



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA**

**CONSTRUCCIÓN DE UNA ENSILADORA COMPACTADORA  
PARA LA PARROQUIA PALO QUEMADO DE LA PROVINCIA DE  
COTOPAXI**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO ELECTROMECÁNICO**

## **AUTORES:**

Franklin Paúl Quilo Lechon

Wilmer Fernando Jacho Cocha

## **TUTOR:**

Ing. Luis Miguel Navarrete López

**LATACUNGA, MARZO 2026**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Quilo Lechón Franklin Paúl y Jacho Cocha Wilmer Fernando, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“CONSTRUCCIÓN DE UNA ENSILADORA COMPACTADORA PARA LA PAROQUIA PALO QUEMADO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, siendo el Ing. Luis Miguel Navarrete López tutore del presente proyecto; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente proyecto tecnológico, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



.....  
Quilo Lechón Franklin Paúl

C.I. 1728154186



.....  
Jacho Cocha Wilmer Fernando

C.I. 0550202378

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el Título:

**“CONSTRUCCIÓN DE UNA ENSILADORA COMPACTADORA PARA LA PARROQUIA PALO QUEMADO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, de Quilo Lechón Franklin Paúl y de Jacho Cocha Wilmer Fernando, de la carrera de **INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico – técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo 2026

Tutor



.....  
Ing. Luis Miguel Navarrete López M.Sc.

C.I. 1803747284



## AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “**CONSTRUCCIÓN DE UNA ENSILADORA COMPACTADORA PARA LA PARROQUIA PALO QUEMADO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI**”, propuesto por los estudiantes Quilo Lechón Franklin Paul y Jacho Cocha Wilmer Fernando de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, nos permitimos indicar que los estudiantes ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, además de validar el funcionamiento de la propuesta, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad Propuesta Tecnológica en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,

Latacunga, marzo 2026

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**

Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena

C.I. 0503072902

**Lector 2**

Ing. Efrén Damián Albán Andrade

C.I. 0502529514

**Lector 3**

Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina

C.I. 0502847692

## AVAL DE IMPLEMENTACION

En calidad de propietario de la hacienda “Los Molinos”, doy en conocimiento el cumplimiento de la implementación de la propuesta tecnológica **“CONSTRUCCIÓN DE UNA ENSILADORA COMPACTADORA PARA LA PARROQUIA PALO QUEMADO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, desarrollada por los estudiantes Quilo Lechón Franklin Paul, con cedula de ciudadanía No. 1728154186 y Jacho Cocha Wilmer Fernando, con cedula de ciudadanía No. 0550202378, estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, trabajo que ha cumplido las expectativas establecidas.

El presente aval lo otorgo en razón de tiempo y dedicación que han empleado los señores estudiantes en el desarrollo de la propuesta tecnológica, por lo tanto, pueden dar al presente documento el uso que estime conveniente.

Latacunga, marzo 2026

Atentamente,



Sr. Silva Palacio Jhonny Kelvito

C.I. 1307154045



UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE  
COTOPAXI



CENTRO  
DE IDIOMAS

## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“CONSTRUCCION DE UNA ENSILADORA COMPACTADORA PARA LA PARROQUIA PALO QUEMADO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”** presentado por:

**Quilo Lechon Franklin Paul y Jacho Cocha Wilmer Fernando**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería en Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, marzo de 2026

Atentamente,

MG. Diana Karina Taipe Vergara  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC  
CI: 1720080934



CENTRO  
DE IDIOMAS

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por darme salud y fortaleza, y por no permitirme rendirme a lo largo de todo este proceso.*

*A mis padres, Cesar Quilo y Margarita Lechón, quienes son los pilares fundamentales de mi vida. Gracias por su amor, apoyo y dedicación, y por enseñarme que con esfuerzo, humildad y perseverancia todo se puede lograr.*

*A mis hermanas, Sofía, Stefy, Gaby y Anita, quienes con sus palabras de motivación: “hermano, tú lo vas a lograr, tú puedes”, me impulsaron a seguir adelante. Sin su apoyo y confianza esto no habría sido posible. Gracias por ser siempre mi apoyo incondicional y por nunca dejarme solo.*

*A mis hermanos, David y Stiven, quienes comprendieron todo lo que tuve que vivir durante estos años lejos de casa. Gracias por los fines de semana compartidos jugando fútbol, que me ayudaron a distraerme después de largas semanas de estudio, cansancio y esfuerzo, recordándome que podía seguir adelante sin rendirme.*

*Finalmente, agradezco a una persona que se ha convertido en alguien muy importante en mi vida, Alexandra Lechón, quien con sus palabras de apoyo y motivación me impulsó a no rendirme en esta etapa final de mi carrera universitaria*

***Franklin Paul Quilo Lechon***

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo, con todo mi corazón, a quienes han sido mi fuerza, mi motor y mi refugio a lo largo de este largo y desafiante camino; a todas las personas que caminaron a mi lado y nunca dejaron de creer en mí.*

*A usted, querida madre, Margarita Lechón, por sus palabras llenas de amor y aliento al decirme siempre: “sí se puede, mijo”. Gracias por esperarme cada fin de semana en casa, por recibirme con el cariño y el sabor de su comida, y por darme paciencia cuando yo ya no la tenía. Por todo lo que ha hecho por mí, este logro también es suyo. Te amo, mami.*

*A usted, querido padre, Cesar Quilo, porque nunca permitió que me faltara nada. Aun cuando estaba lejos de casa por su trabajo, nunca faltó una llamada suya durante toda esta etapa universitaria. Siempre preocupado por mí, preguntando incluso si había comido o no. Este logro es tanto suyo como mío, porque sin su esfuerzo y sacrificio constante nada de esto habría sido posible. Te amo, papi.*

*A todos mis hermanos y hermanas, gracias por acompañarme en los momentos de alegría y también en los difíciles, por sus consejos y por recordarme siempre que debía luchar por mis sueños y lograr todo lo que me propusiera en la vida. Este logro también es para ustedes. Los quiero mucho.*

*Y de manera muy especial, a ti Alexandra Lechón. Sabes todo lo que hemos hablado y lo que he compartido contigo durante este camino. Sin duda, eres una de las mejores personas que he conocido en mi vida. Quiero que sepas que este logro también es tuyo. Ahora puedes decir con orgullo que tienes un novio que no se rindió y que cumplió su meta. Te amo.*

**Franklin Paul Quilo Lechon**

## **AGRADECIMIENTO**

*Expreso mi sincero agradecimiento a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la oportunidad de culminar esta etapa tan importante de mi vida académica.*

*A mis padres y a mi familia, por su apoyo incondicional, por su paciencia y por haber sido el motor que impulsó cada uno de mis esfuerzos para alcanzar este objetivo.*

*A la Universidad y a los docentes que formaron parte de mi proceso académico, quienes con sus conocimientos, experiencia y dedicación contribuyeron a mi formación profesional.*

*De manera especial, agradezco a mi tutor de tesis por su orientación, apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo de investigación y brindar las recomendaciones necesarias para el desarrollo del presente proyecto.*

***Wilmer Fernando Jacho Cocha***

## **DEDICATORIA**

*Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi formación personal y académica. Gracias por su esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por motivarme constantemente a seguir adelante y por enseñarme que con dedicación y perseverancia es posible alcanzar las metas propuestas.*

*A mi familia, por brindarme su apoyo, comprensión y confianza durante cada etapa de este proceso, siendo una fuente permanente de motivación para culminar esta meta académica.*

*Finalmente, dedico este logro a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido con palabras de aliento y apoyo durante mi formación profesional.*

***Wilmer Fernando Jacho Cocha***

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO:** “CONSTRUCCIÓN DE UNA ENSILADORA COMPACTADORA PARA LA PARROQUIA PALO QUEMADO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI”

**Autores:**

Quilo Lechón Franklin Paúl

Jacho Cocha Wilmer Fernando

### RESÚMEN

El presente proyecto tiene como finalidad la construcción de una ensiladora compactadora para la parroquia Palo Quemado de la provincia de Cotopaxi, la cual constituirá una herramienta fundamental para el cumplimiento del proceso de compactación del silo de la caña de azúcar. La construcción de esta maquinaria será un aporte significativo durante la etapa de compactación del silo debido a que se reduce la presencia de oxígeno favoreciendo así a la fermentación adecuada de la caña de azúcar lo que permite la conservación del material forrajero a mantenerse en buenas condiciones por periodos prolongados de tiempo. Por otra parte, el uso de la ensiladora compactadora permitirá disminuir pérdidas de materia seca y nutrientes, garantizando la calidad de alimento para el ganado, este proyecto busca fortalecer las actividades agropecuarias de la parroquia Palo Quemado, incrementando la eficiencia productiva, reduciendo el esfuerzo manual de los productores y aportando al desarrollo socioeconómico del sector. Finalmente se puede mencionar que la construcción e incorporación de una ensiladora compactadora será considerada como una innovación tecnológica y productiva para el sector agropecuario ya que es una estrategia de mecanización que permite mejorar los procesos tradicionales de compactación del silo reduciendo el tiempo que trabajo y lo que ayuda a la disponibilidad del alimento en épocas de escasez aportando así al cumplimiento de las necesidades de la comunidad.

**Palabras clave:** ensiladora, compactación, silo, construcción, innovación.

## TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

### FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**THEME:** “CONSTRUCTION OF A COMPACTING SILAGE MACHINE FOR THE PALO QUEMADO PARISH IN COTOPAXI PROVINCE”

**Authors:**

Quilo Lechón Franklin Paúl

Jacho Cocha Wilmer Fernando

### ABSTRACT

The purpose of this project is to construct a compacting silage machine for the Palo Quemado Parish in Cotopaxi province, which will constitute a fundamental tool for carrying out the compaction process of sugarcane silage. The construction of this machinery will represent a significant contribution during the silage compaction stage, as it reduces the presence of oxygen, thus promoting the proper sugarcane fermentation. This process allows the forage material to be preserved in good condition for extended periods of time. Furthermore, the use of the compacting silage machine will help reduce losses of dry matter and nutrients, ensuring the quality of feed for livestock. This project aims to strengthen agricultural activities in Palo Quemado parish by increasing productive efficiency, reducing manual labor for producers, and contributing to the socioeconomic development of the area. Finally, it can be mentioned that the construction and incorporation of a compacting silage machine will be considered a technological and productive innovation for the agricultural sector since it is a mechanization strategy that allows improving the traditional processes of silage compaction, reducing the working time and helping to ensure the availability of food in times of scarcity, thus contributing to meeting the needs of the community.

**Keywords:** Silage machine, compaction, silo, construction, innovation.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	<b>II</b>
<b>AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN</b> .....	<b>III</b>
<b>AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES</b> .....	<b>IV</b>
<b>AVAL DE IMPLEMENTACIÓN</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VII</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VIII</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>IX</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>X</b>
<b>RESÚMEN</b> .....	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XII</b>
<b>1 INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
2.1 <b>SITUACIÓN PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>3</b>
2.2 <b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
2.3 <b>OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN</b> .....	<b>4</b>
2.3.1 Objeto de investigación .....	<b>4</b>
2.3.2 Campo de acción .....	<b>4</b>
2.4 <b>BENEFICIARIOS</b> .....	<b>4</b>
2.4.1 Beneficiarios directos:.....	<b>4</b>
2.4.2 Beneficiarios indirectos:.....	<b>4</b>
2.5 <b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>4</b>
2.6 <b>OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
2.6.1 Objetivo General .....	<b>5</b>
2.6.2 Objetivos Específicos .....	<b>5</b>
<b>3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>7</b>
3.1 <b>ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>7</b>
3.2 <b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
3.2.1 Forraje .....	<b>8</b>
3.2.2 Caña de azúcar .....	<b>9</b>
3.2.3 Ensilaje.....	<b>10</b>
3.2.4 Ensilaje en la caña de azúcar.....	<b>12</b>
3.2.5 Beneficios del ensilaje de la caña de azúcar.....	<b>12</b>
3.2.6 Silos.....	<b>13</b>
3.2.7 Máquina ensiladora (Compactadora).....	<b>15</b>

3.2.8	Pasos del ensilaje de la caña de azúcar en la ensiladora compactadora.....	19
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>19</b>
4.1	Diseño Conceptual.....	19
4.2	Matriz de relación de variables.....	20
4.3	Diagrama de funcionamiento básico.....	22
4.4	Diagrama de flujo.....	23
4.5	Diseño Mecánico de la máquina ensiladora.....	24
4.5.1	Cálculo de los grados de libertad.....	24
4.5.2	Caracterización del material y volumen de la funda.....	26
4.5.3	Volumen de diseño de la cubeta de alimentación de la compactadora.....	27
4.5.4	Dimensionamiento geométrico de la tolva para la compactadora.....	28
4.5.5	Capacidad de procesamiento del sistema.....	28
4.5.6	Dimensionamiento del tornillo sin fin.....	29
4.5.7	Volumen transportado por revolución.....	30
4.5.8	Volumen efectivo considerando material fibroso.....	31
4.5.9	Velocidad de rotación requerida del tornillo de la compactadora.....	31
4.5.10	Fuerza axial requerida para la compactación dentro de la máquina.....	32
4.5.11	Diseño del mecanismo de transmisión.....	32
4.5.12	Diseño de la estructura.....	37
4.6	Selección de materiales y componentes.....	39
4.6.1	Material de la estructura.....	39
4.6.2	Motor para la compactadora.....	40
4.6.3	Selección de los rodamientos.....	46
4.6.4	Selección de las llantas para la compactadora.....	47
4.6.5	Pastillas de frenado para la compactadora.....	49
4.7	Diseño cad de la ensiladora.....	50
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
5.1	Análisis por elementos finitos.....	51
5.1.1	Tolva.....	51
5.1.2	Soporte de la funda dentro de la compactadora.....	52
5.1.3	Chumacera externa e interna de la compactadora.....	53
5.1.4	Tornillo sin fin inmersos en la compactadora.....	54
5.2	Proceso de construcción de la máquina ensiladora.....	55
5.2.1	Análisis y pruebas de la máquina compactadora.....	58
5.2.2	Variables evaluadas.....	58
5.2.3	Procedimiento experimental.....	59
5.2.4	Resultados experimentales.....	61

5.2.5	Análisis estadístico mediante correlación de Pearson .....	63
5.2.6	Evaluación financiera mediante TIR y VAN .....	64
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>70</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3.1:	FASES DEL ENSILADO [12].....	12
FIGURA 3.2:	TIPOS DE SILOS [16].....	14
FIGURA 3.3:	SILOS DE BOLSA [17].....	14
FIGURA 3.4:	ENSILADORA ESTACIONARIA [20].....	16
FIGURA 3.5:	ENSILADORA MÓVIL [20] .....	17
FIGURA 3.6:	ENSILADORA HIDRÁULICA [20] .....	17
FIGURA 3.7:	ENSILADORA COMPACTADORA MANUAL [21] .....	18
FIGURA 3.8:	ENSILADORA DE TORNILLO SIN FIN [22] .....	18
FIGURA 4.1:	DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO BÁSICO MÁQUINA ENSILADORA.....	23
FIGURA 4.2:	DIAGRAMA DE FLUJO MÁQUINA ENSILADORA. ....	24
FIGURA 4.3:	DIAGRAMA DE FLUJO MÁQUINA ENSILADORA. ....	25
FIGURA 4.4:	SALIDA DE MATERIAL DE LA TOLVA. ....	28
FIGURA 4.5:	INGRESO Y SALIDA DEL MATERIAL ENSILADO. ....	29
FIGURA 4.6:	EL ÁREA BARRIDA POR EL HELICOIDE. ....	30
FIGURA 4.7:	DISEÑO DE DOBLE EJE PARA UNA MÁQUINA ENSILADORA.....	30
FIGURA 4.8:	POLEA CONDUcida PRIMARIA Y POLEA MOTRIZ.....	33
FIGURA 4.9:	POLEA CONDUcida SECUNDARIA, POLEA TENSORA Y TORNILLOS SIN FIN. ....	33
FIGURA 4.10:	VELOCIDAD LINEAL EN LAS POLEAS.....	35
FIGURA 4.11:	SELECCIÓN DE LA BANDA DE TRANSMISIÓN.....	51
FIGURA 5.1:	ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LA TOLVA.....	52
FIGURA 5.2:	ANÁLISIS DE LA TENSIÓN EQUIVALENTE DE VON MISES EN LA TOLVA. ....	52
FIGURA 5.3:	ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN <i>EL SOPORTE DE LA FUNDA</i> .....	53
FIGURA 5.4:	ANÁLISIS DE LA TENSIÓN EQUIVALENTE DE VON MISES EN <i>EL SOPORTE DE LA FUNDA</i> .....	53

FIGURA 5.5 ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LA CHUMACERA. ....	54
FIGURA 5.6: ANÁLISIS DE LA TENSIÓN EQUIVALENTE DE VON MISES EN LA CHUMACERA. ....	54
FIGURA 5.7: ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN EL TORNILLO SIN FIN.....	55
FIGURA 5.8: ANÁLISIS DE LA TENSIÓN EQUIVALENTE DE VON MISES EN EL TORNILLO SIN FIN...	55
FIGURA 5.9: SOLDADURA DE REFUERZOS ESTRUCTURALES EN EL SOPORTE DEL CONJUNTO. ....	56
FIGURA 5.10: VERIFICACIÓN DIMENSIONAL DE LA TOLVA DURANTE EL PROCESO DE FABRICACIÓN. ....	56
FIGURA 5.11: TORNILLO SIN FIN ENSAMBLADO Y MONTADO EN SU CARCASA. ....	57
FIGURA 5.12: MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MEDIANTE POLEAS Y CHUMACERAS. ....	57
FIGURA 5.13: MONTAJE DE LA FUNDA AL CONDUCTO DE SALIDA DE LA MAQUINA ENSILADORA.	59
FIGURA 5.14: ALIMENTACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA EN LA TOLVA. ....	59
FIGURA 5.15: PROCESO DE LLENADO DE LA FUNDA. ....	60
FIGURA 5.16: EXTRACCIÓN DE LA FUNDA AL FINALIZAR EL PROCESO DE ENSILAJE Y COMPACTACIÓN. ....	60
FIGURA 5.17: REMANENTE DE BAGAZO DE CAÑA EN LA MÁQUINA ENSILADORA. ....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: MODALIDAD DE TITULACIÓN .....	1
TABLA 1.2: CAMPOS DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA UNESCO .....	1
TABLA 2.1: TABLA DE ACTIVIDADES SEGÚN LOS OBJETIVOS .....	6
TABLA 3.1: CARACTERÍSTICAS DEL ENSILAJE [8].....	10
TABLA 4.1: MATRIZ OPERACIONAL DE VARIABLES.....	20
TABLA 4.2: MATRIZ DE VARIABLES DE ENTRADA .....	21
TABLA 4.3: MATRIZ DE VARIABLES DE SALIDA .....	21
TABLA 4.4: TABLA DE FACTORES DE SEGURIDAD RECOMENDADOS.....	38
TABLA 4.5: SELECCIÓN DEL MATERIAL .....	39
TABLA 4.6: SELECCIÓN DEL MOTOR.....	40
TABLA 4.7: SELECCIÓN DE LA BANDA DE TRANSMISIÓN.....	42
TABLA 4.8: SELECCIÓN DE POLEAS .....	43
TABLA 4.9: SELECCIÓN DE CHUMACERAS .....	44
TABLA 4.10: SELECCIÓN DE RODAMIENTOS .....	46
TABLA 4.11: SELECCIÓN DE LLANTAS.....	47
TABLA 4.12: SELECCIÓN DE PASTILLAS DE FRENADO.....	49
TABLA 5.1: RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	61
TABLA 5.2: EVALUACIÓN TIR Y VAN.....	65
TABLA 5.3: FLUJO NETO.....	66

# 1 INFORMACIÓN GENERAL

## Tema del proyecto:

Construcción de una ensiladora compactadora para la parroquia Palo Quemado de la provincia de Cotopaxi.

