



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESVENADORA DE CACAO PARA
OPTIMIZAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Mecánica

AUTORA: NATALY ROSARIO SAENZ YUNGA

TUTOR: ING. JOHN IGNACIO CALLE SIGUENCIA, PhD.

Cuenca – Ecuador

2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Nataly Rosario Saenz Yunga con documento de identificación N° 0107647489 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 8 de abril del 2026

Atentamente,



Nataly Rosario Saenz Yunga

0107647489


CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Nataly Rosario Saenz Yunga con documento de identificación N° 0107647489, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Proyecto Técnico: "Diseño de una máquina desvenadora de cacao para optimizar los tiempos de producción", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Mecánica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 8 de abril del 2026

Atentamente,



Nataly Rosario Saenz Yunga
0107647489

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, John Ignacio Calle Siguenca con documento de identificación N° 0102118213, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESVENADORA DE CACAO PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN, realizado por Nataly Rosario Saenz Yunga con documento de identificación N° 0107647489, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 8 de abril del 2026

Atentamente,

**JOHN
IGNACIO
CALLE
SIGUENCA**

Firmado digitalmente por JOHN
IGNACIO CALLE SIGUENCA
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=JOHN IGNACIO CALLE
SIGUENCA,
serialNumber=111122085409,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION
DE INFORMACION, o=SECURITY
DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2026.03.19 11:36:48 -05'00'

John Ignacio Calle Siguenca, PhD.

0102118213

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mis padres, Fernando y Carmen, cuyo apoyo incondicional ha sido un pilar fundamental en mi vida, y a mi hija, quien le da una razón de ser a todo lo que hago.

Papi, te dedico este logro porque, a pesar de la distancia que nos separa, has estado siempre de manera incondicional, apoyándome no solo en cada uno de mis caprichos, sino, sobre todo, en cada uno de mis sueños. Tu dedicación y esfuerzo han hecho posible que hoy pueda culminar esta etapa de mi vida. Te amo con toda mi alma, y con este logro estoy segura de que estoy un poco más cerca de volver a estar junto a ti.

Mami, te dedico este trabajo porque no hay persona más luchadora que tú. Me has enseñado a seguir adelante a pesar de cada tropiezo. Estuviste ahí para mantenerme a flote y, con mano firme acompañada de dulzura, me ayudaste a levantarme una y otra vez. Eres mi mejor amiga. Te amo, mami.

A mis hermanos Marisol, Erika y Héctor, este trabajo también es para ustedes. Los amo y los extraño profundamente. A pesar de la distancia, han estado presentes en cada uno de mis pasos. Este logro me acerca un poco más a ustedes y a mis sobrinos, a quienes adoro.

Pero, sobre todo, este trabajo está dedicado a mi hija, mi Mafercita. Llegaste en un momento crítico de mi vida, pero cada día le agradezco a Dios por ti. Cada logro es por y para ti; concluir esta etapa de mi vida contigo a mi lado es, sin duda, lo mejor que me pudo pasar.

NATALY SAENZ

Agradecimientos

Agradezco a Dios por acompañarme en este camino lleno de altas y bajas; por ser mi confidente, testigo de mis batallas y responsable de mis victorias.

Primeramente, agradezco a mis padres, Fernando y Carmen. Gracias, y mil veces gracias, por no dejarme sola en mi momento más vulnerable; por darme valor para seguir adelante, por su paciencia infinita y, sobre todo, por priorizar mi bienestar y el de mi hija por encima de todas las cosas. Gracias por impulsarme cada día a ser mejor. Con sus consejos y regaños me formaron y me convirtieron en la mujer que soy actualmente. Ustedes son mi más grande ejemplo de resiliencia. No existen mejores personas, padres y, sobre todo, mejores abuelos que ustedes. Me va a faltar vida para demostrarles cuán agradecida estoy con Dios por tenerlos.

En segundo lugar, agradezco a mis hermanos Marisol, Erika y Héctor por su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento, por siempre verle el lado bueno a las cosas y por sus ocurrencias, que tantas veces lograron sacarme una sonrisa. Gracias por defenderme y protegerme como la niña pequeña que siempre fui para ustedes, y por el amor tan grande que le brindan a mi hija.

A mis tíos y tías Fausto y Fabiola, Jaime y Sonia, Marcelo y Rosa, gracias por su amor incondicional. Gracias por estar siempre para mí y por ahora también estar presentes en la vida de mi hija.

A mis amigos **Andrés Farfán** y Freddy Zavala, con quienes compartí la universidad, gracias por las risas, las anécdotas que llevaré siempre en mi corazón, y por su apoyo, consejos y ayuda a lo largo de este camino. A mis mejores amigas María José y Nicol, mis señoras, gracias por su cariño, su amistad y por recorrer este camino conmigo. Todos ustedes me demostraron que en los momentos difíciles se conoce a las personas y con ustedes no me equivoque, seran mis favoritos siempre.

Agradezco a mi tutor de tesis, el Ing. John Calle, por su guía y paciencia durante la realización de este trabajo; al Ing. Luis López, por su orientación y ayuda; y al Ing. Jorge Fajardo, por su apoyo y comprensión.

Por último, pero no menos importantes, agradezco Sra. Narcisa, por cuidar de mi hija como suya. A Vicente Gutiérrez y Darwin Fuente, gracias por solventar cada una de las necesidades de evidencia para mi trabajo de titulación, por su predisposición, apoyo y amistad.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIV
Abstract	XV
1. Introducción	1
2. Problema	1
2.1. Antecedentes	1
2.2. Importancia y alcances	2
2.3. Delimitación	3
2.3.1. Espacial o geográfica	3
2.3.2. Temporal	3
2.3.3. Sectorial o institucional	3
2.4. Problema General	4
2.5. Problemas Específicos	4
3. Objetivos	4
3.1. Objetivo General	4
3.2. Objetivos Específicos	4
4. Marco Teórico	5
4.1. Proceso de producción del cacao	5
4.1.1. Cacao (Theobroma cacao)	5
4.1.2. Etapa de Cosecha	5

4.1.3. Etapa de postcosecha	7
4.2. Máquinas utilizadas en la cosecha y postcosecha de cacao	12
4.2.1. Máquinas orientadas a la apertura y extracción del fruto	12
4.2.2. Máquinas utilizadas en la separación y acondicionamiento del grano .	16
4.3. Análisis técnico Financiero	18
4.3.1. Metodología de Costos Unitarios	18
5. Marco metodológico	19
5.1. Definición del Problema	20
5.1.1. Análisis del método tradicional de desvenado de cacao	22
5.1.2. Determinación de la necesidad	23
5.2. Diseño de concepto	26
5.2.1. Alternativas de solución	26
5.2.2. Matriz de ponderación	27
5.2.3. Diseño de la máquina desvenadora	28
5.2.4. Cálculos y selección de componentes	30
5.3. Diseño a detalle de los componentes de la desvenadora de cacao	85
5.4. Análisis de costos Unitarios	86
6. Resultados	88
6.1. Resultados del objetivo 1: Definición del problema	88
6.2. Resultados del objetivo 2: Diseño de concepto	89
6.2.1. Subsistema de separación	89
6.2.2. Subsistema de soporte y descarga	92
6.3. Resultados del objetivo 3: Análisis de costos	94
6.3.1. Análisis de costos	94
7. Conclusiones	97
8. Recomendaciones	98
Referencias	102
ANEXOS	103

Lista de Tablas

1.	Discriminación de alternativas para el proceso de desvenado de cacao	28
2.	Componentes del mecanismo de cribado	31
3.	Selección de la malla para la mesa de cribado	33
4.	Propiedades mecánicas del acero AISI 304	39
5.	Peso de los componentes principales del sistema	43
6.	Partes del mecanismo de transmisión	51
7.	Propiedades mecánicas del acero AISI 1018	54
8.	Características del motorreductor seleccionado	67
9.	Partes del mecanismo de limpieza	69
10.	Partes del sistema de recolección	76
11.	Alternativas de sujeción del saco para ensacado	77
12.	Matriz de ponderación para la selección del elemento de agarre de sacos . . .	78
13.	Resultados del análisis estructural	85
14.	Análisis de costos totales	88
15.	Resultados del estudio de campo sobre el proceso de desvenado de cacao . .	88
16.	Selección componentes del mecanismo de cribado.	90
17.	Selección componentes del mecanismo de transmisión.	91
18.	Selección componentes del mecanismo delimpieza.	92
19.	Selección componentes de subsistema de soporte y descarga.	93
20.	Cronograma de actividades.	104

Lista de Figuras

1.	a) Ubicación del cantón Cumánnda en la provincia de Chimborazo. b) Ubicación del recinto San Joaquín.	3
2.	Indicador de madurez de la fruta.	6
3.	Corte de la mazorca de cacao.	6
4.	Herramientas usadas en la cosecha de cacao.	7
5.	Comparación visual de mazorcas de cacao: a) Mazorca en buen estado b) Mazorca con presencia de monilla (plaga).	8
6.	Apertura de la mazorca.	8
7.	Proceso de desvenado tradicional.	9
8.	Proceso completo de la etapa de postcosecha.	10
9.	Fermentación de cacao.	11
10.	Secado de cacao.	12
11.	Máquina cortadora de mazorcas	13
12.	Despulpadora de cacao	14
13.	Máquina rompemazorcas industrial.	15
14.	Cortadora y despulpadora de cacao.	16
15.	Separador Vibratorio	17
16.	Metodología del proceso.	20
17.	Encuestas realizadas: Preguntas cerradas	21
18.	Encuestas realizadas: Preguntas abiertas	22
19.	a) Proceso manual de desvenar el cacao b) Método tradicional a base de malla	23
20.	Boceto de la máquina desvenadora de cacao.	29
21.	Subsistemas de la propuesta	29
22.	Mecanismos del subsistema 1.	30
23.	Partes del mecanismo de cribado.	31
24.	Malla de la mesa	32
25.	Mesa de cribado	34
26.	DCL mesa de cribado.	37
27.	Dimensiones de la mesa de cribado	38
28.	Condiciones de carga	39
29.	Simulación de esfuerzos de la mesa de cribado.	40
30.	Simulación de esfuerzos de la mesa de cribado.	40
31.	Factor de seguridad biela lateral	41

