



Prototipo de una máquina cortadora de caña de azúcar automatizado mediante la implementación de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para el mejoramiento de salubridad en la extracción del jugo.

Toctaguano Huto, Jairo Wladimir

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior en: Electromecánica

Ing. José Alfredo, Parreño Olmos

08 de agosto del 2022

Latacunga



TESIS FINAL\_TOCTAGUANO JAIRO.pdf

Scanned on: 15:19 August 8, 2022 UTC

### Reporte de verificación de contenido



Identical Words	211
Words with Minor Changes	57
Paraphrased Words	67
Omitted Words	0



Firmado electrónicamente por:  
JOSE ALFREDO  
PARRENO OLMOS

**Ing. Parreño Olmos, José Alfredo**

**Director**



Website | Education | Businesses



**Departamento de Eléctrica y Electrónica**

**Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica**

### **Certificación**

Certifico que la monografía: **“Prototipo de una máquina cortadora de caña de azúcar automatizado mediante la implementación de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para el mejoramiento de salubridad en la extracción del jugo.”** fue realizado por el señor **Toctaguano Huto, Jairo Wladimir**, la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

**Latacunga, 9 de agosto del 2022**



Firmado electrónicamente por:  
**JOSE ALFREDO  
PARRENO OLMOS**

**Ing. Parreño Olmos, José Alfredo**

C. C.: 0502337181



**Departamento de Eléctrica y Electrónica**  
**Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Toctaguano Huto, Jairo Wladimir**, con cédula/cédulas de ciudadanía n°1724932247, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Prototipo de una máquina cortadora de caña de azúcar automatizado mediante la implementación de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para el mejoramiento de salubridad en la extracción del jugo.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 9 de agosto del 2022**

**Toctaguano Huto, Jairo Wladimir**

C.C.: 1724932247



Departamento de Eléctrica y Electrónica  
Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

### Autorización de Publicación

Yo **Toctaguano Huto, Jairo Wladimir** con cédula/cédulas de ciudadanía n°1724932247, autorizo/autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Prototipo de una máquina cortadora de caña de azúcar automatizado mediante la implementación de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para el mejoramiento de salubridad en la extracción del jugo.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 9 de agosto del 2022

**Toctaguano Huto, Jairo Wladimir**

C.C.: 1724932247

### **Dedicatoria**

Dedicado en primer lugar a Dios ya que supo brindarme mucha sabiduría y la vida cada día para luchar y poder cumplir mis objetivos y metas.

A mi madre la cual ha sido un pilar muy importante para yo poder lograr mis metas, gracias a su sacrificio diario, sus consejos y apoyo incondicional en lo que he necesitado para poder salir adelante de situaciones que creía imposibles.

**Toctaguano Huto, Jairo Wladimir**

### **Agradecimiento**

Agradezco a Dios y a la Santísima Virgen por nunca dejarme solo y siempre escuchar mis plegarias.

A mi Madre que me brindo todo su apoyo incondicional durante mi carrera académica, siempre estaré agradecido por todo lo que ha hecho por mí

A toda mi familia que me apoyó desde el principio de esta travesía les soy muy agradecido.

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo y construcción de una máquina cortadora de caña de azúcar, para ofrecer a los comerciantes en varias presentaciones (tamaño), las cuales son ofertadas en varias ciudades del Ecuador, siendo este un mercado rentable y reduciendo el tiempo en la entrega al consumidor y a la vez se mejore la salubridad de la misma teniendo en cuenta que la mayoría este proceso se realiza de manera manual. Con la ayuda del software SolidWorks y CadeSimu se realizarán los planos respectivos y las pruebas que ayuden en la fabricación de la máquina, se tomará en cuenta el estudio realizado de los diferentes componentes que conforma la máquina para establecer algunos requerimientos y características necesarias y a partir de ello optimizar una máquina que cumpla la función de cortar la caña sin que el hombre mantenga mayor contacto con el producto. Finalizado el estudio y el diseño de las diferentes partes de la máquina se procederá a desarrollar la construcción y se realizará la debida instalación de elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos de la máquina, una vez terminado el proyecto proceder a realizar las pruebas de funcionamiento de la máquina para cortar la caña de azúcar.

*Palabras clave: máquina cortadora de caña, Diseño en SolidWorks, Diseño en CadeSimu.*

### **Abstract**

The objective of this project is the development and construction of a sugarcane cutting machine, to offer merchants in various presentations (size), which are offered in various cities of Ecuador, this being a profitable market and reducing the time in the delivery to the consumer and at the same time improve its health, taking into account that most of this process is carried out manually. With the help of SolidWorks and CadeSimu software, the respective plans and tests that help in the manufacture of the machine will be carried out, the study of the different components that make up the machine will be taken into account to establish some requirements and necessary characteristics and from This optimizes a machine that fulfills the function of cutting the cane without the man having more contact with the product. Once the study and design of the different parts of the machine have been completed, the construction will be carried out and the proper installation of the electrical, electronic and mechanical elements of the machine will be carried out, once the project is finished, proceed to carry out the operating tests of the machine for cutting sugar cane.

Keywords: cane cutting machine, SolidWorks design, Cade Simu design.

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>Carátula .....</b>	<b>1</b>
<b>Reporte de verificación de contenido .....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de Autoría .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de Publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>7</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>8</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>9</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>15</b>
<b>índice de Figuras .....</b>	<b>16</b>
<b>índice de Ecuaciones .....</b>	<b>19</b>
<b>Capítulo I: Problema de Investigación .....</b>	<b>220</b>
<b>Tema de investigación .....</b>	<b>20</b>
<b>Generalidades .....</b>	<b>20</b>
<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>21</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>22</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>22</b>
<b><i>Objetivo general.....</i></b>	<b>22</b>
<b><i>Objetivos específicos.....</i></b>	<b>22</b>
<b>Alcance .....</b>	<b>23</b>
<b>Capítulo II: Marco Teórico .....</b>	<b>24</b>

Introducción .....	24
Conceptos.....	24
<i>Tipos de cortadoras</i> .....	24
<i>Máquinas cortadoras sopladoras estacionarias</i> .....	25
<i>Máquinas cortadoras-sopladoras estacionarias</i> .....	25
Normativas.....	25
Componentes .....	27
Materiales de la máquina cortadora de caña.....	29
<i>Elementos eléctricos</i> .....	29
<i>Motor eléctrico</i> .....	29
<i>Motorreductor</i> .....	29
<i>Conductores eléctricos</i> .....	30
<i>Contactador</i> .....	30
<i>Relé Térmico</i> .....	31
<i>Disyuntor</i> .....	32
<i>Pulsadores de paro y marcha</i> .....	32
<i>Lámparas de señalización</i> .....	33
Estructura .....	33
Elementos mecánicos .....	34
<i>Chumacera de piso</i> .....	34
<i>Chumacera lateral</i> .....	35
<i>Eje de 1 pulgada</i> .....	35
<i>Pernos de 38 a 12</i> .....	36

<i>Piñón</i> .....	36
<i>Sistema de arrastre</i> .....	37
<i>Catalina</i> .....	37
<i>Poleas</i> .....	38
<i>Cadena 4-28</i> .....	38
<i>Banda</i> .....	39
<i>Engranés</i> .....	39
<b>Capítulo III Desarrollo del tema</b> .....	<b>40</b>
<b>Diseño y cálculo del sistema de arrastre</b> .....	<b>40</b>
<i>Diseño del sistema de arrastre</i> .....	40
<i>Características del sistema de arrastre</i> .....	40
<i>Cálculo analítico del sistema de arrastre</i> .....	41
<i>Cálculo de la potencia de los ejes del sistema de arrastre</i> .....	44
<b>Cálculo de la velocidad de corte</b> .....	<b>48</b>
<b>Cálculo de la fuerza que ejerce las cuchillas</b> .....	<b>48</b>
<b>Análisis de la cuchilla de corte</b> .....	<b>50</b>
<b>Cálculo y selección de la Banda</b> .....	<b>53</b>
<b>Cálculo y selección de la catalina y cadena</b> .....	<b>56</b>
<b>Cálculo de selección de engranes</b> .....	<b>57</b>
<b>Diseño transmisión de velocidad entre engranes</b> .....	<b>59</b>
<b>Selección de reductor de velocidad</b> .....	<b>59</b>
<i>Reductor de velocidad para el sistema de corte</i> .....	59
<b>Soldadura de la estructura</b> .....	<b>61</b>

Diseño y análisis de la estructura base en SolidWorks.....	66
Etapas de construcción .....	69
Selección de sistemas eléctricos y mecánicos .....	77
<i>Selección de pulsadores y luces piloto .....</i>	<i>77</i>
Selección de motores.....	78
<i>Cálculo de corriente nominal de motor (In).....</i>	<i>78</i>
<i>Cálculo de la potencia de entrada .....</i>	<i>79</i>
<i>Cálculo de la intensidad de arranque.....</i>	<i>79</i>
<i>Cálculo de la potencia reactiva.....</i>	<i>79</i>
<i>Selección del contactor .....</i>	<i>79</i>
<i>Selección del Interruptor termomagnético.....</i>	<i>79</i>
<i>Selección de Relé térmico .....</i>	<i>80</i>
<i>Selección de conductor de alimentación .....</i>	<i>80</i>
Selección del motorreductor .....	82
<i>Selección del Contactor.....</i>	<i>83</i>
<i>Selección del Interruptor termomagnético.....</i>	<i>84</i>
<i>Selección de Relé térmico .....</i>	<i>84</i>
Diseño del sistema eléctrico .....	84
Funcionamiento de la máquina cortadora de caña de azúcar .....	86
<i>Pruebas de funcionamiento .....</i>	<i>86</i>
<i>Prueba N.-1 .....</i>	<i>86</i>
<i>Prueba N.-2 .....</i>	<i>87</i>
Costos de energía eléctrica consumida .....	88

<b>Manual de operación y seguridad .....</b>	<b>89</b>
<i>Instrucciones de operación.....</i>	<i>89</i>
<i>Manual de seguridad.....</i>	<i>90</i>
<b>Plan de mantenimiento de la máquina cortadora de caña .....</b>	<b>90</b>
<i>Plan de mantenimiento preventivo.....</i>	<i>90</i>
<i>Plan de mantenimiento correctivo.....</i>	<i>91</i>
<b>Estudio Económico de la máquina cortadora de caña .....</b>	<b>94</b>
<b>Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>96</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>96</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>97</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>98</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>99</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Propiedades mecánicas del acero ASTM A36</i> .....	26
<b>Tabla 2.</b> <i>Propiedades del acero inoxidable AISI 304</i> .....	27
<b>Tabla 3.</b> <i>Propiedades de material de eje de cuchilla</i> .....	51
<b>Tabla 4.</b> <i>Análisis estático de tensiones del eje de cuchilla</i> .....	51
<b>Tabla 5.</b> <i>Análisis estático de desplazamiento del eje de cuchillas</i> .....	52
<b>Tabla 6.</b> <i>Análisis estático del factor de seguridad en el eje de cuchilla</i> .....	53
<b>Tabla 7.</b> <i>Tabla de potencias</i> .....	53
<b>Tabla 8.</b> <i>Características de la estructura</i> .....	62
<b>Tabla 9.</b> <i>Carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete</i> .....	65
<b>Tabla 10.</b> <i>Propiedades y componentes de la estructura</i> .....	67
<b>Tabla 11.</b> <i>Análisis de tensiones de la estructura metálica</i> .....	68
<b>Tabla 12.</b> <i>Análisis de desplazamiento de la estructura metálica</i> .....	68
<b>Tabla 13.</b> <i>Análisis del factor de seguridad de la estructura metálica</i> .....	69
<b>Tabla 14.</b> <i>Características de pulsadores y luces piloto</i> .....	77
<b>Tabla 15.</b> <i>Características del motor</i> .....	78
<b>Tabla 16.</b> <i>Tabla de calibres de cables eléctricos</i> .....	81
<b>Tabla 17.</b> <i>Características del motorreductor</i> .....	83
<b>Tabla 18.</b> <i>Plan de mantenimiento preventivo</i> .....	92
<b>Tabla 19.</b> <i>Plan de mantenimiento correctivo</i> .....	93
<b>Tabla 20.</b> <i>Costos directos</i> .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Chavetas paralelas, series normales</i> .....	28
<b>Figura 2.</b> <i>Motor eléctrico</i> .....	29
<b>Figura 3.</b> <i>Motorreductor</i> .....	29
<b>Figura 4.</b> <i>Conductores Eléctricos</i> .....	30
<b>Figura 5.</b> <i>Contactador de 220v</i> .....	30
<b>Figura 6.</b> <i>Relé Térmico</i> .....	31
<b>Figura 7.</b> <i>Partes básicas del Relé Térmico</i> .....	31
<b>Figura 8.</b> <i>Disyuntor</i> .....	32
<b>Figura 9.</b> <i>Pulsador de paro y marcha</i> .....	32
<b>Figura 10.</b> <i>Lámpara de señalización</i> .....	33
<b>Figura 11.</b> <i>Chumacera de piso</i> .....	34
<b>Figura 12.</b> <i>Chumacera Lateral</i> .....	35
<b>Figura 13.</b> <i>Eje de 1 pulgada</i> .....	35
<b>Figura 14.</b> <i>Perno de 3/8-1/2</i> .....	36
<b>Figura 15.</b> <i>Piñón</i> .....	36
<b>Figura 16.</b> <i>Masa transportadora de caña</i> .....	37
<b>Figura 17.</b> <i>Catalina 49 dientes</i> .....	37
<b>Figura 18.</b> <i>Poleas</i> .....	38
<b>Figura 19.</b> <i>Cadena 4-28</i> .....	38
<b>Figura 20.</b> <i>Banda</i> .....	39
<b>Figura 21.</b> <i>Engranajes</i> .....	39
<b>Figura 22.</b> <i>Diseño del sistema de arrastre</i> .....	40

<b>Figura 23.</b> <i>Medición de la caña de azúcar</i> .....	41
<b>Figura 24.</b> <i>Ejes del sistema de arrastre</i> .....	44
<b>Figura 25.</b> <i>Cuchilla de corte</i> .....	48
<b>Figura 26.</b> <i>Datos de la potencia corregida</i> .....	55
<b>Figura 27.</b> <i>Piñón y catalina conectados mediante la cadena</i> .....	57
<b>Figura 28.</b> <i>Engranajes creados en SolidWorks</i> .....	58
<b>Figura 29.</b> <i>Relación de la transmisión de potencia entre engranajes</i> .....	59
<b>Figura 30.</b> <i>Esquema de reductor de velocidad</i> .....	60
<b>Figura 31.</b> <i>Caja reductora de velocidad</i> .....	61
<b>Figura 32.</b> <i>Soldadura a aplicar</i> .....	62
<b>Figura 33.</b> <i>Correspondencia en función al material y espesor</i> .....	63
<b>Figura 34.</b> <i>Resistencia de los electrodos a la tensión</i> .....	63
<b>Figura 35.</b> <i>Espesor de soldadura</i> .....	64
<b>Figura 36.</b> <i>Diseño de la estructura base</i> .....	66
<b>Figura 37.</b> <i>Cargas de la estructura base</i> .....	67
<b>Figura 38.</b> <i>Fabricación de los rodillos</i> .....	70
<b>Figura 39.</b> <i>Ensamblaje de la parte interna</i> .....	70
<b>Figura 40.</b> <i>Colocación de los rodillos de arrastre</i> .....	71
<b>Figura 41.</b> <i>Elaboración de la cuchilla</i> .....	71
<b>Figura 42.</b> <i>Corte del eje de transmisión de cuchilla</i> .....	72
<b>Figura 43.</b> <i>Fabricación de la estructura metálica</i> .....	72
<b>Figura 44.</b> <i>Soldadura de las piezas que conforman la estructura</i> .....	73
<b>Figura 45.</b> <i>Corte del material de acero inoxidable</i> .....	73