Tabla 1.1: Modalidad de titulación

Modalidad de titulación	Homologación para informe final de titulación	Selección
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	X

*Responsables: Los autores*

## Trabajo de titulación vinculado al proyecto:

Desarrollo de máquinas aplicados a la ingeniería electromecánica

## Equipo de trabajo:

### Investigadores:

- Franklin Paúl Quilo Lechón Estudiante
- Wilmer Fernando Jacho Cocha Estudiante

### Tutor de investigación:

- Ing. Luis Miguel Navarrete López MSc Tutor

## Área de conocimiento:

Tabla 1.2: Campos de la ciencia y tecnología UNESCO

Área del conocimiento	Subárea del conocimiento	Subárea específica del conocimiento
33 Ciencias tecnológicas	3313 tecnologías e ingenierías mecánicas	3313.15 Diseño de máquinas

*Responsables: Los autores*

**Línea de investigación:**

Tecnología industria, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral

**Sublíneas de investigación de la carrera:**

Diseño, construcción y mantenimiento de proyectos electromecánicos

## **2 INTRODUCCIÓN**

El aprovechamiento y desarrollo eficiente de los recursos agrícolas constituyen un factor determinante para el cumplimiento de las actividades ganaderas especialmente en zonas rurales como en la parroquia Palo Quemado de la Provincia de Cotopaxi, donde la ganadería representa una de las principales fuentes de sustento económico para las familias del sector, debido a la riqueza natural que posee el sector y las prácticas comunitarias que realizan sus habitantes, quienes fortalecen el trabajo mejorando los procesos agropecuarios como por ejemplo el forraje que es una herramienta esencial para garantizar la productividad y bienestar de los animales,

Tomando en cuenta estos aspectos se puede mencionar que es necesario implementar soluciones que permitan almacenar y preservar el forraje de manera adecuada, por lo que la construcción de una ensiladora compactadora será una alternativa viable y eficaz que aportará al proceso de ensilado reduciendo pérdidas de alimento, mejorando la calidad nutricional del material a fin de optimizar el uso de recursos agrícolas disponibles.

De tal manera que para la construcción de la ensiladora se tomará en cuenta aspectos técnicos y mecánicos como el modelo, estructura y demás materiales que sean eficaces para el funcionamiento adecuado de la ensiladora, la cual debe adaptarse a los distintos cambios climáticos del territorio donde va a estar ubicado consolidándose, así como un desarrollo que promueve la innovación.

Es así que se puede establecer que el presente proyecto aportará un avance significativo ya que busca contribuir con el fortalecimiento de la parroquia Palo Quemado donde la construcción de una ensiladora responderá a las necesidades y condiciones específicas de sus moradores satisfaciendo sus necesidades y sobre todo promoviendo un futuro agropecuario más competitivo y sostenible que asegure la compactación y conservación del ensilaje a fin de obtener un producto de calidad.

## **2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

En la parroquia Palo Quemado perteneciente a la provincia de Cotopaxi existen varias fincas y haciendas dedicadas a las actividades agropecuarias, una de estas es la hacienda “Los Molinos” la cual se caracteriza por sus sembríos de caña de azúcar, donde su producción depende en gran medida del uso de forrajes locales. Sin embargo, los productores de dicha hacienda enfrentan varios problemas uno de estos es la falta de procesos adecuados para mejorar la conservación y manejo del forraje lo que provoca que exista escasez de alimentos para el ganado durante la época de sequía, esto se debe a que no se cuenta con una maquinaria como una ensiladora compactadora que ayude a procesar la caña de azúcar de forma correcta afectando así la estabilidad económica de los moradores del sector quienes se dedican a este tipo de actividades.

Otro de los problemas se da en los agricultores quienes recurren a métodos tradicionales, los mismos que en ocasiones resultan ser ineficientes y no permiten que se obtengan productos de calidad, esta pérdida se da debido a que en las parroquias rurales no disponen de equipos y maquinarias industriales necesarias como una máquina ensiladora compactadora la cual ayuda al almacenamiento de la caña de azúcar, lo cual limita la capacidad de trabajo y a la vez provoca pérdidas significativas de la materia prima, disminución de su valor nutritivo y sobre todo que exista rechazo del producto.

Tomando en cuenta estas consideraciones se plantea necesario diseñar y construir una ensiladora compactadora, la misma que se adapte a las condiciones locales, además sea de bajo costo y fácil mantenimiento, que permita a los productores de Palo Quemado mejorar el manejo y compactación del forraje, a fin de buscar la optimización y el aprovechamiento de los recursos agrícolas disponibles como el de la caña de azúcar, a fin de ir reduciendo pérdidas que se han ido dando actualmente y con ello fortalecer la sostenibilidad de la producción agropecuaria en la parroquia.

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿De qué manera ayudará la construcción de una máquina ensiladora compactadora a optimizar el proceso de forraje del bagazo de la caña de azúcar en la hacienda Los Molinos de la parroquia Palo Quemado?

## **2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.3.1 Objeto de investigación**

Construcción de una máquina ensiladora compactadora

### **2.3.2 Campo de acción**

- 3300 Ciencias tecnológicas
- 3310 Tecnología industrial
- 3310.02 Maquinaria industrial

## **2.4 BENEFICIARIOS**

### **2.4.1 Beneficiarios directos:**

Los principales beneficiarios serán los dueños y trabajadores de la Hacienda Los Molinos, quienes podrán contar con una herramienta tecnológica que ayudará a mejorar el proceso de ensilado reduciendo el esfuerzo físico y tiempo de trabajo. Además, les permitirá aumentar la productividad del forraje, organizando de mejor forma las actividades con la finalidad de obtener mayor seguridad laboral disminuyendo las actividades manuales y tradicionales que en ocasiones no dan un producto de calidad provocando así pérdidas económicas para la empresa.

### **2.4.2 Beneficiarios indirectos:**

Los beneficiarios indirectos serán los productores ganaderos de la parroquia Palo Quemado ya que podrán recibir ayuda técnica sobre el ensilado por parte de los dueños de la Hacienda Los Molinos facilitándoles así la conservación del forraje para los pequeños ganaderos. Por otra parte, también serán las familias y la comunidad en general de la parroquia, quienes obtendrán mejoras en su producción fortaleciendo así la estabilidad económica de los negocios rurales.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

En la hacienda “Los Molinos” ubicada en la parroquia Palo Quemado se desarrolla varias actividades ganaderas, las cuales dependen en gran medida del suministro del forraje para garantizar una producción eficiente de leche y carne, por tal motivo la caña de azúcar forrajera es considerada como un cultivo abundante y de alto valor energético por lo que su conservación y cuidado representan un desafío donde al no ser procesada y compactada correctamente, esta

pierde su valor nutricional fermentándose de manera ineficiente provocando así niveles altos de desperdicio los mismos que no son recuperables económicamente.

De la tal manera, la construcción de una ensiladora compactadora se considera un solución viable, necesaria y útil para optimizar el sistema de compactación en la hacienda Los Molinos permitiendo que la misma desarrolle un trabajo de calidad mediante un ensilado más técnico, una fermentación correcta y se logre el mejoramiento en la conservación de sus productos, asegurando así una fuente alimenticia estable que ayude a disminuir la dependencia de insumos externos que perjudiquen al sector ganadero.

Por otra parte, se puede mencionar que la implementación de esta tecnología contribuirá directamente a la sostenibilidad de la parroquia Palo Quemado mejorando la salud y desempeño del ganado, fortaleciendo el cultivo de la caña de azúcar frente a situaciones climáticas perjudiciales como la época de escasez por lluvias intensas donde no existe un buen cultivo y se dificulta el pastoreo.

Finalmente, la construcción de la ensiladora favorecerá a la eficiencia laboral de la comunidad ya que disminuirá el trabajo manual promoviendo nuevas prácticas de modernización agrícola a fin de fomentar el desarrollo y crecimiento ganadero donde se obtenga mayor cantidad de producción en menor tiempo con el propósito de satisfacer a los consumidores.

## **2.6 OBJETIVOS**

### **2.6.1 Objetivo General**

Construir una máquina ensiladora destinada para compactación del bagazo de caña de azúcar en la hacienda “Los Molinos” de la parroquia de Palo Quemado.

### **2.6.2 Objetivos Específicos**

- Investigar información necesaria para la construcción de una ensiladora para la fase de compactación del bagazo de caña de azúcar
- Diseñar la máquina ensiladora tomando en cuenta características importantes que se utilizan para el proceso de compactación.
- Evaluar los resultados de la máquina ensiladora mediante el desarrollo de pruebas de funcionamiento para verificar la calidad del proceso de compactación.

Tabla 2.1: Tabla de actividades según los objetivos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES (TAREAS)	RESULTADOS ESPERADOS	TÉCNICAS, MEDIOS E INSTRUMENTOS
Investigar información necesaria para la construcción de una ensiladora para la fase de compactación del bagazo de caña de azúcar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación de información sobre máquinas ensiladoras y su funcionamiento</li> <li>• Visita técnica en la hacienda Los Molinos</li> <li>• Identificación de la maquinaria existente en la hacienda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Información que aporte al conocimiento sobre las máquinas ensiladoras</li> <li>• Reconocimiento de las actividades que se desarrollan en la hacienda Los Molinos.</li> <li>• Maquinaria muy bien identificada según sus funciones</li> </ul>	<p>Investigación bibliográfica y de campo</p> <p>Observación en la hacienda Los Molinos</p>
Diseñar la máquina ensiladora tomando en cuenta características importantes que se utilizan para el proceso de compactación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo del prototipo mediante software de diseño y simulación.</li> <li>• Selección de componente para la creación de ensiladora</li> <li>• Construcción de la máquina ensiladora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototipo tomando en cuenta parámetros de diseño y planos</li> <li>• Materiales de construcción seleccionados.</li> <li>• Máquina ensiladora creada según las características de diseño</li> </ul>	<p>Software de diseño y programación</p> <p>Componentes seleccionados</p>
Evaluar los resultados de la máquina ensiladora mediante el desarrollo de pruebas de funcionamiento para verificar la calidad del proceso de compactación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de parámetros y configuración de la maquinaria</li> <li>• Verificación y validación del funcionamiento.</li> <li>• Pruebas de ensilaje y compactación de la caña de azúcar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parámetros establecidos de acuerdo a las necesidades de la hacienda Los Molinos</li> <li>• Ensiladora lista para la ejecución del trabajo en la hacienda</li> <li>• Obtención del ensilado de la caña de azúcar.</li> </ul>	<p>Pruebas de funcionamiento</p> <p>Análisis de calidad del producto final.</p>

Responsables: Los autores

### **3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En el tema “Uso de maquinaria agrícola de bajo impacto para renovación de praderas y elaboración de ensilajes en el Municipio de Nariño, Colombia y zonas aledañas” su principal propósito se encamina a que los productores ganaderos implementen técnicas que aporten a la preparación del suelo y la renovación de praderas generando un impacto positivo donde se mejore la producción y calidad de vida de los ganaderos evitando la degradación de la tierra fértil, la pérdida de posible nutrientes y su compactación inadecuada que ocasiona el deterioro de la productividad. Es así que la implementación de nuevas alternativas como la implementación de maquinaria agrícola fue de vital importancia debido a que permitió la tecnificación de las fincas donde el forraje ayuda al desarrollo de fuentes de alimentación para el ganado, lo cual representa una muy buena oportunidad de asistencia por parte del gremio agropecuario de Nariño eliminando así horas de dedicación para la preparación y cuidado correcto de praderas, y dicho tiempo sea dedicado a otras actividades agrícolas [1].

En la Universidad Nacional de Loja se desarrolló el tema “Diseño y construcción de una máquina de ensilaje de pasto para ganado ovino”, el cual se realizó tomando en consideración que actualmente el proceso de ensilaje ha sido afectado por los costos de maquinarias agrícolas donde los pequeños productores no tienen acceso por lo que su trabajo lo realizan de forma manual, provocando que en los últimos años exista pérdidas tanto de tiempo como de dinero debido a que sus clientes prefieren un trabajo rápido y bien hecho. Por tal motivo el autor del presente proyecto para dar cumplimiento al tema planteado primero recopiló información de cuatro tipos de ensiladoras de pasto ya existentes en las que se tomó en consideración la fuerza de compactación dando como resultado que la mejor opción es construir una máquina ensiladora que sea movida por un motor de combustión interna de 8Hp, donde su mecanismo se accione por cadenas y un tornillo sin fin que es el responsable de transportar y compactar el pasto correctamente logrando establecer al ensilaje como una actividad muy importante para los agricultores debido a que les ayuda al mejoramiento de las condiciones alimenticias para diversos tipos de animales sean estos ovinos, caprinos, bovinos o cualquier animal de granja, además la creación de una máquina de ensilaje de pasto permitió agilizar el proceso de ensilado y compactación del pasto en bolsas plásticas a fin de que dicho pasto no se dañe sea por exceso de agua o de calor existente en el ambiente [2].

De acuerdo con la revista de tecnología agrícola en la Empresa Proain dedicada a la ganadería su principal propósito es aumentar la producción ganadera por hectáreas, donde para alcanzar este objetivo es necesario contar con una base sólida y segura proveniente del forraje, por lo cual este debe encontrarse en condiciones óptimas de conservación ya que de esto depende directamente el rendimiento productivo del ganado. En este sentido la empresa Proain para la conservación del forraje tomó como mejor opción al ensilaje que representa la alternativa más eficiente debido a que consiste en procesos adecuados de fermentación que permiten mantener al forraje en un estado estable, nutritivo y fresco por largas temporadas de tiempo, garantizando así la disponibilidad del alimento para el ganado sin importar las condiciones climatológicas adversas que se puedan presentar como las sequías prolongadas, lluvias o cambios bruscos de temperaturas. Gracias al ensilaje la empresa pudo asegurar la sostenibilidad de la producción, mejorar la eficiencia alimenticia y optimizar los recursos que disponen para las actividades ganaderas en cada una de sus hectáreas maximizándolas adecuadamente [3].

Tomando en consideración los temas anteriormente mencionados se puede establecer que las máquinas ensiladoras resultan ser beneficiosas para el desarrollo del sector agrícola debido que estas contribuyen significativamente en el forraje y su cuidado logrando mantenerlo en condiciones estables y frescas listas para la alimentación del ganado en cualquier momento, evitando que no exista pérdida tanto productiva como económica. En conclusión, con esto logra la manera asegurar los procesos productivos sin importar las épocas climáticas y factores que puedan perjudicar la sostenibilidad del forraje.

## **3.2 MARCO TEÓRICO**

### **3.2.1 Forraje**

Hace referencia a cualquier tipo de alimento vegetal utilizado para la alimentación del ganado, lo cual es una parte esencial en la dieta de los animales que proporciona nutrientes necesarios para el crecimiento, desarrollo y producción de alimentos para los animales aportando nutritivamente a su crecimiento y desarrollo.

Por otra parte, el forraje se caracteriza por ser de diferentes tipos como el pasto, heno, silo y ensilado los mismos que se obtienen principalmente de plantas forrajeras las cuales son cultivadas, cosechadas y almacenadas de manera estratégica asegurando el suministro continuo y de calidad que ayude a garantizar la alimentación correcta y balanceada del ganado [4].

### 3.2.1.1 Clasificación del forraje

Los forrajes se clasifican en varias categorías de acuerdo a sus características y su uso entre los principales forrajes tenemos:

- **Pastos:** Son plantas herbáceas o gramíneas muy utilizados para el forraje debido a su alta productividad y mantenimiento alimenticio en épocas de escasez a diferencia de otras plantas.
- **Leguminosas:** Dentro de esta categoría están el trébol, alfalfa y el guisante forrajero que se caracterizan por ser ricos en proteínas y nutrientes siendo ideales para mejorar la calidad nutricional del forraje.
- **Forrajes conservados:** Hacen referencia a las plantas secas que pueden ser ensiladas, fermentadas y almacenadas en condiciones de sequía permitiendo conservar sus nutrientes y calidad del alimento durante periodos largos o prolongados.
- **Forrajes arbustivos:** Son provenientes de árboles frutales, arbustos y leguminosas que suelen ser usados en sistemas agroforestales y contribuyen a la diversificación de la alimentación animal [4].

### 3.2.2 Caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta perteneciente al grupo de las gramíneas, es un cultivo de alto rendimiento que es muy utilizado para la producción de azúcar o de etanol. Además, se emplea en varios países y ciudades como fuente de forraje para el ganado tanto fresco como ensilado considerándose una muy buena alternativa de alimentación para el ganado sobre todo en épocas de invierno o sequía [5].

#### 3.2.2.1 Beneficios del forraje de la caña de azúcar

- **Valor nutricional:** El forraje de la caña de azúcar proporciona una fuente equilibrada de nutrientes, minerales y proteínas para el ganado.
- **Reduce costos:** Al utilizarse el forraje como alimento principal o complementario, este ayuda a reducir significativamente el gasto alimenticio ya que el forraje puede ser más económico a diferencia de otros alimentos concentrados.