32.	Dimensiones de la biela lateral.	42
33.	Cargas en la biela lateral.	44
34.	Simulación de esfuerzos bielas laterales.	44
35.	Simulación deformacion bielas laterales.	45
36.	Factor de seguridad biela lateral	45
37.	Rodamiento rígido de bolas SKF 6003	47
38.	Disposición del perno.	47
39.	Partes mecanismo de transmisión.	50
40.	Diagrama analisis cinematico.	51
41.	Manivela.	54
42.	Dimensiones de la manivela.	56
43.	Simulación manivela.	57
44.	Dimensiones de la biela principal	58
45.	Condiciones de carga Biela	58
46.	Simulación biela principal.	59
47.	DCL del eje conducido.	62
48.	Diagramas de corte y momento del eje.	63
49.	Chumacera SKF SY 20 TF.	65
50.	Motorreductor HERCULES 0.5HP 60rpm.	67
51.	Longitud de la banda de transmisión.	68
52.	Partes mecanismo de limpieza.	69
53.	Riel corredera X-Rail	70
54.	Eje Inoxidable AISI 304	71
55.	Lona de caucho SBR	72
56.	Dimensiones de la manija de limpieza	73
57.	Componentes del subsistema 2.	75
58.	Sistema de recolección.	75
59.	Dimensiones y geometría de la tolva.	77
60.	Estructura de soporte.	80
61.	Dimensiones estructura de soporte.	81
62.	Cargas de la estructura.	83
63.	Simulación de esfuerzos de la estructura de soporte.	83
64.	Simulación deformaciones de la estructura de soporte.	84
65.	Factor de seguridad estructura de soporte	85
66.	Costo Unitario Subsistema 1.	86

67.	Costo Unitario Subsistema 2.	87
68.	Modelado 3D del subsistema de separación.	92
69.	Modelado 3D del subsistema de recolección.	93
70.	Vista general tridimensional de la propuesta de desvenadora de cacao	94
71.	Análisis Económico Comparativo del Sistema Manual y el Sistema Mecanizado	96

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una máquina desvenadora de cacao que permita optimizar los tiempos de producción y mejorar las condiciones de trabajo en fincas de pequeños y medianos productores. El estudio se desarrolló a partir del diagnóstico del proceso tradicional de desvenado, el cual se caracteriza por una alta dependencia del trabajo manual, elevados tiempos de ejecución y un significativo esfuerzo físico del operador, factores que afectan la eficiencia productiva y aumentan los costos operativos.

Para el desarrollo de la investigación se empleó un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo y exploratorio. La población de estudio estuvo conformada por productores de cacao del recinto San Joaquín, cantón Cumandá, provincia de Chimborazo, de los cuales se seleccionó una muestra representativa mediante un estudio de campo. Como instrumento de recolección de información se aplicaron encuestas estructuradas, cuyos resultados permitieron identificar las principales limitaciones del método tradicional y establecer las variables de diseño del sistema.

Con base en la información obtenida, se desarrolló el diseño conceptual y mecánico de la máquina desvenadora, considerando criterios de ergonomía, capacidad de procesamiento, funcionalidad e higiene. El diseño fue complementado mediante modelado en software de ingeniería, selección de materiales y verificación estructural. Adicionalmente, se realizó un análisis técnico-financiero utilizando la metodología de precios unitarios, con el fin de evaluar los costos asociados a la implementación del sistema.

Los resultados evidencian que la máquina propuesta constituye una alternativa técnica viable y accesible, capaz de reducir la intervención manual, optimizar los tiempos de operación y mejorar la eficiencia del proceso de desvenado de cacao.

Palabras clave: cacao, desvenado, mechanical design, postcosecha, costos unitarios.

Abstract

The objective of this study is to design a cocoa deveining machine aimed at optimizing production times and improving working conditions for small and medium-scale producers. The research is based on the analysis of the traditional cocoa deveining process, which is characterized by a strong dependence on manual labor, long processing times, and high physical effort, resulting in low efficiency and increased operating costs.

A quantitative approach with descriptive and exploratory scope was applied. The study population consisted of cocoa producers from the San Joaquín community, located in the Cumandá canton, Chimborazo province, from which a representative sample was selected through a field study. Structured surveys were used as the main data collection instrument, allowing the identification of the limitations of the traditional process and the definition of the system's design variables.

Based on the obtained data, the conceptual and mechanical design of the cocoa deveining machine was developed, considering ergonomic criteria, processing capacity, functionality, and hygienic conditions. The design was supported by three-dimensional modeling, material selection, and structural verification. In addition, a technical-economic evaluation was carried out using the unit price analysis methodology to determine the implementation costs of the proposed system.

The results indicate that the proposed machine represents a technically feasible and accessible solution, capable of reducing manual labor, optimizing operating times, and improving the efficiency of the cocoa deveining process.

Keywords: cocoa, deveining, mechanical design, post-harvest, unit costs.

1. Introducción

Una finca agrícola dedicada al cultivo de cacao, ubicada en el recinto San Joaquín del cantón Cumandá, provincia de Chimborazo, presenta dificultades en la etapa de poscosecha, debido a que las actividades asociadas a este proceso se realizan de forma manual. Esta condición limita la eficiencia productiva del sistema, ya que requiere un elevado número de trabajadores para su ejecución, incrementa los tiempos de procesamiento y eleva de manera significativa los costos de producción. Además, la dependencia de la mano de obra reduce la capacidad de respuesta ante picos de cosecha, afectando la continuidad y organización del proceso productivo.

Durante la operación, los trabajadores deben adoptar posturas forzadas al agacharse de manera repetitiva para manipular el cacao contenido en baldes de baja altura, lo que genera incomodidad postural, fatiga física y un mayor riesgo de lesiones musculoesqueléticas. Estas condiciones impactan negativamente en el bienestar del operador y pueden reducir su rendimiento a lo largo de la jornada laboral. Asimismo, la necesidad de incorporar mayor mano de obra incrementa los gastos operativos por cada cosecha, sin garantizar mejoras proporcionales en la productividad. Adicionalmente, el proceso completo puede extenderse hasta quince días, lo que retrasa las etapas posteriores de fermentación y secado del cacao, comprometiendo la planificación del proceso y la calidad final del producto.

2. Problema

2.1. Antecedentes

El cacao ha tenido un papel fundamental en la historia y la economía del Ecuador, pues desde la época colonial su cultivo y exportación impulsaron el desarrollo del país, especialmente en la región Costa, donde se establecieron grandes haciendas cacaoteras que marcaron una etapa de prosperidad económica, y junto con el banano y el petróleo forma parte de la tríada más importante de productos primarios de exportación, siendo esenciales para la articulación del Ecuador con la economía mundial y para su reconocimiento internacional gracias a la alta calidad del cacao fino de aroma que lo distingue como uno de los mejores del mundo[1].

El proceso de producción del cacao inicia con la cosecha de las mazorcas maduras, las cuales son abiertas manualmente con la ayuda de herramientas como machetes o cuchillos, y sus semillas son depositadas en recipientes que luego se apilan para continuar con la siguiente

etapa denominada desvenado, que consiste en retirar de forma manual las semillas de la vena central de la mazorca, una vez obtenido el producto en grano este se somete al proceso de fermentación, etapa fundamental para el desarrollo del sabor y aroma característicos del cacao, seguidamente los granos pasan al secado, que puede realizarse de manera natural mediante la exposición al sol en tendales o marquesinas, o de forma artificial utilizando aire caliente con el objetivo de reducir su humedad al nivel óptimo, finalmente los granos son limpiados y almacenados en sacos de yute ubicados en lugares ventilados y secos, garantizando así su adecuada conservación y calidad antes de la comercialización [2].

El proceso de desvenado es el cuello de botella en la poscosecha, ya que su método manual es lento, ineficiente y físicamente demandante. Esta práctica no solo reduce la productividad, sino que también eleva el riesgo de contaminación microbiana y genera heterogeneidad en el producto, factores que limitan la competitividad del cacao ecuatoriano en el mercado internacional [3].

Estas deficiencias señalan la necesidad urgente de soluciones tecnológicas adaptadas; el desarrollo de prototipos mecánicos de desvenado a baja escala es la alternativa viable para automatizar el proceso, mejorando la eficiencia, higiene y reduciendo la carga física; implementar esta tecnología fortalecerá el sector cacaotero rural, impulsará la innovación y contribuirá al incremento del valor agregado del producto nacional [4].

2.2. Importancia y alcances

La importancia de este trabajo radica en la necesidad de mejorar las condiciones de trabajo y la rentabilidad de los pequeños productores, quienes constituyen la base de la producción nacional de cacao fino de aroma. Mediante el diseño de un sistema mecánico para el desvenado del cacao, se busca reducir significativamente el esfuerzo físico del operario, disminuir el número de trabajadores requeridos y optimizar el tiempo de procesamiento. Esta mejora tecnológica permitirá reducir costos de mano de obra, incrementar la productividad diaria y, en consecuencia, aumentar la rentabilidad de las fincas agrícolas.

Los alcances del presente trabajo no solo abarcan el ámbito productivo, sino también el social y económico. El desarrollo de un sistema mecánico accesible y adaptado a las condiciones rurales beneficiará directamente a los agricultores locales, mejorará la seguridad y ergonomía laboral, y contribuirá a fortalecer la sostenibilidad de la producción cacaotera. A nivel institucional, este proyecto puede servir de base para futuras iniciativas de innovación

tecnológica impulsadas por entidades como el MAG, el INIAP y las universidades técnicas, promoviendo el desarrollo industrial del sector agroproductivo ecuatoriano.

2.3. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.3.1. Espacial o geográfica

El presente trabajo de titulación se desarrollará en el recinto San Joaquín, en la parte suroriental del cantón Cumandá, en la provincia de Chimborazo, ubicado aproximadamente a 230 km de la ciudad de Cuenca; se puede observar la Figura 1

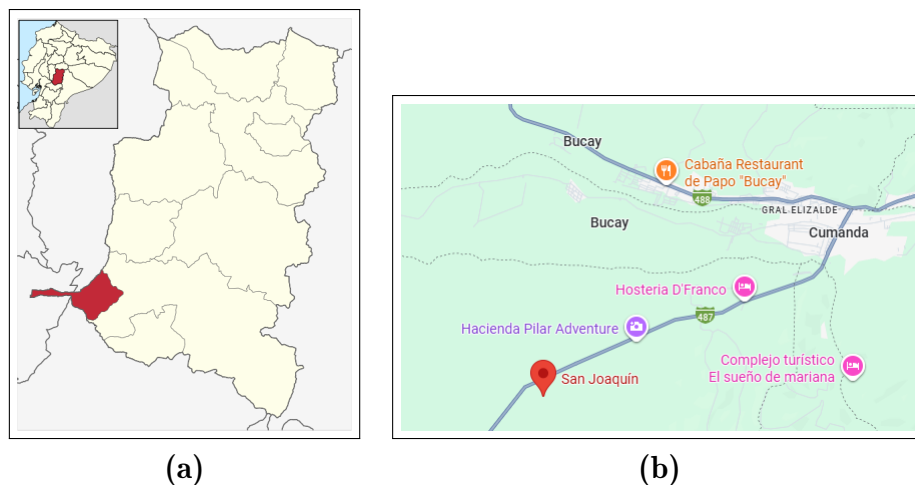


Figura 1. a) Ubicación del cantón Cumandá en la provincia de Chimborazo. b) Ubicación del recinto San Joaquín. [5]

2.3.2. Temporal

El trabajo de titulación "Diseño de una máquina desvenadora de cacao para optimizar los tiempos de producción" se desarrollará durante el periodo académico correspondiente entre septiembre de 2025 y febrero de 2026, con las fechas programadas en el calendario académico.

