anteriormente porque su ejecución no genera riesgo y esfuerzo físico para el agricultor.

- **Segundo bloque:**

En este módulo se desarrolló el corte del terreno que a la vez alimenta a la máquina para desempeñar su función, el corte será por medio de una

cuchilla de forma en «V», para una penetración suave y de mayor alcance en la profundidad para extraer todas las papas. La alimentación será la unión de dos actividades, corte de terreno y arrastre de la máquina, el arrastre de la máquina es el producto del tiro que realiza el tractor cuando esté de marcha.

▪ **Tercer bloque:**

En este módulo se analizó el modo de como transmitir la potencia de los componentes internos de la máquina y la forma de como elevar y transportar las papas sacadas de la tierra. Como principal fuente de energía que accionara la maquina se tomó la potencia hidráulica que nos genera el tractor, el recojo y transporte de la papa se realizó con una cadena de varillas de metal, que van a estar unidas a los extremos por una banda lona, y a la vez será accionada por un motor hidráulico con una cadena de rodillo.

▪ **Cuarto bloque:**

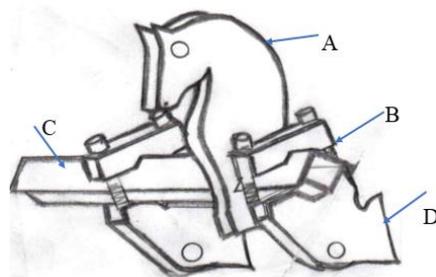
En este módulo se desarrolló el desprendimiento de la tierra y la papa, que se dio por la vibración que se genera a consecuencia de la velocidad con la que está trabajando la transportadora, las impurezas de la chacra conjuntamente con la tierra se deslizan al piso por los espacios que se tiene entre varillas metálicas de la cadena y las papas son descargadas por el lado posterior de la máquina cosechadora quedando las papas sobre la superficie de la chacra listas para su recolección.

### 4.3. Diseño

#### 4.3.1. Diseño preliminar de módulos claves

##### 4.3.1.1. Boceto del enganche de 3 puntos

Se identificaron las partes principales que comprenden el enganche de 3 puntos mostrados en la figura 47.



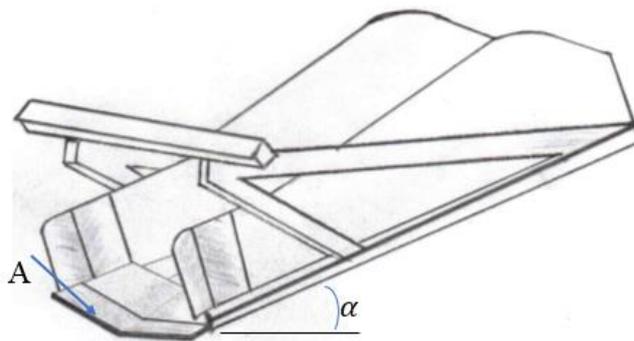
*Figura 47. Enganche central de 3 puntos*

La máquina cosechadora es anclada al tractor mediante los soportes de 3 puntos, el enganche superior (A) es acoplada en el tercer punto del tractor, este se regula según las características de fábrica que tiene el tractor agrícola, los enganches inferiores (D) serán sujetados a los brazos hidráulicos de tractor, los 3 puntos de enganche están montados en la barra principal (C) de la cosechadora y tienen una distribución regulable para que pueda ser ensamblada en todo tipo de tractor, la abrazadera (B) y el enganche inferior son unidas mediante pernos a la barra principal (C).

Los cálculos realizados de este módulo fueron con los datos técnicos de un tractor con una potencia de arrastre de 110 HP.

#### 4.3.1.2. Boceto del chasis

Los componentes primordiales que comprende el chasis de la máquina se puede observar en la figura 48.

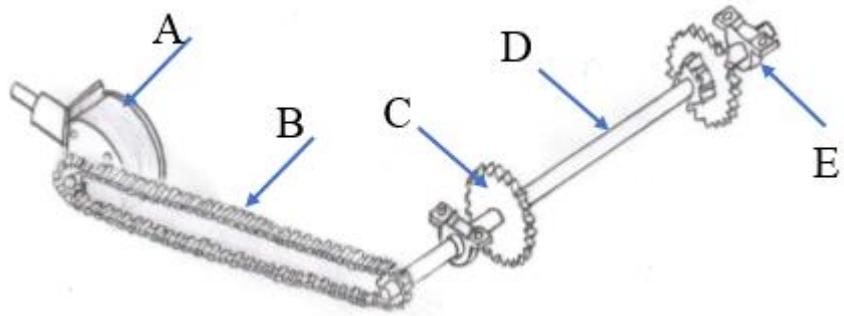


*Figura 48. Chasis de la cosecha*

La cuchilla(A) es la que se encarga de cortar el terreno, tiene una forma de «V» montada con un ángulo ( $\alpha$ ), dicho ángulo es el punto de inicio para la fabricación del bastidor.

#### 4.3.1.3. Boceto de la transmisión de potencia

Los componentes que fueron seleccionados para la transmitir la potencias que ara que la maquina funciones son mencionados en la figura 49.

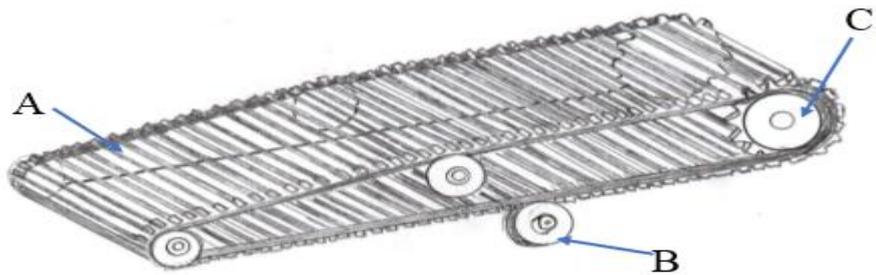


*Figura 49. Componentes del sistema de arrastre*

El caudal que genera la bomba del tractor llega al motor hidráulico (A) por una válvula reguladora de caudal que controlará las rpm de salida para el giro de la cadena transportadora, los piñones (C) serán quienes le dan el giro a la cadena transportadora y están alineados sincronizadamente por el eje (D), la cadena de rodillos (B) es quien se encarga de transmitir las rpm provenientes del motor hidráulico, al extremo del eje se encuentran fijadas las chumaceras (E) en el bastidor.

#### **4.3.1.4. Boceto de la cadena transportadora**

En la figura 48 se puede observar la cadena transportadora que consta de 6 rodillos (B) que tienen la función de guiarlas y los piñones de arrastre (C) quien se encarga de dar el giro.



*Figura 50. Cadena transportadora*

Las rpm del motor hidráulico las reciben los piñones (C) y son las que generan el giro de la cadena transportadora (A), los rodillos (B) guían a la cadena transportadora sobre su trayectoria y minimizan las vibraciones resultantes de la velocidad con la que gira la cadena transportadora.

#### 4.3.2. Modelamiento matemático

##### 4.3.2.1. Cálculo de las fuerzas del tractor

- Fuerza de arrastre

###### Recolección de información

Con los datos técnicos que se recolecto de un tractor agrícola modelo TS6-110 se procede a calcular la fuerza de arrastre que tiene el tractor, donde:

$Pot = 110HP$  suministrada por el tractor

$Tm = 510Nm$  capacidad del motor Diesel

$Vel = 1400rpm$  revoluciones de la volante del motor Diesel

$Qm = 3452kg$  peso bruto

$Ql = 1400kg$  peso del lastre

$Qi = 500kg$  capacidad de carga en los brazos hidráulicos

$n = 85\%$  rendimiento

$r = 80:1$  relación de transmisión

$llanta = 800/70 R - 38$

Hallando la carga total ( $Q_T$ )

Esta carga se halla con la ecuación

$$Q_T = Q_m + Q_L + Q_i \quad (1)$$

$$Q_T = (3452 + 1400 + 500)(kg)$$

$$Q_T = 5352 \text{ kg}$$

El peso o carga total que se obtiene es 5352 kg, esto ayudara a determinar las pérdidas producidas por rodadura.

Determinando las pérdidas por rodaduras ( $Fr$ )

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$Fr = \mu_T * Q_T \quad (2)$$

$$Fr = 0.15 * 5352 \text{ kg}$$

$$Fr = 802.8 \text{ kgf} * \frac{9.81N}{1 \text{ kgf}}$$

$$Fr = 7875.5 \text{ N}$$

La superficie de la tierra donde se va a trabajar el tractor es un terreno regular para el que se tomó el coeficiente por rodadura de  $0.15 \mu_r$  y como resultado se tiene una pérdida de 7875.5 N por rodadura.

Hallando el torque ideal en los neumáticos motrices ( $Tr_i$ )

Se utilizó la presente ecuación:

$$Tr_i = Tm * r \quad ( 3 )$$

$$Tr_i = 510 Nm * 80$$

$$Tr_i = 40800 Nm$$

El torque ideal en los neumáticos es: 40800 Nm, esto dependió directamente de la relación de transmisión existente entre los engranajes de los mandos finales que es de: 80;1.

Calculando el torque real en los neumáticos motrices ( $Tr_{(real)}$ )

Se usó la siguiente ecuación para este cálculo:

$$Tr_{(real)} = Tr_i * n \quad ( 4 )$$

$$Tr_{(real)} = 40800Nm * 0.85$$

$$Tr_{(real)} = 34680Nm$$

El torque real actuante en los neumáticos motrices llega a ser: 34680Nm, este resulta dependió del rendimiento que desempeña el tractor y es del 85 %.

Hallando la fuerza ideal del tiro d ( $F_i$ )

Se usó la siguiente ecuación para este cálculo:

$$F_i = \frac{Tr_{(real)}}{R} \quad ( 5 )$$

$$F_i = \frac{34680 Nm}{0.8 m}$$

$$F_i = 43350N$$

La fuerza actuante en el tiro es de: 43350 N, este valor depende directamente del diámetro de la llanta motriz (R).

Calculando la fuerza real del tiro ( $F_T$ )

$$F_T = F - Fr \quad (6)$$

$$F_T = 43350N - 7875.5N$$

$$F_T = 35474.5 N$$

Resultados:

La fuerza real de un tractor de 110 HP es: 35474.5 N y servirá para los cálculos siguientes.

#### 4.3.2.2. Cálculos del implemento de corte

Fuerza de corte generado por la cuchilla

Se usó la siguiente ecuación para este cálculo:

$$F = CL \times b \times L \quad (9)$$

Para el cual se tiene:

$$CL = 40 \left( \frac{kgf}{dm^2} \right) \text{ Coeficiente de labranza de terreno suelto}$$

$$b = 350mm \text{ Profundidad de corte}$$

$$L = 800mm \text{ Ancho de la cuchilla}$$

$$F = 40 \left( \frac{kgf}{dm^2} \right) * \left( \frac{10 dm^2}{1m^2} \right)^2 * 0.35 m * 0.8 m$$

$$F = 800 kgf * \frac{9.81 N}{1 kgf}$$

$$F = 10987.2 N$$

Conclusión:

La fuerza de corte del terreno es: 7848N, el tractor es quien tiene que vencer esta fuerza.

#### 4.3.2.3. Cálculos de la transmisión de potencia

- Cálculo de rpm en el eje de accionamiento de cadena

$$n_1 = \frac{N_2 * n_2}{N_1} \quad (46)$$

$$n_2 = \frac{232.14 * 15}{17}$$

$$n_2 = 204.4 \text{ rpm}$$

Conclusión:

Se obtiene una velocidad de 204 rpm el cual hará girar a la cadena transportadora con un *sprocket* motriz de 15 y un *sprocke conducido* de 17 dientes.

- **Cálculo de velocidad y potencia de motor hidráulico**

Las referencias de ingreso tomados corresponden al acceso de fuerza y velocidad del tractor Jhon Deere modelo 6105J de 106 HP.

$Q = 60 \text{ l/min}$  Caudal de la bomba hidraulica

$P = 186 \text{ bar}$  presión de la toma fuerza

$A = 16 \text{ cc}$  Área de desplazamiento de caudal

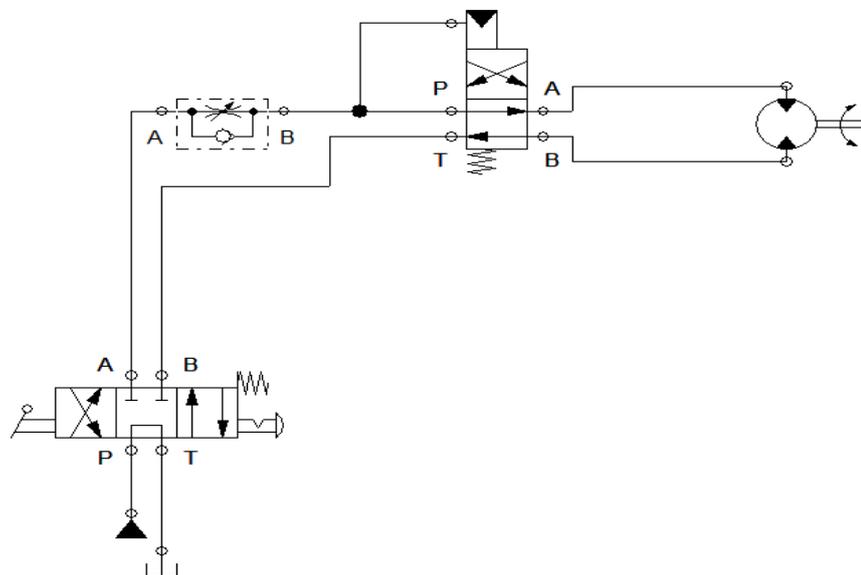


Figura 51. Circuito del motor hidráulico que acciona la cadena transportadora

### Hallando la potencia y velocidad del motor hidráulico

$$Ph = \frac{P * Q}{600} \quad (26)$$

$$V = \frac{Q}{6 * A} \quad (28)$$

$$Ph = \frac{186 * 60}{600}$$

$$Ph = 18.6 \text{ kW}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{60}{6 * 16}$$

$$V_{\text{máx}} = 0.63 \text{ m/s}$$

- Cálculo de potencia de la transportadora «A»

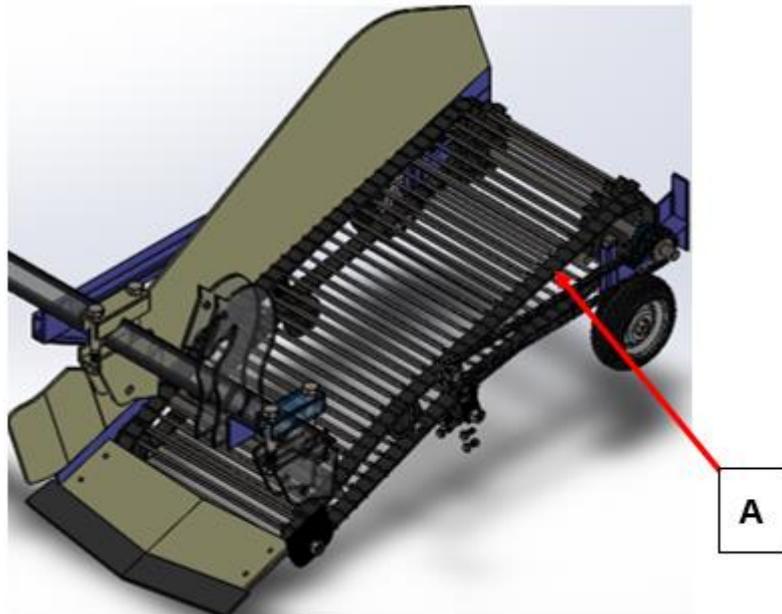
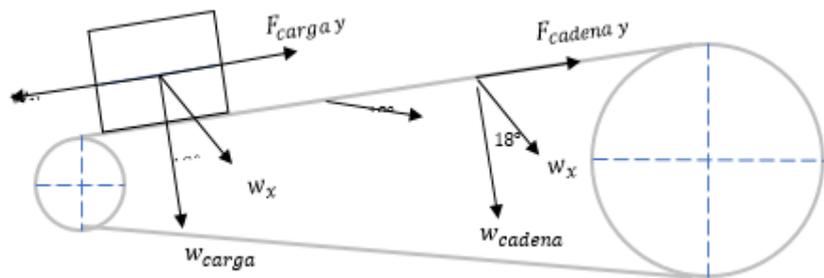


Figura 52. Modelo final de la cosechadora  
dónde: A = cadena transportadora



Hallando el peso y masa que transportara la cadena.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}} \quad (12)$$