- **Mejora la salud animal:** Contribuye a la salud y bienestar del ganado, promoviendo un sistema digestivo saludable, pelaje brillante y una mayor resistencia a enfermedades.
- **Sostenibilidad ambiental:** La utilización del forraje reduce la dependencia de alimentos importados debido a que es una fuente renovable y local de alimento animal.
- **Mejora la calidad de los productos animales:** Influye positivamente en la calidad de la carne, leche u otros productos derivados del ganado aportando alimentos [6].

### 3.2.3 Ensilaje

Es un método de conservación de forrajes verdes o subproductos agrícolas los cuales tienen alto contenido de humedad entre un 60% y 70%, el método del ensilaje consiste en la compactación del forraje o subproducto el cual expulsa aire y se produce la fermentación en un ambiente anaeróbico que permite mantener el valor nutritivo de los productos. Por lo tanto, el ensilaje es considerado como una alternativa viable que contribuye a optimizar el funcionamiento de los sistemas de producción animal cuando existe épocas de sequía prolongadas siendo fuente de alimento para el ganado [7].

#### 3.2.3.1 Características del ensilaje

Los aspectos que se debe tomar en cuenta de acuerdo con las autoras Villalba Diana & Holguín Vilma para obtener un ensilaje de calidad son el color, olor, humedad y textura. Por lo que en la tabla 3.1 se puede identificar claramente las características del ensilaje.

Tabla 3.1: Características del ensilaje [8]

Aspectos	Excelente	Bueno	Regular	Malo
Color	Verde	Verde amarillento	Verde oscuro	Negro
Olor	Agradable a fruta madura	Agradable con ligero olor a vinagre	Ácido con fuerte olor a vinagre	Desagradable putrefacto y rancio
Humedad	No se humedece las manos para ser comprimido	No se humedece las manos para ser comprimido	Al ser comprimido gotea	Destila líquido
Textura	Conserva sus contornos, las hojas permanecen en tallos	Conserva sus contornos, las hojas permanecen en tallos	Las hojas se separan fácilmente de los tallos	No hay diferencia entre hojas y tallos en forma de masa

Responsables: Los autores

### 3.2.3.2 Fases del ensilaje

Las fases del ensilaje hacen referencia a los cambios por los que una determinada vegetación debe pasar tomando en consideración procesos bioquímicos y físicos que se llevan a cabo con la finalidad tener un ensilaje de calidad, el mismo que puede ser controlado y obtenido mediante la utilización de herramientas necesarias. El ensilaje se desarrolla en 4 fases estas son:

- **Fase aeróbica:** Esta fase inicia desde el corte del forraje, se caracteriza por durar pocas horas máximo hasta tres días debido a la respiración que se da por microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como las enterobacterias y levaduras existentes, las cuales reducen ligeramente el oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal ocasionando que el PH se eleve y genere calor donde mueren las células liberando carbohidratos, proteínas y grasas que serán el alimento de las bacterias [9].
- **Fase de fermentación o anaeróbica:** Tiene una duración entre 7 y 21 días por lo que puede durar días o semanas dependiendo del forraje utilizado y de las condiciones ambientales, en esta fase las bacterias aeróbicas mueren y dan paso al desarrollo de bacterias anaeróbicas donde el ácido láctico y ácido acético se acumulan provocando que baje el PH para que la fermentación pueda funcionar correctamente, un ejemplo claro es en el pasto donde un PH inferior a 4,8 es aceptable mientras que si es más alto la fermentación se vuelve lenta y los microbios pueden causar la aparición de levadura y moho [9].
- **Fase de estabilización:** La estabilidad en el ensilaje se da cuando las bacterias de fermentación agotan las reservas de azúcares solubles, manteniendo los valores del PH constantes entre 4.0 y 4.2 impidiendo así el crecimiento de otras bacterias y la detención de actividades microbianas, a fin de lograr un ensilado que se pueda conservar por años siempre que se mantenga las condiciones anaeróbicas adecuadas [10].
- **Fase de utilización o deterioro:** Esta fase comienza con la utilización del ensilado para la alimentación de los animales, pero una vez que el silo es abierto y está expuesto al aire existe microorganismos aeróbicos que se desarrollan y generan aumento de la temperatura, agua y CO<sub>2</sub> lo que provoca un deterioro del ensilado. Por lo que en esta fase una vez abierto el silo el contenido del material debe ser utilizado lo más rápido posible [11].

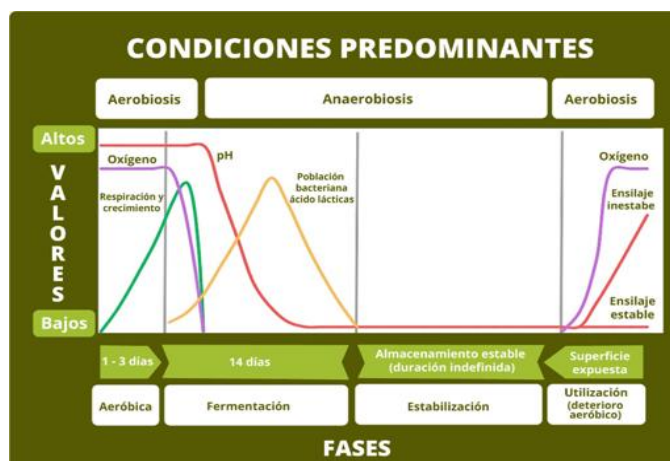


Figura 3.1: Fases del ensilado [12]

En la figura 3.1 se muestra las fases del ensilado que se inicia con la fase aeróbica que dura de 1 a 3 días donde el producto es recogido, luego de este tiempo pasa la parte de fermentación que dura 14 días aproximadamente, luego se tiene la fase de estabilización donde el material recogido es almacenado y su duración es indefinida, y finalmente se obtiene la fase de deterioro donde está listo el material ensilado para su utilización.

### 3.2.4 Ensilaje en la caña de azúcar

El ensilaje en la caña de azúcar consiste en la conservación de su forraje a través de fermentaciones que le permiten mantener un estado semejante al que posee cuando está fresco, tiene como propósito impedir el desarrollo de especies perjudiciales como bacterias que lo puedan dañar y no permitan la utilización alimenticia para el ganado.

El ensilaje en de la caña de azúcar es muy ocupado especialmente para épocas de sequía permitiendo que no se pierda el valor nutritivo del producto y pueda ser utilizado en cualquier momento [12].

### 3.2.5 Beneficios del ensilaje de la caña de azúcar

De acuerdo con el autor Del Valle Tomás en su publicación realizada establece algunos beneficios sobre el ensilaje de caña de azúcar, los mismos que contribuyen al desarrollo y mejoramiento de las actividades agrícolas y ganaderas en un determinado sector:

- La caña de azúcar tiene un alto rendimiento por lo que se le considera un forraje de gran producción en comparación con otros tipos de forrajes o cultivos.

- Es uno de los forrajes con mayor volumen de conservación para periodos de escasez especialmente en estaciones secas.
- Reduce pérdidas económicas debido a que la caña de azúcar es considerada un forraje que tiene menor cambio climático.
- Tiene un mayor aprovechamiento energético lo que favorece la disponibilidad de energía para los rumiantes cuando se someten a dietas equilibradas [13].

### **3.2.6 Silos**

El silo es una estructura diseñada para almacenar y proteger materiales agrícolas, los cuales pueden variar desde granos, productos agrícolas, semillas, polvos y líquidos destinados a la producción y el procesamiento, es decir son componentes vitales en la industria debido a su almacenamiento eficiente que ayuda a preservar la calidad de los productos reduciendo su deterioro. Por lo que la importancia de los silos radica en la capacidad de almacenar y organizar los productos y alimentos necesarios asegurando así la disponibilidad para su uso seguro [14].

#### **3.2.6.1 Características de los silos**

Tomando en consideración que los silos son estructuras, máquinas y contenedores que ayudan al almacenamiento de productos, estos independientemente del tipo o forma que sean para su funcionamiento deben cumplir con algunas características como:

- Deben ser impermeables.
- Tener paredes lisas.
- Resistir a la acción de los diferentes agentes presentes en los forrajes.
- Debe estar bien construido colocado en terrenos firmes.
- Debe tener buen drenaje para los efluentes provenientes de la masa ensilada [15].

#### **3.2.6.2 Tipos de silos**

En la figura 3.2 se observa los dos tipos de silos existentes que son el estacionario basado en estructuras fijas y los silos móviles que se caracterizan por su capacidad de movimiento por lo que pueden ir de un sitio a otro.

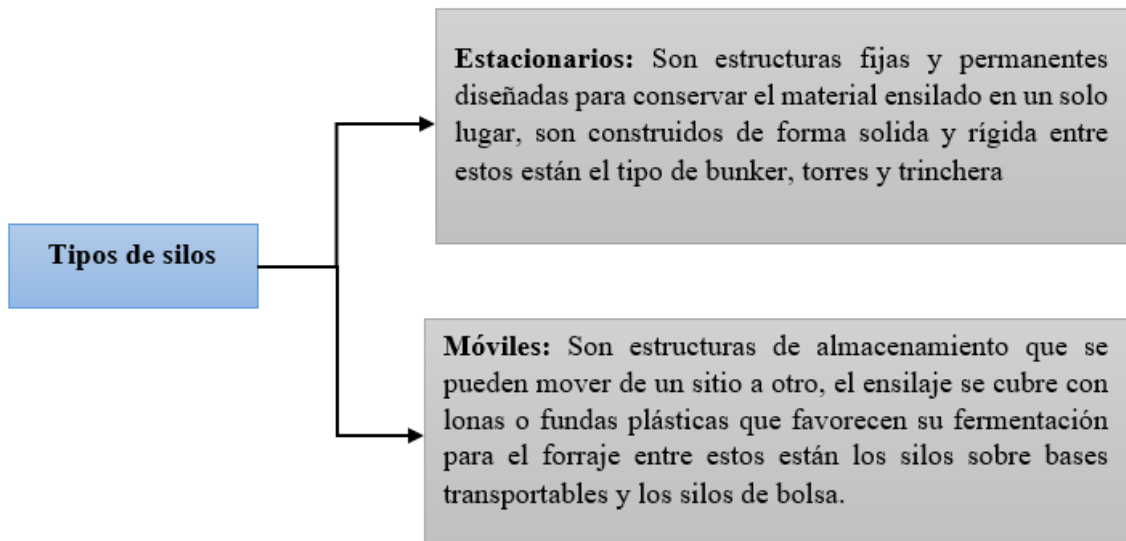


Figura 3.2:Tipos de silos [16]

### 3.2.6.3 Silos de bolsa

Se caracteriza por guardar el material ensilado en bolsas plásticas conocidas como bolsas polipropileno, donde el material es picado y compactado, es una solución económica que brinda al productor la posibilidad de almacenar su producción evitando inversiones costosas, el producto es sellado correctamente evitando el ingreso de plagas y puede ser utilizado en cualquier momento realizando un pequeño hueco en la parte inferior de la bolsa y puede ser cerrado nuevamente [17].

Como se muestra en la figura 3.3 los silos de bolsa son almacenados en fundas plásticas que son selladas muy bien evitando el ingreso de aire que pueda ocasionar humedad y dañe el material ensilado.



Figura 3.3: Silos de bolsa [17]

#### 3.2.6.4 Aspectos a tomar en cuenta en el silo de bolsa

Se debe almacenar muy bien el material ensilado, y las bolsas pueden colocarse una encima de otra siempre que se encuentren en un lugar fresco y seco, además deben estar alejados de cualquier tipo de animales especialmente de roedores.

El ensilaje está listo para consumirse después de 30 a 35 días de haber sido elaborado dependiendo el material vegetal y las condiciones de almacenamiento donde se encuentre, para corroborar que el producto está listo se puede analizar sus características como:

- **Olor:** Debe ser agradable dulce, no debe tener olor a tabaco, o vinagre fuerte.
- **Color:** Debe ser verde oliva o verde intenso por lo que no puede tener un color blanquecino o negro.
- **Textura:** Es firme y nunca pegajosa.
- **Sabor:** Es agradable para los animales por lo que se nota que estos disfrutan comiendo en vez de alejarse [18].

#### 3.2.7 Máquina ensiladora (Compactadora)

Una máquina ensiladora compactadora es una herramienta agrícola diseñada para cortar, picar y compactar el material ensilado mediante la expulsión del aire envolviéndolo de manera hermética en bolsas de plástico que ayudan a conservar su valor nutricional mediante una fermentación anaeróbica que permite preservar el alimento de los animales. Las máquinas ensiladoras se caracterizan por asegurar la calidad del ensilaje mejorando su almacenamiento y rendimiento por mucho tiempo sobre todo en épocas de escases [19].

##### 3.2.7.1 Funcionamiento de una máquina ensiladora (compactadora)

El proceso de funcionamiento de una maquina ensiladora compactadora consiste en una secuencia de operaciones mecánicas continuas que permiten cortar, reducir, compactar y descargar el material seleccionado para producir un ensilaje de buena calidad. Estos pasos son:

- **Recolección del forraje:** Es la etapa inicial del proceso de una maquina ensiladora donde se recoge el material del campo garantizando el flujo continuo y uniforme del forraje, el mismo que es conducido hacia el sistema de alimentación.

- **Sistema de alimentación:** El forraje ingresa a la maquina ensiladora de manera controlada mediante rodillos que arrastran el material evitando atascamientos.
- **Corte o picado:** Es la etapa que influye directamente en la calidad del ensilaje, la cual se encarga de reducir el tamaño del forraje mediante el uso de cuchillas, el tambor o disco picador que son la base para facilitar su forraje y fermentación.
- **Sistema de compactación:** El forraje picado es desplazado hacia el sitio de compactación donde este es prensado a través pistones o rodillos compactadores que comprimen el producto eliminando el aire atrapado a fin de crear condiciones anaeróbicas que ayudan a la fermentación y posterior utilización.
- **Descarga del material ensilado:** El producto ya compactado es expulsado a través de una boquilla o canal de descarga, el cual puede guardarse es bolsas plásticas que facilitan el almacenamiento inmediato del ensilaje [19].

### 3.2.7.2 Tipos de máquinas ensiladoras

- **Ensiladora estacionaria:** Se caracteriza por permanecer instalada en un lugar determinado y fijo según se muestra en la figura 3.4, está diseñada para picar, compactar y preparar forrajes destinados a la elaboración del ensilaje de calidad [20].



Figura 3.4: Ensiladora estacionaria [20]

- **Ensiladora móvil:** Es una maquina agrícola diseñada para desplazarse por el campo o terreno mediante un tractor o autopropulsado, tiene un sistema de recolección, alimentación y picado del forraje que permite un proceso rápido y eficiente de conservación para la alimentación animal [20].

La ensiladora móvil como se muestra en la figura 3.5 se encarga de ir recolectando y picando el forraje de manera rápida debido a su capacidad de desplazamiento.



Figura 3.5: Ensiladora móvil [20]

- **Ensiladora de accionamiento hidráulico:** Es un equipo agrícola que corta, recolecta y procesa el forraje utilizando sistemas hidráulicos que accionan mecanismos como rodillos, cuchillas de corte y tolvas de descarga que son considerados fuente de potencia, se caracteriza porque puede ser fija o móvil [20].

De acuerdo con la figura 3.6 la ensiladora hidráulica posee tolvas por donde va pasando el material a ensilar accionando así tres sistemas el de corte, recolección y procesamiento del forraje.



Figura 3.6: Ensiladora hidráulica [20]

- **Ensiladora compactadora manual:** Es un equipo agrícola de operación mecánica simple, se caracteriza por picar y compactar el forraje que está destinado para la creación del ensilaje, en este no se necesita la ayuda de motores ni de sistemas hidráulicos. Su funcionamiento depende de la fuerza humana mediante palancas, manivelas o sistemas de presión manual que permiten reducir el volumen del forraje, expulsando el aire siendo así una alternativa económica portátil y de fácil mantenimiento [21].

Como se muestra en la figura 3.7 este tipo de ensiladoras para la obtención del producto se realiza de manera manual siendo su sistema muy simple, pero requiere bastante fuerza por parte del personal encargado de este trabajo, además es más demorosos que los sistemas anteriores lo que resulta no ser muy factible para lugares o empresas grandes.



Figura 3.7: Ensiladora compactadora manual [21]

- **Ensiladora compactadora de tornillo sin fin:** Se caracteriza por ser muy utilizada dentro de la agricultura debido a que permite transportar, prensar y compactar el forraje picado mediante un tornillo sin fin o helicoidal el cual gira dentro de un conducto. Este tipo de ensiladoras por lo general son usadas en sistemas manuales, mecánicos o motorizados, los cuales son adecuados para medianas y pequeñas producciones [22].

Se puede observar 3.8 que la ensiladora compactadora de tornillo sin fin tiene un mecanismo en forma de tornillo, el cual va girando y empujando de manera rápida el material a ensilar permitiendo obtener un corte o picado rápido y la vez por medio de su sistema de compactación se va guardando el producto ensilado de acuerdo a las necesidades y parámetros establecidos por el usuario de la máquina.



Figura 3.8: Ensiladora de tornillo sin fin [22]

### 3.2.8 Pasos del ensilaje de la caña de azúcar en la ensiladora compactadora

Los pasos de forrajes como la caña de azúcar se realizan siguiendo una serie de pasos que contribuyen a obtener un ensilaje de calidad obteniendo condiciones óptimas que permitan mantenerlo y utilizarlo por gran tiempo.

- **Cortar el material a ensilar:** Para el corte de la caña de azúcar se puede emplear la ayuda de un machete y al ser considerado un forraje con alto contenido de humedad, es importante dejar deshidratarlo de un día a otro, o por lo menos unas horas, para garantizar que la humedad disminuya.
- **Disponer de un lugar fresco y seco:** Por lo general para realizar el ensilaje si es en el campo la maquinaria debe estar ubicada en un lugar plano y de fácil acceso.
- **Picado del bagazo de caña de azúcar:** El bagazo de la caña de azúcar es introducido en la máquina ensiladora donde esta es picada en trozos muy pequeños entre 3 y 5cm. Si fuera necesario se le añade aditivos como la melaza que actúa como activador de la fermentación, que ayuda a mejorar la conservación, prevenir la putrefacción y reducir pérdidas en el alimento para el ganado.
- **Compactación:** Una vez obtenido ya el material ensilado este es debidamente compactado o presionado en un silo de bolsa el cual debe estar bien sellado sin que entre aire que pueda provocar humedad y deterioro del producto ensilado.