<b>Figura 46.</b> <i>Ensamble de las cubiertas en la máquina</i> .....	74
<b>Figura 47.</b> <i>Recubrimiento completo de la máquina</i> .....	74
<b>Figura 48.</b> <i>Pintado de las piezas mecánicas</i> .....	75
<b>Figura 49.</b> <i>Pintado de la cubierta de la tapa exterior</i> .....	75
<b>Figura 50.</b> <i>Conexión del circuito de potencia</i> .....	76
<b>Figura 51.</b> <i>Instalación del circuito de control</i> .....	76
<b>Figura 52.</b> <i>Instalación del tablero eléctrico</i> .....	77
<b>Figura 53.</b> <i>Datos del motor monofásico</i> .....	78
<b>Figura 54.</b> <i>Datos del motorreductor trifásico</i> .....	82
<b>Figura 55.</b> <i>Diagrama del sistema eléctrico</i> .....	85
<b>Figura 56.</b> <i>Simulación del circuito</i> .....	85
<b>Figura 57.</b> <i>Funcionamiento de la máquina cortadora de caña de azúcar</i> .....	86
<b>Figura 58.</b> <i>Primera prueba de corte</i> .....	87
<b>Figura 59.</b> <i>Prueba de funcionamiento de corte de la caña</i> .....	87

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1. Volumen de la caña.....</b>	<b>41</b>
<b>Ecuación 2. Densidad de la caña.....</b>	<b>42</b>
<b>Ecuación 3. Numero de cañas/hora.....</b>	<b>42</b>
<b>Ecuación 4. Cálculo de la velocidad lineal.....</b>	<b>43</b>
<b>Ecuación 5. Cálculo de la velocidad de rotación.....</b>	<b>43</b>
<b>Ecuación 6. Fuerza ejercida.....</b>	<b>44</b>
<b>Ecuación 7. Torque de la caña.....</b>	<b>45</b>
<b>Ecuación 8. Potencia requerida.....</b>	<b>45</b>
<b>Ecuación 9. Volumen del rodillo.....</b>	<b>45</b>
<b>Ecuación 10. Masa del material de rodillos.....</b>	<b>47</b>
<b>Ecuación 11. Velocidad de corte en relación m/min.....</b>	<b>48</b>
<b>Ecuación 12. Fuerza de corte de la caña.....</b>	<b>49</b>
<b>Ecuación 13. Potencia neta de la cuchilla.....</b>	<b>49</b>
<b>Ecuación 14. Cálculo de la potencia corregida.....</b>	<b>54</b>
<b>Ecuación 15. Cálculo de longitud de la correa.....</b>	<b>55</b>
<b>Ecuación 16. Cálculo de selección de engranes.....</b>	<b>57</b>
<b>Ecuación 17. Esfuerzo cortante de la soldadura.....</b>	<b>64</b>
<b>Ecuación 18. Consumo diario de energía eléctrica.....</b>	<b>88</b>
<b>Ecuación 19. Consumo mensual de energía eléctrica.....</b>	<b>88</b>
<b>Ecuación 20. Costo mensual de energía.....</b>	<b>89</b>

## Capítulo I

### Problema de Investigación

#### Tema de investigación

Prototipo de una máquina cortadora de caña de azúcar automatizado mediante la implementación de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para el mejoramiento de salubridad en la extracción del jugo de caña.

#### Generalidades

El cultivo de caña de azúcar en Sudamérica se inicia con el segundo viaje de Cristóbal Colón, quién trajo esquejes de caña a las Islas Canarias lo que actualmente se conoce como Republica Dominicana. Estos cultivos se extendieron entre 1500 y 1600 en la mayoría de los países tropicales de América (Antillas, México, Brasil, Perú, Ecuador.) y durante mucho tiempo se ha mantenido como una riqueza agrícola. (LUNA, 2017).

En el Ecuador, existen cerca de 82.749 Ha. de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) destinadas para la producción industrial. Este cultivo representa un rubro muy importante para el sustento diario de miles de familias ecuatorianas, ya sea desde el punto de vista económico o social, debido a que en época de cosecha o zafra en, laboran aproximadamente unas 30.000 personas de manera directa y unas 80.000 indirectamente. (VILLAMARÍN, 2017)

Se desarrollan varias actividades consideradas tradicionales y una de ellas es la extracción del jugo de la caña con máquinas específicas. Este proceso debe efectuarse, a más tardar, 36 h de cortar las cañas. La compactada fibra, denominada bagazo, se introduce en la máquina trituradora, formada por tres grandes cilindros que aseguran un triturado cada vez más fino. El jugo que se extrae de esta manera contiene un 70% de agua, 14% de sacarosa, 14% de materia leñosa y 2% de impurezas. El último bagazo, muy fibroso, se usa como combustible y aporta energía a la misma planta de extracción. Esta actividad es considerada tradicional y se una fuente de ingresos en varias ciudades

turísticas del Ecuador tales como Baños de Agua Santa, el Puyo, y demás ciudades en donde se cultiva la caña de azúcar. Pero en estas ciudades esta actividad se la realiza de manera tradicional es decir de manera Manual. (Paguay, 2009)

El proceso para extracción del jugo de caña tiene varios procesos:

- Proceso de recolección
- Procesos de limpieza
- Procesos de corte
- Procesos de extracción del jugo y empaquetado

En nuestro proyecto de titulación nos enfocaremos en el proceso de corte ya que el prototipo que realizaremos se enfocara en que el corte de la caña de azúcar deje de ser manual y sea automatizado, para así mejorar la producción y calidad de jugo de caña.

Por esta razón se propone realizar la automatización de una máquina artesanal o la fabricación de un prototipo con componentes eléctricos, mecánicos y demás materiales necesarios para que la máquina funcione y así mejora la producción conjuntamente con las buenas prácticas de manufacturación.

### **Planteamiento del problema**

En la actualidad la extracción del jugo de caña de azúcar es una actividad que se lo realiza de manera manual en la cual no se aplica estándares de calidad ni de seguridad para evitar los accidentes, adicionalmente el consumidor prefiere las cosas sean a menor tiempo posible, así satisfacer las necesidades del mismo.

Se realizará el prototipo de una máquina cortadora de caña de azúcar automatizado mediante la implementación de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para el mejoramiento de salubridad en la extracción del jugo de caña para iniciar un emprendimiento en la ciudad de Machachi en la provincia de Pichincha e incentivar la producción y venta de la máquina para los pequeños comerciantes de este producto.

Esto lo realizaremos con el mejoramiento de la máquina tradicional que es manual experimentando en convertirla en una máquina automatizada o en la fabricación de una nueva máquina cortadora de caña para que esta cumpla los estándares de salubridad e higiene.

Para así mejorar la calidad del producto para cumplir con la demanda de los consumidores y así aumentara la economía de los artesanos que se dedican a esta actividad en varias ciudades del país.

### **Justificación**

El presente Proyecto tiene como finalidad automatizar el proceso de corte de la caña de azúcar de esa manera optimizar el tiempo en este proceso y a la vez hacerlo más seguro. Los principales beneficiarios de este prototipo serán los comerciantes de jugo de caña y sus derivados, mi persona ya que será parte de un emprendimiento que lo voy a poner en marcha en la ciudad Machachi, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

Al finalizar el Proyecto se obtendrá una máquina cortadora de caña automatizada la cual facilitará el corte, además reducirá el tiempo para cortar la caña y así presentarla al consumidor para transformarla en jugo de caña.

### **Objetivos**

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

Prototipado de una máquina cortadora de caña de azúcar automatizada mediante la implementación de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para el mejoramiento de la salubridad en la extracción del jugo de caña.

#### ***Objetivos específicos***

- Determinar la funcionalidad de una máquina cortadora de caña de azúcar automatizada.

- Elaborar los planos mecánicos de la máquina mediante el software SolidWorks.
- Implementar una máquina cortadora de caña de azúcar.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina cortadora de caña.

**Alcance**

El alcance de este proyecto es la automatización de la máquina cortadora de caña de azúcar para realizar el remplazo de las cortadoras manuales para ofrecer a los comerciantes de caña de azúcar en varias presentaciones (tamaño), las cuales son ofertadas en varias ciudades del Ecuador, siendo este un mercado rentable y reduciendo el tiempo en la entrega al consumidor.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Introducción

La actividad de la extracción del jugo de caña de azúcar es una actividad que se realiza en varias ciudades como actividad económica, la cual ha permitido a sus habitantes adaptarse con utensilios para realizar esta extracción, tanto para la recolección, limpieza, corte y extracción del jugo como producto final.

Esta actividad se hace de manera tradicional usando la cortadora de caña, esto quiere decir que se la realiza en forma manual haciendo uso de utensilios de corte, para realizar esta actividad.

El proceso del corte de caña realizado de manera tradicional es altamente peligrosa observado esta situación y para mejorar el proceso se realizará la automatización del mismo, el cual permitirá el incremento de la producción y se evitará accidentes.

La automatización de la cortadora de caña beneficiara a muchos emprendedores que se dedica a la producción y venta de derivados de la caña de azúcar.

#### Conceptos

##### ***Tipos de cortadoras***

Las máquinas cortadoras son de gran ayuda, ya que facilita a los agricultores trabajar directamente sobre el cultivo de una forma rápida y segura. Las máquinas cortadoras se dividen en dos grupos:

- Máquinas cortadoras estacionarias
- Máquinas cortadoras de campo

Las máquinas estacionarias son denominas así ya que prácticamente en su totalidad solo pican material cosechado al contrario de las máquinas de campo que utilizan para picar material verde. (VILLAMARÍN, 2017)

### ***Máquinas cortadoras sopladoras estacionarias***

Esta máquina se caracteriza por picar material seco cosechado. Son llamadas máquinas sopladoras ya que tienen en la porta cuchillas unas paletas, las cuales hacen que el material picado sea empujado por la fuerza de giro hacia el Caña de Azúcar de conducción que lleva a las instalaciones de alimentación del animal.

### ***Máquinas cortadoras-sopladoras estacionarias***

Una banda transportadora para llevar la cosecha hacia la unidad de alimentación

Una carcasa que sirve prácticamente como una caja sopladora. Llega a ser de tal forma una bomba centrífuga, la cual ayuda a expulsar el material picado hacia su salida.

(VILLAMARÍN, 2017)

Tiene un volante o también llamado la porta cuchillas el cual está compuesto con unas paletas que ayudan el empuje del material picado.

Las máquinas cortadoras estacionarias son utilizadas con frecuencia para picar material henificado esto es un proceso de conservación del forraje. El filo de las cuchillas debe ser afiladas mediante un periodo de trabajo. Al momento de instalar las cuchillas, se deje ubicar con el mínimo espacio entre la cuchilla de fija y las cuchillas móviles.

(VILLAMARÍN, 2017)

### **Normativas**

Las normativas que están relacionadas y que se usaran para el Prototipado de la máquina peladora de caña de azúcar son las siguientes:

**Normas ISO 12100-1 y 12100-2:** tienen el propósito de que los diseñadores tengan una vista general de la fabricación de una máquina segura para el uso previsto, se ve reflejados conceptos en cuanto a la seguridad de la máquina para establecer las funciones reduciendo adecuadamente el riesgo, además la norma ISO 12100 en la primera parte

describe los peligros para facilitar al diseñador cuan relevantes y significativos son estos peligros.

**Normas ISO 7919:** se enfoca en el nivel de vibración de las máquinas que poseen ejes rotativos.

**Norma ASTM A36:** Esta norma aplica para estructuras de laminados en caliente, tiene una buena soldabilidad se lamina en acero rectangular, cuadrado, redondo, placa de acero y en diferentes secciones de acero.

**Tabla 1.**

*Propiedades mecánicas del acero ASTM A36*

	Esfuerzo máximo de fluencia		Esfuerzo de la fluencia		Elongación en 50 mm o 2 pulgadas
	MPa	ksi	MPa	ksi	%
ASTM A36	400-500	58-80	220-250	32-36	23

*Nota.* En la tabla se muestra algunas de las propiedades del acero ASTM A36 y sus medidas. Tomado de Ciencia de materiales, Selección y Diseño, por Pat L. Mangonon.

**Código de dibujo técnico – mecánico CPE INEN 003:** este código hace referencia a la presentación de piezas mecánicas y sus conjuntos en dibujos. Establece las medidas de las láminas según los formatos, dimensiones de márgenes, plegado, rotulación, escalas, altura, espesor, líneas, etc.

**Norma NEC:** recoge varias normas que permiten establecer especificaciones técnicas y prevenir o eliminar los riesgos eléctricos ofreciendo condiciones de seguridad, es de cumplimiento obligatorio a nivel nacional, define principios básicos, establece parámetros de seguridad y calidad, optimiza mecanismos de control y mantenimiento, reduce el consumo de energía, y fija responsabilidades involucrados en la construcción.

**Norma AISI 304:** este tipo de acero es el más utilizado, en condición de recocido es no magnético, resistente a la corrosión, al calor y temperaturas bajas, es un tipo de aleación austeníticas.

**Tabla 2.**

*Propiedades del acero inoxidable AISI 304*

Condición	Dureza Rockwell	Esfuerzo de fluencia, desplazamiento de 0.2%		Esfuerzo máximo de fluencia		Elongación en 50.8mm o 2.0 pulg.	Reducción de área
		MPa	ksi	MPa	ksi		
<b>AISI 304</b> Reconocido	81 HRB	241	35	586	85	60.0	70.00

*Nota.* La dureza de rockwell representa la resistencia de un material a ser penetrado. Tomado de Ciencia de materiales, Selección y Diseño, por Pat L. Mangonon.

## Componentes

### Tipos de conexiones

Soldadura afirma que, algunas de las uniones estructurales son realizadas mediante proceso de soldadura por lo general este tipo de soldadura es de arco eléctrico, lo que genera una fuente calor mediante un electrodo con el fin de unir dos materiales.

De acuerdo con, para obtener un cordón de soldadura debidamente correcto se debe tomar en cuenta algunos parámetros fundamentales para el proceso de soldadura.

### Ángulo adecuado.

- Limpiar el material a soldar y así evitar que el material base este contaminado (libre de grasas y polvos).
- Retirar escoria y realizar un martilleo después de finalizar el cordón para aliviar tensiones sobre la estructura.
- Su enfriamiento debe ser lento para evitar la cristalización del material y formación de estructuras duras.

### Tipos de uniones

Pernos, tuercas y tornillos los pernos, tuercas y tornillos son uniones convencionales utilizados para unir dos elementos diferentes desmontables en el campo industrial. Estos tipos de elementos son normalizados y poseen una alta variedad para diferentes tipos de sujeción utilizadas en el campo. (LUNA, 2017).

Chavetas, pasadores y collares las chavetas, pasadores y collares son elementos empleados de manera frecuente en la unión de dos elementos diferentes, cabe recalcar que son elementos normalizados, estos son:

- Poleas en V y poleas dobles en V
- Ruedas dentadas
- Volantes sobre ejes.

Figura 1.