2.3.3. Sectorial o institucional

El presente trabajo de titulación se enmarca dentro del sector agroindustrial, debido a que aborda el desarrollo de tecnología mecánica aplicada al procesamiento del cacao, uno de los

principales productos agrícolas del Ecuador, concretamente en el recinto San Joaquín de la provincia del Chimborazo.

2.4. Problema General

- ¿Es posible diseñar una máquina desvenadora de cacao, partiendo de datos de producción de pequeños agricultores, considerando materiales y tecnología disponible en el mercado actual y aplicando modelado con software de ingeniería para desarrollar un equipo que cumpla con estándares de productividad y ergonomía?

2.5. Problemas Específicos

- ¿Se podrá diagnosticar la realidad actual del proceso de producción de cacao para establecer las variables de diseño requeridas para el desarrollo de una máquina desvenadora?
- ¿Será factible diseñar una máquina desvenadora considerando la metodología de Design Thinking, partiendo de los requerimientos del productor, estructurando un análisis numérico y desarrollando un modelado con software de ingeniería que garantice la funcionalidad del equipo y su posterior construcción?
- ¿Se podrá realizar un análisis técnico financiero utilizando la metodología de precios unitarios para calcular los costos y su rentabilidad frente al proceso actual de producción?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar una máquina desvenadora de cacao, partiendo de datos de producción de pequeños agricultores, considerando materiales y tecnología disponible en el mercado actual y aplicando modelado con software de ingeniería para desarrollar un equipo que cumpla con estándares de productividad y ergonomía.

3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar la realidad actual del proceso de producción de cacao para establecer las variables de diseño requeridas para el desarrollo de una máquina desvenadora.

- Diseñar una máquina desvenadora considerando la metodología de Design Thinking, partiendo de los requerimientos del productor, estructurando un análisis numérico y desarrollando un modelado con software de ingeniería que garantice la funcionalidad del equipo y su posterior construcción.
- Realizar un análisis técnico financiero utilizando la metodología de costos unitarios para calcular los costos y su rentabilidad frente al proceso actual de producción.

4. Marco Teórico

En este punto, en primer lugar, se describirá el proceso de producción del cacao; a continuación, la búsqueda de información de máquinas y equipos que se utilizan en la actualidad para la realización de este proceso; finalmente, explicar de que se trata un análisis técnico financiero.

4.1. Proceso de producción del cacao

4.1.1. Cacao (*Theobroma cacao*)

- **Origen:** El cacao tiene una profunda raíz histórica y cultural en Ecuador, país considerado uno de los centros de origen y domesticación más antiguos del cacao [6]. Estos hallazgos, respaldados por análisis genéticos y químicos, posicionan al Ecuador como cuna del cacao fino de aroma [7].

4.1.2. Etapa de Cosecha

Según [8] los árboles de cacao presentan dos periodos de floración al año: el principal entre junio y julio, y otro menor entre septiembre y octubre. La maduración del fruto dura de cuatro a seis meses, por lo que la primera cosecha se realiza entre octubre y diciembre, y la segunda entre marzo y abril. La planta inicia su producción entre los 18 y 22 meses después de la siembra, efectuándose la recolección cada 15 días en época lluviosa y cada 30 días en la seca, aunque durante los picos de producción puede realizarse semanalmente [9].

- **Momento óptimo de cosecha:** La recolección del cacao debe hacerse en el momento preciso: los frutos inmaduros no poseen azúcares suficientes para fermentar, y los sobremaduros pueden tener semillas germinadas o contaminación que afecta la calidad del grano [10]. Según se evidencia en la Figura 2



Figura 2. Indicador de madurez de la fruta. [11]

- **Corte de mazorca:** El corte debe hacerse cerca de la mazorca, dejando un pequeño pedúnculo que protege al árbol de infecciones. No se deben arrancar las mazorcas con la mano, ya que daña los cojines florales [12]. La extracción inadecuada de la mazorca, como el arranque manual, provoca daños estructurales en los cojines florales, lo que reduce la capacidad de floración y, por ende, el rendimiento del cultivo; por esta razón, el uso de herramientas apropiadas y técnicas correctas de corte es fundamental para mantener la sostenibilidad del sistema productivo [13]. En la Figura 3 se ilustra el procedimiento adecuado para el corte de la mazorca de cacao.



Figura 3. Corte de la mazorca de cacao. [14]

- **Herramientas usadas en la cosecha:** La cosecha de los frutos de cacao se efectúa tradicionalmente con herramientas manuales diseñadas para minimizar el daño a la

planta y facilitar la recolección del fruto [15]. Entre las herramientas más usadas se encuentran:

- **Tijeras de podar** utilizadas en los frutos de fácil acceso.
- **Pica o media luna** usadas para los frutos que se encuentran a mayor altura.
- **Tijeras de cuerda o cadena:** permiten realizar cortes a distancia sin dañar la planta

Estas herramientas presentan ventajas en términos de simplicidad para realizar la recolección de la mazorca de cacao y su bajo costo. En la Figura 4 se pueden observar.



Figura 4. Herramientas usadas en la cosecha de cacao. [16]

4.1.3. Etapa de postcosecha

- **Selección de mazorca:** La elección adecuada de las mazorcas de cacao constituye un paso fundamental para la obtención de granos de alta calidad; por ello, es indispensable realizar la cosecha en el momento óptimo de madurez y verificar que los frutos se encuentren libres de daños causados por plagas o enfermedades [17]. Entre las principales afectaciones fitosanitarias del cultivo se encuentra la moniliasis, enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri* como se evidencia en la Figura 5 , la cual provoca la pudrición interna de los granos y reduce significativamente su calidad y valor comercial [18].

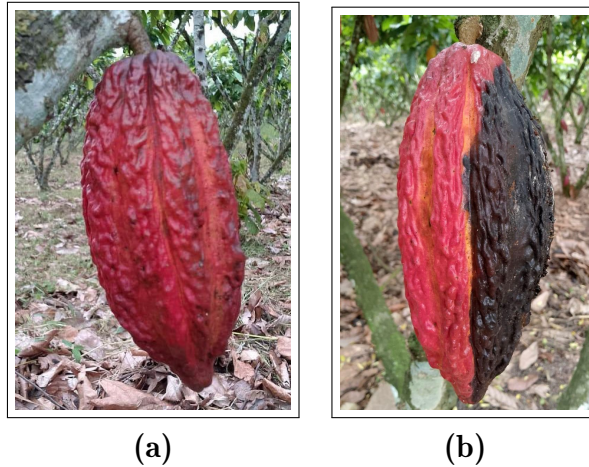


Figura 5. Comparación visual de mazorcas de cacao: a) Mazorca en buen estado b) Mazorca con presencia de monilla (plaga).

- Apertura de la mazorca:** Este proceso consiste en la apertura de las mazorcas de cacao con el objetivo de extraer las semillas recubiertas de pulpa y trasladarlas posteriormente a la etapa de fermentación [19]. Es importante considerar que durante la apertura de la cáscara se debe minimizar cualquier daño mecánico a los granos ya que este factor influye negativamente en la calidad del producto final [20]. De acuerdo con la Figura 6



Figura 6. Apertura de la mazorca. [19]

- Desvenado (Etapa foco de estudio):** En la actualidad, la producción cacaotera del Ecuador se basa en métodos artesanales transmitidos por los antiguos productores; el manejo poscosecha se realiza mediante técnicas complejas y de alto costo como la recolección de las mazorcas utilizando índices de cosecha y el secado de los granos en cajones o secadoras para el siguiente proceso, que es la fermentación[21]. Este proceso

de extracción de las almendras de cacao es esencial para asegurar la calidad en la elaboración de productos derivados como el chocolate; el mismo se debe realizar con el mayor cuidado posible sin comprometer las características del cacao, ya que eso influye en la calidad del grano y también en el peso real a la hora de la venta.[22]. En la Figura 7 se puede observar el proceso tradicional manual de desvenado de cacao.



Figura 7. Proceso de desvenado tradicional.

■ **Métodos tradicionales de desvenado de cacao:**

- Desvenado manual: El método más común en fincas pequeñas consiste en extraer las semillas a mano una vez abierta la mazorca y la placenta con los dedos o con ayuda de cuchillos; es un proceso lento con riesgos de accidentes y esfuerzo físico considerable [23].
- Golpe o exprimido: Algunos productores golpean la mazorca de cacao contra superficies duras o la exprimen para desprender las semillas. Este método puede causar la rotura del grano o dañar la pulpa, disminuyendo la calidad [23].
- Extracción con objetos improvisados: En algunos casos se usan cucharas de madera, trozos de bambú u otros implementos improvisados para sacar las semillas; si bien mejora la higiene frente al contacto directo con las manos, el proceso sigue siendo lento y rudimentario [4].

El proceso tradicional de desvenado a analizar en esta investigación es el desvenado manual. Presenta el mismo que múltiples inconvenientes que limitan su eficacia, especialmente en contextos de producción familiar o artesanal; algunas de las desventajas más significativas dentro del proceso son las siguientes:

- Baja eficiencia y rendimiento limitado: El tiempo requerido para procesar una gran cantidad de mazorcas es elevado, lo cual reduce el volumen productivo diario; la calidad de la separación depende mucho de la experiencia del trabajador [24].
- Fatiga física y problemas ergonómicos: Las posturas adoptadas (sentado en el suelo, encorvado) generan fatiga muscular, dolor lumbar y molestias en las extremidades superiores; la repetición continua de movimientos de separación manual puede derivar en lesiones musculoesqueléticas [25].
- Riesgos de accidentes: El uso de machetes, cuchillos o herramientas punzantes incrementó la posibilidad de cortes en las manos o lesiones por deslizamiento de la herramienta; la falta de equipo de protección y ergonomía adecuada en el puesto de trabajo eleva la vulnerabilidad del operario y así la manipulación excesiva puede deteriorar la pulpa o dañar las semillas [26].

A pesar del crecimiento del sector cacaotero en el Ecuador, la dependencia de métodos tradicionales y manuales evidencia limitaciones significativas en términos de eficiencia, ergonomía, seguridad del operario y estandarización del proceso, especialmente en sistemas de producción artesanal y familiar, estas deficiencias generan pérdidas por daño mecánico, reducción del peso comercial y riesgos laborales, lo que resalta la necesidad de mejorar esta etapa mediante alternativas técnicas que optimicen la extracción de las almendras sin comprometer las características del cacao. Todo el proceso de postcosecha se presenta en la Figura 8.