## 4 METODOLOGÍA

### 4.1 DISEÑO CONCEPTUAL

El diseño conceptual de la máquina ensiladora se desarrolló a partir de la identificación de la necesidad de compactar y conservar el bagazo de caña de azúcar como alimento para ganado, considerando las condiciones reales de operación de la hacienda Los Molinos, donde no se dispone de un suministro eléctrico estable. Esta situación determinó desde el inicio la necesidad de un sistema autónomo, confiable y apto para su uso en entornos rurales.

Con base en esta necesidad, se definieron los requisitos generales del sistema, priorizando la operación mediante un motor a gasolina, la simplicidad mecánica, la robustez estructural y la facilidad de operación y mantenimiento. Estos criterios permitieron acotar las alternativas de

solución y orientar el diseño hacia un equipo de funcionamiento continuo, capaz de operar en condiciones de polvo, humedad y uso prolongado.

Posteriormente, el sistema fue analizado desde un enfoque funcional, identificando las funciones principales necesarias para el proceso de ensilado. Se estableció la alimentación manual del material, el transporte y la compactación mediante un tornillo sin fin, y el control natural del llenado del saco a través del desplazamiento de una base móvil, eliminando la necesidad de sensores o sistemas electrónicos adicionales.

A partir de este análisis funcional, se definió el principio de funcionamiento del equipo, basado en la compactación mecánica continua del bagazo dentro de un saco plástico. El tornillo sin fin transporta el material desde la tolva hasta la salida, donde la presión generada durante la compactación provoca el avance progresivo del saco y el desplazamiento de la base móvil, lo que permite identificar visualmente el final del ciclo de llenado.

Finalmente, se estableció la secuencia general de operación del sistema, iniciando con la colocación del saco y el encendido de la máquina, seguido de la alimentación del material, la compactación progresiva y la extracción del saco lleno. Este diseño conceptual sirvió como base para el desarrollo del diseño mecánico, la selección de componentes y los análisis estructurales presentados en los apartados posteriores.

## 4.2 MATRIZ DE RELACIÓN DE VARIABLES

Se definió la matriz operacional de variables, identificando la variable independiente y las variables dependientes que intervienen directamente en el proceso de ensilado y compactación como se muestra en la tabla 4.1

Tabla 4.1:Matriz operacional de variables

---

<b>Variables independientes</b>	Compactación y construcción de una maquina ensiladora compactadora para la consolidación del bagazo de caña de azúcar
---------------------------------	---

---

<b>Variables dependientes</b>	Mecanismo del proceso de compactación a través del tornillo sin fin para mejorar la productividad
-------------------------------	---

---

*Responsables: Los autores*

La Tabla 4.1 Las variables dependientes corresponden a los componentes mecánicos y estructurales de los cuales depende el desempeño adecuado de la máquina, ya que influyen directamente en la capacidad de compactación, la seguridad estructural y la continuidad operativa del proceso de ensilado.

Tabla 4.2: Matriz de variables de entrada

<b>Concepto</b>	<b>Dispositivos</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>
<b>Energía mecánica</b>	Motor a gasolina	Par y velocidad constante	Sistema de accionamiento	Transmisión por poleas y fajas
<b>Flujo de material</b>	Tolva	Caída por gravedad	Alimentación del bagazo	Empuje manual
<b>Compactación</b>	Tornillo sin fin	Avance continuo del material	Mecanismo de ensilado	Transporte helicoidal
<b>Desplazamiento</b>	Base móvil	Retorno por presión interna	Control de llenado	Movimiento lineal guiado

*Responsables: Los autores*

La Tabla 4.2 se evidencia que las variables de entrada dependen directamente de la energía mecánica suministrada por el motor, del flujo inicial del material en la tolva, comportamiento del tornillo sin fin durante la compactación y del desplazamiento generado en la base móvil. Cada ítem representa una etapa clave del proceso, controlada mediante mecanismos simples y robustos que permiten operar sin sistemas electrónicos ni sensores externos.

Tabla 4.3: Matriz de variables de salida

<b>VARIABLES DE SALIDA</b>					
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Etapas del proceso</b>	<b>Mecanismo</b>	<b>Componente</b>
<b>Bolsa llena</b>	Resultado operativo	Compactación uniforme	Final del llenado	Avance por presión del material	Base móvil + saco

<b>Continuidad del ciclo</b>	Parámetro funcional	Retorno de la base a posición inicial	Detección natural del fin	Fuerza interna del ensilado	Estructura móvil
<b>Caudal procesado</b>	Rendimiento	Cantidad de bagazo compactado por ciclo	Ensilado	Transporte helicoidal continuo	Tornillo sin fin
<b>Estado del sistema</b>	Condición de operación	Necesidad de reemplazo del saco	Previo a reinicio	Verificación del operador	Conducto de salida

*Responsables: Los autores*

Las variables de salida representan el rendimiento del sistema, el comportamiento natural del material compactado permite identificar el momento exacto para retirar la bolsa sin necesidad de sensores externos, manteniendo un diseño robusto y simple.

#### 4.3 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO BÁSICO

La máquina ensiladora fue concebida para la conservación de residuos orgánicos provenientes de la caña de azúcar mediante el proceso de ensilaje, permitiendo su almacenamiento y posterior utilización como alimento para ganado en épocas de sequía. El principio de funcionamiento se basa en la compactación mecánica del material dentro de un saco plástico, reduciendo la presencia de oxígeno y evitando su descomposición.

Se consideraron criterios como: la autonomía energética, la robustez estructural y la facilidad de operación y mantenimiento. Debido a la limitada disponibilidad de energía eléctrica en el entorno rural de aplicación, se optó por un sistema de accionamiento mecánico independiente de la red eléctrica. Asimismo, la configuración general de la máquina prioriza una construcción resistente a condiciones ambientales adversas y un esquema funcional simple, adecuado para su uso continuo en campo.

El funcionamiento básico de la máquina sigue una secuencia lineal e integrada, representada esquemáticamente en la Figura 4.1. El proceso inicia con el suministro de energía mecánica desde el sistema de movimiento y transmisión, el cual acciona el giro del tornillo sin fin. El

material orgánico es depositado manualmente en la tolva de alimentación, desde donde es dirigido hacia la zona de trabajo del tornillo.

El tornillo sin fin se encarga de transportar y compactar progresivamente el material, impulsándolo hacia la salida. Durante este proceso, el material compactado se introduce en el saco plástico, generando una presión interna que provoca el desplazamiento longitudinal de la base móvil. Este desplazamiento ocurre de manera gradual conforme avanza el llenado, permitiendo un control visual del proceso.

Una vez que la base móvil alcanza su recorrido máximo, el ciclo de ensilado se considera concluido. En esta condición, el operador detiene el sistema, retira el saco lleno y coloca uno nuevo para reiniciar el proceso. Esta configuración funcional garantiza una operación continua, segura y adecuada para aplicaciones rurales donde se requiere simplicidad operativa y confiabilidad mecánica.

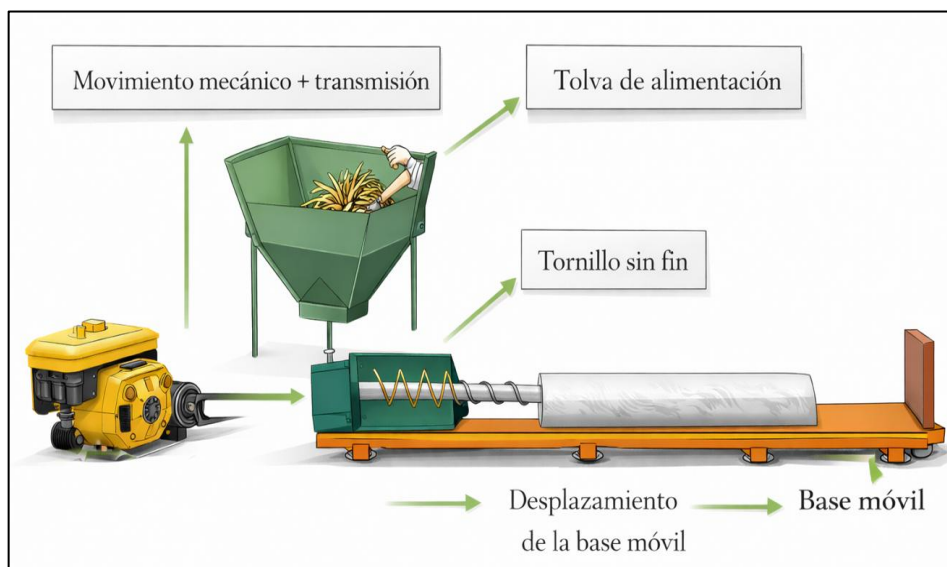


Figura 4.1: Diagrama de funcionamiento básico máquina ensiladora

#### 4.4 DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo representa la secuencia lógica del proceso desde la activación de la máquina hasta la extracción de la bolsa llena. Incluye las acciones del operador y las respuestas mecánicas naturales del sistema, como el avance de la base móvil cuando la bolsa se llena. Esta representación permite visualizar de forma clara el comportamiento operativo del equipo y facilita su comprensión, mantenimiento y futura optimización.

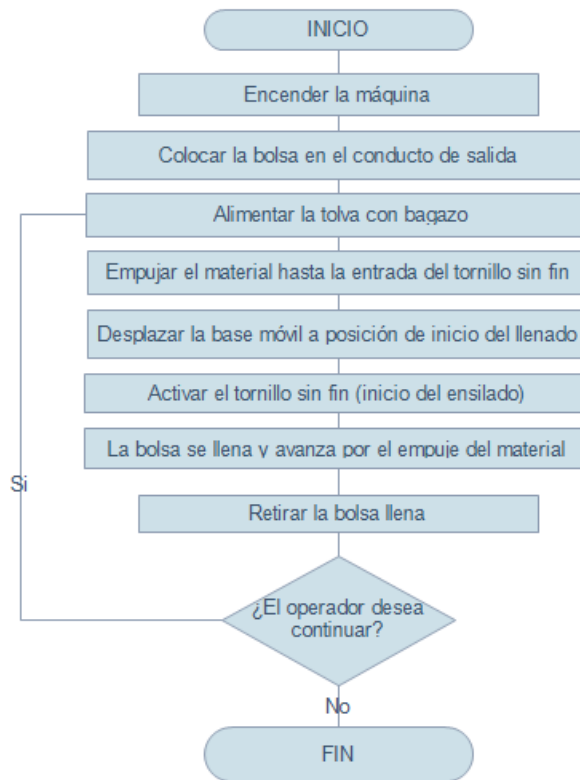


Figura 4.2: Diagrama de flujo máquina ensiladora.

## 4.5 DISEÑO MECÁNICO DE LA MÁQUINA ENSILADORA

El diseño de la máquina se fundamenta en el análisis volumétrico del material, la capacidad de almacenamiento, la velocidad de transporte, la fuerza necesaria para vencer la fricción interna del bagazo y la potencia requerida para el accionamiento del sistema. Cada uno de estos aspectos se desarrolla mediante modelos matemáticos específicos, los cuales se describen en este capítulo. En adición se detalla los cálculos de forma estructurada en la memoria de cálculos incluida en el Anexo E.

### 4.5.1 Cálculo de los grados de libertad

Se realiza el análisis cinemático del sistema con el objetivo de determinar el número de grados de libertad que gobiernan el movimiento del conjunto durante su operación. Este análisis permite identificar el número de variables independientes necesarias para describir completamente el comportamiento mecánico del sistema antes de su construcción.

La máquina ensiladora compactadora se modela como un sistema de cuerpos rígidos conectados mediante pares cinemáticos. La Figura 4.3 ilustra el movimiento de los tornillos sin fin y el desplazamiento de la base móvil, para el análisis se consideran los siguientes eslabones:

- Bastidor o estructura fija
- Tornillo sin fin 1
- Tornillo sin fin 2
- Base móvil de desplazamiento longitudinal

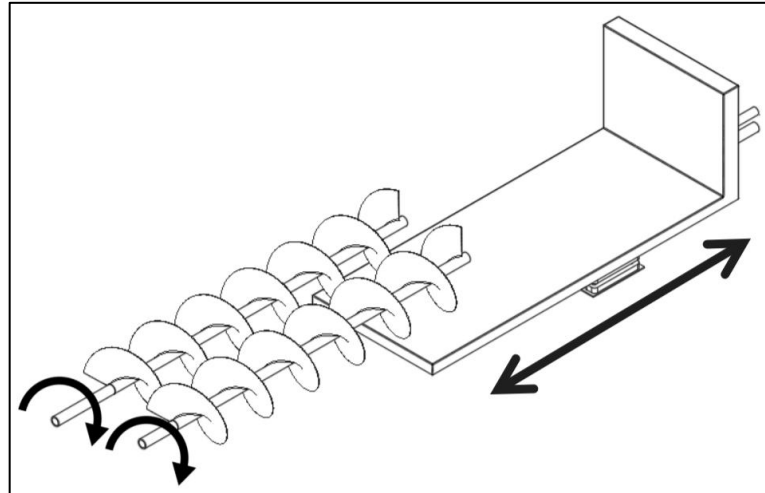


Figura 4.3: Diagrama de flujo máquina ensiladora.

En consecuencia, el número total de eslabones del mecanismo es:

$$n$$

Dónde:

- $n$ : número total de eslabones del sistema

Los movimientos relativos entre los eslabones se realizan mediante pares cinemáticos inferiores, los cuales se identifican como:

- Dos pares revoluta entre cada tornillo sin fin y el bastidor
- Un par prismático entre la base móvil y el bastidor

El número de pares cinemáticos de un grado de libertad se define como:

$$j_1$$

y no se consideran pares cinemáticos superiores, por lo que:

$$j_2 = 0$$

Dónde:

- $j_1$ : número de juntas de un grado de libertad
- $j_2$ : número de juntas de dos grados de libertad

La movilidad teórica del mecanismo se determina mediante el criterio de Grübler–Kutzbach para sistemas planos mediante la ecuación 1:

$$M = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2$$

Ecuación 1

Dónde:

- $M$ : número de grados de libertad del mecanismo

#### 4.5.2 Caracterización del material y volumen de la funda

El bagazo de caña de azúcar es un material fibroso, poco cohesivo y de densidad aparente variable. Para el diseño se considera una densidad comprendida entre 120 y 200 kg/m<sup>3</sup>, adoptando un valor promedio de 150 kg/m<sup>3</sup>. Esta propiedad permite relacionar la masa del material con el volumen que ocupa dentro de la funda de ensilaje. La relación entre densidad, masa y volumen se expresa mediante la ecuación 2:

$$\delta = \frac{m}{V}$$

Ecuación 2

Despejando el volumen de la ecuación anterior se obtiene la ecuación 3:

$$V = \frac{m}{\delta}$$

Ecuación 3

Donde:

- $\delta$ : densidad aparente del bagazo [kg/m<sup>3</sup>]
- $m$ : masa del material [kg]
- $V$ : volumen del material [m<sup>3</sup>]

Estas ecuaciones permiten determinar el volumen equivalente de una funda, parámetro fundamental para el diseño de la cubeta y del tornillo sin fin.

Una vez definido el volumen del material, se requiere expresar la carga del sistema en términos de masa, ya que las fuerzas y la capacidad de producción se relacionan directamente con el peso del bagazo. Para ello, se emplea la ecuación 4 de la relación:

$$m = V \times \delta$$

Ecuación 4

Esta ecuación permite estimar la masa real que actúa sobre el tornillo sin fin y la estructura durante la operación.

#### 4.5.3 Volumen de diseño de la cubeta de alimentación de la compactadora

Para garantizar la continuidad del proceso de ensilaje, la tolva se diseña con capacidad suficiente para almacenar material equivalente a dos fundas. Este criterio permite que el tornillo sin fin continúe operando mientras el operador prepara una nueva funda, evitando interrupciones en el proceso.

El volumen requerido para dos fundas se determina mediante la ecuación 5:

$$V_{2f} = 2 \times V_f$$

Ecuación 5

Durante la operación manual de carga se producen pérdidas, material sobrante y variaciones de compactación. Por ello, se adopta un margen de seguridad del 20 %, obteniéndose el volumen total de diseño de la cubeta como se expresa en la ecuación 6:

$$V_t = V_{2f}(1 + f_d)$$

Ecuación 6

Donde:

- $V_t$ : volumen de diseño de la tolva [ $m^3$ ]
- $V_f$ : volumen de una funda [ $m^3$ ]

- $f_d$ : factor de desperdicio [-]

#### 4.5.4 Dimensionamiento geométrico de la tolva para la compactadora

La salida de la tolva adopta una geometría rectangular (Figura 4.4) debido a la forma de la funda (ancho dominante) y al mecanismo de empuje axial del tornillo sin fin. El volumen geométrico de la tolva se expresa como:

$$V_t = x \times y \times z$$

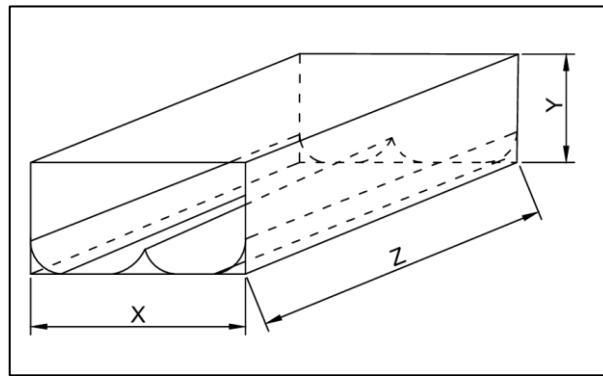


Figura 4.4: Salida de material de la tolva.

Despejando la altura necesaria de la tolva se obtiene la ecuación 7:

$$y = \frac{V_t}{x \times z}$$

Ecuación 7

Donde:

- $x$  ancho interno de la tolva [m]
- $y$  altura interna de la tolva [m]
- $z$  ancho interno de la tolva [m]

#### 4.5.5 Capacidad de procesamiento del sistema

La capacidad de procesamiento se define como la cantidad de bagazo que la máquina puede ensilar por unidad de tiempo (Figura 4.5). Esta capacidad se determina a partir de la masa de material por funda y del número de fundas procesadas por hora definiendo la ecuación 8:

$$\dot{m} = m_f \times N$$

Ecuación 8

Donde:

- $\dot{m}$  capacidad de procesamiento [kg/h]
- $m_f$  masa del material por funda [kg]
- $N$  número de fundas procesadas por hora

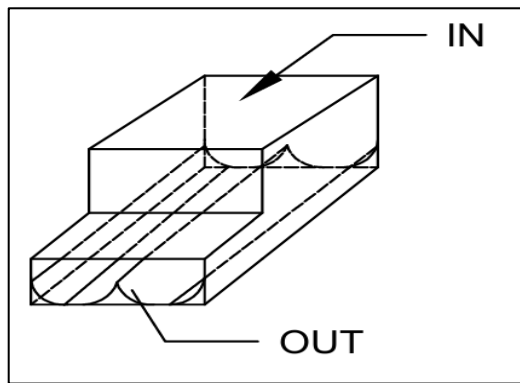


Figura 4.5: Ingreso y salida del material ensilado.