Chavetas paralelas, series normales

Pasadores y chavetas		CHAVETAS PARALELAS SERIE NORMAL										TABLA 18 - 13	
Dimensiones en mm.												/De UNE 17.102 h/1/	
CHAVETA													
Sección b x h	Ancho b		Altura h		Chafilán b <sub>c</sub>		Longitud l		De		a		
	Nominal	Toler. h/1	Nominal	Toler. h/1 h/11	Mínima	Máxima	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
4 x 4	4	0	4	0	0,16	0,25	8	45	—	—	—	—	
5 x 5	5	0	5	0	0,25	0,40	10	55	—	—	—	—	
6 x 6	6	-0,030	6	-0,030	0,25	0,40	14	70	—	—	—	—	
8 x 7	8	0	7	0	0,25	0,40	16	80	—	—	—	—	
10 x 8	10	-0,036	8	0	0,40	0,60	22	110	—	—	—	—	
12 x 8	12	0	8	0	0,40	0,60	28	140	—	—	—	—	
14 x 9	14	0	9	-0,090	0,40	0,60	36	160	—	—	—	—	
16 x 10	16	-0,043	10	0	0,40	0,60	45	180	—	—	—	—	
18 x 11	18	0	11	0	0,40	0,60	50	200	—	—	—	—	
20 x 12	20	0	12	0	0,40	0,60	56	220	—	—	—	—	
22 x 14	22	0	14	0	0,60	0,80	63	250	—	—	—	—	
25 x 14	25	-0,052	14	-0,110	0,60	0,80	70	280	—	—	—	—	
28 x 16	28	0	16	0	0,60	0,80	80	320	—	—	—	—	
32 x 18	32	0	18	0	0,60	0,80	90	360	—	—	—	—	
36 x 20	36	0	20	0	0,60	1,20	100	400	—	—	—	—	
40 x 22	40	0	22	0	1,00	1,20	—	—	—	—	—	—	
45 x 25	45	-0,062	25	0,130	1,00	1,20	—	—	—	—	—	—	
50 x 28	50	0	28	0	1,00	1,20	—	—	—	—	—	—	
56 x 32	56	0	32	0	1,00	2,00	—	—	—	—	—	—	
63 x 32	63	0	32	0	1,60	2,00	—	—	—	—	—	—	
70 x 36	70	-0,074	36	0	1,60	2,00	—	—	—	—	—	—	
80 x 40	80	0	40	-0,160	2,50	3,00	—	—	—	—	—	—	
90 x 45	90	0	45	0	2,50	3,00	—	—	—	—	—	—	
100 x 50	100	-0,087	50	0	2,50	3,00	—	—	—	—	—	—	

CHAVETERO														
Diámetro del eje d	Sección de la chaveta b x h	Nominal	Ancho b, tolerancia						Profundidad				Chafilán R <sub>c</sub>	
			Caso de ajuste del enchavetado						Eje h <sub>1</sub>		Cubo h <sub>2</sub>		R <sub>c</sub>	
			Llave		Normal		Ajustado		Nominal	Toler.	Nominal	Toler.	Mín.	Máx.
Máx.	Mín.	Eje h/8	Cubo D/10	Eje h/8	Cubo J/9	Eje y cubo g/7								
10	12	4 x 4	4	0	0,030	+0,078	0	-0,012	2,5	0	1,6	0,08	0,16	
12	17	5 x 5	5	0	+0,036	+0,090	±0,015	-0,042	3	+0,1	2,3	0,16	0,25	
17	22	6 x 6	6	0	+0,036	-0,030	±0,015	-0,042	3,5	0	2,8	0,16	0,25	
22	30	8 x 7	8	0	+0,036	+0,096	±0,018	-0,061	4	0	3,3	0,16	0,25	
30	38	10 x 8	10	0	+0,042	-0,036	±0,018	-0,061	5	0	3,3	0,25	0,40	
38	44	12 x 8	12	0	+0,043	0	±0,0215	-0,061	6	0	3,3	0,25	0,40	
44	50	14 x 9	14	0	+0,043	+0,120	±0,0215	-0,061	6	0	4,3	0,25	0,40	
50	58	16 x 10	16	0	+0,050	-0,043	±0,0215	-0,061	6	0	4,3	0,25	0,40	
58	65	18 x 11	18	0	+0,052	0	±0,0215	-0,061	7	+0,2	4,4	0,40	0,60	
65	75	20 x 12	20	0	+0,052	+0,149	±0,0215	-0,061	7,5	0	4,9	0,40	0,60	
75	85	22 x 14	22	0	+0,052	-0,052	±0,0215	-0,061	8	0	4,9	0,40	0,60	
85	95	25 x 14	25	0	+0,065	-0,052	±0,0215	-0,061	8	0	5,4	0,40	0,60	
95	110	28 x 16	28	0	+0,065	0	±0,0215	-0,061	10	0	5,4	0,40	0,60	
110	130	32 x 18	32	0	+0,065	0	±0,0215	-0,061	11	0	7,4	0,40	0,60	
130	150	36 x 20	36	0	+0,062	+0,180	±0,031	-0,026	12	0	8,4	0,70	1,00	
150	170	40 x 22	40	0	+0,062	-0,062	±0,031	-0,026	13	0	9,4	0,70	1,00	
170	200	45 x 25	45	0	+0,069	-0,062	±0,031	-0,026	15	0	10,4	0,70	1,00	
200	230	50 x 28	50	0	+0,069	0	±0,031	-0,026	17	0	11,4	0,70	1,00	
230	260	56 x 32	56	0	+0,074	0	±0,031	-0,026	20	0	12,4	0,70	1,00	
260	290	63 x 32	63	0	+0,074	+0,220	±0,031	-0,026	20	0	12,4	1,20	1,60	
290	330	70 x 36	70	0	+0,100	-0,074	±0,031	-0,026	22	0	14,4	1,20	1,60	
330	380	80 x 40	80	0	+0,087	0	±0,031	-0,026	25	0	15,4	2,00	2,50	
380	440	90 x 45	90	0	+0,087	+0,260	±0,031	-0,026	28	0	17,4	2,00	2,50	
400	500	100 x 50	100	0	+0,120	-0,087	±0,0435	-0,124	31	0	19,5	2,00	2,50	

Nota. En la imagen se muestra las dimensiones de las chavetas paralelas serie normal. Tomado de (LUNA, 2017)

## **Materiales de la máquina cortadora de caña**

### ***Elementos eléctricos***

Son los encargados de alimentar y conducir energía eléctrica al sistema de control de nivel de agua y temperatura del colector solar, tenemos algunos elementos que hacen posible el funcionamiento de dicho sistema.

### ***Motor eléctrico***

Un motor es la parte sistemática de una máquina capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

### **Figura 2.**

*Motor eléctrico*



### ***Motorreductor***

Los motorreductores son mecanismos que regulan la velocidad de motores eléctricos, haciéndoles funcionar a un determinado ritmo. Están formados por una serie de engranajes que conforman la cadena cinemática, que son los que funcionan sobre las piezas giratorias.

### **Figura 3.**

*Motorreductor*



### **Conductores eléctricos**

Son los encargados de conducir/transportar la energía eléctrica de un punto a otro, ofrecen poca resistencia al paso de la electricidad, estos pueden ser de cobre, plata, oro, entre otros. Siendo los más utilizados por su economía los que son elaborados a base de cobre.

El número de cable que se utilizará está dimensionado de acuerdo a los valores de la resistencia eléctrica que se utilizará.

#### **Figura 4.**

*Conductores Eléctricos*



### **Contactor**

El contactor es un dispositivo muy utilizado en los sistemas de automatismo. Se basa en el cierre de contactos por medio de la fuerza magnética de un electroimán, al aplicar corriente a la bobina, el núcleo se magnetiza y se convierte en imán y atrae una parte móvil del núcleo (armadura) que puede accionar un contacto o varios. (Donate, 1999, pág. 61)

#### **Figura 5.**

*Contactor de 220v*



## Relé Térmico

Los relés térmicos cumplen la misión de proteger los motores y transformadores contra calentamientos excesivos debido a intensidades superiores a la de su servicio.

**Figura 6.**

*Relé Térmico*

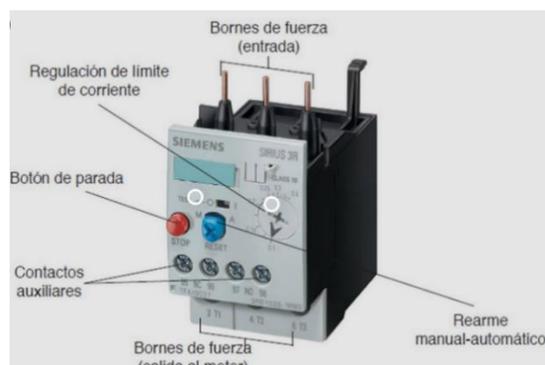


El relé térmico consta de dos partes fundamentales:

- Laminas bimetálicas: Que son calentadas por la corriente principal del circuito directamente o a través de un arrollamiento de calefacción.
- Contactos auxiliares: Que situados en el circuito de alimentación de la bobina del contactor (circuito de mando) efectuando la desconexión del contactor cuando se produce el disparo del relé. (Gutiérrez Colomer, Sánchez Braceli, García Mari, & Blaise-Ombrecht, 2003, pág. 105)

**Figura 7.**

*Partes básicas del Relé Térmico*



### ***Disyuntor***

Se puede dar a conocer una definición de “un disyuntor que es un dispositivo capaz de proteger frente a cortocircuitos y/o sobrecargas; los disyuntores magnéticos protegen frente a cortocircuitos y disyuntores magneto térmicos o guarda motores protegen frente a cortocircuitos y sobrecargas” (Gallardo Vázquez, 2013, pág. 128).

### **Figura 8.**

#### *Disyuntor*



### ***Pulsadores de paro y marcha***

Se puede indicar como definición del dispositivo que es un “elemento con varios contactos (NA o NC), según su tipo su función es invertir el estado inicial de los mismos” (Casals Torrens, 2010, pág. 55).

### **Figura 9.**

#### *Pulsador de paro y marcha*



### **Lámparas de señalización**

Se puede indicar como definición del dispositivo que son aquellos que “permiten conocer si un determinado elemento o circuito está activado” (Casals Torrens, 2010, pág. 55).

#### **Figura 10.**

*Lámpara de señalización*



### **Estructura**

De acuerdo con la estructura es conocida como chasis, por lo general está compuesto por perfiles estructurales, tiene como objetivo soportar las diferentes cargas a las que se somete en el funcionamiento estático y dinámico.

Por lo general las piezas están compuestas de acero fundido y de partes de acero prensado. Estos materiales por lo general son normalizados por normas internacionales. Una de las características de los perfiles estructurales es:

Las barras de forma plana son frecuentemente utilizadas para la fabricación de estructuras, las barras planas son utilizadas en la industria, ya que soportan cargas en el eje longitudinal.

Los diferentes tipos de perfiles son utilizados para la fabricación de estructura esquelética, los cuales están diseñados para soportar cargas de tensión, presión y flexión, sobre la estructura fabricada.

Los perfiles soportan cargas combinadas, de torsión, tensión y presión, sobre su propio eje.

Este tipo de ángulos estructurales permiten una construcción rápida, fuerte y dan a la estructura una presentación agradable.

Se toma inicialmente una cadena ANSI #80, en base a la distancia de separación que debe existir entre cada trozo, siendo de 1cm esto tomando en cuenta el diámetro de la caña de azúcar que es de 8 cm mínimo.

Los equipos que necesitaremos son:

- Motor
- Cuchilla
- Panel de control
- Armazón prototipo

## Elementos mecánicos

### *Chumacera de piso*

La chumacera se compone de una sola fila rodamiento rígido de bolas con juntas en ambos lados y superficie exterior esférica, adecuado para el apoyo simple, ampliamente utilizado en variedad de equipo mecánico.

### **Figura 11.**

*Chumacera de piso*



### ***Chumacera lateral***

Una chumacera es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación. Este tipo de cojinete se coloca generalmente en una línea paralela en el eje del árbol. (LUNA, 2017)

### **Figura 12.**

*Chumacera Lateral*



### ***Eje de 1 pulgada***

Un eje es un elemento constructivo destinado a guiar el movimiento de rotación de una pieza o de un conjunto de piezas, como una rueda o un engranaje.

### **Figura 13.**

*Eje de 1 pulgada*



### ***Pernos de $3/8$ a $1/2$***

Los pernos son piezas fabricadas en metal con forma cilíndrica y alargada. Están formadas por una cabeza redondeada y otra con tuerca o una terminación similar que le permita sujetar otras piezas. Los metales más utilizados para su fabricación son el hierro o el acero por su alta resistencia.

#### **Figura 14.**

*Perno de 3/8-1/2*



### ***Piñón***

Piñón es la rueda de un mecanismo de cremallera o a la rueda más pequeña de un par de ruedas dentadas, ya sea en una transmisión directa por engranaje o indirecta a través de una cadena de transmisión o una correa de transmisión dentada (LUNA, 2017)

#### **Figura 15.**

*Piñón*



### **Sistema de arrastre**

Estos sistemas son realizados en material de acero inoxidable para impedir la proliferación de contaminantes biológicos, además es importante que este sea resistente a la fricción con el producto, debe ser desarmable para llevar una debida limpieza.

### **Figura 16.**

*Masa transportadora de caña*



### **Catalina**

La Catalina es un elemento crucial en el funcionamiento de tu motor, esta hace parte del kit de arrastre y es un piñón que transfiere la energía o arrastre del motor por medio de una cadena.

### **Figura 17.**

*Catalina 49 dientes*



### ***Poleas***

La polea es un sistema de máquina simple que funciona por tracción. Sirve para transmitir una fuerza y ayudarte a mover objetos pesados de una forma cómoda. Consta de una rueda anclada a un eje donde gira un cordel. (WIKIPEDIA, 2019)

### **Figura 18.**

*Poleas*



### ***Cadena 4-28***

Es el conjunto de eslabones o anillos enlazados entre sí, que sirven para sujetar, estirar y para la transmisión de movimiento en las máquinas. Estos eslabones suelen ser de metal y llevan usándose desde la antigüedad debido a su fortaleza combinada con flexibilidad.

### **Figura 19.**

*Cadena 4-28*



## ***Banda***

Las bandas o correas son componentes flexibles en transmisión de potencia, generalmente empleada en todas las industrias, pero una de sus principales sectores en el cual las vamos a poder encontrar son en la industria para tomar la sincronía de los motores. (VILLAMARÍN, 2017)

**Figura 20.**

*Banda*



## ***Engranés***

Es un tipo de mecanismo que tiene dos o más ruedas dentadas, que se utiliza para transmitir potencia mecánica de un componente a otro. Si las dos ruedas son de distinto tamaño, la mayor se denomina corona y el menor piñón. Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante el contacto de ruedas dentadas. (WIKIPEDIA, 2019)

**Figura 21.**

*Engranajes*



## Capítulo III

### Desarrollo del tema

En este capítulo vamos a desarrollar el proceso de ensamblaje del prototipo de la máquina cortadora de caña, en la cual hemos usado los materiales y el proceso que a continuación será explicado:

Para poder ensamblar el prototipo del cortador de caña de azúcar y que nos brinde una alta eficiencia, se necesita seleccionar los elementos que lo componen, detallando características propias de cada uno.

#### Diseño y cálculo del sistema de arrastre

##### *Diseño del sistema de arrastre*

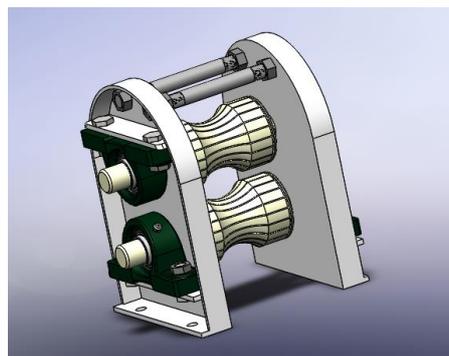
Para el diseño de sistema de arrastre se ha tomado en cuenta el material de acero inoxidable AISI 304, por el hecho que está sometido a corrosión y a la oxidación.