Figura 8. Proceso completo de la etapa de postcosecha.

- **Fermentación:** Aunque lo ideal es iniciar la fermentación del cacao el mismo día en que se extraen las semillas de las mazorcas en situaciones excepcionales puede ser necesario almacenar el cacao en recipientes plásticos o de madera, como cajones y sacos de yute una vez lleno el recipiente debe cerrarse de forma segura para impedir el ingreso de contaminantes y colocarse en un lugar fresco y protegido [19]. Es importante considerar que no se recomienda mezclar en un mismo fermentador semillas de cacao extraídas en fechas diferentes ya que esta práctica puede alterar el desarrollo de la fermentación y afectar el sabor y la calidad final del producto por lo que se deben fermentar en lotes separados [27]. En la Figura 9 se muestra el proceso de fermentación tradicional llevado a cabo en costales de yute, considerados apropiados para esta etapa del proceso [28].



Figura 9. Fermentación de cacao.

- **Secado de cacao:** En la Figura 10 se observa el secado del cacao etapa final pero fundamental mediante la cual los granos completan los cambios biológicos y químicos necesarios para el desarrollo del sabor y aroma característicos del chocolate permitiendo la eliminación del exceso de humedad presente en los granos y preparándolos para su comercialización durante este proceso el contenido de humedad se reduce aproximadamente del 55% a valores comprendidos entre el 6% y el 8% asimismo cuando el cacao ha sido adecuadamente fermentado y secado se producen cambios visibles en su color adquiriendo el tono marrón típico del grano comercial. [29].



Figura 10. Secado de cacao.

4.2. Máquinas utilizadas en la cosecha y postcosecha de cacao

En el procesamiento del cacao, se utilizan diversas máquinas orientadas a facilitar la extracción de la pulpa, la separación de las semillas y la preparación del fruto para etapas posteriores de fermentación o secado [30]. Los equipos más habituales incluyen máquinas de despulpado y máquinas para romper la mazorca, cada una con principios operativos y capacidades de producción diferenciados. Estos dispositivos representan soluciones mecánicas empleadas en distintos niveles de producción y constituyen la base para el desarrollo de nuevas tecnologías orientadas a mejorar la eficiencia y la higiene del proceso.[31]

4.2.1. Máquinas orientadas a la apertura y extracción del fruto

a) Máquina cortadora de granos

■ Funcion

En la Figura 11 se observa la cortadora de vainas de cacao la misma que tiene como función principal realizar la apertura controlada de mazorcas de cacao fresco, permitiendo el acceso a los granos contenidos en su interior. Este equipo sustituye la rotura manual de las vainas, incrementando la eficiencia del proceso, reduciendo el esfuerzo físico del operario y mejorando la uniformidad en la apertura del fruto. La utilización de este tipo de máquinas es común en procesos de mediana y gran escala, donde el tratamiento manual resulta ineficiente frente a altos volúmenes de producción [32].

- **Componentes:**

La máquina está compuesta por un motor eléctrico, un sistema de transporte mediante cinta o cadena, un mecanismo de disco de corte, una estructura portante y elementos de guiado que permiten el posicionamiento adecuado de las mazorcas durante el proceso [32].

- **Proceso**

Durante la operación, las vainas de cacao fresco se colocan en posición vertical sobre la cinta transportadora, mientras el motor acciona el sistema de transporte y el mecanismo de corte, generando el desplazamiento continuo de las mazorcas hacia la zona de apertura, donde al pasar por debajo del elemento cortante se realiza una incisión longitudinal a lo largo de la geometría de la vaina, produciendo una apertura controlada sin fragmentar completamente la cáscara, además el sistema de corte presenta capacidad de ajuste para adaptarse a diferentes tamaños de mazorca, lo que permite mantener una alta eficiencia de apertura, una vez realizada la incisión las vainas continúan su recorrido hacia la zona de descarga, donde el contenido puede ser separado mediante procesos complementarios posteriores, basándose el funcionamiento del equipo en la acción mecánica de corte continuo sincronizada con el transporte [32].



Figura 11. Máquina cortadora de mazorcas [32].

b) Máquina despulpadora de cacao

■ Función

La Figura 12 muestra el principio de funcionamiento de la despulpadora de cacao la misma tiene como función principal separar el mucílago o pulpa que recubre la almendra de cacao una vez que el fruto ha sido abierto, permitiendo obtener granos con un contenido de pulpa controlado y condiciones más homogéneas para las etapas posteriores del proceso, como la fermentación, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo la manipulación manual del producto [33].

■ Componentes

La máquina está conformada por una tolva de alimentación, un tambor de despulpado, un eje con paletas metálicas internas, una carcasa perforada para la evacuación del mucílago, y su correspondiente sistema de accionamiento eléctrico, además de compuertas de salida para el producto despulpado y el mucílago separado.

■ Proceso

Durante la operación, los granos ingresan por la tolva hacia el cabezal, donde un sistema centrífugo de paletas regulables genera la fricción necesaria para desprender el mucílago. A medida que el producto avanza por el tambor, la pulpa se evacúa por las aberturas laterales. El operario puede controlar la intensidad del despulpado ajustando la inclinación de las paletas y la apertura de las compuertas de salida [33].



Figura 12. Despulpadora de cacao [33].

c) Máquina rompemazorcas de cacao

■ Funcion

La Figura 13 ilustra una máquina rompemazorcas industrial, cuya función principal es la fractura de la mazorca para liberar el grano con pulpa, permitiendo la separación eficiente entre cáscara y contenido interno, optimizando la etapa de extracción previa a la fermentación y reduciendo la intervención manual en procesos de alto volumen [34].

■ Componentes

La máquina está conformada por un sistema de alimentación, un conjunto de rodillos de presión encargados de la fractura de la mazorca, brazos barreadores auxiliares para la separación de pulpa y cáscara, un sistema de evacuación de cáscaras mediante faja transportadora, y un sistema de transmisión y accionamiento, además de componentes de guiado y protección [34].

■ Proceso

Durante la operación, Las mazorcas de cacao se alimentan continuamente hacia un sistema de rodillos que, mediante compresión controlada, fractura la cáscara adaptándose a su forma irregular. Tras la ruptura, unos brazos barreadores separan el grano con pulpa de la corteza; esta última se evacúa por una faja transportadora para su disposición externa. Este sistema de presión garantiza un procesamiento continuo de alto volumen y una separación más eficiente que los métodos de corte convencionales [34].



Figura 13. Máquina rompemazorcas industrial [34].

4.2.2. Máquinas utilizadas en la separación y acondicionamiento del grano

a) Cortadora y despulpadora de cacao

■ **Función**

En la Figura 14 se presenta la máquina cortadora y despulpadora de cacao la misma cumple la función de apertura y despulpado mecánico de mazorcas de cacao, permitiendo la separación controlada de los granos recubiertos de pulpa respecto a la cáscara mediante la acción combinada de corte y fricción, con el objetivo de optimizar el procesamiento inicial del fruto, reducir la intervención manual y mejorar la eficiencia operativa en las etapas tempranas del beneficio del cacao [35].

■ **Componentes**

El equipo está conformado por una estructura portante, una tolva de alimentación, un conjunto de aspas giratorias encargadas de acomodar y presionar el fruto, un sistema de cuchillas de corte que realiza la apertura de la cáscara, un cilindro despulpador donde se produce la separación entre grano y residuos, un sistema de control que regula la velocidad de operación, además de bandejas de traslado y recolección para el producto procesado [35].

■ **Proceso**

Durante la operación, las mazorcas de cacao son alimentadas manualmente a través de la tolva, las aspas giratorias las acomodan y presionan contra las cuchillas, generando el corte de la cáscara, posteriormente la mezcla de granos y fragmentos de cáscara ingresa al cilindro despulpador, donde por efecto de la rotación y fricción se separan los granos de cacao, los cuales son conducidos hacia una bandeja recolectora, mientras que los restos de cáscara continúan su recorrido y son descargados fuera del equipo [35].



Figura 14. Cortadora y despulpadora de cacao [35].

b) Máquina separadora vibratoria

■ **Función**

En la Figura 15 se observa la máquina separadora vibratoria, cuya función es realizar la clasificación del material en función de su tamaño, permitiendo la separación eficiente de elementos y asegurando que el producto obtenido cumpla con los requerimientos necesarios para su posterior incorporación en sistemas de producción automatizados, este proceso contribuye a mejorar la eficiencia operativa y la continuidad del flujo productivo. [36].

■ **Componentes**

El equipo cuenta con una estructura móvil apoyada en ruedas para facilitar su traslado. Incorpora una rejilla de separación intercambiable, fabricada en nailon o acero inoxidable, que permite adaptar el proceso a distintos tamaños de grano y condiciones operativas. El diseño incluye un sistema vibratorio para optimizar el tamizado y una pantalla desmontable que agiliza la limpieza y el mantenimiento, asegurando el cumplimiento de los estándares de higiene exigidos por la industria alimentaria y chocolatera. [36].

■ **Proceso**

Durante la operación, el material se alimenta sobre un tamiz inclinado cuya vibración genera un desplazamiento lineal y la estratificación del producto. Este movimiento permite que las partículas finas atraviesen la rejilla mientras las de mayor tamaño avanzan hacia la descarga. Debido a su eficiencia en la clasificación por dimensiones, este principio es ampliamente utilizado en las industrias alimentaria, chocolatera, química y minera.[36].



Figura 15. Separador Vibratorio [36].

4.3. Análisis técnico Financiero

Un análisis técnico-financiero puede definirse como un procedimiento que combina el estudio sistemático de los datos económicos de una organización con la interpretación gráfica y cuantitativa de su comportamiento financiero con el fin de evaluar su desempeño, rentabilidad y proyecciones futuras, permitiendo identificar tendencias, medir la eficiencia en el uso de los recursos y apoyar la toma de decisiones estratégicas al integrar tanto indicadores contables como variables del entorno financiero y de mercado [37].

4.3.1. Metodología de Costos Unitarios

Los costos unitarios representan el valor económico necesario para producir una unidad de bien o servicio, e incluyen el costo medio, marginal o incremental, donde el costo medio resulta de dividir el total de costos entre la cantidad producida, el incremental refleja la diferencia de costos entre dos alternativas productivas y el marginal corresponde al costo adicional generado por producir una unidad extra, siendo este último altamente dependiente del volumen y las condiciones del proceso productivo [38].

■ Costos Unitarios

Representa el valor monetario necesario para ejecutar una unidad de obra o producir una unidad de producto. Este valor se obtiene al dividir el costo total de los recursos empleados, como materiales, mano de obra, equipos y gastos indirectos, entre la cantidad total producida o ejecutada; en otras palabras, el costo unitario permite conocer cuánto cuesta realizar una unidad de actividad o de producción dentro de un proyecto determinado [39].