#### 4.5.6 Dimensionamiento del tornillo sin fin

El tornillo sin fin es el elemento principal encargado del transporte y compactación del bagazo. Su dimensionamiento se basa en la cantidad de volumen que puede desplazar por revolución y en la velocidad de rotación necesaria para alcanzar el caudal requerido sin generar atascos en material fibroso.

El área barrida (Figura 4.6) por el helicoides determina el volumen base que puede ser transportado para esto se aplica la ecuación 9:

$$A_H = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación 9

Donde:

- $A_H$  capacidad de procesamiento [ $m^2$ ]
- $D$  diámetro del tornillo sin fin [m]

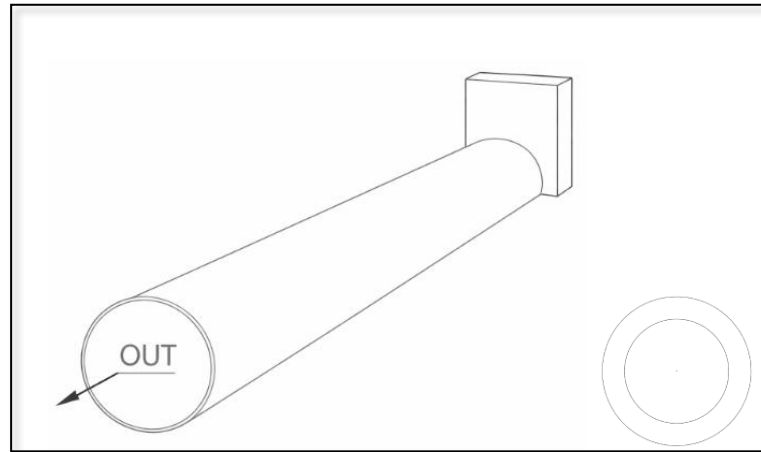


Figura 4.6: El área barrida por el helicoide.

El diseño de dos ejes es usado más comúnmente en cualquier tipo de ensiladora (Figura 4.7) por que evita atascos y su trabajo es más eficiente, al ser de dos ejes más pequeños dentro del cuerpo.

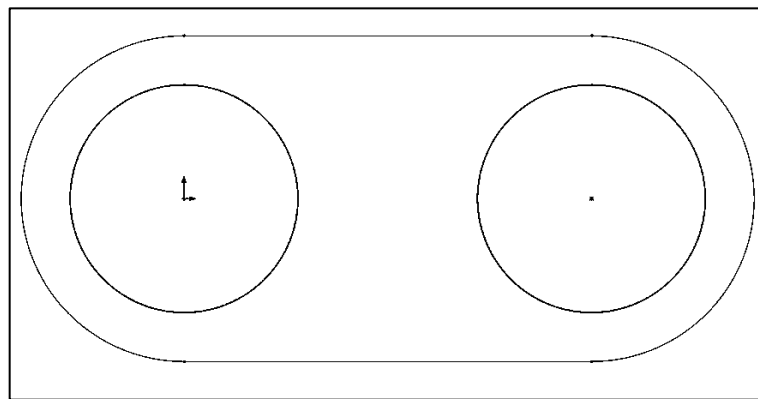


Figura 4.7: Diseño de doble eje para una máquina ensiladora.

#### 4.5.7 Volumen transportado por revolución

El volumen teórico transportado por cada revolución del tornillo se calcula mediante el uso de la ecuación 10:

$$V_R = A_H \times S$$

Ecuación 10

Donde:

- $V_R$  volumen transportado por revolución [ $m^3/\text{rev}$ ]
- $S$  paso del tornillo [m]

#### 4.5.8 Volumen efectivo considerando material fibroso

Debido a que el bagazo es un material fibroso, el tornillo no se llena completamente. Para considerar este comportamiento se introduce un factor de llenado expuesto en la ecuación 11:

$$V_{ef} = V_R \times K_f$$

Ecuación 11

Donde:

- $V_{ef}$  volumen efectivo transportado [ $m^3/\text{rev}$ ]
- $K_f$  factor de llenado para material fibroso

#### 4.5.9 Velocidad de rotación requerida del tornillo de la compactadora

La velocidad necesaria del tornillo se determina relacionando el volumen que debe transportarse por unidad de tiempo con el volumen efectivo por revolución de modo que para calcular se necesita la ecuación 12:

$$n = \frac{V_f \times t}{V_{ef}}$$

Ecuación 12

Donde:

- $n$  velocidad de rotación del tornillo [rpm]
- $V_f$  volumen por funda [ $m^3$ ]
- $t$  tiempo base [60s]

#### 4.5.10 Fuerza axial requerida para la compactación dentro de la máquina

Durante la compactación, el tornillo sin fin debe vencer la fricción interna del bagazo y el peso del material acumulado. La fuerza axial requerida se calcula mediante la ecuación 13:

$$F = \frac{W_m \times g \times \tan(\theta + \varphi)}{\eta}$$

Ecuación 13

Donde:

- $F$  fuerza axial requerida [N]
- $W_m$  masa total transportada [kg]
- $g$  aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ]
- $\theta$  ángulo del tornillo respecto a la horizontal [°]
- $\varphi$  ángulo de fricción interna del material [°]
- $\eta$  eficiencia del sistema

El cálculo del par y la potencia se obtiene mediante comparten ecuaciones de relación y se representan en la ecuación 14 y 15 respectivamente:

$$T = \frac{F \times D}{2}$$

Ecuación 14

$$P = 2\pi \times R \times T$$

Ecuación 15

#### 4.5.11 Diseño del mecanismo de transmisión

El mecanismo de transmisión por bandas tiene como finalidad transferir la potencia mecánica generada por el motor hacia los dos tornillos sin fin esto se lo puede observar en la figura 4.8,

garantizando sincronización, reducción de velocidad y aumento de torque para el proceso de compactación. El sistema de transmisión está constituido por:

- Una polea motriz, acoplada directamente al eje del motor.
- Una polea conducida primaria, de mayor diámetro, encargada de la reducción de velocidad.

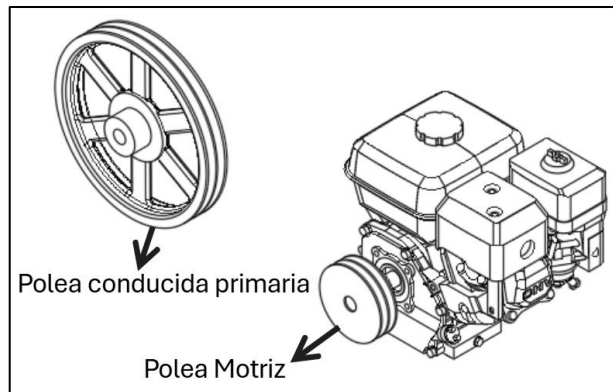


Figura 4.8: Polea conducida primaria y polea motriz.

- Dos tornillos sin fin dispuestos en paralelo.
- Dos poleas conducidas secundarias, acopladas a cada tornillo sin fin, como se observa en la figura 4.9.
- Una polea tensora, destinada al ajuste de tensión del sistema.

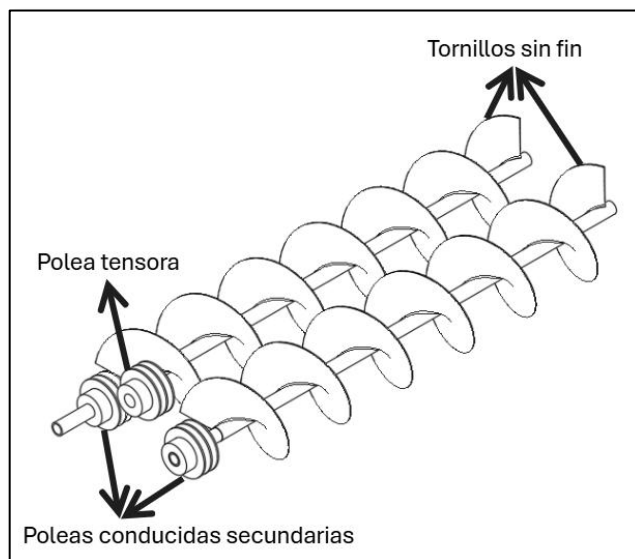


Figura 4.9: Polea conducida secundaria, polea tensora y tornillos sin fin.

- Bandas trapezoidales dispuestas en doble canal para cada etapa de transmisión.

Se acoplaron poleas del mismo tamaño a cada tornillo sin fin para sincronizar su movimiento mediante una única fuente de accionamiento, estableciendo una relación de transmisión igual a uno; adicionalmente, se incorporó una polea tensora, también de la misma dimensión, cuya función es mantener la tensión adecuada de la banda y evitar deslizamientos, garantizando una transmisión estable y eficiente. Esta configuración permite que ambos tornillos giren en el mismo sentido de rotación, logrando una distribución uniforme del material fibroso dentro del conducto de compactación, reduciendo la probabilidad de atascamientos y equilibrando la carga mecánica sobre cada eje, para esta relación se aplica la ecuación 15:

$$i_{ts} = \frac{D_{ts1}}{D_{ts2}}$$

Ecuación 16

Dónde:

- $i_{ts}$ : relación de transmisión entre tornillos sin fin
- $D_{ts1}, D_{ts2}$ : diámetros de las poleas conducidas secundarias

Al cumplirse que  $D_{ts1} = D_{ts2}$ , la relación resulta unitaria.

La polea conducida primaria, posee un diámetro mayor que la polea motriz ya que su función principal es producir una reducción de velocidad y un incremento del torque transmitido, condición indispensable para el proceso de compactación del material, esta relación se define mediante la ecuación 17:

$$i_m = \frac{D_{cp}}{D_m}$$

Ecuación 17

Dónde:

- $i_m$ : relación de transmisión entre poleas
- $D_{cp}$ : diámetro de la polea conducida primaria

- $D_m$ : diámetro de la polea motriz

La velocidad lineal de las bandas constituye un parámetro fundamental para el diseño del sistema de transmisión como se ilustra en la Figura 4.10 y se determina mediante la ecuación 18:

$$V_L = \frac{\pi \times D \times n}{60}$$

Ecuación 18

Dónde:

- $V_L$ : velocidad lineal de la banda [m/s]
- $D$ : diámetro de la polea [m]
- $n$ : velocidad de rotación de la polea [rpm]

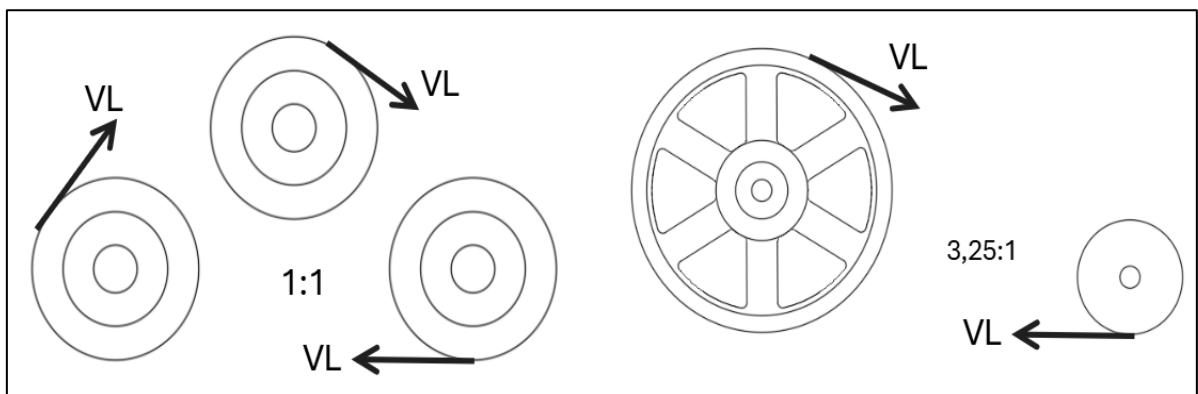


Figura 4.10: Velocidad lineal en las poleas.

El torque transmitido por el sistema se relaciona la potencia y la velocidad angular mediante el uso de la ecuación 19:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Ecuación 19

Dónde:

- $T$ : torque transmitido [N·m]

- $P$ : potencia transmitida [W]
- $\omega$ : velocidad angular [rad/s]

Siendo la velocidad angular una relación de la revolución y su transformación como se expresa en la ecuación 20:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Ecuación 20

La transmisión de torque por bandas se produce debido a la diferencia de tensiones entre el lado tenso y el lado flojo de la correa, expresada en la ecuación 21:

$$\Delta T = \frac{T}{r}$$

Ecuación 21

Dónde:

- $\Delta T$ : diferencia de tensiones [N]
- $r$ : radio de la polea [m]

La potencia de transmisión de banda se obtiene mediante la ecuación 22:

$$P_p = \Delta T \times V_L$$

Ecuación 22

La transmisión motriz–conducida primaria y la transmisión entre las poleas conducidas secundarias y la polea tensora se diseñan con doble canal para incrementar la capacidad de transmisión de potencia, permitiendo una mejor distribución de la carga entre ambas correas, reduciendo el esfuerzo unitario sobre cada banda, minimizando el riesgo de deslizamiento y mejora la confiabilidad del sistema durante su operación continua, este procedimiento se realiza cuando la potencia de transmisión es mayor a la del motor se divide la transmisión de acuerdo al número de bandas que están en paralelo esto se puede calcular a través de la ecuación 23, la cual denota lo siguiente:

$$P_{p2} = \frac{P_p}{N}$$

Ecuación 23

Dónde:

- $N$ : número de bandas

Resultando una potencia de motor (7.5HP) mayor a la potencia de transmisión para que el sistema funciones correctamente.

$$\text{Potencia de motor} > P_{p2}$$

#### 4.5.12 Diseño de la estructura

Para evaluar el material requerido, se considera el esfuerzo generado por la carga aplicada sobre la sección resistente del componente. El esfuerzo normal se calcula mediante la expresión:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Ecuación 24

Dónde:

- $\sigma$ : esfuerzo normal
- $F$ : fuerza aplicada calculada previamente con la Ecuación 13
- $A$ : área de la sección transversal

De acuerdo con el diseño previo del tornillo sin fin se considera una sección estructural representativa de  $A = 5 \times 10^{-4} m^2$ . Para garantizar un diseño seguro se aplica un factor de seguridad, de acuerdo con las recomendaciones de diseño propuestas por Robert L. Mott en Machine Elements in Mechanical Design, los factores de seguridad (Tabla 4.4) para maquinaria sometida a cargas variables y condiciones de operación inciertas se encuentran típicamente entre 3 y 4. En este proyecto se adoptó un factor de seguridad dentro de este intervalo debido a que la máquina ensiladora compactadora opera en condiciones rurales, con presencia de vibraciones, variaciones en el material procesado y posibles fluctuaciones en la carga.

Tabla 4.4: Tabla de factores de seguridad recomendados.

Condición de diseño	Factor de seguridad
Cargas bien conocidas, condiciones controladas, materiales dúctiles	1,5 – 2,0
Cargas conocidas con pequeñas variaciones	2,0 – 2,5
Cargas variables o incertidumbre moderada en las condiciones de trabajo	2,5 – 3,0
Maquinaria sometida a vibraciones o impactos moderados	3,0 – 4,0
Equipos sometidos a choques severos o condiciones muy inciertas	4,0 – 6,0

Fuente: [23]

El límite de fluencia mínimo requerido del material se determina mediante:

$$S_{y_{min}} = n \times \sigma$$

Ecuación 25

Esto significa que el material seleccionado debe tener un límite de fluencia mayor que:

$$S_y > S_{y_{min}}$$

Una vez determinado el límite de fluencia mínimo requerido, se procede a revisar materiales estructurales disponibles en tablas y datasheets de materiales de ingeniería considerando criterios adicionales de:

- Facilidad de soldadura
- Disponibilidad comercial
- Costo

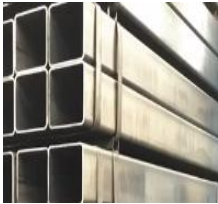


- Facilidad de mecanizado

## 4.6 SELECCIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES

### 4.6.1 Material de la estructura

Una vez determinado el límite de fluencia mínimo requerido con la Ecuación 25, se realizó una comparación entre distintos aceros estructurales disponibles comercialmente. Para la selección se consideraron propiedades mecánicas y criterios de fabricación como facilidad de soldadura, disponibilidad comercial, costo y facilidad de mecanizado, factores importantes para la construcción y mantenimiento del equipo en condiciones rurales. La Tabla 4.5 presenta la comparación entre tres materiales comúnmente utilizados en estructuras metálicas y maquinaria agrícola.

Tabla 4.5: Selección del material

Especificaciones	Acero ASTM A36	Acero AISI 1020	Acero AISI 1045
			
<b>Tipo de acero</b>	Acero estructural al carbono	Acero al carbono bajo	Acero al carbono medio
<b>Límite de fluencia</b>	≈ 250 MPa	≈ 350 MPa	≈ 530 MPa
<b>Resistencia última</b>	400–550 MPa	420 MPa aprox.	565–700 MPa
<b>Soldabilidad</b>	Excelente	Buena	Moderada
<b>Facilidad de mecanizado</b>	Buena	Buena	Media
<b>Costo relativo</b>	Bajo	Medio	Alto




<b>Disponibilidad comercial</b>	Muy alta	Alta	Media
<b>Aplicación típica</b>	Estructuras, maquinaria agrícola	Componentes mecánicos	Ejes y piezas de alta resistencia

Se selecciona el acero estructural ASTM A36 como material para la fabricación de la estructura, ya que cumple con los requerimientos de resistencia mecánica del diseño, su límite de fluencia aproximado es de 250MPa resultando superior al mínimo requerido por el sistema. Además, presenta excelente soldabilidad, alta disponibilidad comercial y bajo costo, características que facilitan su fabricación, mantenimiento y reposición en entornos rurales.