**Donde:**

$v = \text{volumen (m)}$

$\delta = \text{densidad (950 kg/m}^3\text{) (terreno)}$

$m = v * \delta$

$m = 0.73 * 0.33 * 0.35 * 950$

$m = 80.099 \text{ kg}$

Hallando el peso de porción del terreno

$w = (k_g - \text{peso})$

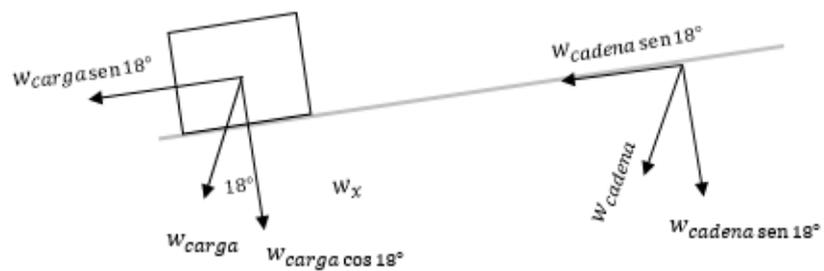
$g = (9,81 \text{ m/s}^2 - \text{gavedad})$

$$w = m * g \quad w = m * g$$

$$w = 80.099 * 9.81 \quad w = 50 * 9.81$$

$$w = 785.77 \text{ N} \quad w = 490.5 \text{ N}$$

Cálculo de aceleración



Cálculo por dinámica

$$\sum F = m * a \quad (15)$$

$$a = \frac{\sum F_x}{m}$$

$$a = \frac{w_{carga} \sin 18^\circ + w_{cadena} \sin 18^\circ}{m_{carga} + m_{cadena}}$$

$$a = \frac{785.77(\sin 18^\circ) + 490.5(\sin 18^\circ)}{80.099 + 50}$$

$$a = 3.03 \text{ m/s}^2$$

Hallando el trabajo y fuerza.

$$F = m * a \quad (14)$$

$$T = F * d \quad (52)$$

**Conociendo:**

$F = \text{fuerza (N)}$

$m = 80.099/50(\text{kg})$  *masa del terreno/masa de cadena*

$d = 1,5(\text{m})$  *distancia que recorre la tierra y papa*

$a = 3,03(\text{m/s}^2)$  *aceleración de la cadena transportadora*

$U = \text{trabajo (Joule)}$

$$F = (80.099 + 50) * 3.03 \quad U = 394.2 * 1.5$$

$$F = 394.2N \quad U = 591.33 J$$

Hallando la potencia:

$$s = s_0 + v_0 * t + \frac{1}{2} a_c * t^2 \quad (16)$$

**Donde:**

$s = \text{desplazamiento (m)}$   $t = \text{tiempo (s)}$

$a_c = \text{aceleración (m/s}^2)$

$$s = \frac{1}{2} a_c * t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2*s}{a_c}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2*1.5}{3.03}}$$

$$t = 0.995 \text{ s.}$$

**Entonces:**

$$P = \frac{W}{t} \quad (17)$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

$$Pot = \frac{591.3}{0.995}$$

$$Pot = 594.27 \text{ w.}$$

$$Pot = 0.8 \text{ HP}$$

Resultados:

La potencia hallada es: 0.8 HP que servirá para mover todas las cargas existentes en la cadena transportadora y también servirá para la deducción de la elección del eje de accionamiento de la cadena.

Elección de cadena «B»

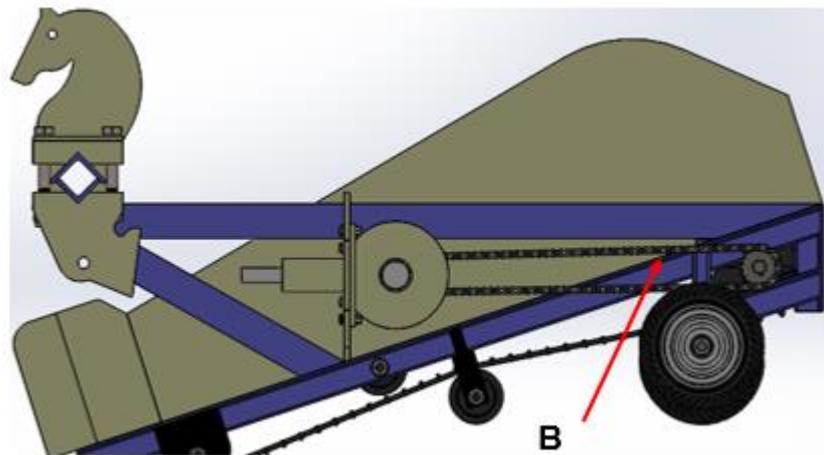


Figura 53. Modelo final de cosechadora  
Dónde: B = cadena 50-H

Los cálculos están con base en una cadena 50-H y un *sprocket* motriz de 15 dientes.

Se usó la siguiente ecuación para este cálculo:

$$H_d = H_{nom} * K_s * n_d \quad (47)$$

$$H_1 = 0.004 * N^{1.08} * n^{0.9} * p^{(3-0.07*p)} \quad (48)$$

$$H_2 = \frac{1000 * K_r * N^{1.5} * P^{0.8}}{n^{1.5}} \quad (49)$$

**Donde:**

$H_d$  = potencia que se debe transmitir

$H_{nom}$  = potencia nominal

$K_s$  = factor de servicio

$n_d$  = factor de diseño

$N$  = número de dientes

$p$  = paso de la cadena

$K_r$  = constante que varía por tipo de cadena por utilizar

$n$  = número de revoluciones

Hallando la potencia transmitida:

**Tabla 17. Coeficiente de factor de servicio**

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

*Nota:* Para la elección del coeficiente a utilizar depende del tipo de impulsor y de carga  
Tomada de Mott (62)

$$H_d = H_{nom} * K_s * n_d$$

$$H_d = 0.8 * 1.4 * 1.2$$

$$H_d = 1.344 \text{ hp}$$

Hallando la resistencia a la fatiga de las placas del eslabón cadena 50 -

$$H_1 = 0.004 * N^{1.08} * n^{0.9} * p^{(3-0.07*p)}$$

$$H_1 = 0.004 * 15^{1.08} * 231.43^{0.9} * 0.625^{(3-0.07*0.625)}$$

$$H_1 = 2.5 \text{ hp}$$

Hallando la potencia nominal de los rodillos.

**Tabla 18. Factor de corrección**

Numero de cadena	Kr
25 a 35	29
41	3.14
40 a 240	17

*Nota:* El factor de corrección Kr varía en relación al número de cadena por utilizar. Tomada de Shigley por Budynas et al. (39)

$$H_2 = \frac{1000 * K_r * N^{1.5} * P^{0.8}}{n^{1.5}}$$

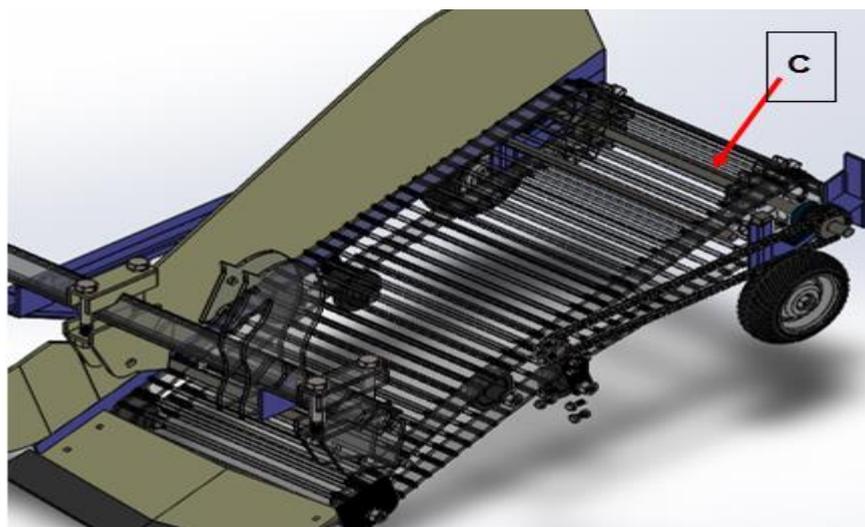
$$H_2 = \frac{1000 * 17 * 15^{1.5} * 0.625^{0.8}}{231.43^{1.5}}$$

$$H_2 = 192.6 \text{ hp}$$

### Resultados:

Dado que la cosechadora está montada sobre un tractor agrícola, el cual es el encargado de entregar la potencia generada por su motor diésel para su accionamiento, el factor de servicio  $K_s$  utilizado para la transmisión de potencia es 1.4, como sistema de protección contra atascos se toma como factor de diseño  $n_d$  el coeficiente de 1.2, esto es para que si hay un atasco se rompa las chavetas y no afecte al motor hidráulico. El tipo de cadena que se utilizara es un 50-H de un torón debido a que este trabajara con una potencia 0,8 HP y con un piñón de arrastre de 15 dientes, el tipo de lubricación que se aplicara a la cadena es tipo A, lubricación manual.

- **Cálculo del eje accionamiento de la cadena transportadora «C»**



*Figura 54 Modelo final de la máquina cosechadora  
Dónde: C = eje de accionamiento*

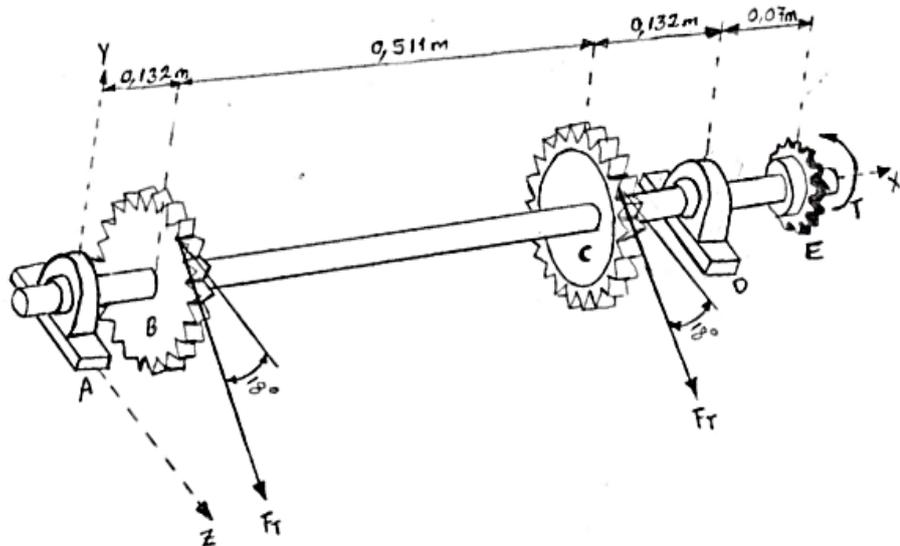


Figura 55 Esfuerzos soportados por el eje de accionamiento

Para calcular el torque a la que está sometido el eje de accionamiento del mecanismo de transporte de papa se utilizó las formulas descritas.

$$Pot = T * \omega \quad (43)$$

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} \quad (44)$$

$$T = F * d \quad (53)$$

**Se tiene:**

$Pot = 594,27N$  Potencia entregada por el tractor

$n_2 = 204,2RPM$  Revoluciones del piñon de arrastre

$$T = \frac{Pot}{\left(\frac{\pi * n}{30}\right)}$$

$$T = \frac{594.27}{\left(\frac{\pi * 204.2}{30}\right)}$$

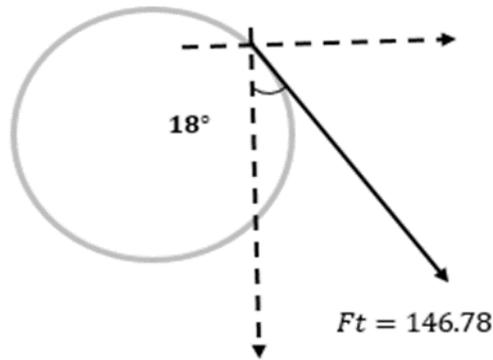
$$T = 27.79 Nm$$

Hallando las fuerzas que actúan en el eje:

Fuerzas actuantes en el piñón de arrastre (B-C)

$$Ftz = Ft * \sin 18^\circ$$

$$Ftz = 394.2 * \sin 18^\circ$$



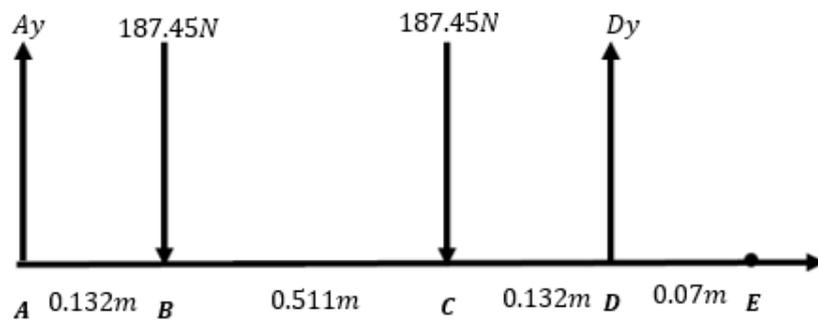
$$F_{tz} = 121.81$$

$$F_{ty} = F_t * \cos 18^\circ$$

$$F_{ty} = 394.2 * \cos 18^\circ$$

$$F_{ty} = 374.9 \text{ N}$$

Hallando los esfuerzos en el eje «X – Y»



$$\sum M_A = 0$$

$$-(187.45 * 0.132) - (187.45 * 0.643) + (Dy * 0.775) = 0$$

$$Dy = 187.45 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$Ay - 187.45 - 187.45 + Dy = 0$$

$$Ay + Dy = 374.9 \text{ N}$$

$$Ay = 374.9 \text{ N} - 187.45 \text{ N}$$

$$Ay = 187.45 \text{ N}$$

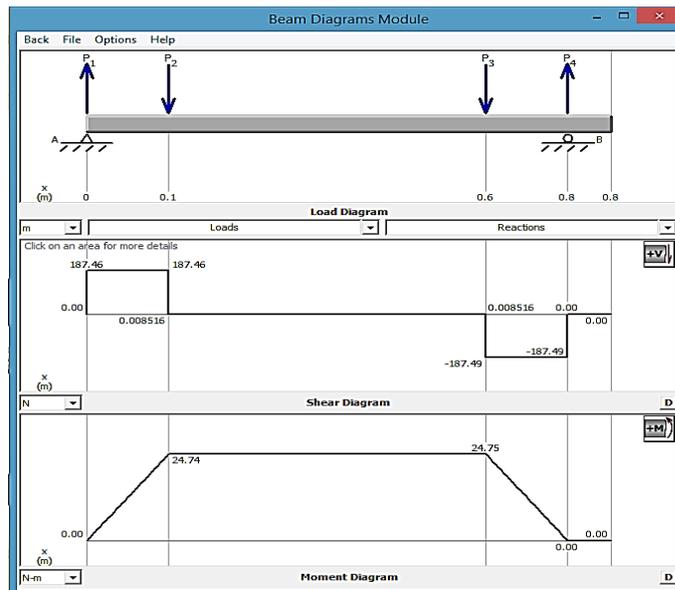
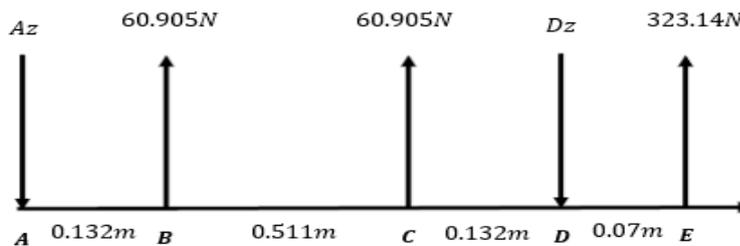


Figura 56. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en los ejes X-Y Tomada de «MD Solid»

Hallando los esfuerzos actuantes en el eje X Z



$$\sum MA = 0$$

$$(60.905 * 0.132) + (60.905 * 0.643) - (D_z * 0.775) + (323.14 * 0.845) = 0$$

$$D_z = 413.23\text{ N}$$

$$\sum FZ = 0$$

$$-A_z + 60.905 + 60.905 - D_z + 323.14 = 0$$

$$-A_z - D_z = -444.95$$

$$-A_z = -444.95 + 413.23$$

$$A_z = 31.72\text{ N}$$

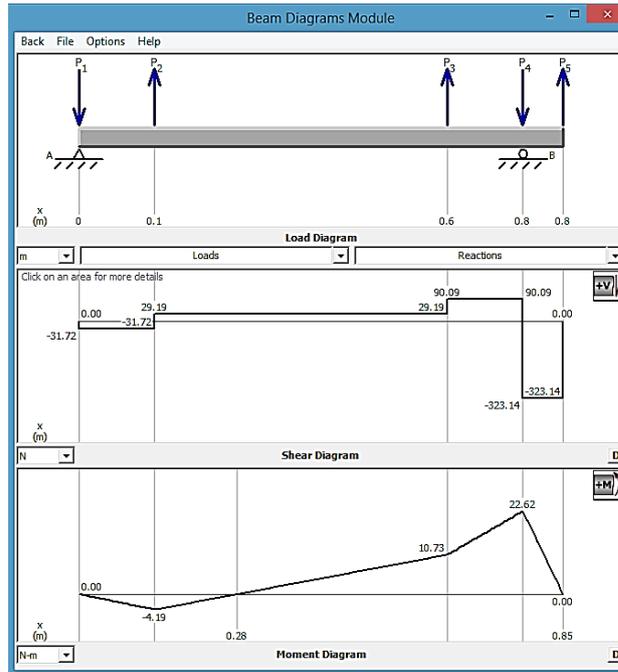


Figura 57. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en los ejes X-Z Tomada de «MD Solid»

### Definiendo el momento máximo:

Tabla 19. Resultado de momentos actuantes en el eje de arrastre

Nodo	A	B	C	D	E
<i>Plano(X Y)</i>	–	24,74 Nm	24,74 Nm	–	–
<i>Plano(X Z)</i>	–	–4,19 Nm	10,73 Nm	22,62 Nm	–
<b>Momento Maximo</b>	–	25,09 Nm	<b>26,96 Nm</b>	22,62 Nm	–
			$\sqrt{(Mxy)^2 + (Mxz)^2}$		

Nota: El nodo C es el punto en donde hay una mayor carga con un torque de 26.96 Nm.