- **Rubro:** Un rubro es una categoría o componente específico del trabajo que forma parte de un proyecto de construcción[40].
- **Cuadrilla tipo:** Se refiere al número estándar de trabajadores necesarios para realizar una cantidad determinada de trabajo en un tiempo específico. Es una estimación que define la composición del equipo y su productividad, utilizada para planificar de manera eficiente los presupuestos y cronogramas del proyecto [40].
- **Factor de utilización:** El factor de utilización es un coeficiente que refleja el porcentaje de tiempo efectivo en el que un equipo o recurso está en funcionamiento real durante la jornada laboral [39].

- **Rendimiento:** El rendimiento es la cantidad de trabajo o producción que un equipo o trabajador puede realizar en un tiempo determinado bajo condiciones normales [39].

- **Costos directos**

Según [41] los costos directos corresponden a los gastos generados por la mano de obra, materiales, equipos y transporte, utilizados de manera exclusiva en la realización o ejecución de una actividad o trabajo específico, y sus componentes son los siguientes:

- **Mano de obra:** Corresponde al pago realizado al personal por la ejecución de una tarea específica y representa el valor del trabajo manual necesario para desarrollar la obra.
- **Herramientas:** Se refiere al conjunto de utensilios, implementos y equipos menores necesarios para apoyar la ejecución de las labores en obra.
- **Materiales:** Son los insumos o materias primas empleados directamente en la construcción o producción.
- **Maquinaria:** Engloba los costos asociados al uso, alquiler, mantenimiento y depreciación de los equipos y maquinaria pesada utilizados en la ejecución de la obra.

5. Marco metodológico

La investigación propuesta presenta un enfoque cuantitativo con respecto al tiempo de desvenado, capacidad de procesamiento, rendimiento y costos de operación del equipo propuesto, se emplean principios de diseño mecánico, modelado computacional y validación técnica, además tiene un alcance explorativo al analizar la situación actual del proceso de desvenado en pequeños productores para indetificar las necesidades de mejora y un alcance descriptivo de los parámetros de diseño, materiale y de los componentes de prototipo, asi como la metodología de costos unitarios utilizada para su análisis técnico - financiero.

En la Figura 16 se observa la metodología a desarrollarse en el trabajo de titulación.

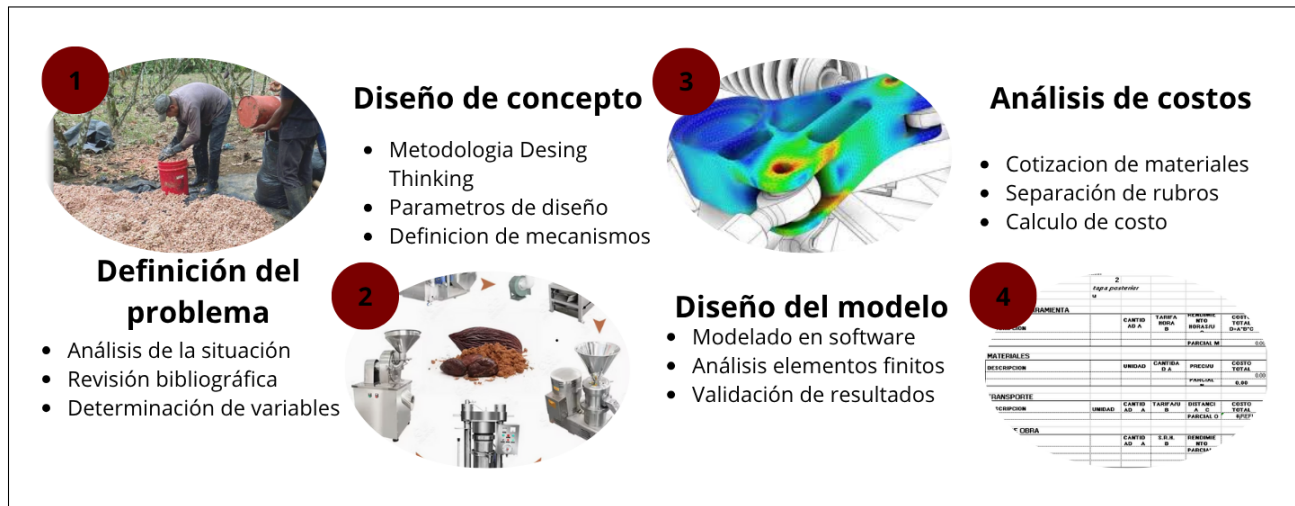


Figura 16. Metodología del proceso.

5.1. Definición del Problema

Con el objetivo de identificar la necesidad de implementar un sistema mecánico para desvenar cacao para medianos y pequeños productores, se lleva a cabo un estudio de campo mediante la realización de encuestas a partir de una muestra conformada por 60 agricultores del reciento San Joaquín, con el fin de definir las condiciones actuales de trabajo y las limitaciones del método manual.

■ Resultados del estudio de campo

Se formularon siete preguntas sobre la situación actual de trabajo. Los resultados obtenidos, los cuales se detallan en la Figura 17 para las preguntas cerradas y la Figura 18 para las preguntas abiertas, permiten dimensionar el impacto de la situación en la calidad del producto y la eficiencia del proceso.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las preguntas cerradas aplicadas a los productores del proceso de desvenado de cacao:

- Ante la consulta sobre la posibilidad de adquirir un sistema mecánico para el proceso de desvenado, un 85% manifestó una respuesta favorable.

- En cuanto a la distribución de la superficie cultivada con cacao entre los productores encuestados, se observa que el 51% posee más de 5 hectáreas, lo que evidencia un volumen de producción significativo e incrementa la necesidad del sistema.
- En relación con la forma en la que se realiza el desvenado de cacao actualmente, los resultados muestran que el 80,4% de los encuestados efectúan el proceso de forma manual.
- Respecto al número de personas que participan en el desvenado de cacao, el 80,4% de los encuestados indican que intervienen más de 3 personas.

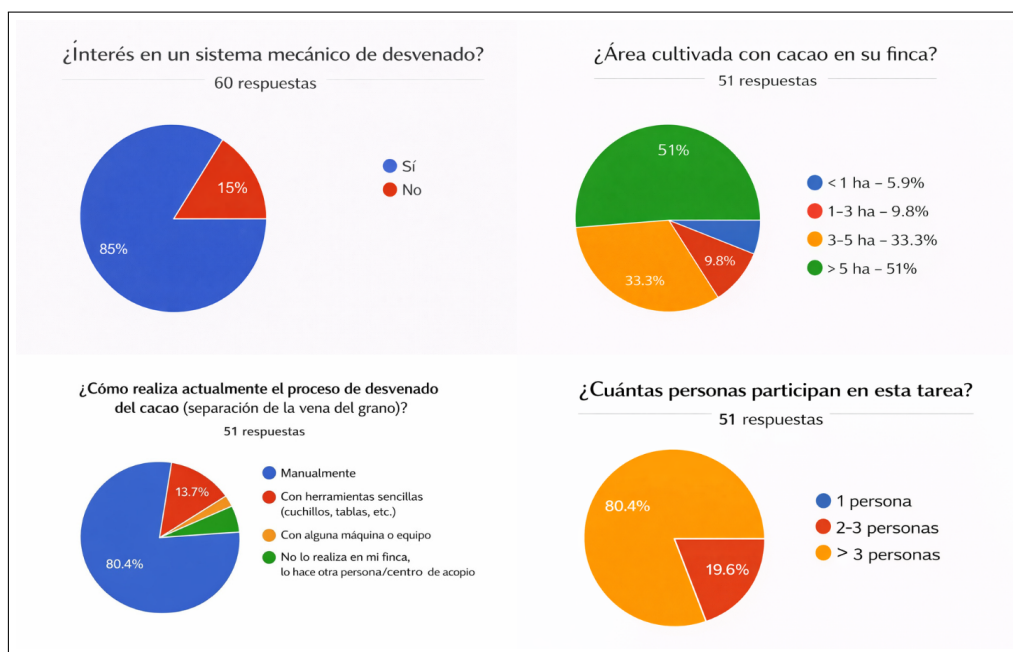


Figura 17. Encuestas realizadas: Preguntas cerradas

Posteriormente, se muestran los resultados derivados de las preguntas abiertas, donde se recogen las opiniones y percepciones de los productores sobre el proceso de desvenado de cacao:

- Los principales problemas identificados por los productores encuestados reflejan en un 88,2% el costo de mano de obra y en un 82,4% el tiempo de trabajo y en un 56,9% la demanda de esfuerzo físico.
- Con respecto al tiempo que toma realizar el proceso de desvenado manual, hay una variación de 5 a 10 días con un promedio de 8.3 días, que conlleva mayor costo en mano de obra.

- La mayoría de los productores reporta volúmenes de cosecha comprendidos entre 151 baldes, equivalentes a un peso aproximado de 3 473 kg, y 238 baldes, correspondientes a 5 750 kg. Considerando que cada balde tiene un peso promedio de 23 kg, este intervalo define el rango óptimo de operación de 5474kg, el cual se utiliza como referencia para el dimensionamiento del sistema mecánico propuesto.

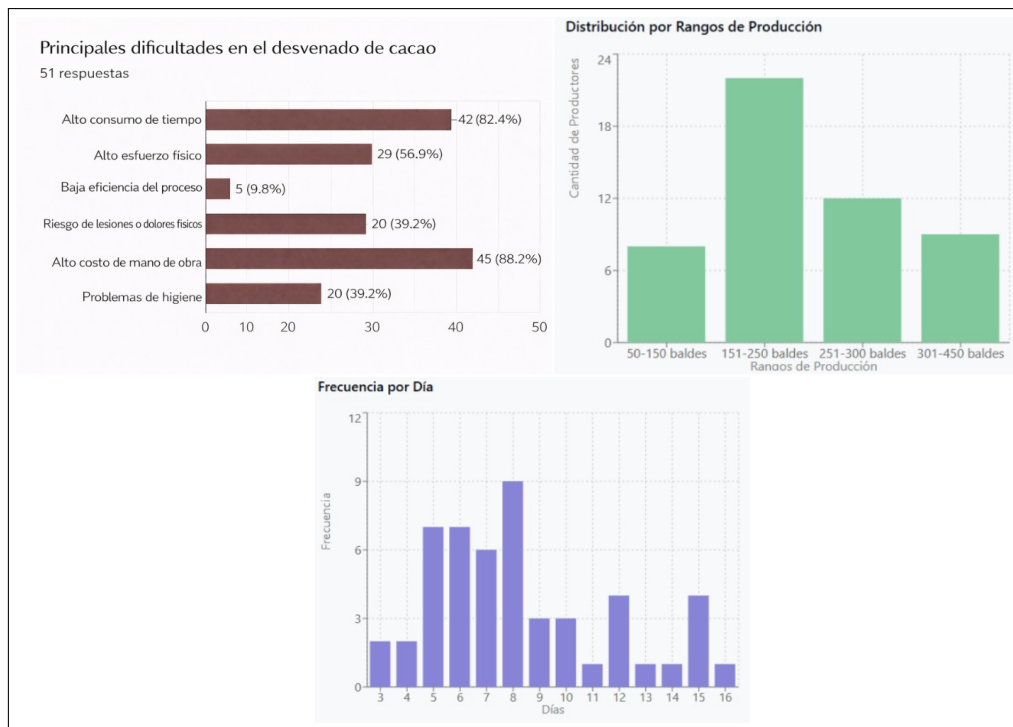


Figura 18. Encuestas realizadas: Preguntas abiertas

Los resultados de la encuesta evidencian que el desvenado de cacao depende en gran medida de la mano de obra, requiere largos tiempos de ejecución y demanda un alto esfuerzo físico, lo que justifica la necesidad de implementar un sistema mecánico para mejorar el proceso tradicional utilizado actualmente en pequeños y medianos productores.