##### *Características del sistema de arrastre*

- El material estructural del sistema de arrastre debe evitar la contaminación biológica del producto.
- El material de los rodillos debe soportar la fricción con el producto.
- El material del sistema de arrastre no debe reaccionar químicamente con la mezcla.
- El sistema de arrastre debe ser desmontable para su limpieza y mantenimiento.

#### Figura 22.

##### *Diseño del sistema de arrastre*



## **Cálculo analítico del sistema de arrastre**

### **A. Características de la caña de azúcar**

Se tomo en cuenta las diferentes medidas entre tamaños y tipos de caña para establecer las características como se observa en la figura.

#### **Figura 23.**

*Medición de la caña de azúcar*



$L_{caña}$ : 2000 mm

$D_{caña}$ : 45 mm

*Con un peso aproximado de la caña de:* 1.36 Kg

### **B. Cálculo de volumen y densidad de la caña con las características tomadas.**

#### **Ecuación 1**

*Volumen de la caña*

$$V_{caña} = l * \frac{\pi * D^2}{4}$$

**Donde:**

$V_{caña}$ : Volumen de la caña ( $m^3$ )

$l$ : Longitud de la caña (m)

$D_{caña}$ : Diametro de la caña (m)

$$V_{caña} = 2 * \frac{\pi * (0.045)^2}{4} = 0.00318 \text{ m}^3$$

### **Ecuación 2**

*Densidad de la caña*

$$\rho_{caña} = \frac{m}{v}$$

**Donde:**

$\rho_{caña}$ : Densidad de la caña (Kg/m<sup>3</sup>)

$m$ : masa de la caña (Kg)

$v$ : volumen de la caña (m<sup>3</sup>)

$$\rho_{caña} = \frac{1.36 \text{ (Kg)}}{0.00318 \text{ m}^3} = 427.67 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

### **C. Cálculo de número de cañas/hora que se insertara por el sistema de arrastre con una capacidad máxima de la máquina 133 Kg/h**

Se hicieron varias referencias para determinar la capacidad de la máquina y lo que se necesita para un buen funcionamiento y una larga vida útil del motor que estará en funcionamiento.

### **Ecuación 3**

*Numero de cañas/hora*

$$N_{caña} = \frac{C_p}{W_p}$$

**Donde:**

$N_{caña}$ : Numero de cañas/hora (und/h)

$C_p$ : Capacidad promedio de la maquina (Kg/h)

$W_p$ : Peso promedio de la caña

$$N_{caña} = \frac{133 \text{ Kg/h}}{1.36 \text{ Kg}} = 97.79 \text{ (und/h)}$$

#### D. Cálculo de la velocidad lineal y rotación

##### **Ecuación 4**

*Cálculo de la velocidad lineal*

$$V_l = \frac{S}{t}$$

**Donde:**

$V_l$ : Velocidad lineal (m/s)

$S$ : Desplazamiento lineal total de la caña (m)

$t$ : tiempo (s)

Multiplicación por número de cañas (unidades)

$$V_l = \frac{2m * 97.79 \text{ und}}{h} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.0543 \text{ m/s}$$

##### **Ecuación 5**

*Cálculo de la velocidad de rotación*

$$w = \frac{V_l}{r}$$

**Donde:**

$w$ : Velocidad angular (rad/s)

$V_l$ : Velocidad lineal (m/s)

$r$ : Radio del rodillo de la caña (m)

$$w = \frac{0.0543 \text{ m/s}}{0.02 \text{ (m)}} = 2.715 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

**Transformación a RPM:**

$$\frac{2.715 \text{ rad}}{s} * \frac{1 \text{ vuelta}}{2\pi \text{ rad}} * \frac{60s}{1 \text{ min}} = 25.92 \text{ RPM}$$

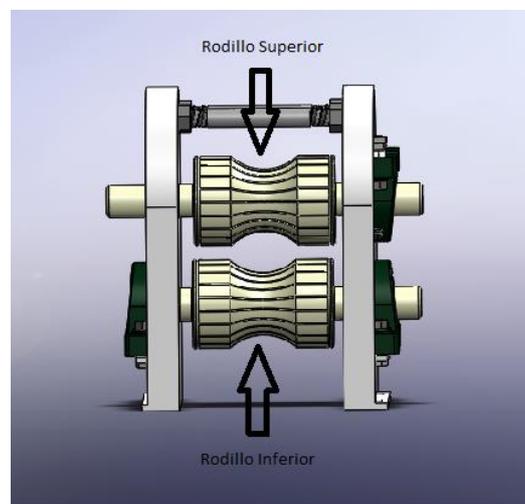
La velocidad requerida para el rodillo de arrastre es de 25.92 rpm, debe conseguirse mediante polea o cadena según la relación de transmisión una velocidad real de 26 rpm.

### **Cálculo de la potencia de los ejes del sistema de arrastre**

Para realizar el cálculo y encontrar la potencia requerida se empieza sabiendo la fuerza que necesita la caña y se parte de parte del diámetro de rodillo que tiene un valor de 50mm.

### **Figura 24.**

*Ejes del sistema de arrastre*



### **A. Cálculo de la fuerza ejercida por la caña**

**Ecuación 6**

*Fuerza ejercida*

$$F = m * g$$

**Donde:**

*g: gravedad 9.8 m/s<sup>2</sup>*

$$F_{caña} = 1.36 * 9.8$$

$$F_{caña} = 13.32 N$$

Este resultado es la fuerza que actúa los rodillos hacia la cuchilla de corte ya que está en contacto para su debido corte de la caña.

### B. Cálculo del torque de la caña

#### **Ecuación 7**

*Torque de la caña*

$$T = F * r$$

**Donde:**

$r = \text{radio del rodillo}$

$$T_{caña} = 13.32 N * 0.02 = 0.2664 Nm$$

### C. Cálculo de la potencia requerida para mover el rodillo de acuerdo a la caña

La velocidad con la que se moverán los rodillos dependerá de la caña que tiene un valor de 26 rpm que se considera la velocidad adecuada para el proceso corte de la caña.

#### **Ecuación 8**

*Potencia requerida*

$$P = \frac{T * n * 2\pi}{60}$$

**Donde:**

$n_{rodillo}$ : *velocidad del rodillo (rpm)*

$$P_{caña} = \frac{0.2664 * 26 * 2\pi}{60} = 0.725 W$$

### D. Cálculo del volumen de los rodillos

#### **Ecuación 9**

*Volumen del rodillo*

$$v = \pi * r^2 * h \dots \dots \text{cilindro}$$

$$v = l * \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) \dots \dots \text{Cilindro hueco}$$

**Donde:**

*v*: Volumen del tambor ( $m^3$ )

*A*: Area ( $m^3$ )

*l*: longitud (m)

*D*: Diametro exterior (m)

*d*: diametro interior (m)

*r*<sup>2</sup>: radio del cilindro (m)

*l*: longitud de su altura (m)

**E. Cálculo del volumen del arrastre del eje de movimiento (contacto directo de la caña de azúcar)**

$$v_{eje\ 1} = \pi * 0.02^2 * 0.072$$

$$v_{eje\ 1} = 90.477 * 10^{-6} m^3$$

**F. Cálculo del volumen del eje de movimiento (contacto directo con la catalina y polea).**

$$v_{eje\ 2} = \pi * 0.0075^2 * 0.072$$

$$v_{eje\ 2} = 12.723 * 10^{-6} m^3$$

**G. Cálculo del volumen de sujeción del eje de movimiento (Paredes de guía de la caña de azúcar)**

$$v_{sujeción} = 0.0132 * \frac{\pi}{4} * (0.06^2 - 0.04^2)$$

$$v_{sujeción} = 20.7345 * 10^{-6} m^3$$

$$v_{sujeción\ total} = v_{sujeción} * 2 \dots \text{(dos paredes)}$$

$$v_{sujeción\ total} = 20.7345 * 10^{-6} * 2$$

$$v_{sujeción\ total} = 41.469 * 10^{-6} m^3$$

**H. Finalmente se hace la sumatoria todos los volúmenes obtenidos para obtener el volumen total del rodillo de arrastre.**

$$v_{Total} = v_{eje 1} + v_{eje 2} + v_{sujeción total}$$

$$v_{Total} = 90.477 * 10^{-5} + 12.723 * 10^{-5} + 41.469 * 10^{-6}$$

$$v_{Total} = 144.66 * 10^{-6} m^3$$

Una vez que hemos calculado el volumen total del eje, se puede calcular la masa del rodillo tomando en cuenta que la densidad del acero inoxidable auténtico es de  $8000 \text{ kg/cm}^3$ .

### I. Cálculo de la masa del rodillo

#### Ecuación 10

Masa del material de rodillos

$$m = \rho * v$$

Donde:

$m$ : Masa (kg)

$\rho$ : Densidad del material ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

$v$ : Volumen del material ( $m^3$ )

$$m = 8000 * 144.66 * 10^{-6} = 1.15 \text{ kg} \dots \dots (\text{rodillo superior})$$

$$m = 1.08 \text{ kg} \dots \dots (\text{rodillo inferior})$$

### J. Cálculo de la fuerza ejercida de los rodillos

$$F = 1.15 \text{ kg} * 9.8 = 11.27 \text{ N} \dots \dots (\text{rodillo superior})$$

$$F = 1.08 \text{ Kg} * 9.8 = 10.58 \text{ N} \dots \dots (\text{rodillo inferior})$$

$$F_{rodillo} = 11.27 \text{ N} + 10.58 \text{ N}$$

$$F_{rodillo} = 21.85 \text{ N}$$

### K. Cálculo del torque del rodillo superior

$$T_{rodillo} = 11.27 \text{ N} * 0.02 = 0.44 \text{ Nm}$$

### L. Cálculo de la potencia requerida para mover el rodillo

La velocidad en rpm de los rodillos está considerada de acuerdo a la caña la cual es de 26 rpm.

$$P_{\text{rodillo}} = \frac{0.44 \text{ Nm} * 26 * 2\pi}{60} = 1.19 \text{ W}$$

### M. Cálculo de la potencia requerida para girar los rodillos

Potencia total de trabajo:

$$P_{T \text{ rodillo}} = P_{\text{caña}} + P_{\text{caña}}$$

$$P_{T \text{ rodillo}} = 0.725 \text{ W} + 1.19 \text{ W} = 1.915 \text{ W}$$

$$P_{T \text{ rodillo}} = 1.915 \text{ W}$$

$$P_{T \text{ rodillo}} = 1.915 \text{ W} * 2 = 3.83 \text{ W}$$

$$P_{T \text{ rodillo}} = 3.83 \text{ W} = 0.38 \text{ Kw} = 0.52 \text{ HP}$$

### Cálculo de la velocidad de corte

#### **Ecuación 11**

*Velocidad de corte en relación m/min*

$$V_c = \frac{D_m * \pi * n}{1000}$$

**Donde:**

$V_c$ : Velocidad de corte (m/min)

$D_m$ : Diametro de mecanizado (mm)

$n$ : Velocidad del eje (rpm)

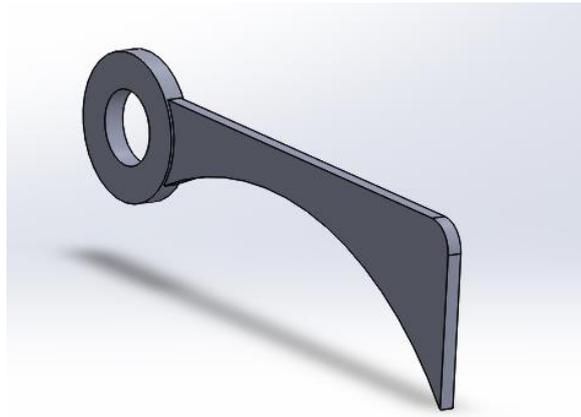
$$V_c = \frac{45 \text{ mm} * \pi * 26 \text{ rpm}}{1000} = 3.68 \text{ m/min}$$

### Cálculo de la fuerza que ejerce las cuchillas

El sistema de corte está conformado por 1 cuchilla en material acero ASTM A36 la cual está ubicado de manera que facilite el corte de la caña.

### Figura 25.

*Cuchilla de corte*



### Ecuación 12

Fuerza de corte de la caña

$$F_c = \frac{W_c * g}{n_a * n_c}$$

**Donde:**

$F_c$ : Fuerza producida por el peso de la caña (N)

$W_c$ : Peso de la caña (N)

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ )

$n_a$ : Número de apoyos (2 rodillos – und)

$n_c$ : Número de cuchillas (und)

$$F_c = \frac{1.36 \text{ Kg} * 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}}{2 * 1} = 6.67 \text{ N}$$

#### A. Cálculo de la potencia neta $P_c$ en KW para la cuchilla

### Ecuación 13

Potencia neta de la cuchilla

$$P_c = \frac{V_c * a_p * f_n * K_c}{60 * 10^3}$$

**Donde:***V<sub>c</sub>*: Velocidad de corte (m/min)*P<sub>c</sub>*: Potencia neta (KW)*a<sub>p</sub>*: Profundidad de corte (mm)*f<sub>n</sub>*: Avance de revolución (mm/r)*k<sub>c</sub>*: Fuerza de corte específica (N/mm<sup>2</sup>)

$$P_c = \frac{3.70 \frac{m}{\text{min}} * 45 \text{ mm} * 2.87 \frac{mm}{r} * 6.67 \text{ N}}{60 * 10^3} = 0.0531 \text{ KW}$$

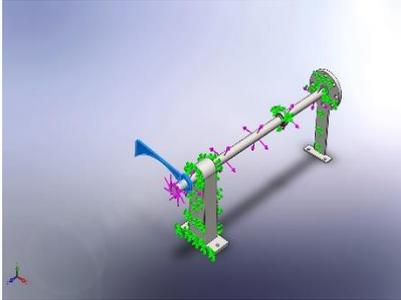
Potencia total de trabajo de corte:

$$P_{ct} = P_c * 1 = 0.0531 * 1 = 0.0531 \text{ kw} = 53 \text{ W} = 0.071 \text{ HP}$$

**Análisis de la cuchilla de corte**

Para poder analizar realizamos el diseño del sistema de cuchilla de corte con la ayuda del software SolidWorks encontramos las tensiones, desplazamientos y factor de seguridad de la pieza mecánica, datos que se presentan en la tabla 4, tabla 5 y tabla 6.

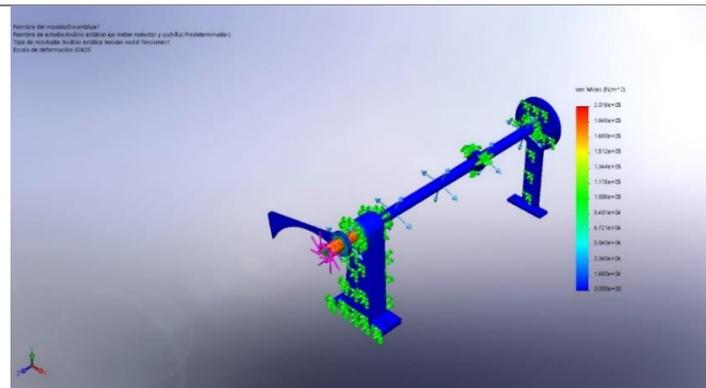
**Tabla 3.***Propiedades de material de eje de cuchilla*

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes	
	<b>Nombre:</b>	AISI 316L Acero inoxidable	Sólido  1 (Redondeo1)
	<b>Tipo de modelo:</b>	Isotrópico elástico lineal	(CUCHILLA-1)
	<b>Criterio de error predeterminado:</b>	Desconocido	
	<b>Límite elástico:</b>	1.7e+08 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Límite de tracción:</b>	4.85e+08 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Módulo elástico:</b>	2e+11 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Coefficiente de Poisson:</b>	0.265	
	<b>Densidad:</b>	8027 kg/m <sup>3</sup>	
	<b>Módulo cortante:</b>	8.2e+10 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Coefficiente de dilatación térmica:</b>	1.7e-05 /Kelvin	

De la tabla 4 podemos analizar que las tensiones de Von Mises oscila máxima de siguiente analizamos el límite elástico máximo que aguanta el eje de cuchillas, dado que soporta las cargas de torsión en el eje con la cuchilla de acero inoxidable.