- **Calculando el material y diámetro del eje de accionamiento**

Se utilizan los datos obtenidos anteriormente:

Momento máximo = 26.96 Nm

Torque = 27.79 Nm

Material = acero 1010

Sg = 180 MPa

Sut = 320 MPa

Fs = 3 impacto moderado

Calculando esfuerzo de concentración von-Misses

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{\text{resistencia a la fluencia}}{\text{esfuerzo admisible}} \quad (23)$$

$$\sigma' = \frac{Sy}{Fs}$$

$$\sigma' = \frac{180}{3}$$

$$\sigma' = 60 \text{ Mpa}$$

Hallando con un diámetro tentativo de = 20 mm

$$\frac{r}{d} = 0.02$$

$$r = 0.02 * 20$$

$$r = 0.4 \text{ mm}$$

Con este resultado se busca en hallar  $q$  y  $q_c$

Con la ecuación de la teoría de concentración de esfuerzos ASME-elíptica calculamos el diámetro del eje.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f * M}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} * T}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (21)$$

Calculando los factores de concentración de esfuerzos por flexión y torsión.

$$KF = 1 + q(Kq - 1) \quad (19)$$

$$KF = 1 + 0.5(2.7 - 1)$$

$$KF = 1.85$$

$$KFs = 1 + qc(KTs - 1) \quad (20)$$

$$KFs = 1 + 0.59(2.2 - 1)$$

$$KFs = 1.708$$

$K_t$  y  $K_{ts}$ ; toman valores de filete de hombro agudo.

Calculando el factor de modificación:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e \quad (54)$$

$$K_c, K_d, K_e, K_f = 1$$

Factor de modificación por la condición superficial

$$K_a = a * S_{ult}^b$$

Los resultados de a y b salen del proceso de manufacturado de maguñado o laminado en frío.

$$K_a = 4.51 * 320^{-0.265}$$

$$K_a = 0.978$$

Factor de modificación por su tamaño

$$K_b = 1.24 * d^{-0.107}$$

$$K_b = 0.899$$

Límite de resistencia a una viga rotatoria

$$S'_e = 0.5 * S_{ult}$$

$$S'_e = 0.5 * 180$$

$$S'_e = 90 \text{ Mpa}$$

$$S_e = K_a * K_b * S'_e$$

$$S_e = 0.978 * 0.899 * 90$$

$$S_e = 79.13 \text{ MPa}$$

Reemplazando en la ecuación inicial

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f * M}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} * T}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (21)$$

Resultados:

Se obtuvo un diámetro de 27 mm, se debe tener en cuenta que en el mercado hay diámetros estándares por lo que se tiene que comparar de acuerdo con la tabla el más cercano posible que es 28.575, ( $1 \frac{1}{8}$  ") y 31.75 ( $1 \frac{1}{4}$  ").

Para hallar el diámetro exacto debemos tener en cuenta las dimensiones estándares de los cojinetes.

- **Selección de chumaceras (A-D)**

Se cogen los resultados de las ecuaciones realizadas en los planos (X; Y) y (X; Z) siendo los nodos AyD los puntos donde se va apoyar el rodamiento, se toman lo valores de las fuerzas actuantes en ese punto.

$$n = 204.4 \text{ rpm revoluciones del } sprocket \text{ conducido}$$

$$Ln = 8000 \text{ horas}$$

Capacidad de carga dinámica

$$L_{10} = \left( \frac{Cr}{Pr} \right)^3 \quad (38)$$

$$Pr = X * Fr + Y * Fa \quad (39)$$

$$Fact. = fw * F \quad (40)$$

$$Fr = Fact * Fz \quad (41)$$

**Donde:**

$L_{10}$  = vida normal básica  $Fact.$  = carga actual

$Pr$  = carga radial dinámica  $X = 1$

$Fr$  = fuerza real  $Fz$  = factor de cadena

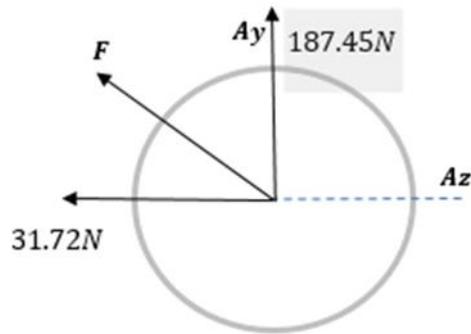
$fw = 1.35$  = factor de carga

**Chumacera en el nodo «A»**

$$F = \sqrt{Az^2 + Ay^2}$$

$$F = \sqrt{-31.72^2 + 187.45^2}$$

$$F = 190.11N$$



**Calculando la fuerza real:**

$$Fr = (fw * F) * Fz$$

$$Fr = (1.35 * 190.11) * 1.2$$

$$Fr = 307.99 N$$

Hallando la carga radial nodo «A»

$$Pr = X * Fr + Y * Fa$$

$$Pr = 1 * 307.99 N$$

$$Pr = 307.99 N$$

Hallando la carga dinámica nodo «A»

$$L_{10} = \left(\frac{Cr}{Pr}\right)^3$$

$$Cr = (L_{10})^{1/3} * Pr$$

$$Cr = (8000)^{1/3} * 307.99$$

$$Cr = 6.16 KN$$

Capacidad de carga estática nodo «A»

$$S_o = \frac{C_{or}}{P_{or}} \quad (42)$$

$S_o$  = factor de seguridad

$P_{or}$  = Fr si no hay carga axial

$$C_{or} = P_{or} * P_{or}$$

$$C_{or} = 1 * 307.99 \text{ N}$$

$$C_{or} = 0.31 \text{ KN}$$

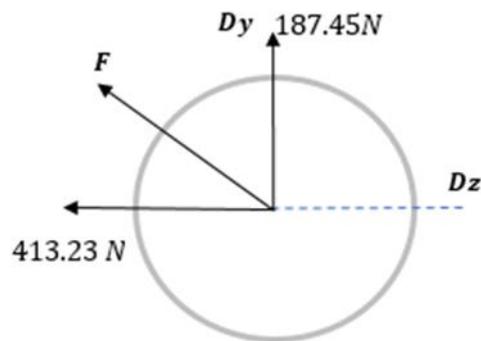
Se utilizó la carga dinámica « $C_r = 15 \text{ KN}$ » y una carga estática « $C_{or} = 11.3 \text{ KN}$ », y se determinó que el diámetro del rodamiento en la pista interna de la chumacera es de 30 mm.

### Chumacera en el punto D

$$F = \sqrt{Dz^2 + Dy^2}$$

$$F = \sqrt{187.45^2 + 413.23^2}$$

$$F = 453.76 \text{ N}$$



Los factores que fueron utilizados para hallar la fuerza real en el nodo «A». serán las mismas para hallar la fuerza real actuante en el nodo «D».

Calculando la fuerza real

$$Fr = Fact * Fz \quad (41)$$

$$Fr = (fw * F) * Fz$$

$$Fr = (1.35 * 453.76) * 1.2$$

$$Fr = 735.1 \text{ N}$$

Hallando la carga radial en el nodo «D» (no se tiene carga axial)

Hallando la carga radial

$$Pr = X * Fr + Y * Fa \quad (39)$$

$$Pr = X * Fr + Y * Fa$$

$$Pr = 1 * 735.1 \text{ N}$$

$$Pr = 735.1 N$$

Hallando la carga dinámica en el nodo «D»

$$L_{10} = \left( \frac{Cr}{Pr} \right)^3 \quad (38)$$

$$Cr = (L_{10})^{1/3} * Pr$$

$$Cr = (8000)^{1/3} * 735.1 N$$

$$Cr = 14.7 KN$$

Al igual de los cálculos que realizamos en la fuerza real se tomaron los datos actuantes en el nodo «A» también serán usados para calcular la carga dinámica en el nodo «D».

$$S_o = \frac{C_{or}}{P_{or}} \quad (42)$$

$$C_{or} = S_o * P_{or}$$

$$C_{or} = 1 * 735.1 N$$

$$C_{or} = 0.74 KN$$

Con base a los cálculos obtenidos la carga estática « $C_{or}$ » y la carga dinámica « $Cr$ », y concluyendo que estos datos están debajo de los datos de la tabla de selección e chumaceras, donde  $Cr = 15 KN$  y  $C_{or} = 11.3 KN$ , por lo que, se determina las medidas de la chumacera a utilizar.

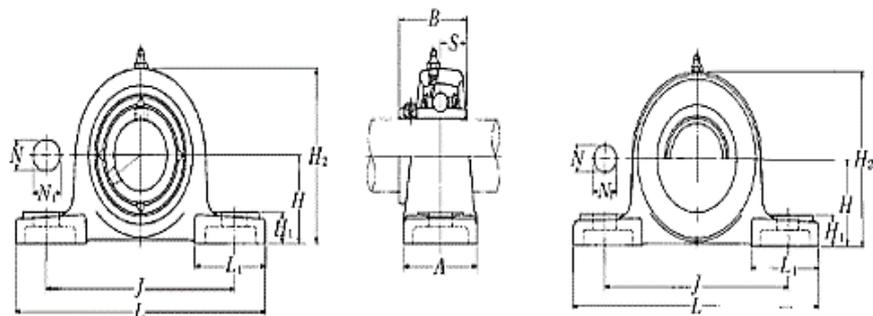


Figura 58. Especificaciones de chumaceras de pie  
Tomado de NTN corporation (50)

$$\rightarrow H = 42.9 mm \rightarrow H_1 = 13 mm$$

$$\rightarrow L = 155 mm \rightarrow H_2 = 82 mm$$

$$\rightarrow J = 121 mm \rightarrow L_1 = 54 mm$$

$$\rightarrow A = 36 mm \rightarrow B = 38.1 mm$$

$$\rightarrow N = 17 \text{ mm} \rightarrow S = 15.9 \text{ mm}$$

$$\rightarrow N_1 = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro de eje} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro de perno} = M14$$

Se obtiene el diámetro de la chumacera que es  $30 \text{ mm}$ , y se puede deducir que el eje calculado será igualado al diámetro del rodaje de la chumacera.

#### • Cálculo de chaveta

Las dimensiones de la chaveta depende del diámetro del eje donde va a ser instalado, teniendo este un diámetro de eje ( $30 \text{ mm}$ ), se calcula la longitud ( $L$ ), alto ( $h$ ) y el ancho ( $w$ ), el tipo de material a utilizar en su mecanizado, considerando que este material tiene que ser igual o menor a la resistencia de fluencia del material del eje donde va a ser instalado con el objetivo de cuidar la máquina de posibles atascos, esto quiere decir que, la chaveta es el fusible de la máquina.

Recopilación de datos.

- Torque =  $27.79 \text{ Nm}$
- Diámetro =  $30 \text{ mm}$
- $w = 10 \text{ mm}$
- $h = 8 \text{ mm}$
- Material = Acero 1010
- $S_y = 180 \text{ MPa}$
- $F_s = 2$

Cálculo de la longitud por esfuerzo cortante.

$$L \geq \frac{f_s(2T)}{d \cdot w(0,577)S_y} \quad (29)$$

$$L \geq \frac{2(2 \cdot 27.79)}{(0.03) \cdot (0.01) \cdot (0.577) \cdot (180 \cdot 10^6)}$$

$$L \geq 3.56 \cdot 10^{-3}$$

$$L \geq 4 \text{ mm}$$

Cálculo de la longitud por aplastamiento.

$$L \geq \frac{(4T) \cdot f_s}{d \cdot h \cdot S_y} \quad (30)$$

$$L \geq \frac{(4 \cdot 27.29) \cdot 2}{(0.03) \cdot (0.008) \cdot (18 \cdot 10^6)}$$

$$L \geq 5.5 \cdot 10^{-3} m$$

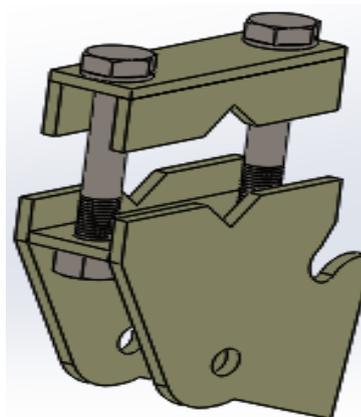
$$L \geq 6 \text{ mm}$$

Resultados:

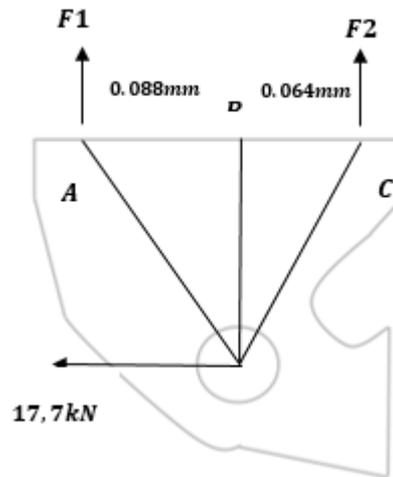
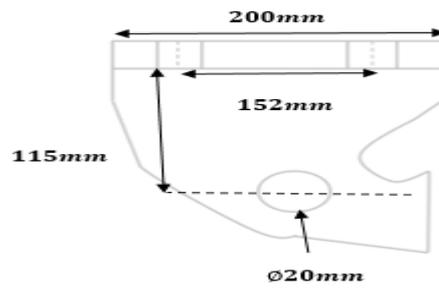
Se determina lo siguiente:

- Se utiliza un material SAE-1010 para el mecanizado del eje y este tendrá un diámetro de 30 mm.
- Las chumaceras serán del mismo diámetro interior de 30 mm y estarán fijadas por unos pernos M14 a los extremos del eje.
- Para fijar los piñones de arrastre y el eje, se utilizarán unas chavetas planas ( $w = 10 \text{ mm}$ ;  $h = 8 \text{ mm}$  y  $L = 6 \text{ mm}$ ) del mismo material que el eje.
- La modelación de la máquina en el software CAD se basará en los datos obtenidos.