5.1.1. Análisis del método tradicional de desvenado de cacao

En la Figura 19 se muestra el proceso tradicional de desvenado de cacao, el cual consiste en la separación directa de los granos y la vena central. Esta operación se realiza de forma manual, ya sea únicamente con la intervención del trabajador o con el apoyo de implementos artesanales como estructuras de madera y mallas metálicas. El método se caracteriza por la manipulación directa del producto durante toda la operación.



(a)



(b)

Figura 19. a) Proceso manual de desvenar el cacao b) Método tradicional a base de malla.

El análisis del método tradicional evidencia una alta dependencia de la intervención manual, lo que se traduce en mayores tiempos de trabajo y un esfuerzo físico significativo para el operador. Asimismo, la ausencia de mecanismos adaptados a las condiciones de pequeños y medianos productores limita la eficiencia del proceso y aumenta los riesgos ergonómicos e higiénicos. Estas limitaciones demuestran que el método tradicional no resulta adecuado para optimizar la operación, lo que justifica el desarrollo de un sistema mecánico de desvenado orientado a mejorar la productividad y las condiciones de trabajo.

5.1.2. Determinación de la necesidad

- Definición de variables de diseño

Con base en los resultados del estudio de campo y en las condiciones reales de operación, se definen las variables de diseño, las mismas se dividen en variables cuantitativas y cualitativas:

■ Variables cuantitativas:

1. Altura de trabajo
 - Ergonomía: Ajuste a estaturas de $170 \text{ cm} \pm 15 \text{ cm}$.
 - Justificación: El diseño considera la estatura promedio de la población ecuatoriana para evitar posturas forzadas durante la alimentación y recolección del material, garantizando condiciones ergonómicas adecuadas.

2. Cosecha total:

- Valor estimado: 5500kg
- Justificación: De acuerdo con el estudio de campo, la cosecha promedio corresponde a 238 baldes de entrada, cada uno con una masa aproximada de 23 kg, la masa total de cacao procesado expresada como $m_{p,T}$ y la masa total útil como $m_{u,T}$:

$$m_{p,T} = 238 \cdot 23 = 5474 \text{ kg}$$

Se considera que el producto útil corresponde aproximadamente al 75% de la masa inicial, debido a la retención de la vena central y residuos del proceso:

$$m_{u,T} = 0.75 \cdot m_{p,T} \approx 4105 \text{ kg}$$

3. Tamaño del grano

- Dimensiones: 0.15 mm a 0.25 mm
- Justificación: El grano de cacao presenta variaciones dimensionales asociadas a la variedad y madurez, este rango se adopta para el diseño de la malla de cribado, permitiendo el paso del grano y la retención de la vena y residuos de mayor tamaño.

4. Capacidad de producción

- Capacidad: 69 kg masa de trabajo expresada como $m_{p,t}$ / ciclo
- Justificación: La capacidad se define considerando que en cada ciclo de operación se procesan tres baldes de entrada con una masa de 23 kg cada uno. La masa útil de trabajo corresponde aproximadamente al 75% de la carga inicial, debido a la retención de la vena central y residuos del proceso, obteniéndose:

$$m_{u,t} = 0.75 \cdot m_{p,T} = 51.75 \text{ kg}$$

5. Volumen de proceso

- Volumen: $V = 0.0568 \text{ m}^3$
- Justificación: El volumen de diseño se determina a partir de la capacidad de tres baldes de 5 galones. Considerando que un galón equivale a $3.785 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, el

volumen total se calcula como:

$$V = 3 \cdot 5 \cdot 3.785 \times 10^{-3} = 0.0568 \text{ m}^3$$

6. Tiempo de proceso

- Horas de producción: 12 h
 - Justificación: Se adopta un tiempo total por ciclo de $t_{\text{ciclo}} = 9$ min, el cual incluye alimentación manual 3 min, desvenado 3 min, descarga/cambio de saco 2 min y ajustes menores 1 min.
- Número de ciclos requeridos:

$$N = \frac{m_{p,T}}{m_{p,t}} = \frac{5474}{69} = 79.33 \text{ ciclos} \approx 80 \text{ ciclos}$$

- Tiempo total de operación:

$$t_{\text{total}} = N t_{\text{ciclo}} = 79.33 \times 0.15 \approx 11.9 \text{ h} \approx 12 \text{ h}$$

- Planificación en 3 días: Para completar el proceso en un periodo de 3 días, el tiempo diario requerido es:

$$h_{\text{día}} = \frac{t_{\text{total}}}{3} = \frac{11.9}{3} \approx 4 \text{ h/día}$$

■ Variables cuantitativas:

1. Facilidad de uso

El sistema debe permitir una operación sencilla e intuitiva, de manera que el operador pueda realizar las tareas de alimentación, control y descarga sin requerir capacitación especializada, facilitando su implementación en entornos productivos rurales.

2. Reducción de esfuerzo físico

El diseño del equipo busca disminuir el esfuerzo físico del operador, reduciendo la manipulación manual repetitiva del cacao y evitando posturas forzadas durante el proceso de desvenado, lo que contribuye a mejorar las condiciones ergonómicas de trabajo.

3. Disminución del tiempo de proceso

El sistema propuesto tiene como objetivo reducir el tiempo requerido para el proceso de desvenado en comparación con el método manual tradicional, incrementando la productividad y optimizando el uso del tiempo durante la jornada de trabajo.

4. Disminución de costos

La implementación del equipo permite disminuir los costos asociados al proceso de desvenado, principalmente mediante la reducción de la mano de obra requerida y el aumento de la eficiencia operativa, manteniendo una solución técnica accesible para pequeños y medianos productores.

5. Compatibilidad con apertura manual

El sistema debe ser compatible con la apertura manual de la mazorca de cacao, recibiendo el material sin necesidad de incorporar mecanismos adicionales de corte o fractura, lo que facilita su integración al proceso actualmente utilizado por los productores.

6. Conservación de la calidad del grano

El diseño del sistema debe garantizar la integridad física del grano durante el proceso de desvenado, evitando impactos bruscos o daños mecánicos que puedan afectar la calidad del cacao obtenido.

7. Condiciones higiénicas del proceso

Los elementos del equipo en contacto con el cacao deben permitir una adecuada limpieza y mantenimiento, evitando la acumulación de residuos y garantizando condiciones higiénicas apropiadas para el manejo de un producto destinado a la cadena alimentaria.

5.2. Diseño de concepto

5.2.1. Alternativas de solución

Para dar solución al problema de desvenado planteado, se evalúan las tecnologías existentes descritas en el marco teórico como alternativas de implementación directa, seleccionándose tres opciones representativas que se describen brevemente a continuación:

- **Alternativa 1: Máquina rompemazorcas.**

Las rompemazorcas de cacao fueron consideradas como alternativa debido a su eficiencia en la fractura de la cáscara mediante sistemas de rodillos. No obstante, están diseñadas para altos volúmenes de producción e integran la etapa de apertura del fruto, lo cual no se ajusta a la escala del presente proyecto. Además, su funcionamiento se orienta a la ruptura del fruto y no a la separación selectiva de sus componentes internos.

- **Alternativa 2: Máquina cortadora de mazorcas.**

La máquina cortadora de mazorcas fue considerada como alternativa por su capacidad para facilitar la apertura del fruto mediante sistemas de corte. Sin embargo, su aplicación se limita a la etapa de apertura y requiere sistemas adicionales de transporte, lo que incrementa la complejidad y el costo del proceso. Asimismo, no está orientada a la separación selectiva de los componentes internos del cacao, por lo que no se ajusta a los requerimientos del proceso de desvenado para pequeños y medianos productores.

- **Alternativa 3: Modificación a una máquina separadora vibratoria**

La máquina separadora vibratoria fue considerada como alternativa por su capacidad de clasificar materiales según su tamaño mediante vibración. No obstante, su aplicación en el procesamiento de cacao requeriría ajustes en el sistema de tamizado y en las condiciones de operación, dado que su funcionamiento se orienta a la clasificación granulométrica y no a la separación específica entre la vena y el grano. En consecuencia, no permite resolver directamente el proceso de desvenado para pequeños y medianos productores.

5.2.2. Matriz de ponderación

Una vez identificadas las posibles soluciones, se elaboró una matriz de ponderación de factores, presentada en la Tabla 1 correspondiente, con el objetivo de determinar la alternativa que mejor se ajusta a los requerimientos para la mejora del proceso. Para la evaluación se aplicó una escala de evaluación del 1 al 5, siendo 1 el nivel mínimo y 5 el nivel máximo de desempeño para cada criterio analizado:

Tabla 1. Discriminación de alternativas para el proceso de desvenado de cacao

Criterio	Peso (%)	Máquina rompemazorcas	Máquina cortadora de mazorcas	Separadora vibratoria modificada
Compatibilidad con apertura manual	25	1	2	5
Adaptación al tamaño del grano	20	2	2	4
Conservación de la cali- dad del grano	20	2	3	4
Costo de inversión	20	2	2	3
Facilidad de manteni- miento	15	2	3	4
TOTAL (puntos)	100	9	12	20
TOTAL (%)		36%	48%	80%

Con base en la matriz de ponderación, la modificación de la máquina separadora vibratoria resulta la alternativa con mayor cumplimiento de los criterios evaluados, alcanzando un 80% de adecuación. Este resultado se atribuye a su compatibilidad con el proceso de apertura manual y a la prioridad otorgada a criterios clave del contexto productivo rural, como la conservación de la calidad del grano, la viabilidad técnica y los costos de implementación y mantenimiento.