**Tabla 4.***Análisis estático de tensiones del eje de cuchilla*

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
<b>Tensiones</b>	VON: Tensión de Von Mises	0.000e+00 N/m <sup>2</sup> Nodo: 12389	2.016e+05 N/m <sup>2</sup> Nodo: 1835



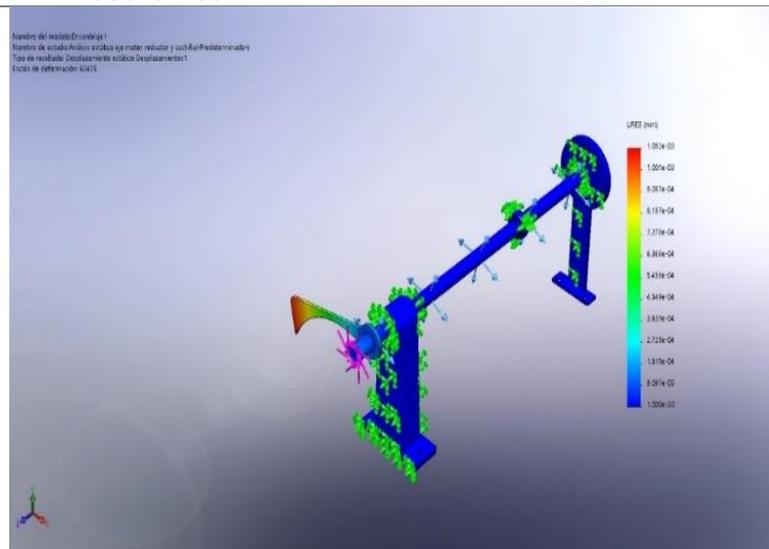
Ensamblaje1-Análisis estático eje y cuchilla-Tensiones-Tensiones1

El siguiente análisis mostrado en la tabla 5 se muestra que el desplazamiento resulte mínimo y máximo es de  $1.092 * 10^{-4} mm$  por lo que se deduce que el eje de cuchilla no fallará por su resistencia mecánica.

**Tabla 5.**

*Análisis estático de desplazamiento del eje de cuchillas*

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 908	1.092e-03 mm Nodo: 75



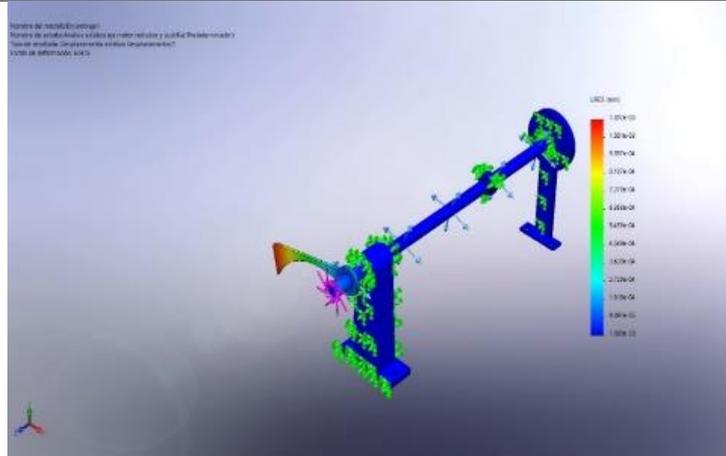
Ensamblaje1-Análisis estático eje y cuchilla-Desplazamientos-Desplazamientos1

El análisis del factor de seguridad mostrado en la tabla 6 nos da la mínima y máxima deformación que sufre el eje de la cuchilla, tomando en cuenta que el factor de seguridad mínimo esta arriba de 2, se puede concluir que la pieza mecánica está asegurada.

**Tabla 6.**

*Análisis estático del factor de seguridad en el eje de cuchilla*

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
<b>Factor de seguridad</b>	Tensión de Von Mises máx.	2.729e+04 Nodo:12389	1.092e+07 Nodo: 729



Ensamblaje1-Análisis estático eje y cuchilla-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

### **Cálculo y selección de la Banda**

Se seleccionó la correa a usarse en el proyecto en base del coeficiente de corrección de la potencia, tomando como valor el factor de corrección dependiendo la aplicación, como se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7.**

*Tabla de potencias*

Tipo de máquina conductora	Motores de corriente alterna, torque normal, a jaula de ardilla, sincrónicos, fase partida.	Motores de corriente Alternada, alto torque, alto deslizamiento, bobinado en serie y anillado colector.
----------------------------	---	---

Tipo de máquina conducida	Motores de corriente continua, bobinado en shunt. Máquinas de combustión interna, cilindros múltiples.			Motores de corriente continua, bobinado en serie y bobinado compound. Máquina a combustión interna, mono cilíndrico. Ejes en línea. Arranque directo y con embrague.		
Tiempo de servicio	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias
Trituradoras (giratorias, mandíbulas, bolas) molinos (bolas, laminadoras, barras)	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

*Nota.* Los parámetros se toman en cuenta para la potencia corregida son el tipo de máquina conductora, el tipo de máquina conducida, el tiempo de servicio y la función del equipo. (Dunlop Argentina S.A.).

La cortadora de caña de azúcar es una máquina giratoria, con un motor de corriente alterna de alto torque, como máquina conducida ejes en línea y con un servicio de hasta 7 horas diarias, corresponde un factor de servicio de 1.5.

#### **Ecuación 14**

*Cálculo de la potencia corregida*

$$P_c = P_n * F_s$$

$$P_c = 0.746 \text{ Kw} * 1.5$$

$$P_c = 1.119 \text{ Hp}$$

$$P_c = P_n * F_s = \text{Potencia corregida}$$

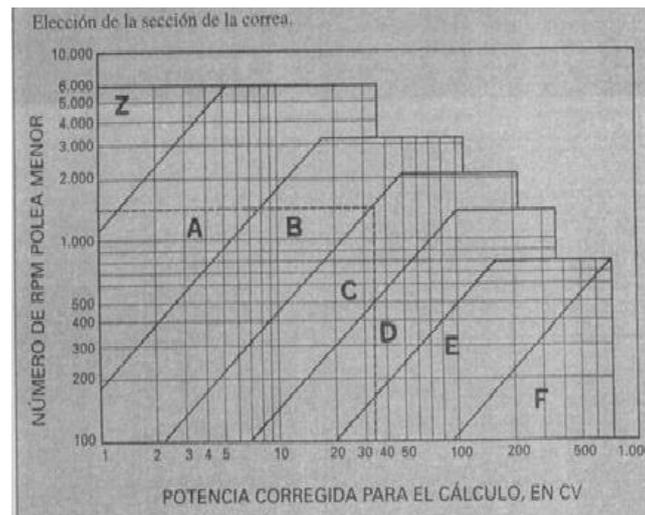
$P_n$  =Potencia nominal del motor

$F_s$  = Es el factor de servicio

Con el valor de potencia corregida de 1.119 Hp y el valor de rpm de la polea del motor que es de 1730 rpm se seleccionó de la figura, la sección de la correa necesaria.

### Figura 26.

*Datos de la potencia corregida*



Nota. Se cruza los datos de la potencia corregida que es 270 hp y de 1730 rpm en la polea menor y nos da una sección de correa tipo A a utilizarse. (Dunlop Argentina S.A.).

La longitud de la correa se calculó en función de la distancia entre centros de las poleas, y del diámetro de las poleas.

### Ecuación 15

*Cálculo de longitud de la correa*

$$L = (2 * c) + \frac{\pi}{2} * (D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 * C}$$

$$L = (2 * 300mm) + \frac{\pi}{2} * (63.5mm + 355.6mm) + \frac{(355.6mm - 63.5mm)^2}{4 * 300mm}$$

$$L = 1329,4227 \text{ mm}$$

$$L = 1.329 \text{ m}$$

Comercialmente la banda que más próximo se encuentra al valor calculado es la de 1428 mm o 56 pulgadas.

**Donde:**

**C:** Distancia entre centros de las poleas.

**$D_1$ :** Diámetro de la polea menor.

**$D_2$ :** Diámetro de la polea mayor.

### **Cálculo y selección de la catalina y cadena**

Comercialmente se encontró y se procedió a comprar 2 piñones de 14 dientes y también 2 catalinas de 49 dientes, se calculó la velocidad entregada a los rodillos y la relación de transmisión.

$$Z_1 * N_1 = Z_2 * N_2$$

$$14 * 1730 \text{ rpm} = 49 * N_2 \text{ rpm}$$

$$N_2 = \frac{14 \text{ dientes} * 1730 \text{ rpm}}{49 \text{ rpm}} = 494.28 = 494 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación de Transmision} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{494 \text{rpm}}{1730 \text{rpm}} = 0.2855$$

$$Z_1 * N_1 = Z_2 * N_2$$

$$14 * 1730 \text{ rpm} = 49 * N_2$$

$$N_2 = \frac{14 * 1730 \text{rpm}}{49}$$

$$N_2 = 494.28 \approx 494 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación de trasmisión} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{494 \text{ rpm}}{1730 \text{rpm}} = 0.29 \text{ rpm}$$

Con lo cual la relación de transmisión es de 14 dientes del piñón a 49 dientes de la catalina enlazados mediante una cadena como se aprecia en la figura 27.

### Figura 27.

*Piñón y catalina conectados mediante la cadena*



*Nota.* Se está realizando el Montaje del motor eléctrico, catalina y cadena del prototipo.

### Cálculo de selección de engranes

Las masas son de 2 pulgadas de diámetro y los ejes de transmisión de 1 pulgada, hay una separación de 0,5 mm entre las masas, con lo que da una distancia entre centros de 80 mm como se observa en la figura, valor con el cual se dimensionó la transmisión entre engranes.

### **Ecuación 16**

*Cálculo de selección de engranes*

$$m = \frac{D_p}{z}$$

$$m = \frac{3,08}{20}$$

$$m = 0,154$$

**Donde:**

***m***= Módulo

$D_p$  = Diámetro primitivo

$z$  = número de dientes

### Cálculos engrane superior:

Diámetro exterior = módulo (número de dientes + 2) = 0,154 (20+2) = 33,38 mm.

Diámetro inferior = módulo (número de dientes – 2,5) = 0,154 (20-2,5) = 26,95 mm.

Diámetro primitivo = módulo \* número de dientes = 0,154 \* 17 = 26,18 mm.

Altura de diente = 2,25 \* módulo = 2,25 \* 0,154 = 3,85 mm.

Anchura del diente = 10 \* módulo = 10\*0,154 = 15,4 mm.

Paso circular = módulo \*  $\pi$  = 0,154 \* 3,1416 = 4,83 mm

### Cálculos engrane inferior:

Diámetro exterior = módulo (número de dientes + 2) = 0,154 (20+2) = 33,38 mm.

Diámetro inferior = módulo (número de dientes – 2,5) = 0,154 (20-2,5) = 26,95 mm.

Diámetro primitivo = módulo \* número de dientes = 0,154 \* 17 = 26,18 mm.

Altura de diente = 2,25 \* módulo = 2,25 \* 0,154 = 3,85 mm.

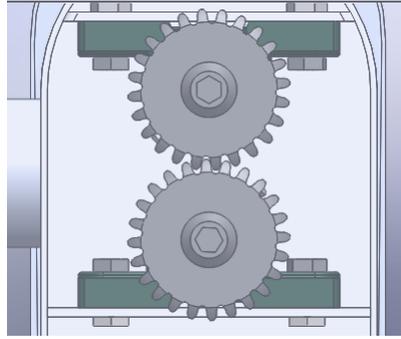
Anchura del diente = 10 \* módulo = 10\*0,154 = 15,4 mm.

Paso circular = módulo \*  $\pi$  = 0,154 \* 3,1416 = 4,83 mm

Con la ayuda de las herramientas de diseño, se creó dos engranes con modulo 0.154, el engrane superior de 20 dientes y el inferior de 20 dientes como se ve en la figura.

### Figura 28.

*Engranés creados en SolidWorks*



*Nota.* La figura muestra el diseño de los engranes superior e inferior.

### Diseño transmisión de velocidad entre engranes

La catalina transmite una velocidad de rotación a la masa del engrane superior de 20 rpm como se aprecia en la figura, con lo cual se calculó la velocidad que se transmite al engrane inferior.

$$z_1 * N_1 = z_2 * N_2$$

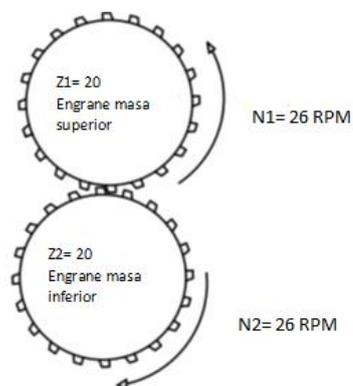
$$20 \text{ dientes} * 26 \text{ rpm} = 20 \text{ dientes} * N_2$$

$$N_2 = \frac{20 \text{ dientes} * 26 \text{ rpm}}{20 \text{ dientes}}$$

$$N_2 = 26 \text{ rp}$$

### Figura 29.

*Relación de la transmisión de potencia entre engranajes*



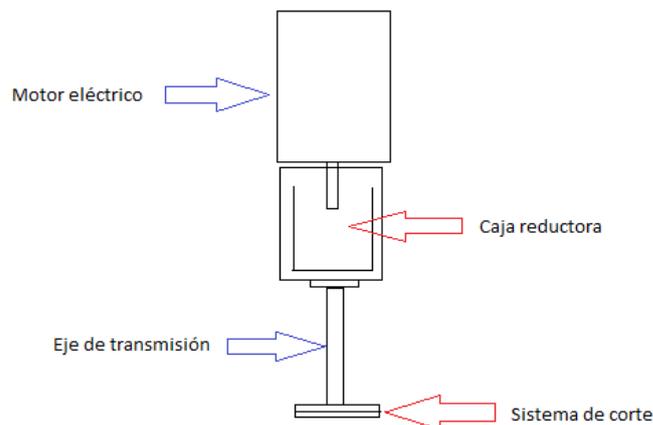
### Selección de reductor de velocidad

***Reductor de velocidad para el sistema de corte***

Como su significado lo indica los reductores de velocidad sirven para reducir la velocidad, lo que la máquina requiere para variar las revoluciones por minutos (rpm) ya que las velocidades de los motores son muy altas, En la figura se puede observar el esquema que cumple el reductor para obtener una velocidad requerida.

### Figura 30.

*Esquema de reductor de velocidad*



*Nota.* En el esquema se refleja el sistema de transmisión que posee un reductor de velocidad.