#### 4.6.2 Motor para la compactadora

Se comparan tres alternativas de motor, usando especificaciones reales de ficha técnica y evaluando su compatibilidad con los requerimientos del sistema de la ensiladora como potencia calculada  $\approx 7,27$  HP, necesidad de operación en zona rural y facilidad de mantenimiento. La Tabla 4.6 presenta datos clave para la decisión de compra e integración mecánica.

Tabla 4.6: Selección del motor

<b>Especificaciones</b>	<b>Motor Eléctrico WEG W22</b>	<b>Motor a Gasolina Toyama TE75-XP</b>	<b>Honda GX120-SHQ</b>
			
<b>Tipo de motor</b>	Eléctrico trifásico	Gasolina 4T OHV	Gasolina 4T OHV
<b>Potencia nominal</b>	7,5 HP (5,5 kW)	7,5 HP	7,5 HP
<b>Voltaje requerido</b>	220/380 V	No aplica	No aplica
<b>Fuente de energía</b>	Red eléctrica	Gasolina	Gasolina
<b>RPM nominales</b>	3500 rpm	3600 rpm	3600 rpm
<b>Encendido</b>	Automático	Arranque manual	Arranque manual

<b>Refrigeración</b>	Ventilación forzada	Aire forzado	Aire forzado
<b>Tipo de eje</b>	Eje estándar horizontal	Horizontal 19–20 mm	Horizontal 20 mm
<b>Consumo estimado</b>	5,5 kW/h	1,5–1,7 L/h	1,5–1,8 L/h
<b>Mantenimiento</b>	Bajo	Medio	Medio
<b>Aplicación típica</b>	Instalaciones fijas con energía estable	Maquinaria agrícola ligera	Maquinaria agrícola e industrial
<b>Disponibilidad</b>	Alta en ferreterías industriales	Alta en Latinoamérica	Media
<b>Movilidad</b>	Limitada (requiere cableado)	Alta	Alta
<b>Operación en zonas rurales</b>	Difícil (dependencia eléctrica)	Óptima	Óptima




*Responsables: Los autores*

Por compatibilidad mecánica, disponibilidad, facilidad de mantenimiento en zona rural y mejor relación costo–beneficio, se selecciona el motor a gasolina Honda GX120-SHQ (7,5 HP) como la opción óptima. El motor eléctrico WEG (7.5 HP) ofrece alta eficiencia y mayor vida útil en instalaciones fijas, pero queda descartado por dependencia de red eléctrica y menor movilidad en el contexto de la hacienda. El motor Khomander KH220 (7.5 HP) es una alternativa válida y económica, pero el Toyama se prioriza por su mayor presencia de distribución, documentación técnica (manual/ficha) y reputación en aplicaciones agrícolas, lo que facilita repuestos y soporte técnico en la región.

#### 4.6.2.1 Selección de la banda de transmisión para las poleas de la compactadora

Para la transmisión primaria entre el motor de 7,5 HP y el tornillo sin fin de la ensiladora, se evaluaron tres tipos de bandas comúnmente disponibles en el mercado ecuatoriano para maquinaria agrícola como se observa en la Tabla 4.7, que hace referencia a al tipo de correas como son: correas en V clásicas (sección B), correas en V dentadas (tipo BX) y correas de alto rendimiento tipo estrecha (3VX). La selección se realiza considerando capacidad de transmisión de potencia, resistencia al ambiente con polvo y humedad, disponibilidad de repuestos, vida útil y compatibilidad con poleas de aproximadamente 90–100 mm de diámetro.

Tabla 4.7: Selección de la banda de transmisión.

<b>Especificación</b>	<b>Gates B45/B46</b>	<b>Gates BX45/BX46</b>	<b>Gates 3VX500/3VX510</b>
			
<b>Ancho superior</b>	17 mm	17 mm	9,4 mm
<b>Altura</b>	11 mm	11 mm	8 mm
<b>Tipo de sección</b>	B	BX (dentada)	3VX (narrow V)
<b>Material</b>	Caucho CR + fibras	Caucho CR + fibras + “notched”	Compuesto de alto rendimiento (EPDM)
<b>Capacidad aprox. por banda a 3600 rpm</b>	5,5–6,5 HP	6,5–7,2 HP	7,0–8,0 HP
<b>Radio mínimo de polea recomendado</b>	$\geq 100$ mm	$\geq 90$ mm	$\geq 75$ mm
<b>Resistencia al polvo y suciedad</b>	Alta	Alta	Media–Alta
<b>Flexibilidad</b>	Media	Alta	Muy alta
<b>Nivel de vibración y deslizamiento</b>	Medio	Bajo–medio	Bajo

*Responsables: Los autores*




La opción seleccionada para el sistema es la correa en V dentada tipo BX. Este tipo ofrece un equilibrio entre capacidad de transmisión, resistencia al polvo y vibración, buena flexibilidad

para poleas relativamente pequeñas y alta disponibilidad de repuestos en el entorno agrícola. Aunque la correa clásica tipo B también es adecuada, la correa BX mejora notablemente la disipación térmica y reduce el deslizamiento, lo que prolonga la vida útil del sistema. La correa 3VX presenta el mejor rendimiento por banda, pero requiere alineación muy precisa y es menos común en zonas rurales, por lo que se descarta como primera opción.

#### 4.6.2.2 Selección de las poleas

Se procedió a evaluar distintas poleas comerciales compatibles con esta sección, todas con dos canales, considerando la potencia del motor (7,5 HP), las condiciones de trabajo agrícola y la confiabilidad del sistema. Esta selección se la expresa en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Selección de poleas

<b>Características</b>	<b>Polea Gates</b>	<b>Polea Browning</b>	<b>Polea Dodge</b>
			
<b>Potencia admisible por canal</b>	5,5 – 6 HP	6,5 – 7 HP	7 – 8 HP
<b>Potencia total admisible</b>	11 – 12 HP	13 – 14 HP	14 – 16 HP
<b>Diámetro primitivo compatible</b>	≥ 90 mm	≥ 90 mm	≥ 90 mm
<b>Material</b>	Hierro fundido gris	Hierro fundido gris	Hierro fundido nodular
<b>Resistencia a vibraciones</b>	Alta	Alta	Muy alta

<b>Resistencia a cargas de impacto</b>	Alta	Alta	Muy alta
<b>Comportamiento en ambientes con polvo</b>	Alto	Alto	Alto
<b>Peso</b>	Medio	Medio	Alto
<b>Vida útil esperada</b>	Alta	Alta	Muy alta

*Responsables: Los autores*

Aunque las tres poleas son compatibles con la banda BX, la polea Dodge BX de doble canal ofrece mayor capacidad de carga y mejor comportamiento frente a vibraciones e impactos, lo cual resulta adecuado para un sistema accionado por un motor de 7,5 HP en condiciones agrícolas exigentes.

#### 4.6.2.3 Selección de las chumaceras

En la Tabla 4.9, Se evaluaron tres chumaceras UCF205 de distintos fabricantes y gamas: una opción económica estándar, una industrial reforzada de marca global y una premium con sellado avanzado. La intención es comparar capacidades de carga, sellado contra suciedad, robustez y disponibilidad.

Tabla 4.9: Selección de chumaceras

<b>Características</b>	<b>UCF205 Genérica</b>	<b>UCF205 – NSK</b>	<b>UCF205 – SKF</b>
			
<b>Diámetro interior cojinete</b>	25 mm	25 mm	25 mm

<b>Capacidad carga dinámica (kN)</b>	~6,0	~8,0	~7,5
<b>Capacidad carga estática (kN)</b>	~3,5	~5,0	~4,8
<b>Tipo de cojinete interno</b>	Cojinete de bolas simple	Cojinete de bolas reforzado	Cojinete de bolas alta precisión
<b>Sellado</b>	Sellos simples de goma	Sellos dobles (RS)	Sellos de laberinto + RS
<b>Lubricación incluida</b>	Grasa básica	Grasa de larga duración	Grasa premium de vida extendida
<b>Material de carcasa</b>	Fundición normal	Fundición reforzada	Fundición de mayor resistencia
<b>Tolerancia de alineación</b>	Estándar	Estándar	Ajuste preciso
<b>Resistencia al polvo</b>	Básica	Buena	Excelente
<b>Velocidad máxima</b>	~3000 rpm	~3500 rpm	~3500 rpm

*Responsables: Los autores*




La chumacera más adecuada para la ensiladora es la UCF205 de la línea NSK. Esta opción equilibra una alta capacidad de carga dinámica y estática, buen sellado para entornos con polvo y material orgánico, lubricación duradera y disponibilidad de repuestos en el mercado regional. Comparada con la opción genérica, ofrece mayor robustez y fiabilidad para cargas continuas y vibraciones típicas de maquinaria agrícola. Frente a la opción premium (SKF Explorer), la NSK mantiene una mejor relación costo–beneficio sin perder rendimiento significativo.

### 4.6.3 Selección de los rodamientos

El sistema de transmisión de la ensiladora trabaja bajo cargas radiales continuas, vibraciones generadas por el motor de combustión y exposición a polvo propio del bagazo de caña. Por ello, se evaluaron rodamientos de distintas configuraciones constructivas, todos compatibles con un eje de 25 mm, con el fin de identificar la opción más adecuada en términos de desempeño, durabilidad y mantenimiento en campo. Esta selección se ve en la T

Tabla 4.10.

Tabla 4.10: Selección de rodamientos

<b>Características</b>	<b>Rodamiento abierto 6205</b>	<b>Rodamiento sellado 6205-2RS</b>	<b>Rodamiento autoalineante UC205</b>
			
<b>Tipo</b>	Rígido de bolas	Rígido de bolas	Bolas autoalineante
<b>Diámetro interior (d)</b>	25 mm	25 mm	25 mm
<b>Diámetro exterior (D)</b>	52 mm	52 mm	52 mm
<b>Ancho (B)</b>	15 mm	15 mm	34,1 mm
<b>Sistema de sellado</b>	Sin sellos	Doble sello de goma	Sellos laterales integrados
<b>Carga dinámica básica</b>	≈ 14,0 kN	≈ 14,0 kN	≈ 12,7 kN
<b>Carga estática básica</b>	≈ 7,8 kN	≈ 7,8 kN	≈ 6,6 kN

<b>Capacidad de autoalineación</b>	No	No	Sí ( $\pm 2^\circ$ aprox.)
<b>Protección contra polvo y humedad</b>	Baja	Alta	Muy alta
<b>Lubricación</b>	Frecuente	Mínimo (sellado)	Bajo (prelubricado)

*Responsables: Los autores*

El rodamiento abierto 6205 se descarta debido a su baja protección frente a polvo y humedad, lo que incrementa el mantenimiento y reduce su vida útil. El rodamiento autoalineante UC205 ofrece facilidad de montaje y buena protección ambiental, pero presenta menor capacidad de carga y mayores dimensiones, lo que lo hace menos adecuado para alojamientos compactos. El rodamiento sellado 6205-2RS ofrece un equilibrio óptimo entre capacidad de carga, protección ambiental y compatibilidad dimensional.

#### 4.6.4 Selección de las llantas para la compactadora

La máquina ensiladora requiere un sistema de rodadura que permita su desplazamiento manual dentro de la hacienda “Los Molinos”, sobre superficies irregulares propias del entorno rural, tales como suelo natural, grava, barro y zonas con residuos orgánicos. Por esta razón, las llantas deben proporcionar buena tracción, estabilidad, capacidad de carga y amortiguación de vibraciones. Dentro de la Tabla 4.11. Se analizaron tres alternativas de llantas comúnmente empleadas en maquinaria móvil, considerando criterios de desempeño mecánico, comportamiento en terreno irregular, mantenimiento y disponibilidad comercial.

Tabla 4.11: Selección de llantas

<b>Características</b>	<b>Llanta neumática de caucho</b>	<b>Llanta maciza de caucho sólido</b>	<b>Rueda industrial rígida</b>
			

<b>Tipo</b>	Neumática cámara	con Maciza	Maciza rígida
<b>Diámetro exterior</b>	380–420 mm	350–400 mm	300–350 mm
<b>Ancho de rodadura</b>	90–120 mm	70–90 mm	50–70 mm
<b>Diseño de la banda</b>	Dibujo romboidal / todo terreno	Lisa o semi-lisa	Lisa
<b>Material</b>	Caucho natural + cámara de aire	Caucho sólido	Acero / caucho duro
<b>Capacidad de carga (por rueda)</b>	200–300 kg	250–350 kg	400–600 kg
<b>Absorción de vibraciones</b>	Alta	Baja	Muy baja
<b>Desempeño en terreno irregular</b>	Muy bueno	Medio	Bajo
<b>Tracción en suelo húmedo</b>	Alta	Media	Baja
<b>Resistencia a impactos</b>	Media	Alta	Muy alta
<b>Mantenimiento requerido</b>	Medio	Nulo	Nulo

*Responsables: Los autores*



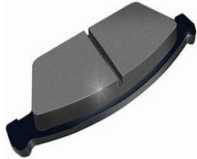
Las ruedas industriales rígidas se descartan debido a su baja adaptabilidad a terrenos irregulares y a la transmisión directa de vibraciones hacia la estructura de la máquina. Las llantas macizas

de caucho presentan buena resistencia mecánica, pero su baja capacidad de amortiguación dificulta el desplazamiento manual sobre suelo natural. Las llantas neumáticas destacan por su alta capacidad de absorción de impactos, mejor tracción y facilidad de operación en campo.

#### 4.6.5 Pastillas de frenado para la compactadora

El sistema de frenado debe ser confiable, de fácil mantenimiento y adecuado para condiciones de trabajo rural y son las responsables de generar la fricción necesaria para disipar la energía cinética del sistema rotativo. Por esta razón en la Tabla 4.12, su selección debe considerar el coeficiente de fricción, resistencia térmica, comportamiento frente a contaminantes y compatibilidad con discos metálicos de acero. Se analizaron tres tipos de pastillas de frenado comúnmente utilizadas en sistemas mecánicos y automotrices ligeros.

Tabla 4.12: Selección de pastillas de frenado

	<b>Pastillas orgánicas</b>	<b>Pastillas semimetálicas</b>	<b>Pastillas metálicas</b>
<b>Características</b>			
<b>Material principal</b>	Resinas orgánicas + fibras	Resinas + partículas metálicas	Polvos metálicos sinterizados
<b>Coeficiente de fricción (<math>\mu</math>)</b>	0,35 – 0,45	0,40 – 0,55	0,50 – 0,65
<b>Temperatura de trabajo</b>	Baja – media (hasta 300 °C)	Media (hasta 450 °C)	Alta (hasta 600 °C)
<b>Desgaste del disco</b>	Bajo	Medio	Alto
<b>Resistencia a humedad y polvo</b>	Media	Alta	Muy alta

<b>Ruido durante operación</b>	Bajo	Medio	Alto
<b>Vibraciones transmitidas</b>	Bajas	Medias	Altas
<b>Mantenimiento requerido</b>	Bajo	Medio	Bajo

*Responsables: Los autores*

Las pastillas semi-metálicas son las más representan un equilibrio óptimo entre desempeño mecánico, resistencia al desgaste y confiabilidad operativa. Su coeficiente de fricción adecuado, buena disipación térmica y tolerancia a condiciones ambientales adversas las hacen apropiadas para aplicaciones rurales y equipos agrícolas de baja y media potencia.

#### **4.7 DISEÑO CAD DE LA ENSILADORA**

El diseño asistido por computadora (CAD) de la máquina ensiladora se desarrolló utilizando el software Fusion 360, con el objetivo de representar la geometría del sistema y analizar la relación funcional entre sus componentes mecánicos. El modelado tridimensional permitió verificar el dimensionamiento de las piezas, evaluar el acoplamiento entre los elementos del sistema y detectar posibles interferencias durante la etapa de diseño, lo que facilitó la validación preliminar de la factibilidad constructiva de la máquina.

El modelado se realizó de forma progresiva, iniciando con la estructura principal fabricada en acero estructural ASTM A36, que sirve como soporte del conjunto. Posteriormente se integraron el sistema de accionamiento, compuesto por el motor a gasolina, las poleas de doble canal y las correas de transmisión tipo BX, seguido del tornillo sin fin con sus chumaceras y rodamientos. Finalmente, se incorporaron el sistema de salida del material, la base móvil y las ruedas neumáticas, completando así el ensamblaje general, como se muestra en la Figura 4.11. Los planos técnicos obtenidos a partir de este modelado se presentan en el Anexo F.

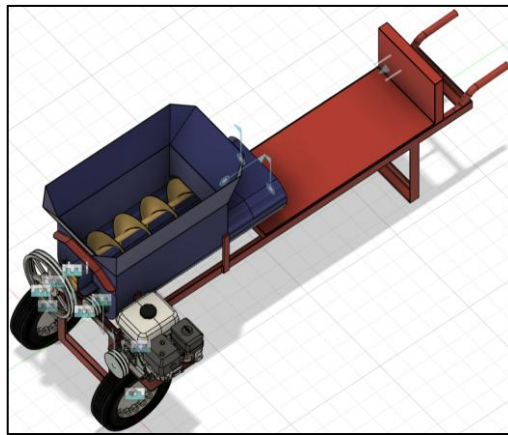


Figura 4.11: Selección de la banda de transmisión.

## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

Con el objetivo de validar el diseño estructural de la máquina ensiladora previo a su fabricación, se realizó un análisis por elementos finitos (FEA) utilizando el software Autodesk Fusion. Para la simulación se consideró una carga total equivalente a 50 kg, representativa del material acumulado durante el proceso de llenado y compactación del bagazo. En el análisis de todos los componentes de la máquina se adoptó un rango admisible del factor de seguridad comprendido entre 3 y 4, conforme a las recomendaciones de Robert L. Mott para sistemas mecánicos sometidos a vibraciones y condiciones de operación no completamente controladas como se analizó en la Tabla 4.4. El estudio se aplicó a los componentes estructurales y mecánicos más solicitados del sistema, específicamente la tolva, el soporte de la funda, el conjunto de chumaceras y el tornillo sin fin, con el fin de verificar que los esfuerzos generados se mantengan dentro de los límites admisibles del material.