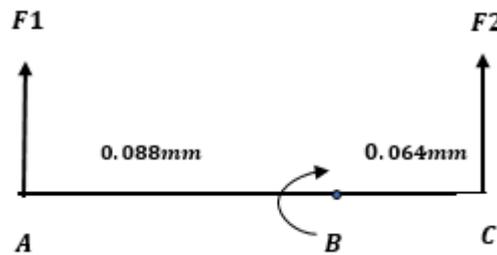
- **Selección de perno de anclaje**



*Figura 59. Punto de anclaje inferior*



Cálculo de las fuerzas actuantes en los pernos F1 y F2



$$\begin{aligned} \sum F_y = 0 \quad \sum M_y = 0 \\ F1 = -87.04 \text{ KN} - 13.23 + F2 * 0.152 = 0 \\ F1 = 87.04 \text{ KN} \quad F2 = 87.04 \text{ KN} \end{aligned}$$

Resultados:

El esfuerzo al cual estará sometido el perno es de 87.04 KN, por lo tanto, este dato es considerado para elegir la clase y calidad de perno que se utilizará.

$$\sigma' = \frac{P}{A_b} \quad (31)$$

$$F_i = 0.9 * At * Sp \quad (32)$$

Al comparar los datos obtenidos con los parámetros de los pernos de la tabla 36 se elige un perno de clase «5.8» con una resistencia ultima de « $Sp = 380MPa$ ».

$$At = \frac{F_i}{Sp*0.9}$$

$$At = \frac{87.04*10^3}{380*10^3*0.9}$$

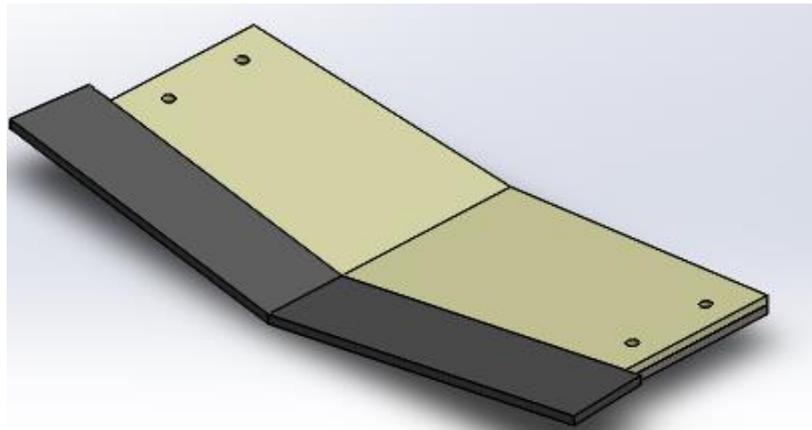
$$At = 2.55 * 10^{-4} m^2$$

#### **Resultados:**

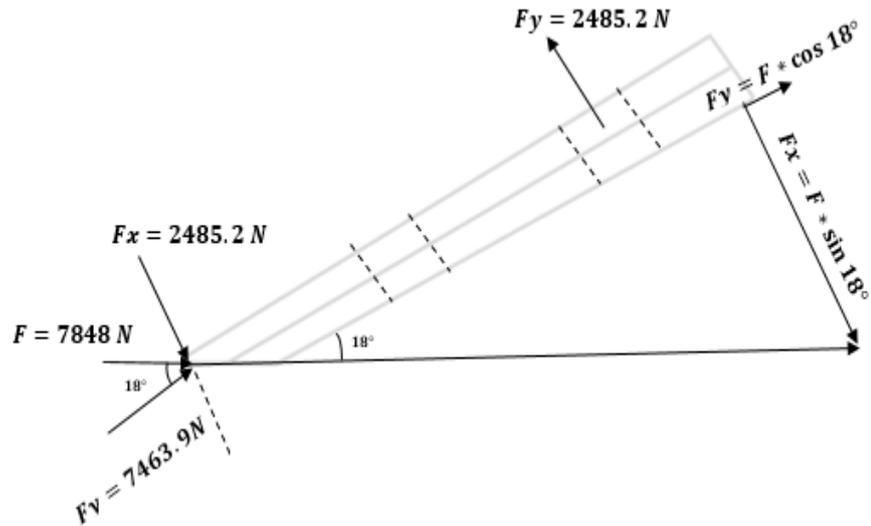
Se verifica en la tabla 36, utilizando el área calculada del esfuerzo de tensión « $At = 255 mm^2$ » se obteniendo que el perno idóneo es un M-24 al que le corresponde un  $At = 353 MPa$ .

Por lo que se afirma que los pernos de sujeción a utilizar serán: M24\*250 mm de resistencia de 5,8.

- **Selección de pernos para la cuchilla de corte**



*Figura 60. Selección de pernos para la cuchilla de corte*



Selección de perno por tracción

$$F = Ft * Fs$$

$$F = 2425.5 * 6$$

$$F = 14.6 \text{ KN}$$

$$F_i = 0.9 * At * Sp \quad (32)$$

Teniendo un perno de grado 5,8 que tiene una resistencia ultima de « $Sp = 380 \text{ MPa}$ » se halla el área del perno que estará expuesto al esfuerzo a la tensión.

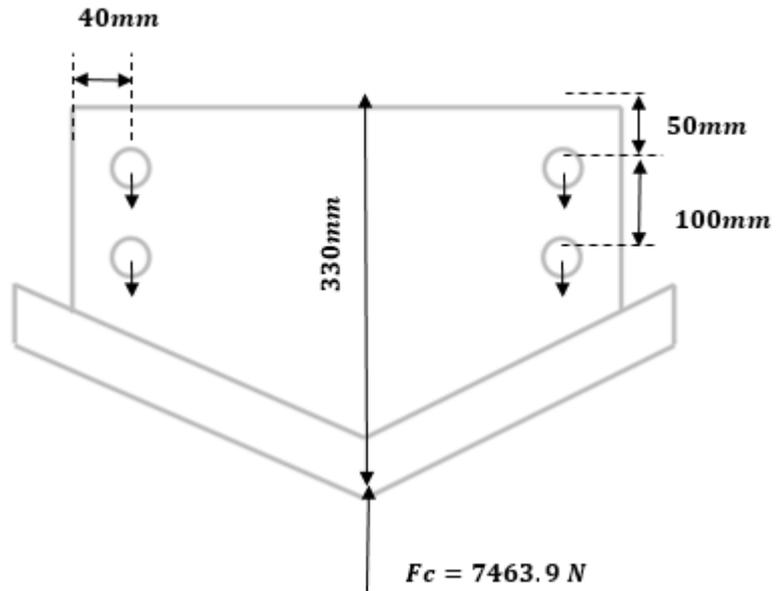
$$At = \frac{F_i}{Sp * 0.9}$$

$$At = \frac{14.6 * 10^3}{380 * 10^{-6} * 0.9}$$

$$At = 8.2 * 10^{-6} \text{ mm}^2$$

$$At = 8.2 \text{ mm}^2$$

Concluyendo que, respecto al esfuerzo de tracción que va a estar sometido el perno, la medida correcta a elegir es un M4\*70 mm.



$$F = F_c * F_s$$

$$F = 7463.9 * 6$$

$$F = 44.8 \text{ KN}$$

$$\sum F_v = 0$$

$$4v = 44.8$$

$$v = 11.2 \text{ KN}$$

$$\tau = \frac{F_c}{A_s} \quad (33)$$

$$\tau = \frac{0.577 * S_y}{F_s} \quad (34)$$

Teniendo un perno de grado 5,8 que tiene una resistencia ultima de « $S_y = 420 \text{ MPa}$ » se halla el área superficial del perno que estará expuesto al esfuerzo de corte.

$$\frac{F_c}{A_s} = \frac{0.577 * S_y}{F_s}$$

$$A_s = \frac{F_c * F_s}{0.577 * S_y}$$

$$As = \frac{11.2 \cdot 10^3 \cdot 2}{0.577 \cdot 420 \cdot 10^6}$$

$$As = 9.24 \cdot 10^{-5}$$

$$As = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot As}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 9.24 \cdot 10^{-5}}{\pi}}$$

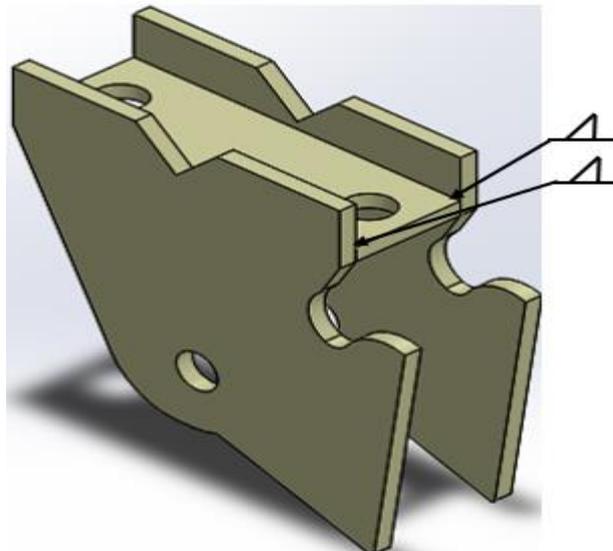
$$D = 11 \text{ mm}$$

Como en el mercado no se encuentra un perno M11, se opta por un perno M-12\*1.75.

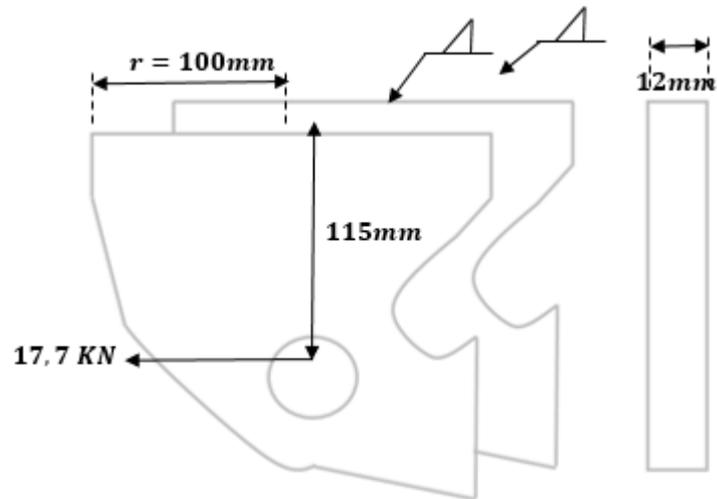
#### **Resultados:**

«Se utiliza un perno M12\*. Concluyendo que la fuerza de tracción a los que están expuestos los pernos es menor que la fuerza de corte, los pernos adecuados para la sujeción de la cuchilla de corte son un M12\*1.75” de grado de resistencia de 5,8».

- **Selección de electrodos**



*Figura 61. Selección de electrodo para la soldadura*



$h =$  altura de cordón

$$F = V = 17.7 \text{ KN}$$

$$d = 200 \text{ mm}$$

Se aplica un cordón de 4 mm de altura.

Para 2 cordones en paralelo

$$A = 1.414 * h * d$$

$$A = 1.414 * 4 * 200$$

$$A = 1131.2 \text{ mm}^2$$

$$I_u = \frac{d^3}{6} \text{ (Tabla 36)}$$

$$I_u = \frac{200^3}{6}$$

$$I_u = 1333333.33 \text{ mm}^3$$

$$I = 0.707 * h * I_u$$

$$I = 0.707 * 4 * 1333333.33$$

$$I = 3770666.67 \text{ mm}^4$$

Calculado el corte primario « $\tau'$ »

$$\tau' = \frac{V}{A}$$

**Donde:**

**V** = fuerza de corte "Fc"

**A** = área de la costura

$$\tau' = \frac{17.7 \cdot 10^3 \text{ N}}{1131.2 \text{ mm}^2}$$

$$\tau' = 15.65 \text{ Mpa}$$

Calculando el corte secundario.

$$\tau'' = \frac{M * r}{I}$$

**Se tiene:**

*r* = distancia entre centro del cordón

*M* = momento

*I* = área de momento unitario

$$\tau'' = \frac{17.7 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 115 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}}{3770666.67 \text{ mm}^4}$$

$$\tau'' = 53.98 \text{ Mpa}$$

**Calculando la magnitud de corte:**

$$\tau = \sqrt{(\tau'^2 + \tau''^2)}$$

$$\tau = \sqrt{(15.65'^2 + 53.98''^2)}$$

$$\tau = 56.2 \text{ Mpa}$$

El cordón de soldadura está expuesto a una fuerza de corte de 56.2 Mpa.

Hallando el factor de seguridad del cordón de soldadura por esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{0.577 * S_y}{F_s} \quad (34)$$

**Donde:**

$S_y$  = valor de la resistencia ultima de un electrodo E – 70

$$F_s = \frac{0.577 * S_y}{\tau}$$

$$F_s = \frac{0.577 * 393 \text{ Mpa}}{56.2 \text{ Mpa}}$$

$$F_s = 4.03$$

Hallando el factor de seguridad del material ASTM-A36

$$\sigma' = \frac{P}{A_b} \quad (31)$$

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{\text{resistencia a la fluencia}}{\text{esfuerzo admisible}} \quad (23)$$

**Donde:**

$M$  = momento de inercia

$b$  = espesor de la plancha

$d$  = longitud de cordón de soldadura

$S_y$  = resistencia ultima ASTM A-36

Espesor:

$$b = 12 \text{ mm}$$

$$d = 200 \text{ mm}$$

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

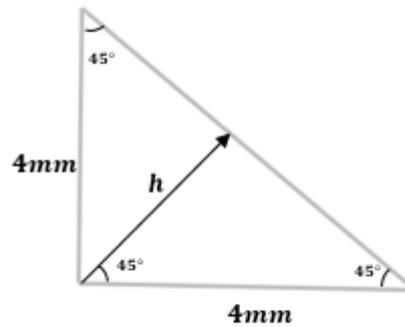
Uniendo las fórmulas 30 y 22:

$$F_S = \frac{S_y}{\left[ \frac{M}{\left( \frac{b \cdot d^2}{6} \right)} \right]}$$

$$F_S = \frac{250 \text{ Mpa}}{\left[ \frac{17.7 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 115 \text{ mm}}{\left( \frac{12 \cdot 200^2}{6} \right)} \right]}$$

$$F_S = 9.83$$

Hallando la altura de la garganta del cordón de soldadura.



$$\cos 45^\circ = \frac{Ca+h}{H}$$

$$h = \cos 45^\circ * 4$$

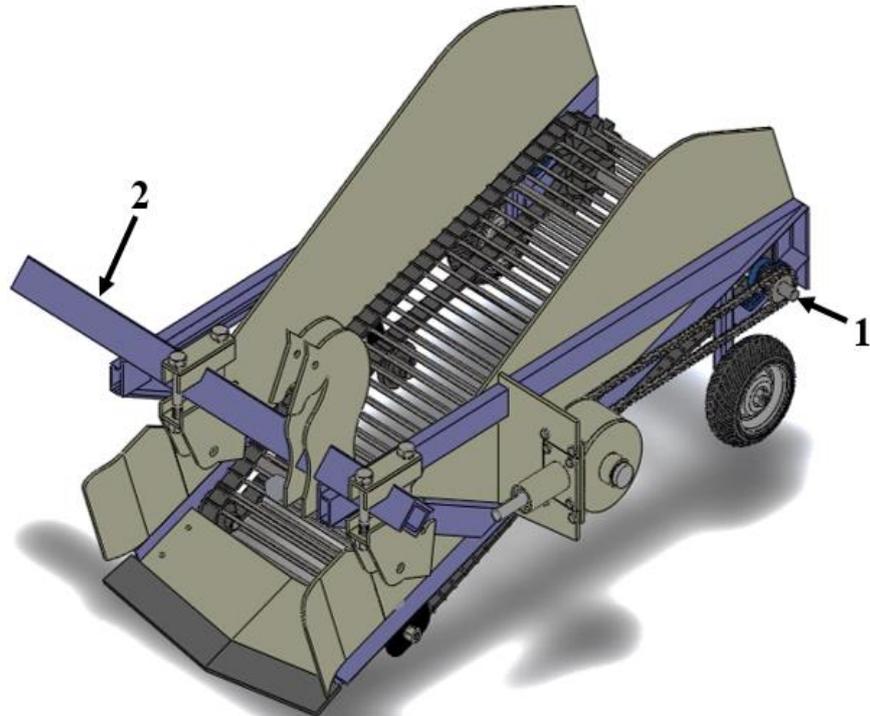
$$h = 2.82 \text{ mm}$$

#### Resultados:

En el cordón de la soldadura el factor de seguridad actuante es de 4 y sobre las placas es 9, estos valores fueron calculados con un electrodo revestido E-70, el cordón debe de tener una altura de 4 mm y la altura del cuello es de 2,82 mm.

#### 4.3.3. Modelamiento CAD

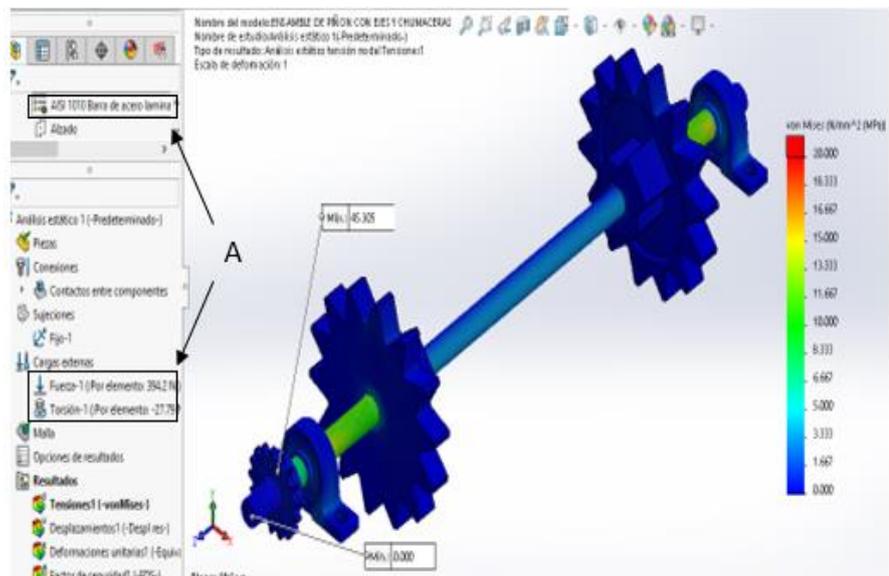
El modelamiento CAD se desarrolló tomando los datos obtenidos por los cálculos realizados para poder validar como se puede observar en la figura 62.