Dado que el juego de piñón- catalina calculado tiene una relación de transmisión de 0,4545, es decir  $1750 \text{ rpm del motor} * 0,4545 = 786.28 \text{ rpm}$  y se requería que la masa superior tenga alrededor de 26 rpm (debido a que comercialmente se encuentran entre bajas velocidades de entre 15-20), se calculó la relación que debe tener la caja reductora de velocidad y la velocidad de salida entregada.

$$Rpm \text{ requerido} = 26 \text{ rpm}$$

$$Rpm \text{ actual} = 786.28 \text{ rpm}$$

$$Relación \text{ de caja reductora} = \frac{Rpm \text{ actual}}{Rpm \text{ requerido}} = \frac{786.28 \text{ rpm}}{20 \text{ rpm}} = 39.31 = 40 \text{ rpm}$$

$$Velocidad \text{ de salida del reductor} = \frac{Rpm \text{ motor}}{Relación \text{ de transmisión}} = \frac{1730 \text{ rpm}}{40} = 43.25 \text{ rpm}$$

Por lo tanto, se seleccionó una caja reductora de velocidad con relación de 1-40 como se aprecia.

### **Figura 31.**

*Caja reductora de velocidad*



*Nota.* En la figura se puede apreciar el reductor de velocidad de 1-40 rpm.

### **Características del motorreductor**

**Donde:**

**Series:** BAUFER-1836830

**Modelo:** BK10-74V

**Factor de potencia:**  $\cos\phi$  0.70

**Potencia del motor:** 0.18 (KW)= 0.24 HP

**Velocidad nominal:** 1350 /min

**Velocidad de salida:** 44 /min

**Tipo de conexión:** 400 V-50 Hz-Y

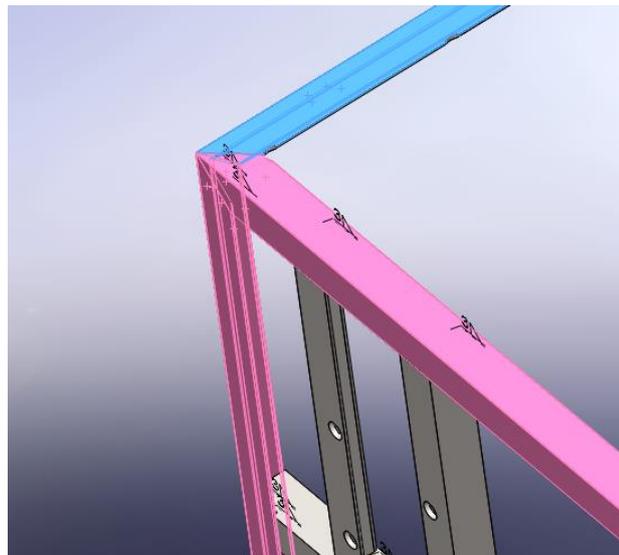
**Cantidad de aceite:** 1.65 L

### **Soldadura de la estructura**

#### **A. Propiedades del material a utilizar**

**Tabla 8.***Características de la estructura*

<b>CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA</b>
<b>Dimensiones generales</b>
<b>Largo:</b> 600 mm
<b>Ancho:</b> 350 mm
<b>Alto:</b> 600 mm
<b>Material de construcción de acero ASTM A36</b>
<b>ángulo estructural:</b> 30 mm x 30 mm x4 mm
<b>Propiedades Mecánicas</b>
<b>Límite de fluencia:</b> 250 Mpa
<b>Resistencia a la tracción:</b> 400-500 Mpa

**Figura 32.***Soldadura a aplicar***B. Selección del diámetro del electrodo**

**Figura 33.**

*Correspondencia en función al material y espesor*

Tabla de correspondencias			
Material a soldar:	Espesor del material en mm:	Intensidad necesaria (en Amperios):	Diámetro del electrodo (en mm):
Acero dulce			
	1,5	40 a 60	1,6
	2 y 3	60 a 70	2
	2 a 5	80 a 100	2,5
	3 a 10	100 a 130	3,2
	>5	130 a 160	4
Acero inoxidable			
	>1,5	80 a 100	2,5
Hierro			
	>3	80 a 100	2,5

*Nota.* Selección del diámetro del electrodo de acuerdo al material y espesor a soldar. Tomado de Soldadura por arco eléctrico, 2015 como se citó en Chapañan & Peralta, 2019.

Para proceder a realizar la soldadura al arco con electrodo recubierto, hay diferentes tipos de electrodos que se debe tomar en cuenta el material y espesor de lo que se requiere soldar, para la selección se debe considerar el material y el tipo de electrodo de recubrimiento y diámetro del electrodo. La cual la AWS (American Welding Society) han normalizado su utilidad y su diseño.

**Figura 34.**

*Resistencia de los electrodos a la tensión*

Número de electrodo	Resistencia a la tracción		Limite de fluencia		Alargamiento por 100
	kg/cm <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>2</sup>	psi	
AWS*					
E60xx	4,350	62,000	3,520	50,000	17-25
E70xx	4,920	70,000	4,000	57,000	22
E80xx	5,620	80,000	4,700	67,000	19
E90xx	6,330	90,000	5,400	77,000	14-17
E100xx	7,030	100,000	6,000	87,000	13-16
E120xx	8,440	120,000	7,500	107,000	14

*Nota.* En la figura se puede apreciar los valores los cuales nos permitirán realizar diferentes cálculos con respecto a soldadura. Tomado de Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley por Budynas & Nisbett (2008)

### C. Cálculo considerando esfuerzo cortante.

De acuerdo a las propiedades mecánicas tanto de la estructura como del material de acero ASTM A36 del ángulo 30mm x 30mm x 4mm y la resistencia de la soldadura se realiza uniones soldadas de 3.2 mm alrededor, por lo cual calculamos el soporte de la fuerza permisible ( $F_{perm}$ ) y comparamos con la fuerza que soporta la estructura.

#### **Ecuación 17**

*Esfuerzo cortante de la soldadura*

$$\tau = \frac{F_{perm}}{A}$$

**Donde:**

$\tau$  : *Esfuerzo cortante admisible de la soldadura (Pa)*

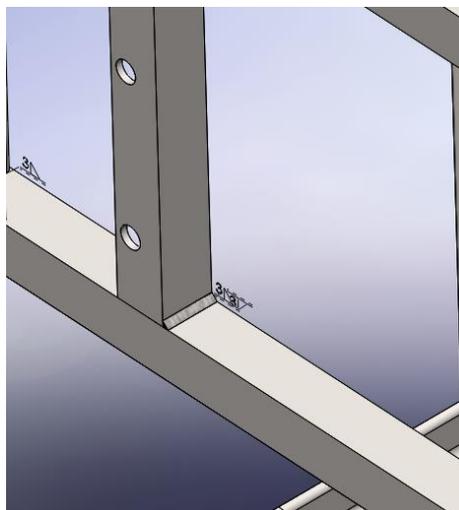
$F_{perm}$  : *Fuerza máxima permisible (N)*

$A$ : *Sección cortante de soldadura (m<sup>2</sup>)*

*Se debe considerar la magnitud de  $F = 100.54 N$*

#### **Figura 35.**

*Espesor de soldadura*



*Nota.* La figura se puede observar el tipo de soldadura filete.

Tabla 9.

Carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete							
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)							
	60*	70*	80	90*	100	110*	120
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca con penetración parcial							
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal							
$^*f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h
Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal							
Tamaño del cateto h, pulg							
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59

\*En realidad, las soldaduras de filete fueron ensayadas por el AISCAWIS Task Committee.  
 $^*f = 0.707h\tau_{perm}$

Nota. En la tabla se puede observar los valores de la carga seleccionados para el cálculo. Tomado de Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley por Budynas & Nisbett (2008).

Para seguir con los cálculos se selecciona el valor de la fuerza constante admisible de la soldadura para un electrodo E60 XX que da un valor de 18 kpsi (124.103 MPa) la cual se reemplaza en la formula

$$F_{perm} = 124.106 * 10^6 Pa * 0.00019 m^2$$

$$F_{perm} = 23580.14 N$$

El resultado obtenido de la fuerza permisible es sumamente superior a la fuerza máxima cortante por lo cual soporta la estructura que tiene una magnitud de  $F=100.54 N$ .

#### D. Cálculo considerando esfuerzo de tensión

Considerando la Fuerza permisible de tensión para la soldadura de filete de 3.2 mm para un tamaño de cateto de 1/8 es decir de 1.59 klb/pulg de soldadura, tenemos una longitud de dos lados de 30 mm en total de 60 mm o 2.3622 pulg, es decir:

$$F_{perm\_tensión} = 1.59 l$$

$$F_{perm\_tensión} = 1.59 * (2.3622) = 3.7558 \text{ klb} = 16706.54 \text{ N}$$

### Diseño y análisis de la estructura base en SolidWorks

Para realizar el análisis estático de esfuerzos mecánicos que van a producir en la máquina cortadora de caña diseñado en el software SolidWorks, se consideró los elementos con todos los pesos necesarios que están conformados dentro de la estructura, en donde sujeta los sistemas de arrastre y sistema de corte que es necesario tener en cuenta algunos aspectos para el proceso de fabricación.

#### Figura 36.

*Diseño de la estructura base*

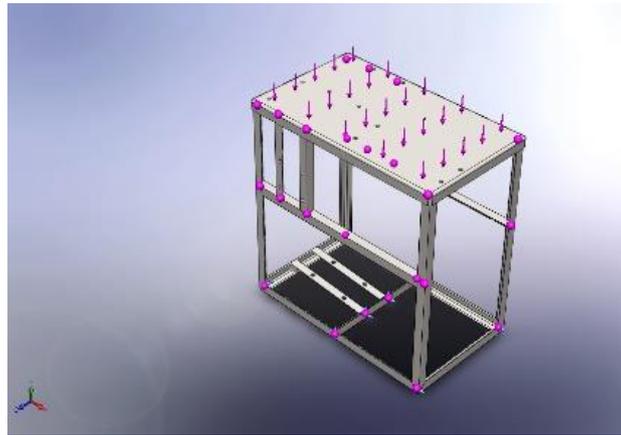


Realizado el diseño se concluyó que la estructura es resistente para colocar los diferentes elementos en las partes interiores y exteriores que ayudaran en el proceso de corte de la caña de azúcar.

Se utilizó para el diseño de la estructura base un ángulo AISI 1020 de 30 x 30 x 4 mm, en donde se puede apreciar a continuación las cargas que van a ejercer sobre su estructura.

**Figura 37.**

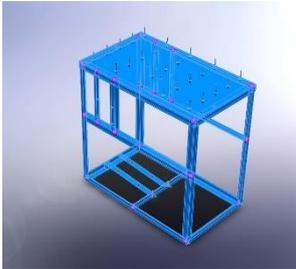
*Cargas de la estructura base*



El análisis que se presenta en la tabla 12 se da a conocer información sobre las propiedades del material de la estructura base, teniendo en cuenta el tipo de material.

**Tabla 10.**

*Propiedades y componentes de la estructura*

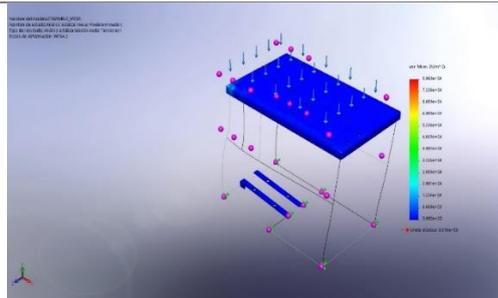
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes	
	<b>Nombre:</b>	AISI 1020	Sólido 1(Hierro
	<b>Tipo de modelo:</b>	Isotrópico elástico lineal	angular 30 X 30 X
	<b>Criterio de error predeterminado:</b>	Desconocido	4(1)[4])(BASE-1),
	<b>Límite elástico:</b>	3.51571e+08 N/m <sup>2</sup>	Sólido 2(Hierro
	<b>Límite de tracción:</b>	4.20507e+08 N/m <sup>2</sup>	angular 1)
	<b>Módulo elástico:</b>	2e+11 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Coefficiente de Poisson:</b>	0.29	
	<b>Densidad:</b>	7900 kg/m <sup>3</sup>	
	<b>Módulo cortante:</b>	7.7e+10 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Coefficiente de dilatación térmica:</b>	1.5e-05 /Kelvin	

En la tabla 11 se muestra el análisis realizado en cuanto a las tensiones de la estructura en donde se puede apreciar la tensión axial y flexión en el límite superior con sus datos mínimo y máximo que es de  $8.003 * e^4 N/m^2$ .

**Tabla 11.**

*Análisis de tensiones de la estructura metálica*

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
<b>Tensiones</b>	VON: Tensión de Von Mises	0.000e+00 N/m <sup>2</sup> Nodo: 1	8.003e+04 N/m <sup>2</sup> Nodo: 4112



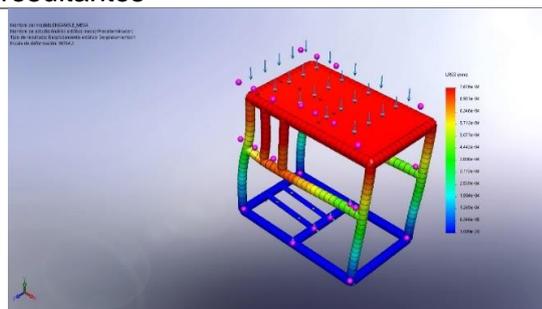
#### ENSAMBLE\_MESA-Análisis estático mesa-Tensiones-Tensiones1

En el análisis mostrado en la tabla 12 se puede observar que el desplazamiento máximo de la estructura es de  $7.616 * e^{-4} mm$  lo cual muestra y se considera que la estructura diseñada no fallara.

**Tabla 12.**

*Análisis de desplazamiento de la estructura metálica*

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
<b>Desplazamientos1</b>	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 1	7.616e-04 mm Nodo: 5707



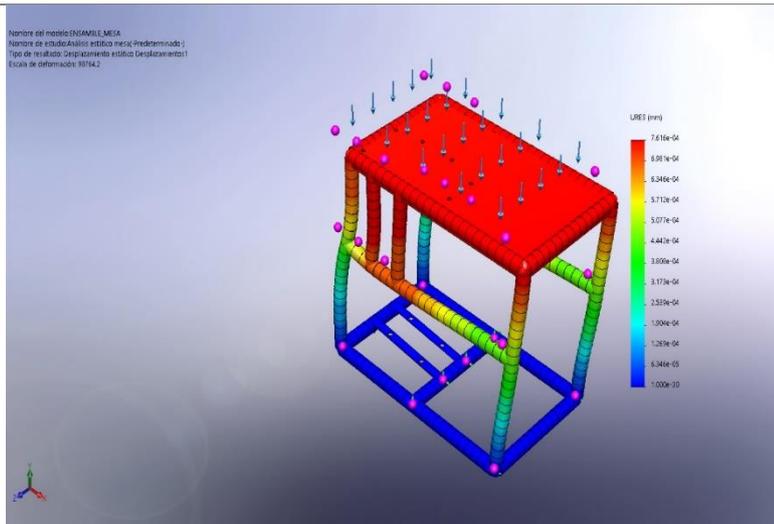
#### ENSAMBLE\_MESA-Análisis estático mesa-Desplazamientos-Desplazamientos1

La estructura metálica tiene un factor de seguridad máxima elevado de 2 que garantiza que no fallará para sus cargas del sistema de arrastre y del sistema de corte.

**Tabla 13.**

*Análisis del factor de seguridad de la estructura metálica*

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de Von Mises máx.	6.346e+05 Nodo:12389	6.981e+04 Nodo: 4695



ENSAMBLE\_MESA -Análisis estático-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

## Etapas de construcción

Una vez realizado el respectivo diseño, cálculo y análisis del sistema de la máquina tanto en lo mecánico, eléctrico y electrónico se procede a la fabricación de la máquina, para el cual se recomienda hacerlo por fases debido a que consta de algunas piezas.

### A. Sistema de arrastre

En la figura 38,39 y 40 se puede observar el proceso de fabricación de las partes del sistema de arrastre.