#### 5.1.1 Tolva

La figura 5.1 muestra el análisis del factor de seguridad de la tolva, donde se observa que los valores se mantienen dentro del rango admisible establecido entre 3 y 4, garantizando una operación segura durante el llenado y la compactación del material. De forma complementaria, la Figura 5.2 presenta la distribución de la tensión equivalente de Von Mises, evidenciando que los esfuerzos máximos se encuentran ampliamente por debajo del límite de fluencia del acero ASTM A36, lo que confirma que la tolva opera dentro del régimen elástico sin riesgo de falla estructural.

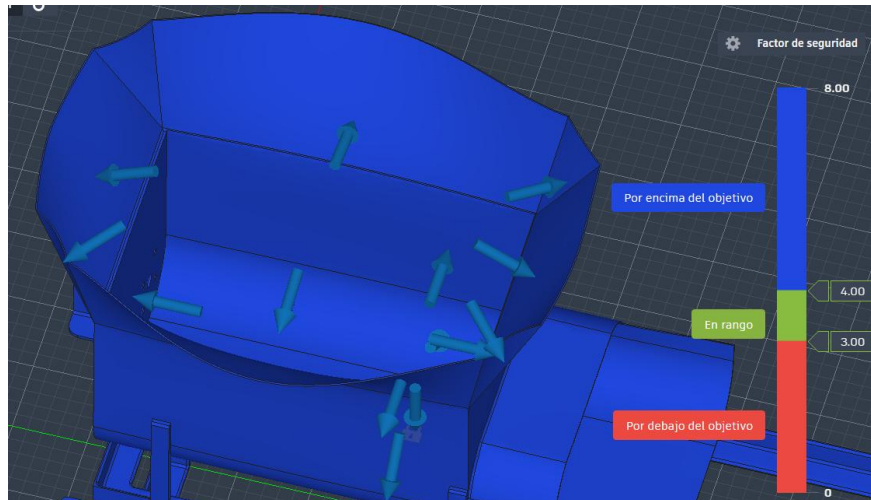


Figura 5.1: Análisis del factor de seguridad en la tolva.

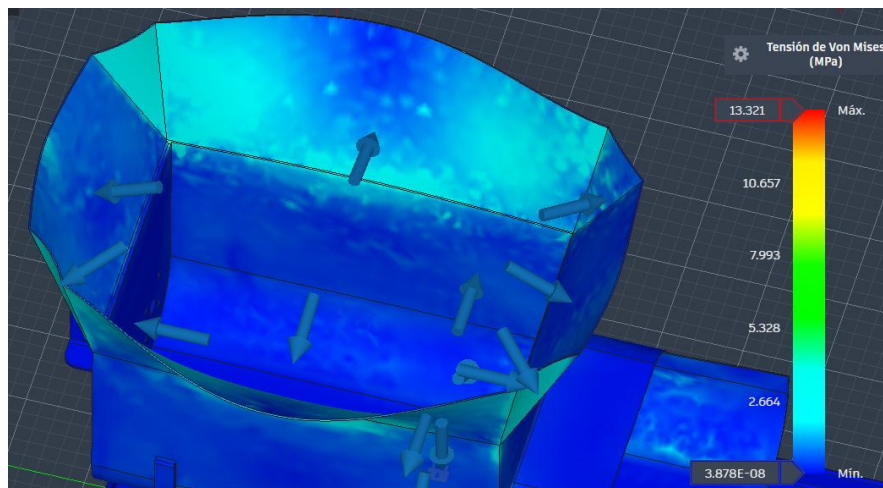


Figura 5.2: Análisis de la tensión equivalente de Von Mises en la tolva.

### 5.1.2 Soporte de la funda dentro de la compactadora

En la figura 5.3 se presenta el análisis del factor de seguridad del soporte de la funda, el cual muestra valores adecuados en toda su geometría, sin zonas críticas que comprometan la integridad estructural del componente durante el proceso de ensilado. Asimismo, la figura 5.4 corresponde al análisis de la tensión equivalente de Von Mises, donde los esfuerzos máximos se concentran en las zonas de unión geométrica, manteniéndose por debajo del límite de fluencia del material, lo que valida el diseño del soporte bajo las condiciones de carga consideradas.

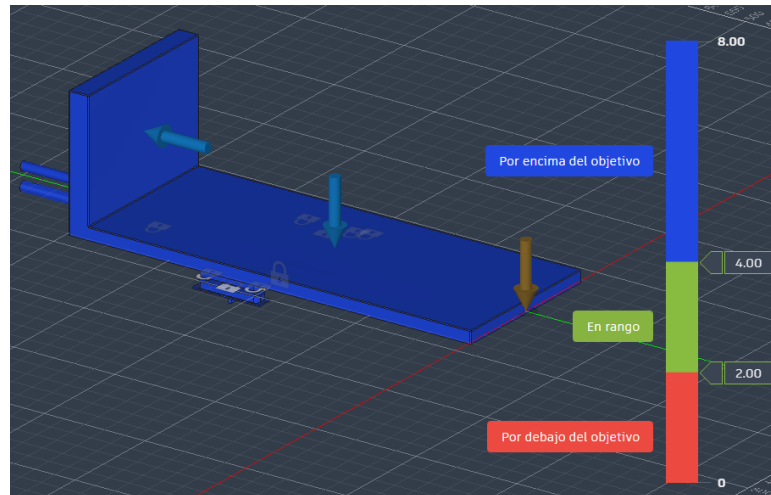


Figura 5.3: Análisis del factor de seguridad en *el soporte de la funda*.

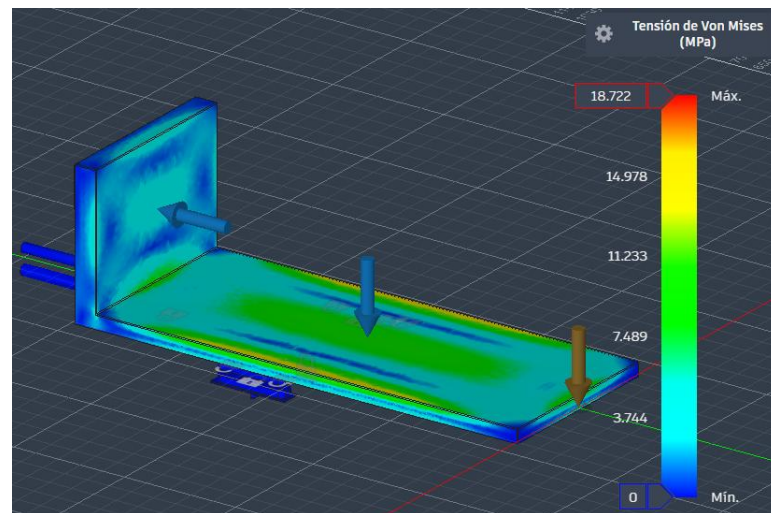


Figura 5.4: Análisis de la tensión equivalente de Von Mises en *el soporte de la funda*.

### 5.1.3 Chumacera externa e interna de la compactadora

El análisis del conjunto de soporte del eje mediante chumaceras se presenta en la figura 5.5, donde se observa que el factor de seguridad obtenido es adecuado para soportar las cargas radiales y las vibraciones generadas durante la operación continua del sistema. Por su parte, la figura 5.6 muestra la distribución de la tensión equivalente de Von Mises, confirmando que los esfuerzos inducidos en el alojamiento y el eje se mantienen dentro de valores seguros, asegurando la estabilidad y confiabilidad del conjunto rotativo.

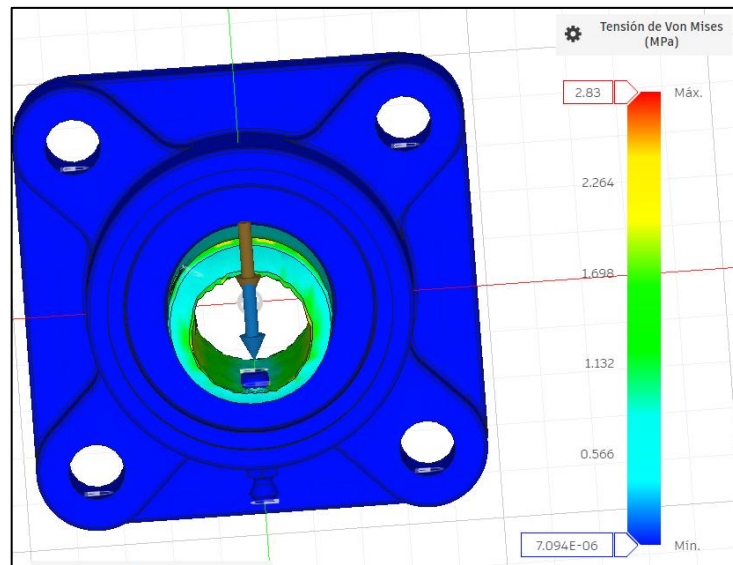


Figura 5.5 Análisis del factor de seguridad en *la chumacera*.

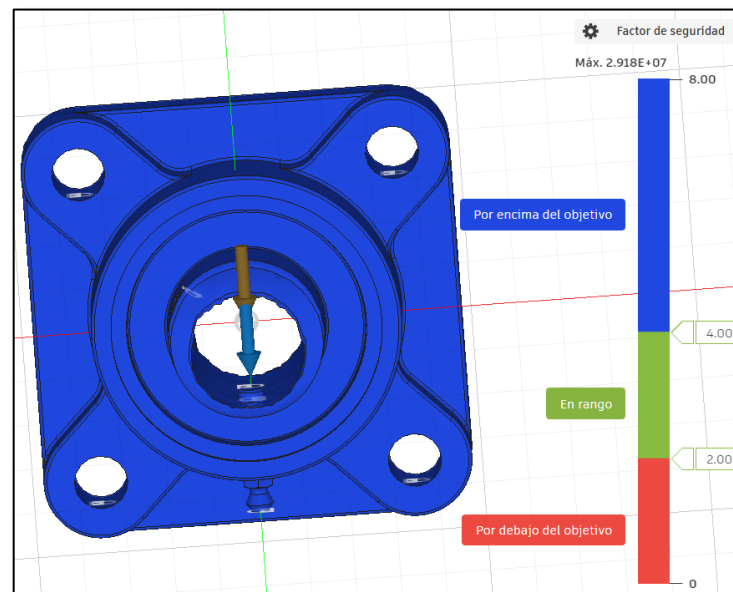


Figura 5.6: Análisis de la tensión equivalente de Von Mises en *la chumacera*.

#### 5.1.4 Tornillo sin fin inmersos en la compactadora

La figura 5.7 presenta el análisis del factor de seguridad del tornillo sin fin, evidenciando que tanto el eje como las hélices poseen la resistencia necesaria para el transporte y compactación del bagazo, sin riesgo de deformaciones permanentes. De igual manera, en la figura 5.8 se muestra la tensión equivalente de Von Mises, donde los valores máximos obtenidos se mantienen por debajo del límite de fluencia del acero ASTM A36, validando el correcto desempeño mecánico del tornillo durante la operación del sistema.

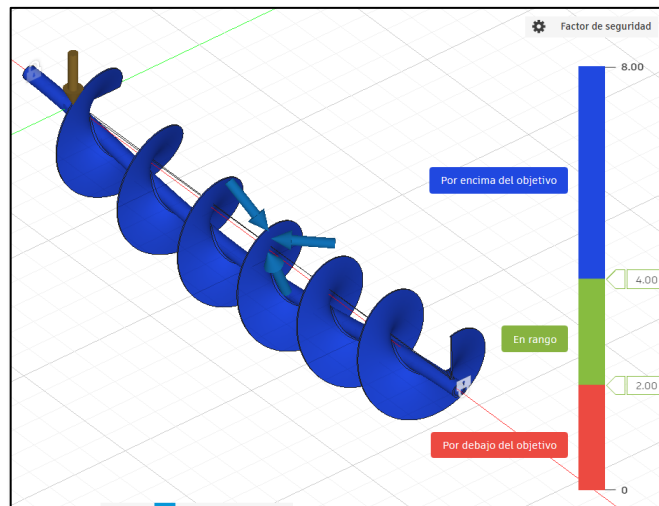


Figura 5.7: Análisis del factor de seguridad en el tornillo sin fin.

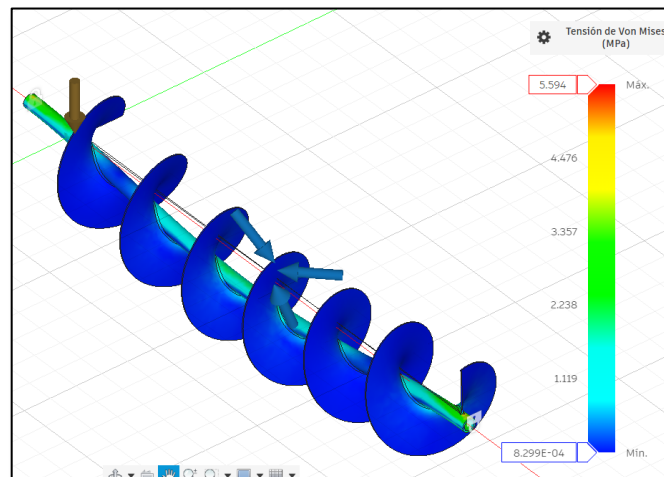


Figura 5.8: Análisis de la tensión equivalente de Von Mises en el tornillo sin fin.

## 5.2 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA ENSILADORA

El proceso de construcción de la máquina ensiladora se desarrolló de manera progresiva, la primera etapa correspondió a la fabricación de los elementos estructurales, donde se realizó el corte y conformado de perfiles y placas de acero. Posteriormente, se procedió al armado y soldadura de los refuerzos estructurales, asegurando la rigidez de las uniones sometidas a mayores esfuerzos. En la figura 5.9 se observa el ensamblaje del soporte estructural mediante soldadura, donde se incorporan rigidizadores inclinados para mejorar la distribución de cargas y reducir concentraciones de esfuerzo en la unión entre la placa vertical y la base.



Figura 5.9: Soldadura de refuerzos estructurales en el soporte del conjunto.

Una vez completada la estructura principal, se continuó con la fabricación y ajuste de la tolva, prestando especial atención a la precisión dimensional y a la correcta geometría del componente. En la figura 5.10 se muestra el proceso de verificación dimensional de la tolva, el cual permitió asegurar que las dimensiones internas sean compatibles con el flujo del material y con el acoplamiento al tornillo sin fin, evitando interferencias durante el montaje.



Figura 5.10: Verificación dimensional de la tolva durante el proceso de fabricación.

También se llevó a cabo la fabricación del tornillo sin fin, incluyendo el conformado de las hélices y su fijación al eje central mediante soldadura. En la figura 5.11 se observa el tornillo sin fin ya ensamblado y montado dentro de su carcasa, asegurando una correcta alineación axial, condición indispensable para evitar vibraciones, desgaste prematuro y pérdidas de eficiencia durante la operación.

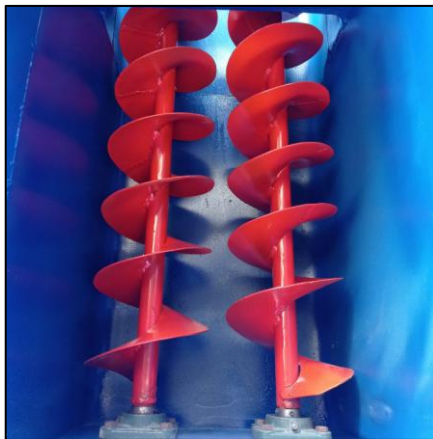


Figura 5.11: Tornillo sin fin ensamblado y montado en su carcasa.

Se procedió al montaje del sistema de transmisión, que incluye la instalación de las chumaceras, poleas y eje de transmisión. La figura 4.12 muestra el sistema ya instalado, donde se evidencia la correcta alineación entre las chumaceras UCF y la polea, lo cual resulta fundamental para garantizar un funcionamiento suave del sistema y minimizar cargas adicionales sobre los rodamientos.



Figura 5.12: Montaje del sistema de transmisión mediante poleas y chumaceras.

Para garantizar el uso adecuado de la máquina ensiladora, se elaboró un manual de operación que describe el procedimiento de encendido, alimentación del material y retiro de la funda compactada. Este documento se presenta de forma detallada en el Anexo C. Mientras que en el Anexo D se adjunta un plan de mantenimiento preventivo que incluye la inspección periódica del motor, sistema de transmisión y tornillo sin fin con el propósito de garantizar la durabilidad del equipo y prevenir fallas durante su operación.

### 5.2.1 Análisis y pruebas de la máquina compactadora

El propósito principal del equipo consistió en optimizar el almacenamiento del bagazo de caña de azúcar mediante un proceso continuo de compactación mecánica dentro de fundas plásticas agrícolas, permitiendo alcanzar cargas cercanas a la capacidad nominal de 50 kg por bolsa. El análisis realizado se enfocó directamente en el desempeño del sistema de compactación basado en tornillo sin fin, base móvil de desplazamiento longitudinal y freno ajustable. Estos elementos permitieron controlar la compactación del material durante el llenado, incrementando la masa almacenada por funda y reduciendo el volumen ocupado, lo cual representó una mejora significativa frente a métodos manuales tradicionales.

### 5.2.2 Variables evaluadas

El proceso experimental de validación de la ensiladora compactadora se ejecutó utilizando fundas plásticas agrícolas de alta resistencia, su facilidad de manipulación y su capacidad de conservación prolongada del forraje compactado. Las dimensiones de la funda empleada fueron: altura total de 117 cm, ancho frontal de 40 cm y fuelle lateral de 10 cm, con una capacidad nominal aproximada de 50 kg. Sin embargo, durante la operación práctica se consideró necesario dejar un margen superior libre para permitir el sellado adecuado del saco, por lo cual se adoptó una altura útil aproximada de 1,07 m.

Las variables analizadas correspondieron directamente al propósito del equipo: el peso final compactado por bolsa (kg), el volumen final ocupado por el ensilaje ( $m^3$ ), y el tiempo requerido para completar cada ciclo (min). Todas las mediciones fueron registradas mediante balanza digital de precisión, cinta métrica y cronometraje controlado.

Con base en las dimensiones útiles de la funda utilizada, se determinó el volumen máximo aprovechable. El área transversal aproximada se calculó como:

$$A = 0,40 \times 0,10 = 0,04m^2$$

Considerando una altura útil de 1,07 m, el volumen disponible fue:

$$V_{max} = A \times h$$

$$V_{max} = 0,04 \times 1,07 = 0,0428m^3$$

### 5.2.3 Procedimiento experimental

Las pruebas funcionales fueron desarrolladas bajo condiciones representativas del proceso real de ensilaje en la hacienda “Los Molinos”. Inicialmente, se colocó la funda vacía al conducto de salida, este procedimiento se evidenció en la figura 5.13, donde se observa la colocación inicial del saco antes del inicio del llenado.