**Figura 62. Modelo final de Cosechadora de papa**  
 Dónde: 1 = eje de accionamiento de transportador; 2 = anclaje de tres puntos

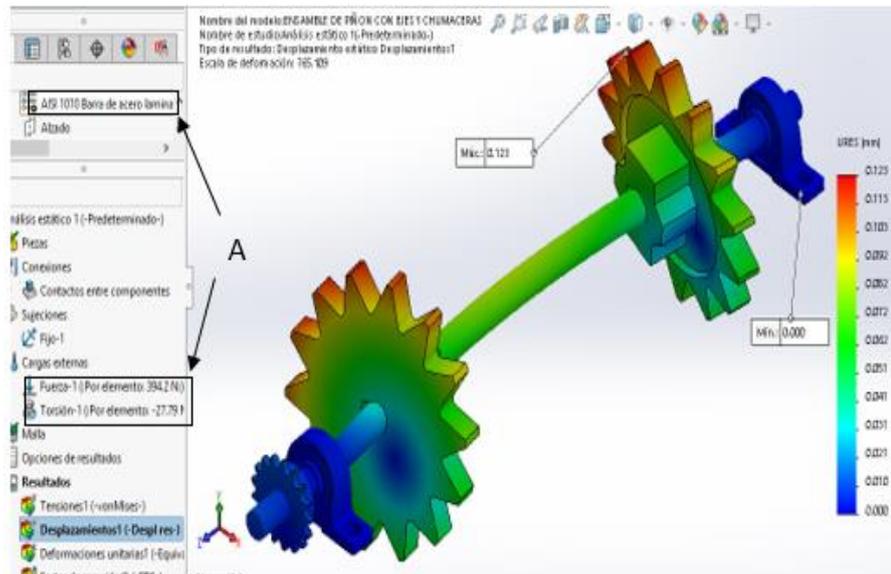
#### 4.3.3.1. Modelamiento de eje de arrastre «1» (punto crítico de la máquina)

- Esfuerzos de von Mises



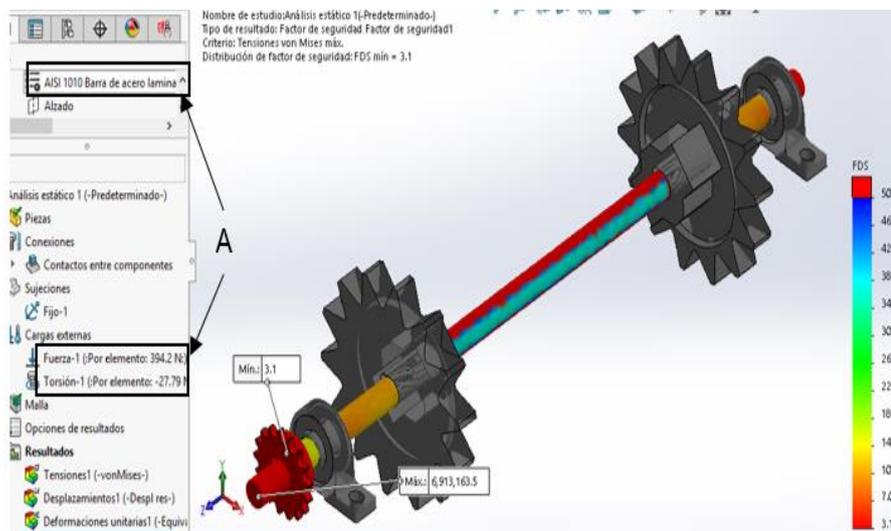
**Figura 63. Modelamiento CAD del esfuerzo por von Mises del eje que accionará la cadena transportadora de papa**  
 Dónde: A= material y fuerzas para la simulación

- Deformación



**Figura 64. Modelamiento CAD de la deformación que sufre el eje que accionará la cadena transportadora de papa**  
**Dónde: A = material y fuerzas para la simulación**

- Factor de seguridad



**Figura 65. Modelamiento CAD del factor de seguridad del eje que accionará la cadena transportadora de papa**  
**Dónde: A = material y fuerzas para la simulación**

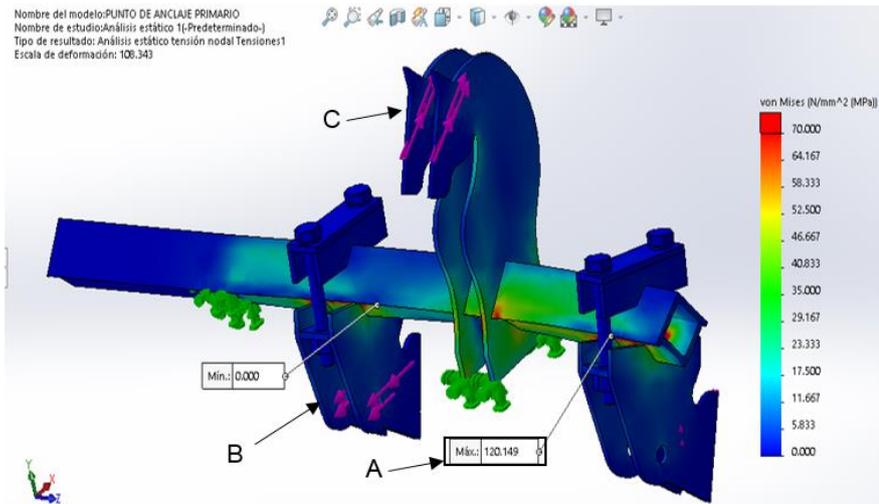
- **Nota**

En la simulación, la tensión de von Mises fue 45,3 MPa, tal y como se visualiza en la figura 63, lo cual es consistente con el cálculo analítico, y el componente se sometió a una deformación de 0,12 mm, mostrada en la figura 64, es decir, el punto mínimo de referencia no sería un problema y, finalmente, el factor de seguridad que fue asumido para la elección del eje que accionara la cadena transportadora mediante los cálculos de analíticos se obtuvo un valor de 3, mientras que el simulador CAD nos proporciona un valor de 3,1, como se muestra en la figura 65.

Se utilizará un material SAE-1010 para la fabricación del eje de arrastre, ya que los cálculos matemáticos y los datos obtenidos en el modelamiento están aproximados.

#### 4.3.3.2. Modelamiento de anclaje de tres puntos

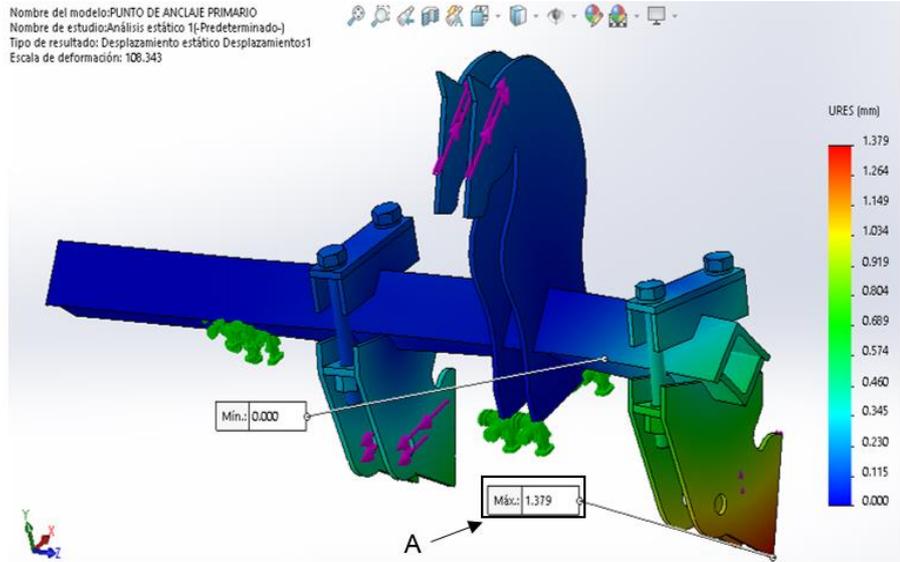
- **Esfuerzo de von Mises**



**Figura 66. Modelamiento CAD del esfuerzo de von Mises del anclaje de tres puntos**

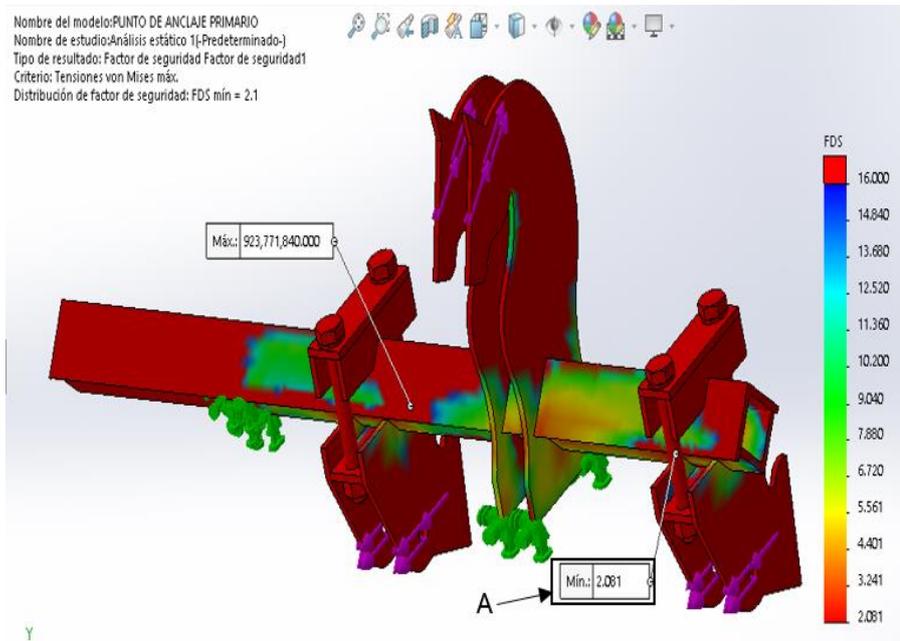
**Dónde: A = área donde el esfuerzo de von Mises es el máximo; B = anclaje inferior; C = anclaje superior**

- **Deformación**



**Figura 67. Modelamiento CAD de la deformación que sufre el anclaje de tres puntos**  
 Dónde: A = área donde el desplazado debido a las cargas aplicadas es el máximo

- **Factor de seguridad**



**Figura 68. Modelamiento CAD del factor de seguridad del anclaje de tres puntos**  
 Dónde: A = área donde el valor de factor de seguridad es el mínimo

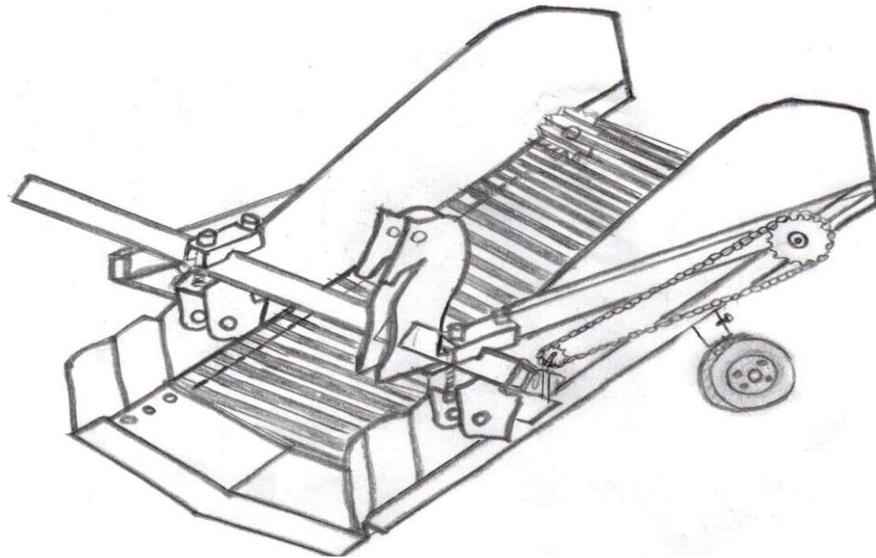
- **Nota**

Hay 2 fuerzas actuantes en el anclaje de 3 puntos, «punto B» es la fuerza del tractor que tira de la cosechadora y la fuerza de corte es la fuerza que se opone al «punto C», mostrados en la figura 66. Ambos se calculan en el capítulo 4.

La deformación que presenta la máquina e los puntos más críticos, exactamente en el área donde se aplican las fuerza es de 1.38 mm, este valor es insignificante ya que se presenta en puntos donde la deformación no afecta el funcionamiento de la máquina, el factor de seguridad calculado con el obtenido en la simulación es de 2 y 2,8 siendo estos aceptables para trabajar con un acero ASTM A-36.

#### 4.3.4. Diseño definitivo

En la figura 69 muestra el boceto de la máquina a diseñar:



*Figura 69. Boceto final de la máquina cosechadora de papa*

La opción de solución 1 fue la alternativa que satisfizo todas nuestras necesidades para el desarrollo del prototipo, es por lo que se precede a la fabricación del prototipo.