**Figura 38.**

*Fabricación de los rodillos*



**Figura 39.**

*Ensamblaje de la parte interna*



**Figura 40.**

*Colocación de los rodillos de arrastre*



### **B. Sistema de corte**

En la figura 41 y 42 se observa el proceso de elaboración de la cuchilla y el eje de transmisión para el corte de la caña.

**Figura 41.**

*Elaboración de la cuchilla*



**Figura 42.**

*Corte del eje de transmisión de cuchilla*



### **C. Estructura de la máquina**

En la figura 43 y 44 se puede observar el proceso de la fabricación de la estructura con sus respectivas bases para los diferentes sistemas de funcionamiento.

**Figura 43.**

*Fabricación de la estructura metálica*



**Figura 44.**

*Soldadura de las piezas que conforman la estructura*



#### **D. Fabricación de las cubiertas de la máquina**

En la figura 45,46 y 47 se puede observar el proceso para el recubrimiento de la máquina.

**Figura 45.**

*Corte del material de acero inoxidable*



**Figura 46.**

*Ensamble de las cubiertas en la máquina*



**Figura 47.**

*Recubrimiento completo de la máquina*



### **E. Pintado de la máquina**

En la figura 48 y 49 se puede observar el proceso de pintado de algunas partes de la máquina.

**Figura 48.**

*Pintado de las piezas mecánicas*



**Figura 49.**

*Pintado de la cubierta de la tapa exterior*



#### **F. Instalación del sistema eléctrico**

En la figura 50,51 y 52 se puede observar la instalación del sistema eléctrico en la máquina.

**Figura 50.**

*Conexión del circuito de potencia*



**Figura 51.**

*Instalación del circuito de control*



**Figura 52.***Instalación del tablero eléctrico***Selección de sistemas eléctricos y mecánicos*****Selección de pulsadores y luces piloto***

Selección de pulsadores para su respectivo paso y cierre de corriente con un control visual de luces pilotos.

**Tabla 14.***Características de pulsadores y luces piloto*

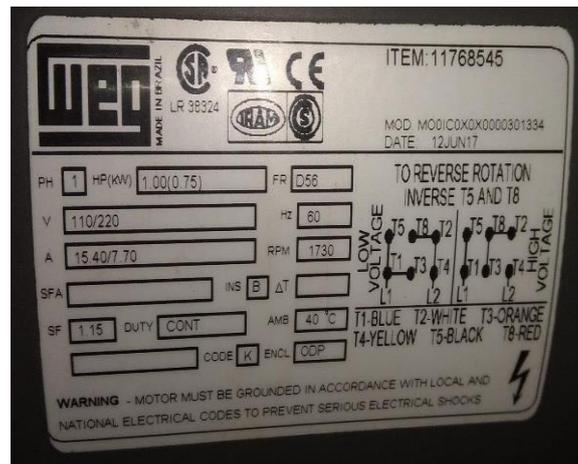
<b>Color</b>	<b>Contactores auxiliares</b>	<b>Tensión</b>
Pulsadores para seleccionar con o sin retención		
<b>Verde</b>	NA	120V/220V- AC/DC
<b>Rojo</b>	NA	120V/220V- AC/DC
Pulsadores para parada de emergencia		
<b>Rojo</b>	NC	120V/220V- AC/DC
Pilotos de señalización		
<b>Verde</b>	Piloto compacto, LED incluido	120V/220V- AC/DC
<b>Rojo</b>	Piloto compacto, LED incluido	120V/220V- AC/DC
<b>Amarillo</b>	Piloto compacto, LED incluido	120V/220V- AC/DC

## Selección de motores

Se considero primero la potencia que va necesitar la máquina de acuerdo a los cálculos realizados, en donde se pudo considerar que necesitamos 0.38 KW para el buen funcionamiento del sistema de la máquina.

**Figura 53.**

*Datos del motor monofásico*



**Tabla 15.**

*Características del motor*

<b>Motor</b>	M1-monofasico
<b>Potencia</b>	1HP/0.75 KW
<b>Tensión nominal</b>	220 V
<b>Corriente nominal</b>	7.70 A
<b>Numero de polos</b>	4
<b>Factor de potencia</b>	0.92 (100%)

**Cálculo de corriente nominal de motor ( $I_n$ )**

$$I_n = \frac{P}{V \times \cos\phi}$$

**Donde:**

$I_n$ : Corriente nominal (A)

$P$ : Potencia (watts)

***COSφ: Factor de potencia***

$$1HP \times \frac{746 W}{1 HP} = 746 W$$

$$I_n = \frac{746 W}{220 V \times 0.92} = 3.68 A$$

***Cálculo de la potencia de entrada***

$$Potencia de entrada = \frac{746 W}{0.92} = 810.86 W$$

***Cálculo de la intensidad de arranque***

$$I_{arranque} = I_l * (CODE K)$$

$$I_{arranque} = 3.68 A * 8.0$$

$$I_{arranque} = 28.44 A$$

***Cálculo de la potencia reactiva***

$$Q = Potencia de entrada * \tan\theta$$

$$Q = 810.86 W * 0.92$$

$$Q = 745.62 VA$$

$$Q = 0.745 KVA$$

***Selección del contactor***

$$I_k \geq I_n$$

$$I_k \geq 3.68 A$$

Obtenida la corriente nominal procedemos a seleccionar un contactor de 12 A de acuerdo a su marca y capacidades que soporta, además se seleccionó con una bobina de 220V/60Hz.

***Selección del Interruptor termomagnético***

$$I_{termomag} \geq I_k$$

$$I_{termomag} \geq 12 A$$

Seleccionamos un Interruptor termomagnético de 20 Amperios, para su correcto funcionamiento.

### **Selección de Relé térmico**

Para la selección de relés térmicos, se debe considerar la corriente nominal del motor, Por lo que debe estar en una regulación mínima y máxima comprendida en el punto medio del relé térmico.

- **Regulación mínima**

$$I_{min} = I_n * 0.8 = 3.68 A * 0.8 = 2.94 A$$

- **Regulación máxima**

$$I_{max} = I_n \div 0.8 = 3.68 A \div 0.8 = 4.60 A$$

Donde:

$I_n$ : Corriente nominal (A)

$I_{min}$ : Corriente mínima (A)

$I_{max}$ : Corriente máxima (A)

Por lo tanto, con el resultado mínimo y máximo tenemos el relé térmico con un rango de 2.94 - 4.60 A, en tanto a la marca y a sus capacidades se seleccionó un relé térmico de 3 - 5 Amperios.

### **Selección de conductor de alimentación**

Es importante conocer el calibre del conductor de acuerdo al trabajo que va a realizar, por la razón que si conectamos un conductor de menos corriente se producirá un calentamiento y eventualmente se quemará.

Considerando que el conductor a utilizar se selecciona el calibre del cable (AWG) como lo estimula la normativa NEC, para realizar la selección debemos calcular la caída de tensión máxima lo que se debe estimar que no debe superar al 3% de la tensión de la línea, considerando que para la resistividad del cobre es de  $0.0172 \Omega\text{mm}^2/m$ , para el aluminio de  $0.028 \Omega\text{mm}^2/m$ .

$$\Delta V = \frac{2 * \rho * \Sigma I * L * \cos\varphi}{S}$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} * 100$$

**Donde:**

$\rho$ : resistividad del conductor  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

$\Sigma I$ : Total de la corriente (A)

$S$ : Sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )

$L$ : Distancia a instalar (m)

$\cos\varphi$ : Factor de potencia

$\Delta V$ : Caída de tensión máxima (V)

$\% \Delta V$ : Caída de tensión máxima (3%)

$V$ : Tensión de alimentación (V)

De acuerdo a la tabla 18 tomamos las secciones de  $5.25 \text{ mm}^2$  con su conductor AWG 10 para su debida caída de tensión.

$$\Delta V = \frac{2 * 0.0172 * 3.68 \text{ A} * 5 * 0.92}{5.25}$$

$$\Delta V = 0.11 \text{ V}$$

$$\% \Delta V = \frac{0.11 \text{ V}}{220} * 100 = 0.5\%$$

$$\% \Delta V = 0.5\% < 3\%$$

**Tabla 16.**

*Tabla de calibres de cables eléctricos*

Calibre AWG-MCM	Sección Real ( $\text{mm}^2$ )	Intensidad Admisible (A)
14	2.081	30
12	3.309	40
10	5.261	55
8	8.366	70
6	13.300	100
4	21.150	130

Calibre AWG-MCM	Sección Real (mm <sup>2</sup> )	Intensidad Admisible (A)
3	26.670	150
2	33.630	175
1	42.410	205
1/0	53.480	235
2/0	67.430	275
3/0	85.030	320
4/0	107.200	370
250 MCM	126.700	410
300 MCM	151.000	460

Considerando la caída de tensión podemos seleccionar un cable para la alimentación principal sea considerado un calibre de 10 AWG para alimentar el motor monofásico de 220 V un calibre de 10-12 AWG y finalmente para los componentes eléctricos y electrónicos de control de tablero un calibre de 16-18 AWG.

### Selección del motorreductor

Considerando la potencia total que necesita la máquina de acuerdo a los cálculos realizados podemos considerar que necesitamos un motorreductor de 1-40 rpm para el buen funcionamiento de la misma, para ello se procedió a seleccionar un motorreductor trifásico con las siguientes características.

### Figura 54.

*Datos del motorreductor trifásico*



**Tabla 17.***Características del motorreductor*

<b>Motor</b>	M3-Trifásico
<b>Potencia</b>	0.24 Hp/0.18 KW
<b>Tensión nominal</b>	220V-50Hz-Y
<b>Corriente nominal</b>	0.62 A
<b>Factor de potencia</b>	0.70 (100%)

**Cálculo de corriente nominal del motorreductor ( $I_n$ )**

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V \times \cos\phi}$$

**Donde:** $I_n$ : Corriente nominal (A) $P$ : Potencia (watts) $\cos\phi$ : Factor de potencia

$$0.24HP \times \frac{746 W}{0.24 HP} = 746 W$$

$$I_n = \frac{746 W}{400 V \times 0.70} = 2.66 A$$

**Selección del Contactor**

$$I_k \geq I_n$$

$$I_k \geq 2.66 A$$

Obtenida la corriente nominal procedemos a seleccionar un contactor de 12 A de acuerdo a su marca y capacidades que soporta, además se seleccionó con una bobina de 220V/50-60Hz.

### **Selección del Interruptor termomagnético**

$$I_{termomag} \geq I_k$$

$$I_{termomag} \geq 12 A$$

Seleccionamos un Interruptor termomagnético de 20 Amperios, para su correcto funcionamiento.

### **Selección de Relé térmico**

- **Regulación mínima**

$$I_{min} = I_n * 0.8 = 2.66 A * 0.8 = 2.12 A$$

- **Regulación máxima**

$$I_{max} = I_n \div 0.8 = 2.66 A \div 0.8 = 3.32 A$$

Donde:

$I_n$ : Corriente nominal (A)

$I_{min}$ : Corriente mínima (A)

$I_{max}$ : Corriente máxima (A)

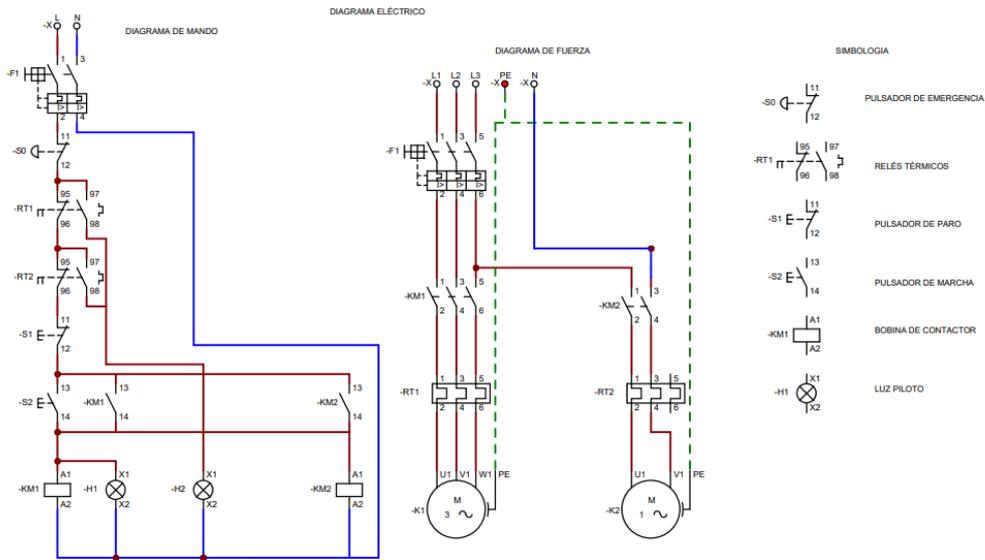
Por lo tanto, con el resultado mínimo y máximo tenemos el relé térmico con un rango de 2.12 – 3.32 A, en tanto a la marca y a sus capacidades se seleccionó un relé térmico de 2.5 - 4 Amperios.

### **Diseño del sistema eléctrico**

Una de las principales características del arranque del motor es la red y la carga que aplica, en la figura 55 se puede ver el diagrama unifilar del circuito de potencia y control.

**Figura 55.**

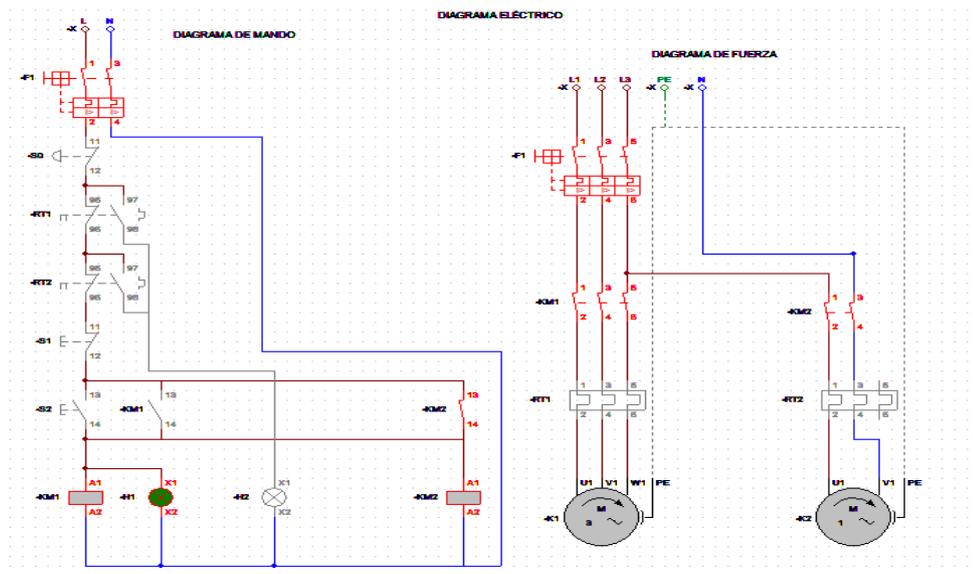
*Diagrama del sistema eléctrico*



Teniendo en cuenta las capacidades calculadas anteriormente se procedió a simular el circuito en el software CadeSimu.