Figura 5.13: Montaje de la funda al conducto de salida de la maquina ensiladora.

Posteriormente, se procedió a alimentar manualmente el bagazo de caña de azúcar en la tolva superior, garantizando un flujo continuo hacia el tornillo sin fin. En la figura 5.14 se muestra el proceso de introducción del material en la tolva.



Figura 5.14: Alimentación del bagazo de caña en la tolva.

A medida que el tornillo sin fin transportó y consolidó el bagazo, la bolsa comenzó a llenarse progresivamente. En esta fase se observó el desplazamiento gradual de la base móvil, controlado mediante el freno ajustable, lo cual permitió incrementar la densificación del ensilaje. La figura 5.15 evidencia el llenado progresivo de la funda durante el funcionamiento continuo del sistema.



Figura 5.15: Proceso de llenado de la funda.

Una vez alcanzada la condición final de compactación, se detuvo el equipo y se procedió al retiro de la bolsa compactada, como se ilustra en la figura 5.16, donde se observa la extracción de la funda llena desde la base móvil para su posterior sellado y almacenamiento.



Figura 5.16: Extracción de la funda al finalizar el proceso de ensilaje y compactación.

Finalmente, al concluir cada ensayo se verificó la condición interna del tornillo sin fin, identificando restos mínimos de material residual debido a la naturaleza fibrosa del bagazo. La

figura 5.17 presenta el material remanente dentro del conducto, evidenciando que el sistema operó de forma eficiente, con pérdidas reducidas al finalizar cada ciclo.



Figura 5.17: Remanente de bagazo de caña en la máquina ensiladora.

#### 5.2.4 Resultados experimentales

El pesaje de las fundas compactadas se realizó mediante una balanza digital con el fin de registrar el peso final obtenido en cada ensayo, en el Anexo A se muestra el pesaje del ensilaje utilizando la máquina compactadora y en el Anexo B el pesaje correspondiente al método manual tradicional.

Se ejecutó veinte ensayos consecutivos bajo distintos niveles de frenado, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Resultados experimentales

Ensayo	Peso final (kg)	Volumen final (m <sup>3</sup> )	Tiempo (min)
1	39,12	0,052	3,8
2	41,30	0,051	3,9
3	42,50	0,050	4,0
4	44,10	0,050	4,1

5	45,80	0,049	4,2
6	46,70	0,048	4,3
7	47,10	0,048	4,4
8	48,00	0,047	4,5
9	48,90	0,047	4,6
10	49,30	0,046	4,8
11	49,50	0,046	4,9
12	49,70	0,046	5,0
13	49,80	0,045	5,1
14	50,00	0,045	5,2
15	50,00	0,045	5,3
16	50,00	0,045	5,4
17	50,00	0,045	5,4
18	50,00	0,045	5,5
19	50,00	0,045	5,5
20	50,00	0,045	5,6

*Responsables: Los autores*

Los resultados evidenciaron que el peso final alcanzado por funda presentó un rango comprendido entre 39,12 kg y 50 kg, variación directamente asociada al nivel de compactación generado mediante la regulación del freno ajustable.

En los primeros ensayos, donde el frenado aplicado fue menor, la base móvil se desplazó con mayor rapidez, reduciendo el tiempo obteniendo menores valores de masa almacenada.

Conforme se incrementó el frenado, el desplazamiento se volvió progresivamente más lento, permitiendo que el tornillo sin fin ejerciera mayor densificación, alcanzándose finalmente la capacidad nominal máxima de 50 kg a partir del ensayo 14. De forma paralela, el volumen final ocupado disminuyó desde 0,052 m<sup>3</sup> hasta 0,045 m<sup>3</sup>, confirmando una reducción volumétrica efectiva y un aprovechamiento superior del almacenamiento.

El tiempo del proceso de ensilado y compactación requerido por la bolsa aumentó gradualmente, lo cual fue coherente debido a que un mayor nivel de compactación implicó mayor tiempo.

### 5.2.5 Análisis estadístico mediante correlación de Pearson

Con el fin de sustentar cuantitativamente las relaciones observadas durante los veinte ensayos experimentales, se aplicó el coeficiente de correlación lineal de Pearson que permitió comprobar, con base numérica, dos comportamientos esperados del proceso de compactación: al incrementarse el peso el volumen tendió a disminuir y al alcanzarse mayores el tiempo de llenado tendió a incrementarse. El coeficiente de Pearson se define cómo la Ecuación 1:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Ecuación 1

Dónde:

$x_i$  y  $y_i$  representan los valores experimentales de las variables analizadas

$\bar{x}$  y  $\bar{y}$  son medias aritméticas

$n$  es el número total de observaciones (en este caso  $n=20$ ).

Para calcular la correlación entre peso final y volumen final se consideró:

$x$  peso final por bolsa (kg)

$y$  Volumen final ocupado (m<sup>3</sup>)

A partir de los 20 ensayos de la Tabla 5.1, se obtuvo:

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^{20} x_i}{20} = 47,591 \text{ kg}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_1^{20} y_i}{20} = 0,0470 \text{ m}^3$$

Se calcularon las desviaciones:

$$dx_i = x_i - \bar{x}$$

$$dy_i = y_i - \bar{y}$$

y posteriormente se obtuvieron las sumatorias requeridas para los 20 ensayos:

$$\sum_1^{20} dx_i^2 = 212,07878$$

$$\sum_1^{20} dy_i^2 = 0,00010$$

$$\sum_1^{20} (dx_i \times dy_i) = -0,1421$$

Sustitución en la fórmula de Pearson (Ecuación 1):

$$r = \frac{-0,1421}{\sqrt{212,07878 \times 0,00010}}$$

$$r = -0,9758$$

El valor  $r = -0,9758$  evidenció una correlación negativa muy fuerte entre el peso final y el volumen final ocupado, conforme se incrementó la masa de bagazo compactado dentro de la funda, el volumen final tendió a disminuir, confirmando un proceso de densificación mecánica consistente.

### 5.2.6 Evaluación financiera mediante TIR y VAN

La inversión inicial incluyó la adquisición de materiales estructurales, componentes mecánicos, sistema de transmisión, mecanismo de base móvil y mano de obra de fabricación. Es importante señalar que el motor de combustión fue facilitado por la hacienda “Los Molinos” como apoyo al desarrollo del prototipo, por lo que no representó un costo directo dentro de la inversión del

proyecto. En la Tabla 5.2 se presenta el desglose de costos correspondientes a precios promedios.

Tabla 5.2: Evaluación TIR y VAN

<b>Concepto</b>	<b>Costo (USD)</b>
Material estructural	300
Tornillo sin fin + eje	160
Sistema de transmisión	170
Chumaceras y rodamientos	120
Base móvil + guías	130
Sistema de freno ajustable	90
Ruedas y soporte	100
Consumibles de fabricación	50
Mano de obra de fabricación	40
<b>Total, inversión</b>	<b>1,100</b>

En consecuencia, el costo total real de construcción de la máquina se estimó en aproximadamente:

$$I_o = 1,100 \text{ USD}$$

Para un escenario representativo de operación en la hacienda, se consideró una producción promedio de:

- 5 bolsas por día a 4 días por semana

- 40 semanas al año

Esto equivale aproximadamente a 800 bolsas por año, si el ahorro estimado por bolsa compactada correctamente equivale a 0,75 USD, el beneficio bruto anual fue:

$$B = 800 \times 0,75 = 600 \text{ USD/año}$$

Adicionalmente, se consideraron costos operativos anuales (combustible y mantenimiento) cercanos a:

$$C = 200 \text{ USD/año}$$

Por lo tanto, el flujo neto anual proyectado  $F_t$  resultó:

$$F_t = B - C = 600 - 200 = 400 \text{ USD/año}$$

$$F_t = 400 \text{ USD/año}$$

Para la evaluación económica del prototipo se consideró una vida útil de operación de 10 años, valor representativo para equipos agrícolas de compactación fabricados en acero estructural y sometidos a mantenimiento preventivo periódico. Además, al final del año 10 se consideró un valor de rescate estimado de 200 USD, correspondiente al valor residual del equipo por reutilización de componentes o chatarra metálica. En consecuencia, el flujo neto anual proyectado se muestra en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3: Flujo Neto

<b>Año</b>	<b>Flujo neto (USD)</b>
<b>0</b>	-1,100
<b>1</b>	400
<b>2</b>	400
<b>3</b>	400
<b>4</b>	400
<b>5</b>	400
<b>6</b>	400

7	400
8	400
9	400
10	600 ( <i>incluye rescate de 200</i> )

El Valor Actual Neto (VAN) permitió determinar si el proyecto generó beneficios económicos superiores al costo de oportunidad del capital. Para ello se adoptó una tasa de descuento del 12% anual (i), valor habitual en evaluaciones agroindustriales y rurales en Ecuador. El VAN se calculó mediante la ecuación 24:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t}$$

Ecuación 24

Sustituyendo los valores proyectados para 10 años:

$$VAN = -1100 + \sum_{t=1}^9 \frac{F_t}{(1+i)^t}$$

$$VAN = \mathbf{1,094,67 USD}$$

El resultado positivo indicó que, durante la vida útil de 10 años, la ensiladora compactadora no solo recuperó la inversión inicial, sino que generó un excedente económico considerable, demostrando la conveniencia financiera de implementar este equipo en sistemas ganaderos rurales.

La Tasa Interna de Retorno correspondió al valor de la tasa iii que hace que el VAN sea igual a cero:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t}$$

Utilizando el flujo de caja para 10 años y  $F_t = 400 USD/año$  se resuelve iterativamente:

$$0 = \sum_{t=0}^{10} \frac{400}{(1,12)^t}$$

$$TIR \approx 32,7\%$$

El valor de TIR calculado resultó significativamente superior a la tasa de descuento del 12%, lo cual evidenció que el proyecto presentó rentabilidad suficiente y sostenida en el largo plazo. Confirmando que la máquina ensiladora compactadora, al tener una vida útil prolongada y requerir una inversión inicial reducida debido al aporte del motor por parte de la hacienda, constituye una alternativa económicamente viable y rentable para mejorar el aprovechamiento del bagazo ensilado.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- Se diseñó, construyó y evaluó una máquina ensiladora de forma que se logró la compactación del bagazo de caña de azúcar en fundas plásticas agrícolas con pesos finales comprendidos entre 39,12kg y 44,05kg, superando significativamente el método manual tradicional, el cual alcanzaba aproximadamente 24kg por bolsa.
- La investigación técnica y experimental permitió establecer y medir de forma confiable las variables críticas del proceso de compactación (peso final, volumen ocupado y tiempo de ciclo), observándose una reducción del volumen desde 0,05200 m<sup>3</sup> hasta 0,04820 m<sup>3</sup> y un incremento progresivo del tiempo de proceso de 3,8 min hasta 5,6 min, acorde al aumento de nivel de compactación.
- El diseño mecánico desarrollado fue técnicamente viable y estructuralmente seguro para las condiciones de operación en la Hacienda Los Molinos, incorporando criterios adecuados de dimensionamiento, selección de materiales y capacidad de procesamiento; el análisis estructural confirmó factores de seguridad comprendidos entre 3 y 4, con esfuerzos equivalentes de Von Mises inferiores al límite de fluencia del acero ASTM A36.
- Las pruebas de funcionamiento realizadas en 20 ensayos consecutivos evidenciaron un comportamiento progresivo, estable y controlable del sistema de comparación, en el

cual el incremento del nivel de frenado produjo un desplazamiento más lento de la base móvil y una mayor acción del tornillo sin fin, este comportamiento permitió incrementar la densificación del material sin comprometer la estabilidad del proceso.

- El análisis estadístico mediante el coeficiente de correlación de Pearson arrojó un valor de  $r = -0,9868$ , confirmando una correlación negativa muy fuerte entre el peso final y el volumen ocupado, lo que da válida cuantitativamente la eficiencia del proceso de compactación implementado.

## 6.2. Recomendaciones

- Se recomienda implementar mejoras orientadas a aumentar la repetibilidad del proceso de compactación que permita replicar configuraciones de operación. Asimismo, se recomienda evaluar un mecanismo de guiado adicional para la funda durante el llenado, con el fin de mantener una alineación estable y reducir la probabilidad de pliegues o deformaciones que afecten el sellado final.
- Ampliar el marco de variables de investigación futura incorporando parámetros directamente asociados a la conservación del ensilaje en bolsa, tales como verificación de hermeticidad, estabilidad del volumen tras el amarre y condiciones de almacenamiento con un protocolo de sellado estandarizado.
- Se debe considerar, para una versión futura del diseño, la incorporación de recubrimientos o protecciones contra la abrasión y acumulación de material en el tornillo sin fin y en el conducto de salida que posee la máquina debido a la naturaleza fibrosa del bagazo de caña.
- Se tiene que profundizar la evaluación experimental donde se consideren variaciones controladas del frenado y del ritmo de alimentación en la tolva, con el objetivo de establecer una curva operativa óptima entre el peso final, tiempo de ciclo y compactación.
- Finalmente, se recomienda actualizar periódicamente el análisis económico incorporando costos reales de operación, mantenimiento y vida útil efectiva.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. Córdoba, «Respositorio UNAD,» 2022. [En línea]. Available: <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/52080/1/wrcordobac.pdf>.
- [2] P. G. Maldonado, «Universidad Nacional de Loja,» Facultad de energía, industrias y recursos naturales no renovables , 16 marzo 2023. [En línea]. Available: <https://dspace.unl.edu.ec/server/api/core/bitstreams/05116d67-e1b3-4fef-853d-46b03e0b2a40/content>.
- [3] E. P. r. d. t. agrícola, Interviewee, *El ensilaje y su proceso en la empresa Proain*. [Entrevista]. 8 10 2020.
- [4] Euroinnova, «Euroinnova International Online Education,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.euroinnova.com/profesiones-y-oficios/articulos/que-es-forraje>.
- [5] M. M. Villalobos, «La caña de azúcar y su uso en la ganadería,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/05/00405-folletocanadeazucar.pdf>.
- [6] N. A. Pérez, «Agronegocios,» 5 abril 2023. [En línea]. Available: <https://www.agronegocios.co/finca/alimente-a-su-ganado-con-cana-de-azucar-y-sus-derivados-para-obtener-mayor-energia-3585649>.
- [7] Garcés A, Ruiz S & Serna J., «Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado,» *Revista Lasallista de investigación*, pp. 66-71, 2014.
- [8] V. D. & H. Vilma, *Calidad bromatológica y organoléptica de ensilajes de residuos orgánicos*, <https://revistas.ut.edu.co/index.php/ciencianimal/article/view/143/142>, 2011.
- [9] K. Gonzales, «Info pastos y forrajes,» 10 febrero 2020. [En línea]. Available: [https://infopastosyforrajes.com/metodos-de-conservacion/proceso-de-ensilaje/#google\\_vignette](https://infopastosyforrajes.com/metodos-de-conservacion/proceso-de-ensilaje/#google_vignette).
- [10] C. R. J., «Ministerio de Agricultura y Ganaderia de la Dirección Regional Central Oriental,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1742.pdf>.

- [11] G. Molina, «Unidad de apoyo para el aprendizaje,» 2014. [En línea]. Available: [https://suayed.cuautitlan.unam.mx/uapas/11\\_Ensilaje/index.html](https://suayed.cuautitlan.unam.mx/uapas/11_Ensilaje/index.html).
- [12] C. Ramos, Fundamentos del ensilado, España: Frisona, 2018.
- [13] T. d. Valle, *Estudio sobre la conservación del ensilaje de caña de azúcar*, Journal og Agricultural Science, 2022.
- [14] M. Company, «Icib.co,» 22 enero 2025. [En línea]. Available: <https://www.icib.co/es/news/qu-es-un-silo-y-cu-les-son-sus-tipos>.
- [15] G. Madero, «Msi Montaje y servicios de ingeniería,» 7 febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.ms-ingenieria.com.mx/capacitacion-y-normativas/caracteristicas-y-aplicaciones-de-silos/>.
- [16] A. Génesis, «Sistemas de información aplicados a la logística,» 2019. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/sistemas-de-informacin-logsticos-20361208/20361208#1>.
- [17] J. Rondón, «Almacenaje de productos,» 17 septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/671720200/Por-que-es-importante-el-silo-en-el-almacenaje-de-los-productos>.
- [18] J. L. Cardona, «Contexto ganadero,» 10 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/conozca-el-paso-paso-en-la-preparacion-de-un-buen-ensilaje>.
- [19] K. Hawkins, «Connecting buyers with chinese suppliers,» 2 diciembre 2024. [En línea]. Available: [https://insights.made-in-china.com/es/Silage-Packing-Machine-Design-Explained-Engineering-Process-Innovations-and-Meeting-User-Needs\\_ifYGrMhOYJDN.html](https://insights.made-in-china.com/es/Silage-Packing-Machine-Design-Explained-Engineering-Process-Innovations-and-Meeting-User-Needs_ifYGrMhOYJDN.html).

- [20] B. A. Renato, «Repositorio Universidad Politécnica Salesiana,» agosto 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17678/1/UPS%20-%20ST004259.pdf>.
- [21] E. Penagos, 2019. [En línea]. Available: <https://penagos.com/productos/ensiladora-manual-em-4/>.
- [22] M. E. E. & M. G. Guerrero, «Revista colombiana de tecnología avanzada,» 5 diciembre 2016. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/admin,+9.+PROTOTIPO+DE+M%C3%81QUINA+PARA+FABRICAR+ENSILAJE.pdf>.
- [23] D. Rosales, «Grupo Acura,» 28 abril 2023. [En línea]. Available: <https://grupoacura.com/es/blog/que-es-un-silo/>.
- [24] O. O. & M. Esperance, Conservación de forrajes, La Habana, Cuba: Pueblo y educación, 2015.
- [25] C. D. & Á. P. Franco L., «Alternativas para la conservación de forrajes,» 2007. [En línea]. Available: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Forrajes\\_Tropicales/pdf/Leaflets/Alternativas%20para%20la%20conservacion%20de%20Forrajes.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Forrajes_Tropicales/pdf/Leaflets/Alternativas%20para%20la%20conservacion%20de%20Forrajes.pdf).
- [26] D. V. Cabrera, «Ciencia técnica de comunicación (aecid),» 2005. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/452503224/1-Silo-de-anillo-pdf>.