## CAPÍTULO V FABRICACIÓN

### 5.1. Fabricación

#### 5.1.1. Instrucciones de fabricación

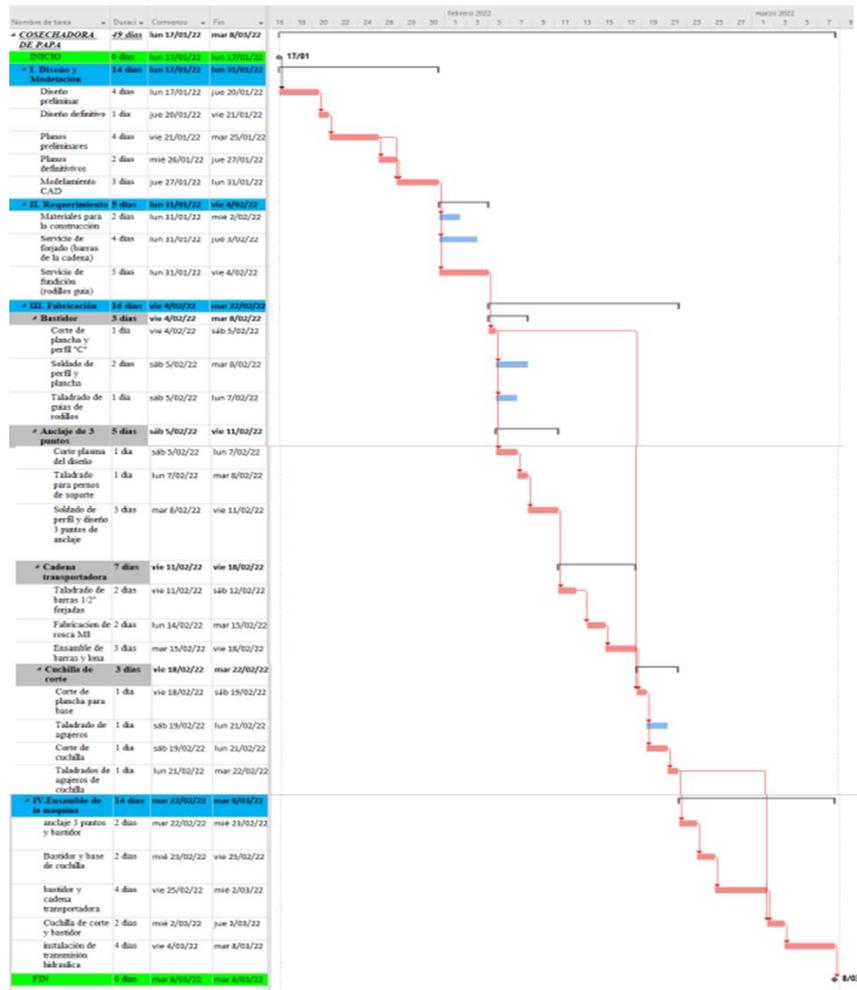


Figura 70. Instrucciones de fabricación

## 5.1.2. Planos de fabricación

### 5.1.2.1. Modelo definitivo

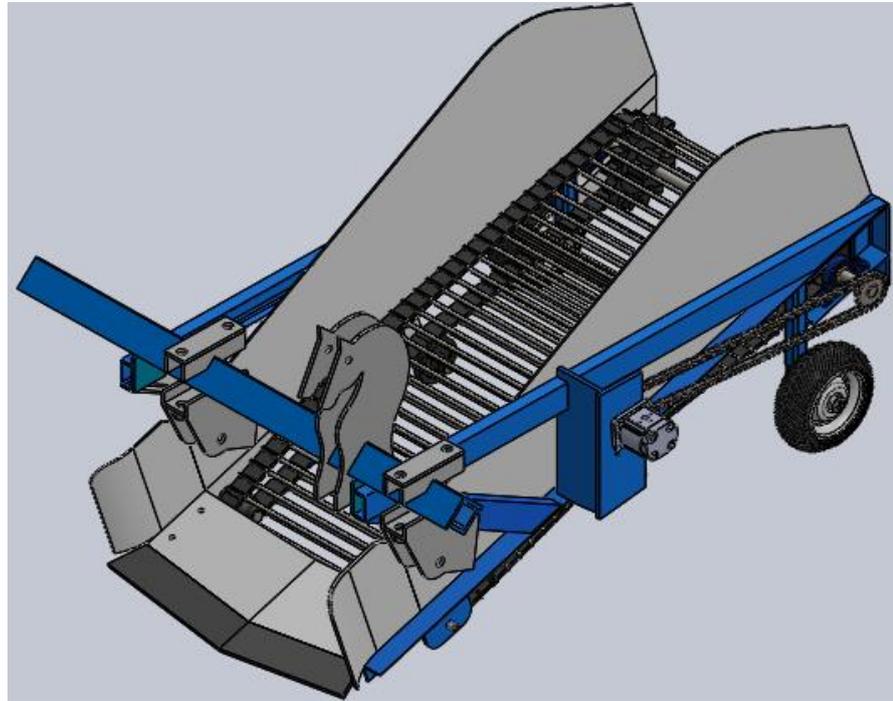


Figura 71. Diseño definitivo de la máquina cosechadora

### 5.1.2.2. Plano de explosión de bastidor

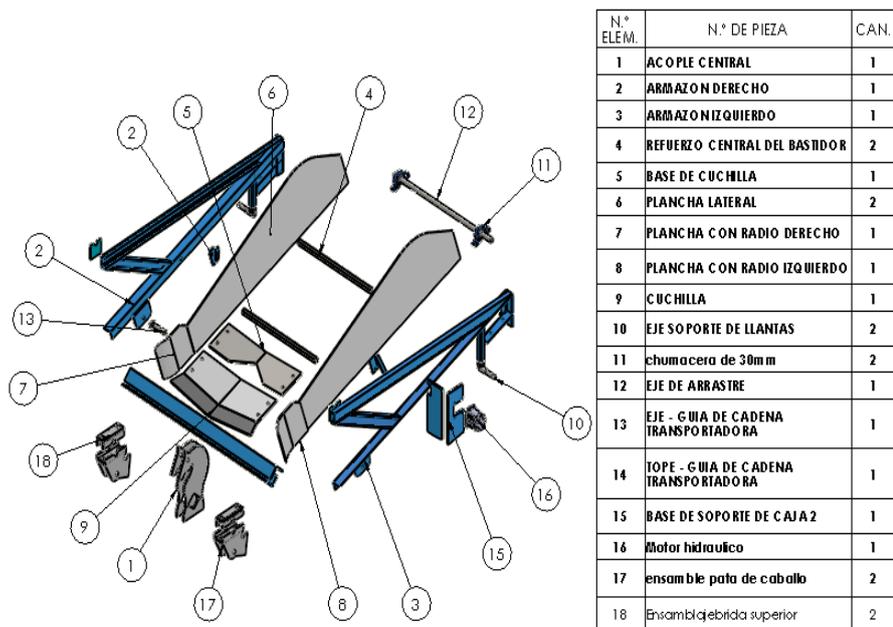
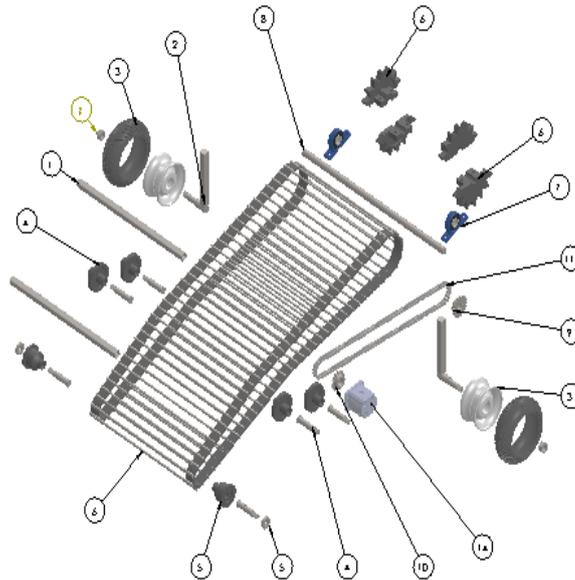


Figura 72. Detalles explosionados del bastidor del prototipo

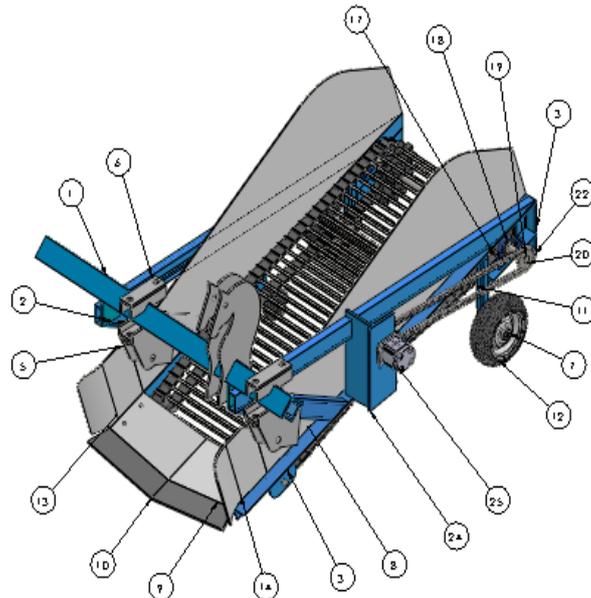
### 5.1.2.3. Plano de explosión de cadena transportadora



N.º	N.º DE PIEZA	CANT.
1	REFUERZO CENTRAL DEL BASTIDOR	2
2	EJE SOPORTE DE LLANTAS	2
3	Ensamblaje de llanta	2
4	RUEDA BATIDORA	4
5	TROMPO GUIA	2
6	ENSAMBLAJE DE CADENA TRANSPORTADORA	1
7	chumacera de 30mm	2
8	EJE DE ARRASTRE DE LA CADENA TRANSPORTADORA	1
9	SPROCKET 2- 17	1
10	SPROCKET 2- 15	1
11	ENSAMBLAJE DE CADENA DE TRANSMISION DE POTENCIA	1
12	tuercas m24	2
13	PERNO ARANDELA M-12	4
14	Motor Hidraulico	1

Figura 73. Detalle del explosionado de la cadena transportadora

### 5.1.2.4. Plano de ensamblado de la máquina



N.º	N.º DE PIEZA	CANT.
1	ACOPLE CENTRAL	1
2	ARMAZON DERECHO	1
3	ARMAZON IZQUIERDO	1
4	REFUERZO CENTRAL DEL BASTIDOR	2
5	ensamble para de caballo	2
6	Ensamblaje de llanta superior	2
7	tuercas m24	6
8	PLANCHA LATERAL	2
9	BASE DE CUCHILLA	1
10	CUCHILLA	1
11	EJE SOPORTE DE LLANTAS	2
12	Ensamblaje de llanta	2
13	PLANCHA CON RADIO DERECHO	1
14	PLANCHA CON RADIO IZQUIERDO	1
15	RUEDA BATIDORA	4
16	TROMPO GUIA	2
17	ENSAMBLAJE DE CADENA TRANSPORTADORA	1
18	chumacera de 30mm	2
19	EJE DE ARRASTRE DE LA CADENA TRANSPORTADORA	1
20	SPROCKET 2- 17	1
21	SPROCKET 2- 15	1
22	ENSAMBLAJE DE CADENA DE TRANSMISION DE POTENCIA	1
23	PERNO ARANDELA M-12	4
24	BASE DE SOPORTE DE CAJA 2	1
25	Motor Hidraulico	1

Figura 74. Detalle del ensamblado de la máquina cosechadora

### 5.1.2.5. Plano de la cuchilla de corte

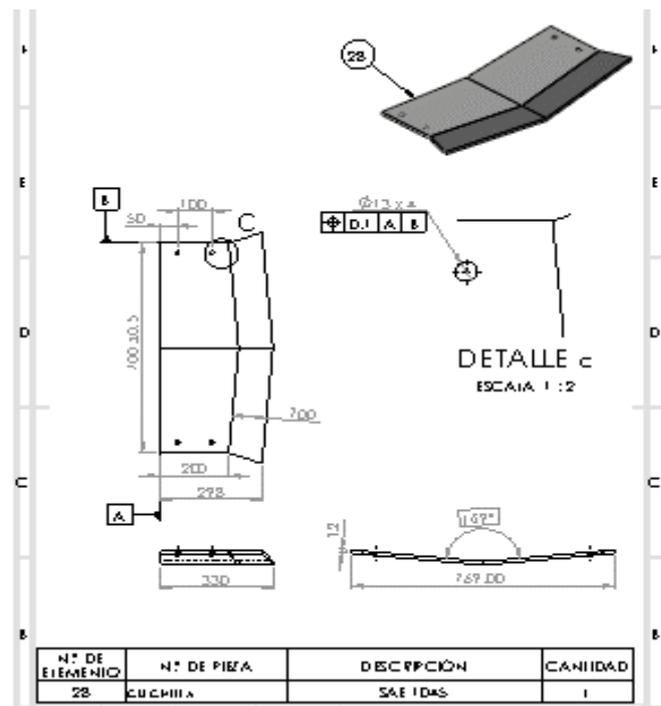


Figura 75. Detalle del plano de la cuchilla de corte

### 5.1.2.6. Plano del anclaje central

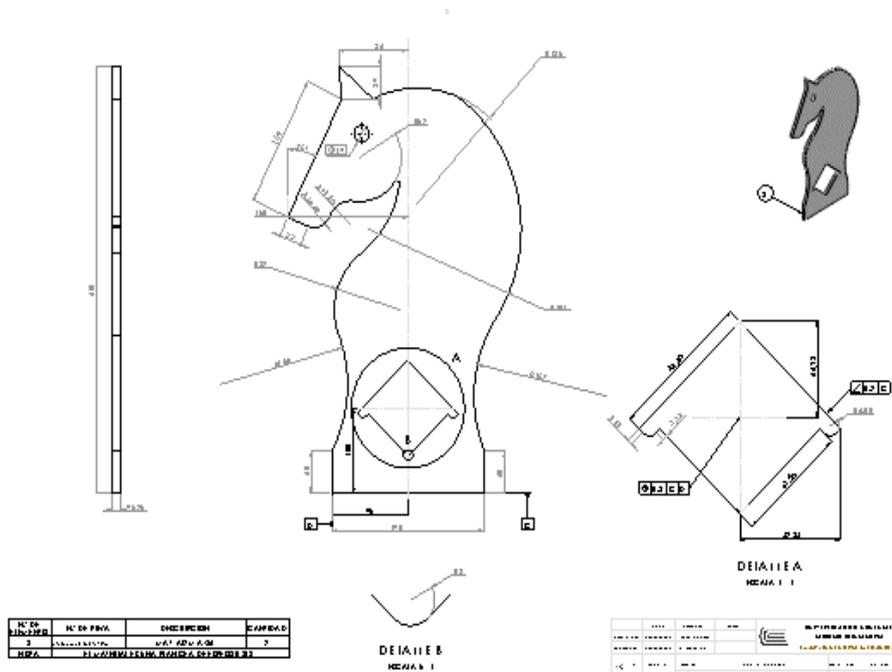


Figura 76. Detalle del plano del anclaje central

### 5.1.2.7. Plano de anclaje inferior

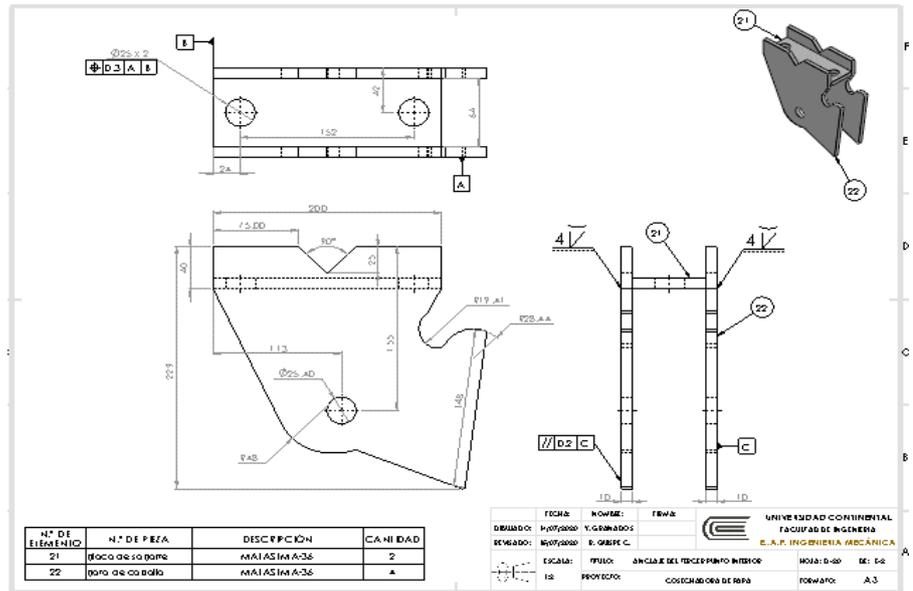


Figura 77. Detalle del plano del anclaje central

### 5.1.3. Costos de fabricación

Tabla 20. Presupuesto para la investigación

Detalle	Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario (S/)	Subtotal (S/)	Total del precio (S/)
<b>Bienes</b>						220
<b>Memoria USB</b>	Memoria donde se guardan datos, imágenes, estudios, etc.	3	Und	40	120	
<b>Otros</b>	-	-	-	-	100	
<b>Servicios</b>						340
<b>Internet</b>	Para acceder a datos e información relevante		Glb		40	
<b>Fotocopias e impresiones</b>	Elementos necesarios para el análisis		Glb		50	
<b>Pasajes y viáticos</b>	Recursos necesarios para el avance de la investigación		Glb		100	
<b>Otros</b>					150	
<b>Máquina cosechadora de papa</b>						5300
<b>Angulo 2.5" x 2.5" x 0.25"</b>	Base del chasis	1	Barra	197	197	
<b>Angulo 3.5" x 3.5" x 0.5"</b>	Base de anclaje central	0.5	Barra	280	140	
<b>Perfil en c 3" x 4.1 Lb/Pie</b>	Soporte del anclaje central	1	Barra	160	160	
<b>Plancha de 3/16"</b>	Carcasa	0.75	Plancha	513	390	
<b>Tubo cuadrado 40x40x4mm</b>	Templador y base de rueda	0.5	Barra	90	45	
<b>Plancha de ½"</b>	Base de cuchilla, soporte de motor y anclaje	0.5	Plancha	1400	700	
<b>Barra circular de ½"</b>	Cadena transportadora	8	Barra	16	128	
<b>Motor hidráulico 11cc</b>	transmisión	1	Unidad	490	490	
<b>Barra circular de 1.5"</b>	Eje de tracción de cadena transportadora	0.25	Barra	330	82	
<b>Chumacera de 30mm</b>	Chumacera de 30mm	2	Unidad	50	100	

<b>Perno M-24 x 200</b>	Mm-24x200	4	Unidad	15	60
<b>Tuerca</b>	M 24 de material ASTM A-36	4	Unidad	2	8
<b>Mano de obra</b>	Costo por mano de obra	2	Unidad	900	1800
<b>Otros</b>	Otros costos involucrados	1	-	2000	2000
<b>Total</b>					6860

## 5.2. Pruebas y resultados



*Figura 78. Proceso de fabricación del prototipo*



*Figura 79. Se realiza el armado del bastidor respetando los 18° de inclinación*



*Figura 80. Se realiza el ensamblaje de los tres puntos al tractor de 65HP*



*Figura 81. Se realiza la primera prueba del prototipo donde se evidencia el descubrimiento de las papas, pero se tubo dificultad con la válvula reguladora de caudal (no controlada)*



*Figura 82. Se realiza el mantenimiento de la válvula reguladora de caudal*



*Figura 83. Se realiza el pintado final del prototipo*



*Figura 84. Se realiza la segunda prueba del prototipo evidenciado el funcionamiento de la válvula reguladora de caudal teniendo un control de la velocidad de la cadena transportadora*

## CONCLUSIONES

Para el desarrollo del prototipo se aplicó una metodología adaptada con base en la metodología VDI 2221 y la metodología de **Budynas**.