**Figura 56.**

*Simulación del circuito*



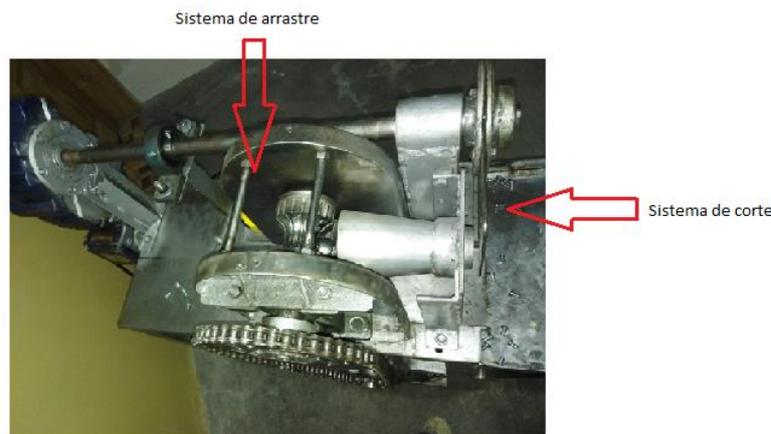
*Nota.* En esta figura se puede verificar el funcionamiento de la simulación del circuito de mando de acuerdo al trabajo que realiza en la máquina tomando en cuenta al voltaje y corriente que va a funcionar.

## Funcionamiento de la máquina cortadora de caña de azúcar

Para el funcionamiento de la máquina cortadora de caña se pone en marcha los motores para que de esta manera continúe a funcionar las dos etapas para el corte : sistema de arrastre de los rodillos y el sistema de eje de la cuchilla de corte, la caña de azúcar se introduce en la entrada de los rodillos de arrastre los cuales están estipulados con una velocidad determinada para su respectivo avance , luego de ello entra en contacto con la cuchilla de corte el cual procede a cortar la caña de azúcar en pedazos de tamaño estándar de 15 centímetros , de tal modo que va cortando se va recolectando la caña en una bandeja recolectora ,finalmente la caña sale cortada en pedazos evitando así de esta manera el mayor contacto humano posible con la caña y mejorando la salubridad en un tiempo mejorado con la ayuda de la máquina.

### Figura 57.

*Funcionamiento de la máquina cortadora de caña de azúcar*



*Nota.* La figura muestra el proceso de corte de la caña que empieza en el sistema de arrastre y termina por el sistema de corte.

### **Pruebas de funcionamiento**

#### **Prueba N.-1**

Se realizaron las pruebas de funcionamiento para verificar su sistema y de tal modo corregir fallas que se presenten en el sistema de arrastre y en el sistema de corte, en cuanto a la primera prueba realizada como se muestra en la figura 58, la caña no salió con

un corte preciso el cual se dio a conocer que existe una falla en el sistema de la cuchilla al no estar afilado adecuadamente, también por otra parte el corte no salía totalmente acabado ya que esta con la cuchilla tipo punta redondeada.

**Figura 58.**

*Primera prueba de corte*



**Prueba N.-2**

En esta prueba como se puede observar en la figura 59, el corte de la caña es correcto y preciso ya que se realizó el respectivo afilado de la cuchilla, por otro lado, en cuestión de la cuchilla se realizó un tipo punta angular, de tal modo la caña salió en perfectas condiciones por lo que se comprobó que la máquina está en buenas condiciones para funcionar.

**Figura 59.**

*Prueba de funcionamiento de corte de la caña*



### Costos de energía eléctrica consumida

Para calcular la energía eléctrica consumida por la máquina se tiene en cuenta el motor monofásico que es de 1 HP con una potencia de 0.75 KW.

Tiempo de trabajo = 5h/día

Se procede a realizar los cálculos:

#### **Ecuación 18**

*Consumo diario de energía eléctrica*

$$E_{diario} = P_{motor}$$

**Donde:**

*E<sub>diario</sub>*: Consumo diario (KW/h)

*P<sub>motor</sub>*: Consumo del motor

*t*: Tiempo diario de consumo (horas)

Reemplazamos los datos en la ecuación

$$E_{diario M1} = 746 \text{ KW} * 5 = 3.73 \text{ KW/h}$$

$$E_{diario M2} = 0.24 \text{ KW} * 5 = 1.2 \text{ KW/h}$$

$$E_{diario} = 4.93 \text{ KW/h}$$

Luego procedemos a calcular el consumo mensual, de acuerdo a los días de trabajo que son 20 días al mes.

#### **Ecuación 19**

*Consumo mensual de energía eléctrica*

$$E_{mes} = E_{dias} * Dias$$

**Donde:**

*E<sub>mes</sub>*: Consumo mensual (KW/h)

*E<sub>dias</sub>*: Consumo diario (KW/h)

*Dias*: días de consumo

$$E_{mes} = 4.93 \frac{KW}{h} * 20 \text{ dias} = 98.6 \frac{KW}{h}$$

Luego de obtener este resultado, tomamos el costo promedio en Ecuador que es de 0.10 centavos y calculamos.

### **Ecuación 20**

*Costo mensual de energía*

$$C_{mes} = E_{mes} * Costo$$

**Donde:**

*C<sub>mes</sub>: Costo mensual (dolares)*

*E<sub>mes</sub>: Consumo diario (KW/h)*

*Costo: Valor en dólares (KW/h)*

$$C_{mes} = 98.6 \frac{KW}{h} * 0.10 = 9.86 \text{ dólares}$$

## **Manual de operación y seguridad**

### **Instrucciones de operación**

A continuación, se da a conocer el procedimiento para poner en marcha el corte de la caña de azúcar.

1. Se hace la inspección visual de no observar piezas extrañas que no compongan la máquina.
2. Se inicia el encendido de la máquina con el pulsador de marcha una vez que el operario previamente haiga realizado el proceso de lubricación en los piñones y catalinas.
3. Se espera unos minutos antes de operar a que el sistema lubrique todas sus partes y se observe como se transforma el movimiento rotacional de las catalinas y piñones con el movimiento de las cuchillas.
4. Evitar introducir la caña a un diámetro superior a 50mm.

5. Evitar introducir la caña con desperfectos(dobladas) para que no existan fallos en el proceso de corte.
6. Se inicia el proceso de operación para corte de caña de azúcar.
7. Se introduce la caña libremente en el tubo de guía para que proceda al arrastre de la caña hasta que llegue al proceso de operación de corte y se realice el proceso.
8. Para poder realizar un nuevo proceso de operación con las siguientes cañas, verificar que el proceso anterior de corte este totalmente acabado.
9. Después de terminar el proceso de trabajo se procede a apagar la máquina y de esa forma termina el proceso de operación.

### ***Manual de seguridad***

1. No colocar objetos pesados sobre la máquina.
2. Evitar manipular los elementos mecánicos y eléctricos de la máquina.
3. Asegurarse de inspeccionar piezas que no sean correspondientes a la máquina.
4. No utilizar la máquina para otras funciones de trabajo.
5. Mantener la distancia especifica con la máquina en funcionamiento.
6. Utilizar guantes al introducir y recoger la caña para mantener el rango de sanidad.
7. Al momento de introducir la caña el operario deberá tener cuidado ya que los rodillos de arrastre y la cuchilla están en funcionamiento.
8. En caso de alguna interferencia durante el proceso de corte de la caña se deberá apagar la línea de alimentación para detener el funcionamiento de la máquina.
9. Especificar que el operario tenga los debidos cuidados de seguridad y sanidad al momento de operar.

### **Plan de mantenimiento de la máquina cortadora de caña**

#### ***Plan de mantenimiento preventivo***

El mantenimiento preventivo en dicha máquina se efectúa periódicamente en donde algunas acciones de mantenimiento preventivas son: ajustes, limpieza, análisis, lubricación, calibración, reparación, cambios de piezas, entre otros, con el objetivo de detectar fallas que

puedan llevar al mal funcionamiento del objeto en mantenimiento y, de esta manera se evita los altos costos de reparación y se disminuye la probabilidad de paros imprevistos.

***Plan de mantenimiento correctivo***

El mantenimiento correctivo es una actividad que se lleva a cabo para reparar el daño encontrado durante el mantenimiento preventivo ya que no se trata de un conjunto de acciones planificadas, ya que se realiza cuando un componente ha sido dañado. Su objetivo es restaurar la confiabilidad del sistema y devolverlo a su estado original.

Tabla 18.

Plan de mantenimiento preventivo

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
PARTES	PERIODO					OBSERVACIÓN
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral	Anual	
<b>Cuchilla</b>		X				Limpiar y afilar la cuchilla para asegurar el corte preciso de la caña.
<b>Ajuste de pernos de cuchillas</b>			X			Se debe verificar el ajuste de los pernos de las cuchillas para que durante el proceso no surjan fallas.
<b>Ajuste de pernos y prisioneros totales de la máquina</b>				X		Se recomienda verificar y dar ajuste a todos los pernos para evitar des calibración en el sistema mecánico de la máquina.
<b>Motorreductor</b>				X		Inspeccionar el estado del aceite de la caja para mantener en buen estado los engranes internos, sí es necesario cambiarlo.
<b>Rodillos de arrastre</b>	X					Dar la debida limpieza para quitar impurezas que haiga quedado durante el proceso de trabajo.
<b>Estructura</b>				X		Se recomienda dar la debida limpieza de toda la estructura para evitar el desgaste del material y tener buena presentación.
<b>Bandeja</b>	X					Realizar la limpieza de la bandeja diariamente para mantener la caña en buen estado de sanidad.

Tabla 19.

Plan de mantenimiento correctivo

PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO					
PARTES	PERIODO				OBSERVACIÓN
	Diario	Semestral	Anual	2 años	
<b>Piñones</b>			X		Se debe visualizar el sistema de piñones en cuanto a desgastes de los dientes y fallos de lubricación.
<b>Catalinas</b>			X		Se recomienda verificar el desgaste de los dientes y lubricación respectivamente en el sistema.
<b>Cadenas</b>		X			Se recomienda inspeccionar el desgaste de los pasadores, los casquillos y rodillos
<b>Banda</b>		X			Se debe inspeccionar el desgaste ya que durante el trabajo suele producir daño en sus alrededores.
<b>Motor</b>				X	Inspección del funcionamiento y cambio de rodamientos.
<b>Motorreductor</b>				X	Inspección interna de los engranes de la caja y cambio de aceite.
<b>Cuchilla</b>			X		Realizar cambio de cuchilla para mantener el estado de corte en estándar.
<b>Rodamientos de las chumaceras</b>			X		Verificar el estado de los rodamientos y si es necesario realizar el cambio.
<b>Tablero eléctrico de control</b>				X	Verificar el funcionamiento de los elementos de control, si existe algún fallo realizar el cambio efectivamente.

## Estudio Económico de la máquina cortadora de caña

Se ha tenido en cuenta los costos de cada una de sus partes de la máquina cortadora de caña.

### Costos Directos

Los costos directos de la máquina son aquellos que actúan de manera directa como: mano de obra, herramientas, elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos.

**Tabla 20.**

*Costos directos*

COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS				
Elemento	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Motor eléctrico Monofásico	Unidad	1	\$280,00	\$280,00
Motorreductor de velocidad	Unidades	1	\$350,00	\$350,00
Plancha de Acero ASTM A36	Kilogramos	12	\$4,50	\$54,00
Ángulos metálicos	Unidad	2	\$11,50	\$23,00
Pernos-tuercas 3/8	Unidad	20	\$0.40	\$8,00
Chumaceras	Unidad	6	\$15.00	\$90,00
Electrodos E60XX	Libras	1	\$3,80	\$3,80
Engranés (d=20)	Unidad	2	\$ 8,50	\$17,00
Banda tipo A	Unidad	1	\$6,50	\$6,50
Polea 14"	Unidad	1	\$ 16,00	\$16,00
Polea 3"	Unidad	1	\$6,00	\$6,00
Cadena 14-28	Unidad	2	\$12,00	\$24,00
Catalina d=49	Unidad	2	\$18,50	\$37,00

<b>Elemento</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
Piñón d=14	Unidad	2	\$7,50	\$15,00
Rodillos AISI 304	Kilogramos	10	\$4,80	\$48,00
Plancha de Acero AISI 1020	Kilogramos	10	\$4,00	\$40,00
Ejes de Acero ISI 1020	Metros	3	\$9,00	\$27,00
Pulsadores metálicos	Unidad	2	\$1,90	\$3,80
Paro de emergencia	Unidad	1	\$2,80	\$2,80
Luces piloto	Unidad	2	\$1,40	\$2,80
Contactador LS	Unidad	2	\$ 14,80	\$29,60
Relé térmico LS	Unidad	2	\$ 16,70	\$33,40
Disyuntor	Unidad	2	\$8,50	\$17,00
Cable AWG flexible #10	Metros	7	\$0,60	\$4,20
Cable AWG flexible #14	Metros	12	\$0,40	\$4,80
Riel Dim	Metros	1	\$1,30	\$1,30
Caja metálica	Unidad	1	\$45,00	45,00
Terminales tipo U	Unidad	1	\$10,00	\$10,00
Amarras platicas	Unidad	1	\$1,80	\$1,80
Espiral de dexion	Metros	2	\$2,80	\$5,60
<b>PRECIO TOTAL</b>				<b>\$1207,40</b>

## Capítulo IV

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- En la elaboración del prototipo de la máquina cortadora de caña de azúcar se diseñaron los componentes con la ayuda del software SolidWorks el cual nos permite realizar comprobaciones mediante simulaciones y de esa manera tomar decisiones en cuanto a mejoras del diseño, para luego proceder a construir el prototipo.
- La aplicación de los conocimientos en cálculos eléctricos y mecánicos se pudo seleccionar el motor adecuado que permite el correcto funcionamiento.
- Se elaboró un manual de mantenimiento del equipo para mantener a la máquina cortadora en óptimas condiciones.
- Una vez finalizado la construcción del prototipo y realizadas las pruebas de funcionamiento se concluyó que la máquina cumple con las características principales que se plantearon al principio del proyecto, dado que mejoro el tiempo de proceso de corte y en cuanto a salubridad, que la máquina sea automatizada la cual hace que la caña de azúcar no tenga mucho contacto con el hombre.

**Recomendaciones**

- Se recomienda realizar el mantenimiento correspondiente a la máquina para que la vida útil de la máquina sea más larga.
- Se recomienda utilizar material de acero inoxidable en las piezas que tienen contacto directo con el producto para mejorar su salubridad.
- Realizar una limpieza de la máquina cortadora de caña totalmente desconectada, cada vez de que se utilice para evitar acumulación de corteza sobrante.
- Se recomienda afilar la cuchilla de corte y sujeción del eje para no tener problema en el proceso de funcionamiento.

## Bibliografía

- Amazon.es. (2020). *Interruptor general automático* . <https://www.amazon.es/Schneider-Electric-A9N61531-Interruptor-Autom%C3%A1tico/dp/B00B7ZBM68>
- J.E.s.a.s. (06 de Octubre de 2018). *Conducol*. <https://distrielectricosje.com/product/cables-cca-thw-2-conducol/>
- LUNA, V. C. (2017). *TEMAS PARA LA EDUCACIÓN* . REVISTA DIGITAL PARA PROFESIONALES DE LA ENSEÑANZA:  
<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6113.pdf>
- Ministerio de desarrollo urbano y vivienda. (Febrero de 2018). *NEC-SB-IE*.  
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>
- Paguay, G. G. (Diciembre de 2009). *Diseño y construcción de una máquina picadora de caña de azúcar*. Riobamba.
- Udistrital. (09 de 04 de 2016). *Especificaciones técnicas para construcción de viviendas*.  
<https://sites.google.com/a/correo.udistrital.edu.co/manualviviendas/3-especificaciones-de-materiales/accesorios-eléctricos/alambre-cobre-thw-12-awg>
- VILLAMARÍN, J. W. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PICADORA DE HIERBA Y CAÑA PARA ALIMENTAR EL GANADO VACUNO EN EL SECTOR EL PORVENIR PERTENECIENTE A LA PARROQUIA DE GUALEA*. QUITO: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- WIKIPEDIA. (2019). <https://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje>. WIKIPEDIA.

## **Anexos**