5.2.3. Diseño de la máquina desvenadora

- **Propuesta de solución**

En la Figura 20 se muestra un boceto de la máquina desvenadora de cacao; está diseñada específicamente para realizar la separación de la vena sin afectar los granos, conservando el método manual de apertura de la mazorca y adaptándose a la variabilidad del tamaño del cacao.

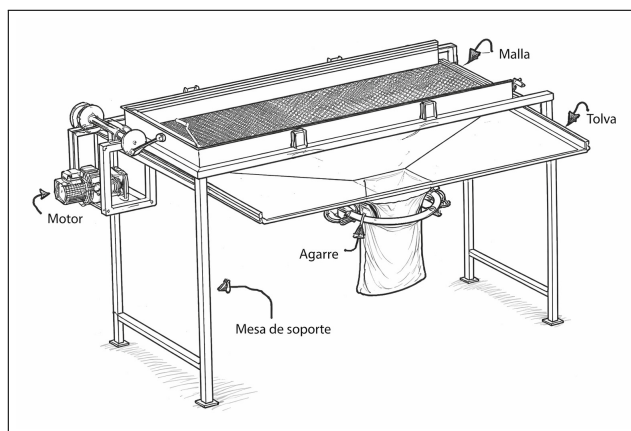


Figura 20. Boceto de la máquina desvenadora de cacao.

A continuación, en la Figura 21, se presenta la configuración general del equipo de desvenado de cacao, con el fin de facilitar la comprensión del funcionamiento global del equipo y optimizar el desarrollo del diseño. El sistema se divide en dos subsistemas principales, definidos en función de la etapa del proceso que atienden.

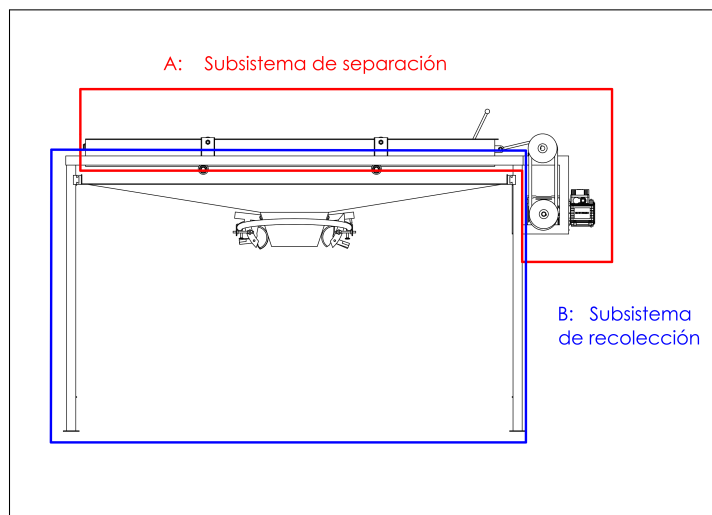


Figura 21. Subsistemas de la propuesta

Los cálculos y la selección de componentes se desarrollan como parte de la validación técnica del diseño de concepto, con el objetivo de verificar su viabilidad estructural y funcional bajo las condiciones de operación establecidas.

5.2.4. Cálculos y selección de componentes

■ A: Subsistema de separación

El subsistema de separación constituye la parte fundamental del equipo de desvenado de cacao, que es la responsable de garantizar la separación de los granos y la vena central de la mazorca de cacao. Su funcionamiento se basa en la combinación de una superficie de cribado y un movimiento oscilatorio; durante este proceso, los granos atraviesan la malla, mientras que los residuos continúan hasta la zona de descarga.

En la Figura 22 se puede observar el subsistema de separación, que se divide en tres mecanismos: el mecanismo de cribado realiza la separación de los granos y la vena, el mecanismo de limpieza evita la acumulación de material sobre la malla y el mecanismo de transmisión genera el movimiento necesario para accionar el cribado de forma continua.

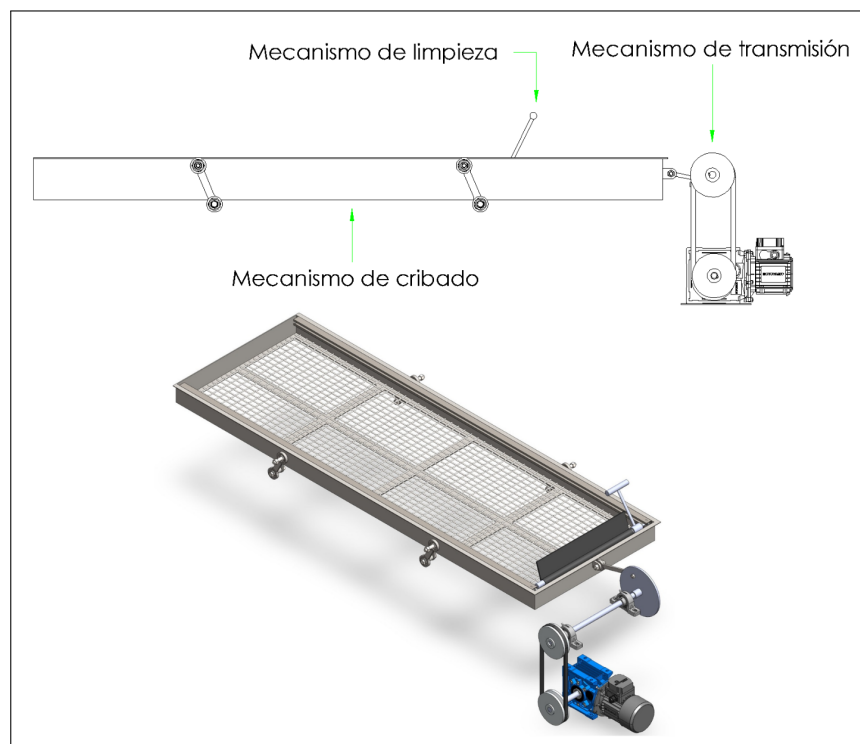


Figura 22. Mecanismos del subsistema 1.

En función de la configuración presentada de cada mecanismo dentro del subsistema de separación, se procede al desarrollo de los cálculos y a la selección de los componentes

correspondientes. El análisis se aborda de manera secuencial, iniciando con el mecanismo de cribado, debido a que este define las condiciones principales de operación del subsistema.

a) Diseño del mecanismo de cribado

El mecanismo de cribado constituye el elemento principal del subsistema de separación, ya que es el encargado de realizar la separación directa de los granos de cacao y la vena central mediante un movimiento oscilatorio sobre una malla.

En la Figura 23 se identifican los principales componentes que conforman el mecanismo de cribado, los cuales se detallan en la Tabla 2. La mesa de cribado y la malla constituyen la superficie activa de separación, mientras que las bielas, rodamientos y elementos de unión permiten transmitir el movimiento oscilatorio necesario para el funcionamiento continuo del mecanismo.

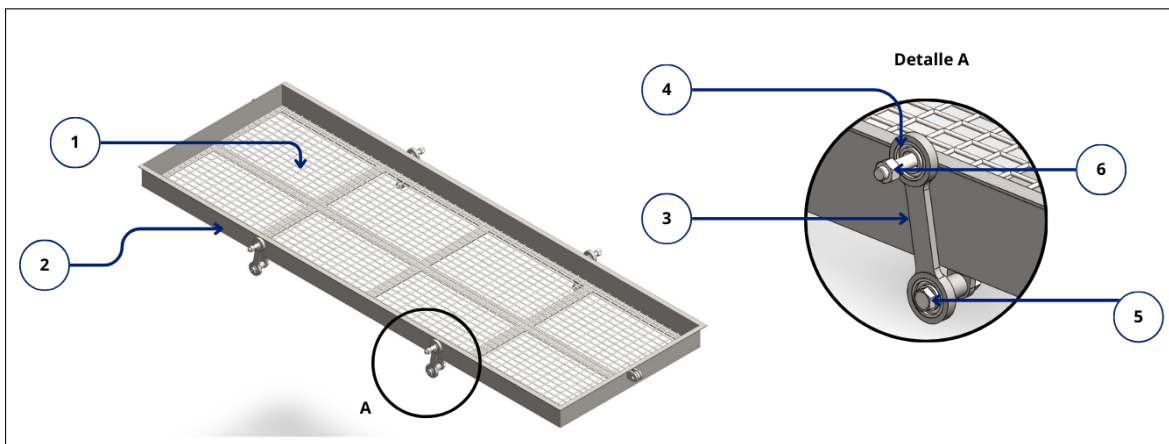


Figura 23. Partes del mecanismo de cribado.

Tabla 2. Componentes del mecanismo de cribado

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Malla	1
2	Mesa de cribado	1
3	Biela lateral	4
4	Rodamiento	8
5	Perno	8
6	Tuerca	8

A continuación, se procede al desarrollo de los cálculos y selección de cada componente del mecanismo de cribado:

- **Malla**

La malla de cribado la misma que se observa en la Figura 24 es uno de los elementos principales de separación del sistema, su selección se realiza considerando el tamaño del grano de cacao, las condiciones de carga durante la operación, así como los requerimientos sanitarios propios de un producto alimenticio.

De acuerdo con la caracterización del grano, el cacao presenta un rango de dimensiones comprendido entre 15 y 25 mm. En este tipo de mesas de cribado oscilatorias, se adopta el criterio de que el material se transporte sobre la malla mediante el movimiento vibratorio, permitiendo que las partículas de menor tamaño, correspondientes a los granos de cacao, atraviesen las aberturas, mientras que los elementos de mayor tamaño, como la vena central, son retenidos.

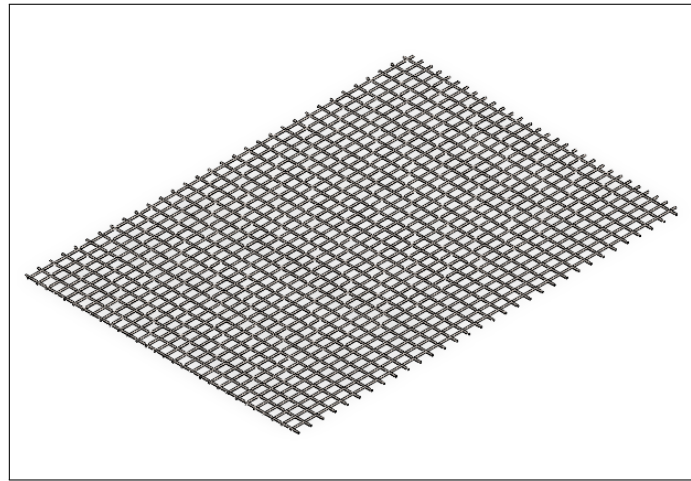


Figura 24. Malla de la mesa

Condiciones de selección de la malla de cribado

Bajo el criterio de funcionamiento del sistema de cribado para el proceso de desvenado, la abertura de la malla debe permitir el paso del grano de cacao hacia las tolvas de recolección, mientras que las venas deben ser retenidos sobre la superficie. Por tanto, la abertura a debe ser mayor que el tamaño mínimo del grano, es decir:

$$a \geq d_{\text{mín}} \quad (1)$$

donde $d_{\text{mín}}$ corresponde al tamaño mínimo del grano de cacao. Considerando $d_{\text{mín}} = 15$ mm, se establece que la abertura de la malla debe ser, como mínimo, mayor o igual a 15 mm. En consecuencia, se selecciona una malla comercial con abertura nominal de aproximadamente $a \approx 25$ mm (1"), la cual permite el paso del grano y reduce el riesgo de atascamiento durante el cribado.