- 1 Se ejecutó el modelamiento y construcción del prototipo de la cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro. como se muestra en la figura 77. Se realizaron 2 pruebas en distintos terrenos con un tractor de 65HP de potencia y en presencia del agricultor Pedro Meza quien lleva años dedicado al cultivo de la papa.
- 2 Se alcanzó el óptimo diseño en el bastidor de la máquina, ya que esta es maniobrable y de fácil montaje al tractor como puede ser visualizado en la figura 73. Que tiene un peso de 486.35 kg según SolidWorks y está fabricada de un acero de alta circulación en el mercado local y de precio muy accesible un ASTM –A36. También se evidencia que no se tiene dificultad en la separación del producto con la tierra mostrada en la figura 74.
- 3 Se llegó a alcanzar los 18° como ángulo de ataque para el corte como puede ser visualizado en la figura 72. La fuerza de corte ejercida por la cuchilla es de 7848N, se analizó el terreno en el cual se va a desempeñar la máquina y se dedujo que el coeficiente de labranza a utilizar para los cálculos es de un terreno suelto que por tabla nos da  $(40 \frac{Kgf}{dm^2})$  este dato fue primordial para hallar la fuerza de corte actuante en la cuchilla, el corte del terreno debe de tener una profundidad de 35cm y el ancho que abarca la cuchilla de corte es de 70 cm. Estas medidas corresponden a un surco de siembra de papa Diacol Capiro.
- 4 Se alcanzó a minimizar los golpes a la papa Diacol Capiro con un sistema de acarreo y zarandeo que tienen la opción de regular la velocidad de la faja transportadora de acuerdo con el tipo de terreno, como pueden ser visualizados en la figura 75, se utilizaron bandas de lona para la fabricación de la faja transportadora para evitar así el corte de la papa en el proceso de transporte. Las pruebas realizadas fueron con una velocidad de 204 rpm donde se evidencia que no hay daño a la papa, demostrando que los daños por golpes y magulladuras disminuyeron. En un total de 100 kg de papas cosechadas solo se evidenciaron 03 unidades de papas dañadas equivalentes a 200 gramos.
- 5 La fabricación del prototipo de la cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro se realizaron con materiales existentes en el mercado los cuales tienen un precio accesible para los agricultores.

- 6 El prototipo de la cosechadora de papa para la variedad Diacol Capiro fue probado y analizado en los terrenos agrícolas de la comunidad de Lastay, provincia de Concepción, departamento de Junín.

## TRABAJOS FUTUROS

Al desarrollar la tesis se identificaron algunas observaciones que al investigarlas la información recolectada reforzara los conocimientos de otros investigadores que tengan el objetivo de mejorar el proceso de la cosecha de papa, a continuación, se presentan algunos trabajos futuros.

1. Realizar un análisis para establecer la vida útil del caucho que está sujeta a fricción con el acero fundido componentes que conforman la cadena transportadora de papas, de ese modo, poder determinar si estos materiales son óptimos o se necesitaría reemplazarlos para mejorar el rendimiento.
2. Realizar un estudio sobre la eficiencia de los sistemas hidráulicos de las distintas marcas fabricantes de tractores para poder así utilizar como fuente de alimentación para utilizarlos en los distintos implementos agrícolas que existen.
3. Diseñar un bastidor con una descarga regulable de la papa para que estos queden depositados en un solo punto para facilitar la recolección y minimizar la contratación de personal para este fin.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **AKESON, W. R.; FOX, S. D.; STOUT, E. L.** Agricultural Technology evaluation, adoption and marketing. Part 2. Proceedings of the workshop held to discuss the socioeconomic research results of 1998-2002. 2004, *Journal of the American Society Sugar Beet Technologists*, Vol. 18, pp. 125-135.
2. **GRANADOS PARADO, Luis Miguel; GRANADOS PARADO, Yosmer Luis.** *Diseño y Prototipado de una Cosechadora de Papa para la variedad Diacol Capiro en la comunidad de Lastay, provincia de Concepción, departamento de Junín.* Huancayo, 2021.
3. **Ministerio de Agricultura.** *Perú se mantiene como primer productor de papa en América Latina.* [Online] mayo 23, 2020.  
<https://www.gob.pe/institucion/minagri/noticias/164182-peru-se-mantiene-como-primer-productor-de-papa-en-america-latina#:~:text=El%20Per%C3%BA%20se%20mantiene%20como,de%20consumidores%20en%20nuestro%20pa%C3%ADs..>
4. **Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.** *Generalidades de la papa.* [Online] abril 2017. <https://www.gob.pe/midagri>.
5. **TESFAY, A.** *Potato Production Manual.* Amharic Version printed in 1999 Ethiopian Calendar. 2008.
6. **AKESON, W. R.; FOX, S. D.; STOUT, E. L.** Agricultural Technology evaluation, adoption and marketing. Part 2. Proceedings of the workshop held to discuss the socioeconomic research results of 1998-2002. 2004, *Journal of the American Society Sugar Beet Technologists*, Vol. 18, pp. 87-149.
7. **LINO, Alfredo; APOLINAR, Maribel.** *Evaluación de bioproductos en cultivo de papa (Solanum tuberosum L.): En condiciones de invernadero.* España : Editorial Académica Española, 2018.
8. **MELCHOR, Siller.** *Manual de manejo integrado de organismos plaga del cultivo de la papa.* España : Editorial Académica Española, 2018.
9. **CAMPOS BLANCO, Carlos Robert.** *Efecto de la fertilización en el rendimiento y características biométricas del cultivo de papa, variedad huayro, en la comunidad de Aramachay - valle del Mantaro.* Lima - Perú. Universidad Agraria La Molina, 2014.
10. **LOSE, A.** *Arrancadoras de patatas.* *AgroAnuncio.es.* [Online] [Cited: Abril 21, 2020.] <https://tallerlose.com/arrancadoras-patatas-boniatos/>.
11. **Sermi Implementos Agrícolas.** *Cosechadoras.* [Online] [Cited: abril 21, 2020.] <https://www.sermisaperu.com/cosechadoras1.php>.

12. **MARTÍNEZ CUADROS, Huisar Franco.** *Desempeño de implementos agrícolas.* Concepción - Junín : Empresa Nuevo Horizonte, 04 22, 2020.
13. **MEZA MARTÍNEZ, Pedro.** *Metodología de cosecha de papa.* Concepcion, 04 21, 2020.
14. **BENITEZ, Paola.** *Diseño de máquina para mejorar el proceso de cosecha de papa en Nariño, Colombia.* Mutis, 2022, Vol. 12(1).
15. **BLANCO MIRANDA, Ruben Dario; GALVIS FORERO, Julio Cesar.** *Diseño de un prototipo mecánico de recolección y traslado de batata [Ipomoea batatas l.].* Universidad Antonio Meriño, Bogota - Colombia: 2020.
16. **CHUTCHEVA, Yu; TELEGINA, Zh; DOROKHOV, A.** *Estudio de viabilidad del tipo óptimo de cosechadora de patatas para las condiciones de la región de Moscú.* Moscow : IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, junio 2019, Vol. 274.
17. **WEI, Zhong Cai, et al.** Experimentos y análisis de un dispositivo de transporte para la separación de suelos y trituración de terrones para una cosechadora de papas. 6, China : *Applied Engineering in Agriculture*, 2019, Vol. 35, pp. 987-996.
18. **CARMONA, Andres.** *Diseño de una maquina aporcadora para optimizar el cultivo de papa en Pampa La Culebra, La Encañada, Cajamarca.* Universidad César Vallejo, 2020.
19. **GARRO, Luis Alberto.** *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo arrancadora de papa con tracción mecánica, La Molina - 2018.* Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima : 2019.
20. **GUTIÉRREZ, Wilfredo Florentino; AQUINO, Jenny.** *Diseño y construcción de una máquina cosechadora de papas 2019.* Universidad Nacional Hermilio Valdizán, 2020.
21. **ARONI, Alex.** *Diseño de una máquina aporcadora de papa para terrenos de Chupaca.* Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo : 2016.
22. **New Holland.** Tracsa. [Online] [Cited: 18 06, 2020.]  
<https://www.tracsa.com.mx/fichas-tecnicas/ts6-110.pdf>.
23. **FERRAI, H.; FERRAI, C.** Ingemecanica. [Online] Grupo de mecanización agrícola - INTA EEA. C. del Uruguay. [Cited: junio 19, 2020.]  
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn303.html>.
24. **MAYANS CÉSPEDES, Pedro R.; SOCA CABRERA, José R.; LÓPEZ CASTEÑS, Gilverto.** Determinación de la potencia a la toma de fuerza del tractor New Holland 6610S. 3, La Habana - Cuba: *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2009, Vol. 18. 1010-2760.

25. **GARAY, Alma; BENÍTEZ, Marco; HERNÁNDEZ, Miguel.** Impacto de las pruebas de tractores agrícolas en México: determinación de potencia a la toma de fuerza, levante hidráulico, cabinas y marcos de seguridad. Esp. (diciembre, pp. 6-14), México : *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2013, Vol. 22.
26. **VICKERS.** *Manual de hidráulica industrial.* México : s.n., 2016. 935100-A.
27. **Good Year.** *Aprendiendo sobre neumáticos.* [Online] [Cited: julio 16, 2020.] [https://camion.goodyear.com.pe/tyres/farm/tire\\_learn.html](https://camion.goodyear.com.pe/tyres/farm/tire_learn.html).
28. **GIRALDEZ, Lucy; SILVA, Yamina; TRANSMONTE, Grace.** Sector Agricultura - IGP - Instituto Geofísico del Perú. *Antecedentes generales del sector agricultura y los impactos de los eventos meteorológicos extremos.* Valle del Mantaro : IGP, 2012. Vol. 2.
29. **BUITRAGO V., German; LOPEZ P., Alonso; CORONADO P., Alfonso; OSORNO L., Fernando.** Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. Bogotá - Colombia : *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2003, Vol. 8(1).
30. **ORTEGA CARDENAS, Mauricio Arnaldo.** *Determinación de umbrales de daños, en seis cultivares comerciales de papas (Solanum tuberosum L.), utilizando los registros de la Patata Digital PTR 200, para su posterior uso en la prevención de daños en cosecha y poscosecha.* Valdivia - Chile : s.n., 2006.
31. **QUEVEDOS RIOS, Angel.** Análisis y diseño de un apero cosechador de papas para el motocultor yto df-15l-magap. *análisis y diseño de un apero cosechador de papas para el motocultor YTO DF-15L-Magap.* Riobamba-Ecuador : s.n., 2016.
32. **RIOS, Arcadio; GONZÁLEZ, Francisco.** *Cosechadora.* EcuRed. [Online] [Cited: junio 05, 2020.] [https://www.ecured.cu/Cosechadora\\_de\\_papas](https://www.ecured.cu/Cosechadora_de_papas).
33. **GIL GONZALEZ, Freddy.** *Energía y mecanización en la agricultura.* Caracas - Venezuela : Talleres de Anauco ediciones C. A., 1995.
34. **CASTELAO, Agrícola.** *Varillas para arrancadoras de patatas.* [Online] 2020. [Cited: junio 05, 2020.] <https://www.milanuncios.com/otros-recambios/varillas-para-arrancadoras-de-patatas-167409681.htm>.
35. **BELTEC.** *Banda agrícola y accesorios.* Beltec conveyor solutions. [Online] 2014. [Cited: junio 05, 2020.] <http://belteccs.com/producto/banda-agricola-y-accesorios/>.
36. **ZEMANSKY, SEARS Y.** *Física universitaria.* México : Pearson Educación de México, 2013. ISBN 978-607-32-2124-5.
37. **TORREZ GARZÓN, Sonia; NAVARRETE, Luisa; NOVOA, Marta.** *Densidad y temperatura.* s.l. : Universidad Libre de Colombia.

38. **HIBBLER, R. C.** *Ingeniería Mecánica - Dinámica*. Naucalpan de Juárez - Estado de México : Pearson Educación, 2010. 978-607-442-560-4.
39. **BUDYNAS, Richard; NISBETT, J.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 9.<sup>a</sup> edición*. Santa Fe - México : McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2012. ISBN 978-607-15-0771-6.
40. **DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ, Felipe.** *Tablas y gráficas para diseño de elementos de máquinas*. Cuautitlán Izcalli - México : s.n., 2007.
41. **LIZANA.** *Manual básico de oleohidráulica*. Argentina : Sohupren S.A, 2005, Vol. II.
42. **MACIAS JARAMILLO, Carlos Alberto.** *Cálculo y diseño del sistema oleohidráulico para una prensa de vulcanizado por compresión accionada eléctricamente*. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, Santiago de Cali : 1997.
43. **MORALES VILA, Fredy J.; VALDIVIA TORRES, Carlos.** *Implementación de un sistema de control de velocidad para un motor*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa : 2018.
44. **Virtual, Tecsup.** *Válvulas distribuidoras*. Tecsup, Lima : 2007.
45. **FISHER, Emerson.** *Guías de válvulas de dirección*. Brasil : Emerson automation solutions, 2017. D101881X0ES.
46. **RODRÍGUEZ PRIETO, Juan Manuel.** *Soldadura*. Google. [Online] [Cited: mayo 08, 2020.] [https://juanrodriguezprieto.files.wordpress.com/2014/08/prese\\_31.pdf](https://juanrodriguezprieto.files.wordpress.com/2014/08/prese_31.pdf).
47. **RENGIFO, ANDRES.** *Terminología básica en soldadura*. Soldaduras West Arco, Bogotá : 2018.
48. **Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget - ESAB.** *Solución integral en unión y corte de materiales*. Bogotá - Colombia : s.n. PBX: 417 62 88.
49. **GRUPO SKF.** *Catálogo de rodamientos*. 2015. P U B B U / P 1 10000/ 2 E S.
50. **NTN Corporation for new Technology Network.** *Chumaseras*. 2020. DS07 CAT. No. 2400-/S 09. 11. 03.
51. **Grupo Tecnología MECÁNICA.** *Procesos de fabricación*. mdp. mdp. [Online] [Cited: junio 29, 2020.] <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/11.pdf>.
52. **VANEGAS U.** *Materiales tecnológicos*. [Online] mayo 2016. [Cited: junio 29, 2020.] <http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2016/05/Cap-10-A-y-T-Parte-2.pdf>.
53. **POVEDA MARTÍNEZ, Santiago.** *Acabados superficiales*. Lima - Perú : Visual Graphics Group, 2001.
54. **DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ, Felipe.** *Tolerancias geométricas*. Laboratorio de tecnología de materiales. Cuautitlán Izcalli - México : UNAM, 2008.

55. **MALDONADO FLORES, Jose Luis.** *Aceros y sus aplicaciones.* Universidad Autónoma de Nuevo Leon, México : 1996.
56. **ASMA.COM.** *Manual del diseño para la construcción con acero.* México : 2020.
57. **SÁNCHEZ, J. Cegarra.** *Metodología de la investigación científica y tecnológica.* Madrid : Diaz de Santos, 2004. 11.
58. **BLANCO ROEMRO, Elena.** *Metodología para el diseño de máquinas.* Barcelona - España : s.n., 2015.
59. **GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG.** *Producciones.* [Online] [Cited: junio 10, 2020.]  
[https://www.grimme.com/de/producttypes/erntetechnik-kartoffel/wh-200.](https://www.grimme.com/de/producttypes/erntetechnik-kartoffel/wh-200)
60. **Weifang Shengxuan Machinery co ltd.** *Good performance small potato harvester for tractor.* [Online] [Cited: junio 10, 2020.] [https://spanish.alibaba.com/product-detail/good-performance-small-potato-harvester-for-tractor-60328647326.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.deiletai6.3.66293511qfrAGz.](https://spanish.alibaba.com/product-detail/good-performance-small-potato-harvester-for-tractor-60328647326.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.3.66293511qfrAGz)
61. **BOMET.** *Cosechadoras y excavadoras.* Mascus. [Online] [Cited: junio 10, 2020.]  
[https://es.mascus.com/agricultura/cosechadoras-y-excavadoras-usadas-para-patata/bomet-convoyer-digger-2-rows-siebkettenroder-2-reihig/d3eyssk1.html.](https://es.mascus.com/agricultura/cosechadoras-y-excavadoras-usadas-para-patata/bomet-convoyer-digger-2-rows-siebkettenroder-2-reihig/d3eyssk1.html)
62. **ROBERT, Mott L.** *Diseño de elementos de máquinas.* México : Pearson Educación, 2006. 970-26-0812-0.
63. **LLATAS CASTRO, Edinson Brai ; RODRIGO DELGADO, Jonatan Fernando.** *Diseño de implemento agrícola para la cosecha de papas del tipo monosurco con el motocultor DF-15l en el caserío Rodiopampa - Cuervo.* Cajamarca - Perú, 2020.
64. **Aceroscol .** *Aceroscol - La compañía de sus aceros.* 2020.
65. **Material Mundial.** *Grados.* [Online] [Cited: julio 10, 2020.]  
[https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/.](https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/)

## **ANEXOS**

Tabla 21. Factores de Densidad aproximadas de varios materiales

DENSIDADES APROXIMADAS DE VARIOS MATERIALES				
MATERIAL	$\frac{Kg}{m^3}$ de	$\frac{Kg}{m^3}$ en	FACTORES VOLUMEN DE CONVERSION	% DE EXPANSION
	MATERIAL	BANCO		
Piedra caliza: Fragmentada	1540	2610	0.59	69
Triturada	1540	—		
Magnetita, mineral de hierro	2790	3260	0.85	17
Pirita, mineral de hierro	2580	3030	0.85	17
Arena: Seca y suelta	1420	1600	0.89	12
Húmeda	1690	1900	0.89	12
Mojada	1840	2080	0.89	12
Arena y arcilla: Suelta	1600	2020	0.79	27
Compactada	2400	—		
Arena y grava: Seca	1720	1930	0.89	12
Mojada	2020	2230	0.91	10
Arenisca	1510	2520	0.6	67
Esquisto	1250	1660	0.75	33
Escorias Fragmentadas	1750	2940	0.6	67
Nieve: Seca	130	—		
Mojada	520	—		
Piedra triturada	1600	2670	0.6	67
Taconita	1630 - 1900	2360 - 2700	0.58	72
Tierra vegetal	950	1370	0.7	43
Roca trapeara fragmentada	1750	2610	0.67	49

Nota: La unidad del coeficiente de rodadura se expresa en micras

Adaptada de «Diseño de implemento agrícola para la cosecha de papas del tipo monosurco para el motocultor DF-15L en el caserío Radiopampa – Cutervo» por Llactas C y Rodrigo D (63 pág. 120)

Tabla 22. Factores de servicio para transmisiones por cadena

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

Nota: La selección del valor a trabajar es según el tipo del impulsor y tipo de carga

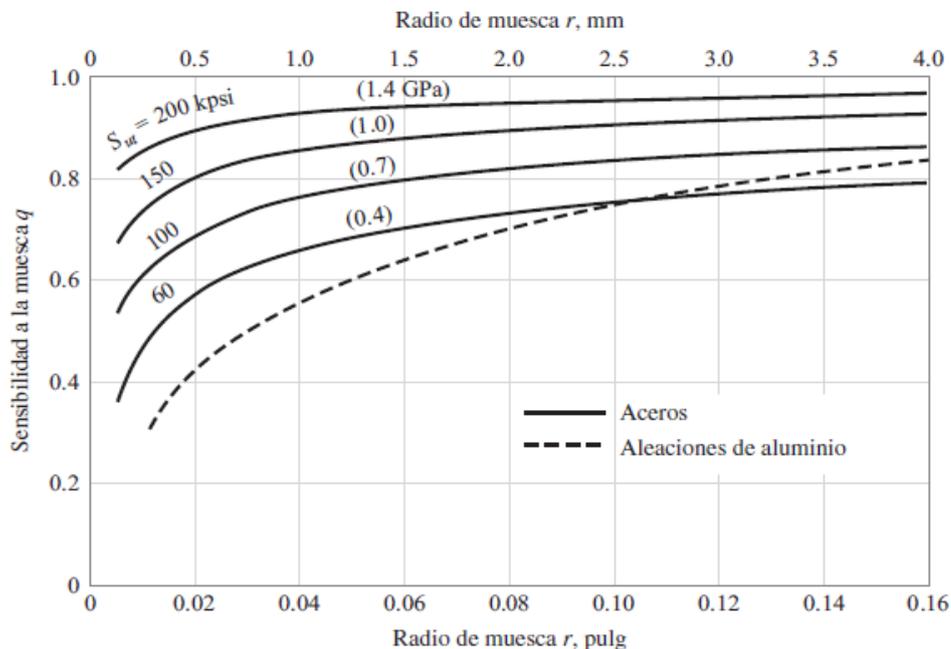
Tomada de «Diseño de Elementos de Máquinas» por Mott (62 pág. 290)

Tabla 23. Características técnicas de Acero SAE 1010

SAE 1010	COMPOSICIÓN QUÍMICA								PROPIEDADES MECÁNICAS					
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Estado de suministro	Límite elástico kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción kg/mm <sup>2</sup>	% de alargamiento	% de reducción de área	Dureza Brinell
	0,08/0,13%	0,30/0,60%	0,040% máx.	0,050% máx.	0,10% máx.				Laminado en caliente	32	18	25	50	150
									Calibrado	37	30	18	40	210
								Cementado, temple y revenido	45/60	40	20	40	58-60 HRC	
TRATAMIENTO TÉRMICO														
TRATAMIENTO					TEMPERATURA °C					ENFRIAMIENTO				
Forja					900 – 1.150 °C					Aire				
Normalizado					910 – 930 °C					Aire				
Recocido sub crítico					890 – 910 °C					Horno				
Cementación					900 – 950 °C					Gases/Sales				
Temple					850 – 900 °C					Agua				
Revenido					150 – 200 °C					Aire				
CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES														
CARACTERÍSTICAS:		Acero muy dúctil y maleable, de fácil conformación en frío y muy buena soldabilidad. Puede ser utilizado como acero de cementación; permite estampación en frío.												
APLICACIONES:		Bulones, ejes, cadenas, pasadores, bujes, tornillos, tuercas, acoples, racores, remaches; en estado calibrado se usa para la fabricación de ejes. Las piezas no pueden estar sometidas a grandes esfuerzos mecánicos. Muy usado en crucetas del sector eléctrico, ya que dobla y perfora con gran facilidad.												
NORMAS EQUIVALENTES														
AFNOR XC-10 - DIN C-70 - BS EN2E - UNI C-10 - SAE/AISI 1010														
PERFILES USUALES		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Desde 3 mm hasta 31 mm (¼" a 1¼")</li> <li>— Desde 19 mm x 3 mm hasta 50 mm x 6 mm (¾ x 3" a 2 x ¼")</li> <li>■ Desde 4 mm hasta 25 mm (½" a 1")</li> </ul>												

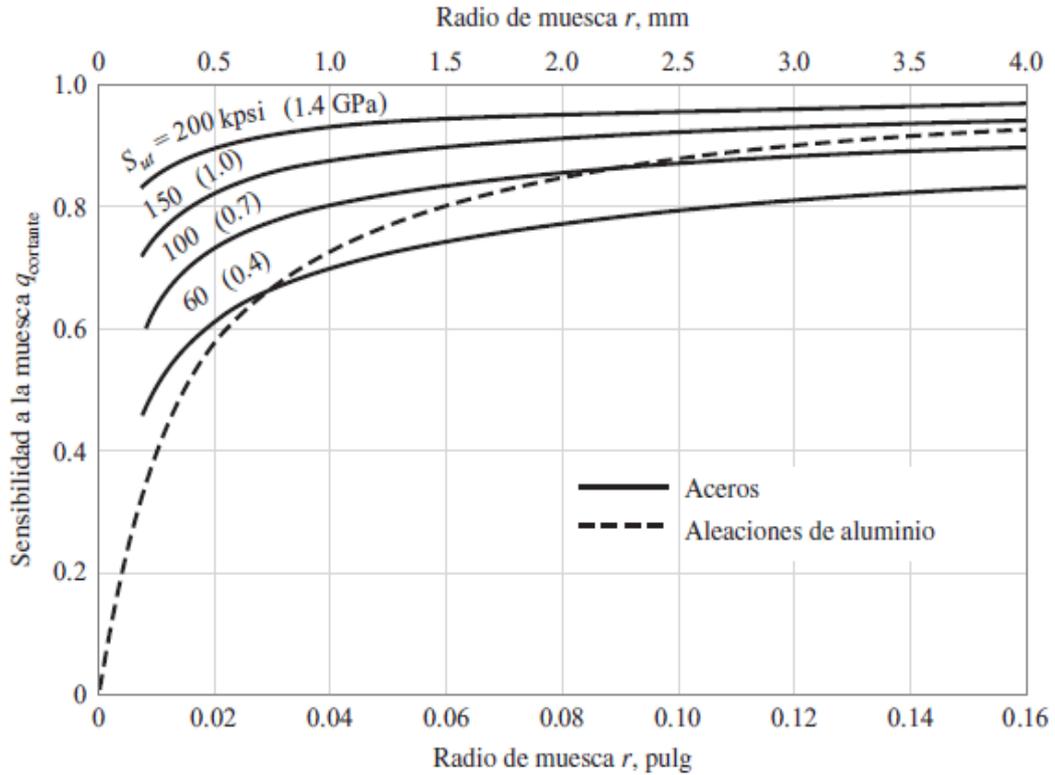
Nota: composición química y propiedades mecánicas del acero SAE 100  
Tomada de «Aceroscol – la compañía de sus aceros» por Aceroscol (64 pág. 1)

Tabla 24. Sensibilidad a la muesca



Nota: Sensibilidad de los aceros a las cargas axiales y flexión inversa  
Tomada de «Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley» por Budynas et al (39 pág. 282)

**Tabla 25. Sensibilidad a la muesca cortante**



*Nota: Sensibilidad de los aceros a las cargas de torsión inversa*

*Tomada de «Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley» por Budynas et al (39 pág. 282)*

**Tabla 26. Factores de concentración de esfuerzos**

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ( $r/d = 0.02$ )	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ( $r/d = 0.1$ )	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ( $r/d = 0.02$ )	2.14	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

*Nota: Factores tomados en cuenta en dimensiones no reales que estén por determinar*

*Tomada de «Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley» por Budynas et al (39 pág. 356)*

**Tabla 27. Resistencia mínima a la tensión**

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{ut}$ kpsi	$S_{ut}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

*Nota: según Marín estos son los parámetros que determinen Tomada de «Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley» por Budynas et al (39 pág. 274)*

**Tabla 28. Factor de tamaño « $k_b$ »**

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

*Nota: Los datos son usados en cargas por torsión y flexión es el resultado de un estudio de 133 conjuntos*

*Tomada de «Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley» por Budynas et al (39 pág. 275)*

**Tabla 29. Cargas simples reversibles**

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

*Nota:  $S_{ut}$  = resistencia mínima a la tensión  $S'_e$ =muestra de viga rotatoria*

*Tomada de «Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley» por Budynas et al (39 pág. 269)*

**Tabla 30. Vida útil de chumaceras según su aplicación**

Clasificación del servicio	Aplicación de la maquinaria	Duración $L_n$
Maquinaria utilizada ocasionalmente	Mecanismos de las puertas, Cierre de garaje	500
Equipos utilizados en períodos cortos o intermitentes con interrupciones permitidas	Electrodomésticos, Herramientas eléctricas manuales, Maquinaria agrícola, Tecles en tiendas	4 000~ 8 000
Intermitente pero con requerimientos de alta confiabilidad	Equipo auxiliar de centrales eléctricas, Elevadores, Bandas transportadoras, Puentes grúa	8 000~ 14 000
Maquinaria utilizada 8 horas al día, pero no siempre a su máxima capacidad	Ejes de vagones minas, Unidades de la caja de engranaje importantes	14 000~ 20 000
Maquinaria utilizada 8 horas a máxima capacidad	Sopladores, Máquinas de uso general en talleres, Grúas de operación continua	20 000~ 30 000
Maquinaria utilizada 24 horas al día de manera continua	Compresores, Bombas	50 000~ 60 000
Maquinaria utilizada 24 horas al día de manera continua con máxima seguridad	Equipos de Centrales eléctricas, Suministro de agua en áreas urbanas, Ventiladores en minas	100 000~200 000

*Nota: La duración de la chumacera comprende al tipo de servicio que está expuesta Tomada de «For New Technology Network» por NTN corporación (50 pág. 25)*

**Tabla 31. Valores mínimos de Factor de seguridad  $S_0$** 

Condiciones de operación	Rodamientos de bolas
Requerida una precisión de alta rotación	2
Requerida una precisión normal de rotación (aplicaciones generales)	1
Permite deterioro por precisión rotacional ligera (Velocidad baja, cargas grandes, etc.)	0.5

*Nota:  $S_0$  = Es determinada gracias a la carga estática máxima Tomada de «For New Technology Network» por NTN corporación (50 pág. 25)*

**Tabla 32. Coeficientes para el cálculo de la carga radial dinámica «Pr»**  
 $P_r = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$

$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_{or}}$	$e$	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0.172	0.19				2.30
0.345	0.22				1.99
0.689	0.26				1.71
1.03	0.28				1.55
1.38	0.30	1	0	0.56	1.45
2.07	0.34				1.31
3.45	0.38				1.15
5.17	0.42				1.04
6.89	0.44				1.00

*Nota: El factor  $f_0$  para calcular la carga radial equivalente ha sido añadido a las tablas dimensionales en el catálogo;  $C_{or}$  es la capacidad básica de la carga estática  
 Tomada de «For New Technology Network» por NTN corporación (50 pág. 30).*

**Tabla 33. Cuñas y tornillos prisioneros**

Diámetro del eje (in)	Ancho nominal de la cuña (in)	Diámetro del tornillo prisionero (in)	Diámetro del eje (mm)	Ancho x alto de la cuña (mm)
$0.312 < d \leq 0.437$	0.093	#10	$8 < d \leq 10$	3 x 3
$0.437 < d \leq 0.562$	0.125	#10	$10 < d \leq 12$	4 x 4
$0.562 < d \leq 0.875$	0.187	0.250	$12 < d \leq 17$	5 x 5
$0.875 < d \leq 1.250$	0.250	0.312	$17 < d \leq 22$	6 x 6
$1.250 < d \leq 1.375$	0.312	0.375	$22 < d \leq 30$	8 x 7
$1.375 < d \leq 1.750$	0.375	0.375	$30 < d \leq 38$	10 x 8
$1.750 < d \leq 2.250$	0.500	0.500	$38 < d \leq 44$	12 x 8
$2.250 < d \leq 2.750$	0.625	0.500	$44 < d \leq 50$	14 x 9
$2.750 < d \leq 3.250$	0.750	0.625	$50 < d \leq 58$	16 x 10
$3.250 < d \leq 3.750$	0.875	0.750	$58 < d \leq 65$	18 x 11
$3.750 < d \leq 4.500$	1.000	0.750	$65 < d \leq 75$	20 x 12
$4.500 < d \leq 5.500$	1.250	0.875	$75 < d \leq 85$	22 x 14
$5.500 < d \leq 6.500$	1.500	1.000	$85 < d \leq 95$	25 x 14

*Nota: Las dimensiones de las cuñas están relacionadas con el diámetro del eje  
 Tomada de «Diseño de Elementos de Máquinas» por Rodríguez (46 pág. 61)*

Tabla 34. Diámetros y áreas de roscas métricas

Diámetro mayor nominal $d$ , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

Nota: La tabla fue desarrollada con base en la norma ANSI B1.1 y B18.3.1  
 Tomada de «Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley» por Budynas et al (39 pág. 394)

**Tabla 35. Clasificación de pernos, birlos de acero y tornillos**

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la tensión, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la fluencia, <sup>†</sup> MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

\* La longitud de la rosca de pernos y tornillos de cabeza es

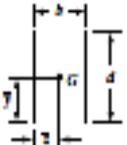
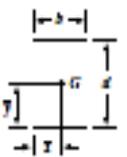
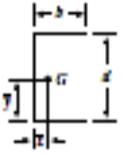
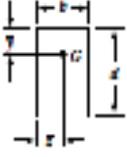
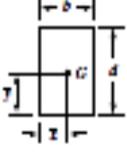
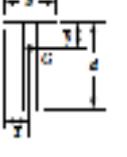
$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

donde  $L$  es la longitud del perno. La longitud de la rosca de pernos estructurales es ligeramente menor que la indicada.

<sup>†</sup> Las resistencias mínimas son las resistencias que exceden 99 por ciento de los sujetadores.

**Nota:**  $L_T$  = longitud de perno. La longitud de rosca es ligeramente menor que la del perno  
 Tomada de «Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley» por Budynas et al (39 pág. 416)

Tabla 36. Características flexionantes de una soldadura a filete

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
1. 	$A = 0.707bd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_x = \frac{d^3}{12}$
2. 	$A = 1.414bd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_x = \frac{d^3}{6}$
3. 	$A = 1.414bd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_x = \frac{bd^2}{2}$
4. 	$A = 0.707b(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_x = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
5. 	$A = 0.707b(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_x = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
6. 	$A = 1.414b(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_x = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
7. 	$A = 0.707b(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_x = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$

Nota: Donde G= Centroide

Tomada de «Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley» por Budynas et al (39 pág. 466)

**Tabla 37. Resistencia ala torsión, fluencia y elongación de electrodos**

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

*Nota: La AWS (Sociedad Americana de Soldadura),designa la letra E acompañada de 4 o 5 números de los cuales los 2 primeros representan la resistencia a la tensión y el ultimo representa al tipo de técnica a utilizar*

*Tomada de «Diseño de Elementos de Máquinas» por Mott (62 pág. 290).*

**Tabla 38. Propiedades de una cero ASTM A-36**

Propiedades Mecanicas		Notas
Resistencia a la tracción, MPa (psi)	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
Limite elastico (Esfuerzo de fluencia), MPa (ksi), ≥	250 (36)	Espesor ≤ 200mm (8 pulg.)
	220 (32)	Espesor de placas de acero > 200mm (8 pulg.)
Elongación, %, ≥	20	Placas y barras en 200 mm (8 pulg.)
	23	Placas y barras en 50 mm (2 pulg.)
Dureza Brinell, HBW	119-162	–
Módulo de elasticidad, GPa (ksi)	200 (29×10 <sup>3</sup> )	–
Módulo de corte, GPa (ksi)	79.3 (11.5×10 <sup>3</sup> )	–
Fy del acero A36 (Limite de fluencia), MPa (ksi), ≥	250 (36)	–

*Nota: El límite de elasticidad varia con relación al espesor de la plancha*

*Tomada de «Grados Material Mundial» por Procore (65 pág. 6)*