La malla debe soportar la carga total de producto procesado por ciclo, equivalente a 69 kg, distribuida sobre el área útil de la mesa. La presión promedio calculada anteriormente:

$$p = \frac{W}{A} = 627 \frac{N}{m^2} \quad (2)$$

Para un área aproximada de 1.08 m^2 , se obtiene una presión promedio del orden de 627 Pa siendo el diseño gobernado principalmente por la rigidez local de la malla y su comportamiento frente a vibraciones. En la Tabla 3 se presenta el resumen de la selección.

Tabla 3. Selección de la malla para la mesa de cribado

Parámetro	Valor seleccionado
Aplicación	Mesa de cribado oscilatoria para cacao
Rango de tamaño del grano	15 – 25 mm
Abertura nominal	25.4 mm (1")
Tipo de malla	Malla soldada (welded wire mesh)
Material	Acero inoxidable AISI 304
Alternativa de material	Acero inoxidable AISI 316
Diámetro de alambre	≈ 1.6 mm
Espesor total aproximado	≈ 3.2 mm
Carga de operación	69 kg por ciclo
Condición sanitaria	Apta para contacto con alimentos
Justificación técnica	Resistencia a la corrosión, rigidez adecuada para vibración y disponibilidad comercial

Con base en estos criterios, se opta por una malla comercial de acero inoxidable AISI 304, de construcción soldada, con abertura de 25.4 mm (1") y diámetro de alambre del orden de 1.6 mm, evitando la fabricación artesanal de la malla y garantizando uniformidad geométrica, rigidez y confiabilidad en operación.

- **Mesa de cribado**

En la Figura 25 se puede observar la mesa de criba propuesta:

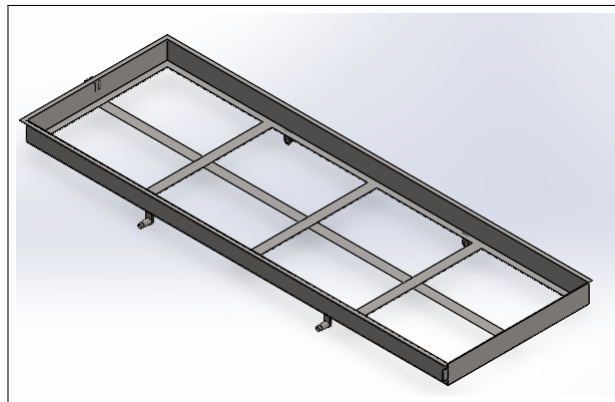


Figura 25. Mesa de cribado

Para dimensionarla partimos del concepto de que una criba sobrecargada con material reduce su rendimiento porque el material no fluye correctamente y las aberturas de la malla se bloquean [42]. Por lo que para el dimensionamiento de la mesa de cribado se considera que únicamente los $\frac{2}{3}$ del área total esta ocupada, dejando $\frac{1}{3}$ del área libre, con el fin de evitar la sobrecarga superficial y garantizar un adecuado desplazamiento del material .

Datos

- $V = 0.0568$ volumen de material sobre la mesa de cribado [m^3].
- $A =$ área total de la mesa de cribado [m^2].
- $h = 0.08$ altura de la cama de la mesa [m].
- $L =$ largo de la mesa de cribado [m].
- $a =$ ancho de la mesa de cribado [m].
- $\frac{2}{3} =$ fracción del área total ocupada por material durante la operación.
- Relación largo /ancho (L/A) 3:1
= Se adopta la porque es un valor intermedio recomendado en cribas vibratorias rectangulares, que garantiza tiempo de residencia suficiente sin penalizar el comportamiento estructural ni dinámico [42].

Cálculo de las dimensiones de la mesa

A partir de los parámetros definidos, se procede al cálculo de las dimensiones geométricas de la mesa de cribado, expresando el área total en función del ancho de la mesa y considerando la relación geométrica largo–ancho establecida; de este modo, al sustituir dicha relación en la expresión del volumen y despejar el ancho, se obtiene una relación directa que permite determinar el ancho de la mesa a partir del volumen de material requerido y de la altura de cama del material considerada.

- Ecuación inicial

$$V = \frac{2}{3} Ah \quad (3)$$

- Fórmula del Área total:

$$A = L \cdot a \quad (4)$$

- Despejamos la ecuación en función del ancho:

$$A = 3a \cdot a = 3a^2 \quad (5)$$

$$a = \sqrt{\frac{V}{2h}} \quad (6)$$

Sustitución numérica

$$a = \sqrt{\frac{0.0568}{2(0.08)}} = 0.595\text{m} \approx 0.6\text{m}$$

$$L = 3a = 1.80 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen geométrico total

$$V_{\text{total}} = L \cdot a \cdot h = 1.80 \cdot 0.6 \cdot 0.08 = 0.0864 \text{ m}^3$$

- Cálculo del volumen efectivo de trabajo considerando nuevamente los $\frac{2}{3}$

$$V_{\text{trabajo}} = \frac{2}{3} V_{\text{total}} = 0.0576 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área total

$$A = 1.80 \cdot 0.6 = 1.08 \text{ m}^2$$

Con base en los resultados obtenidos, se determina que una mesa de cribado con un ancho de 0.60 m y un largo de 1.80 m permite cumplir con el volumen de trabajo requerido de 0.0568 m³, considerando una altura de cama de material de 0.08 m y el criterio de ocupación de $\frac{2}{3}$ del área total que es de 1.08 m², lo que asegura coherencia entre el volumen geométrico total y el volumen efectivo de operación, así como condiciones adecuadas para el desplazamiento del material durante el proceso.

Cálculo del espesor de la mesa

La Figura 26 presenta el diagrama de cuerpo libre de la mesa de cribado, en el cual se identifican las fuerzas que actúan sobre el sistema y las condiciones de apoyo consideradas. La carga distribuida representa el peso equivalente del material a procesar y la malla.

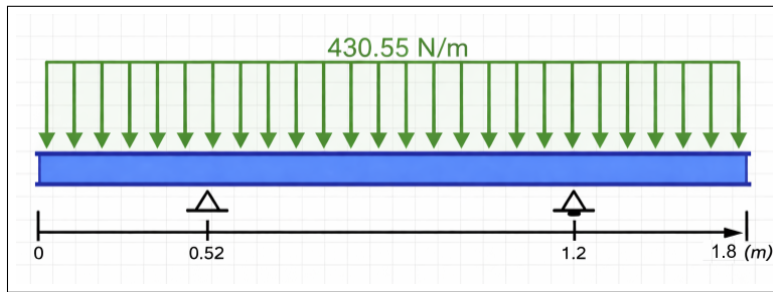


Figura 26. DCL mesa de cribado.

Datos

- $m_{p,t} = 79\text{kg} = \text{Peso del procesado}(69 \text{ kg}) + \text{peso de la malla} (10\text{kg})$
- $L = 1.80 \text{ m}, a = 0.60 \text{ m}.$
- $\ell = 0.407 \text{ m}$ Intervalo entre apoyos.
- $W = \text{Carga equivalente N}.$
- $p = \text{Presión sobre el área total } \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$
- $w = \text{Carga lineal equivalente } \frac{\text{N}}{\text{m}}.$
- $M_{\text{máx}} = \text{Momento flector máximo Nm}.$
- $t = \text{espesor de la mesa de cribado [mm]}.$

- Carga equivalente:

$$W = mg = 79 \times 9.81 = 774.99 \text{ N} \quad (7)$$

- Presión distribuida sobre el área total:

$$A = L \cdot a = 1.08 \text{ m}^2 \quad (8)$$

$$p = \frac{W}{A} = 717.58 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (9)$$

- Carga lineal equivalente:

$$w = p \cdot a = 430.55 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (10)$$

-Momento flector máximo:

$$M_{\text{máx}} = \frac{w\ell^2}{8} = 11.88 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (11)$$

- Espesor mínimo por resistencia:

$$t = \sqrt{\frac{6M_{\text{máx}}}{a\sigma_{\text{adm}}}} \approx 1 \text{ mm} \quad (12)$$

No obstante, debido al carácter vibratorio del sistema, se adopta un espesor superior para garantizar rigidez y resistencia a fatiga, seleccionándose finalmente $t = 2 \text{ mm}$ (AISI 304). En la Figura 27 se puede observar las dimensiones de la mesa de cribado que serán usadas posteriormente para la simulación.

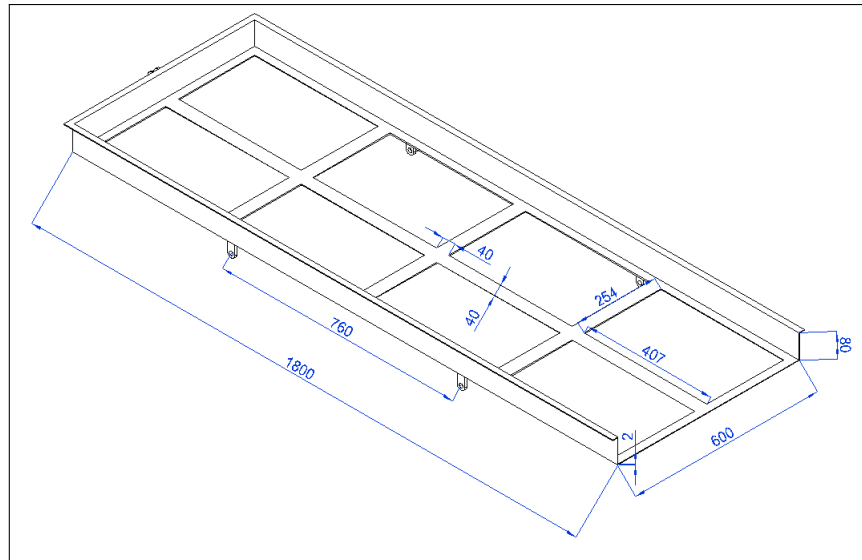


Figura 27. Dimensiones de la mesa de cribado

Simulación y análisis de la mesa de cribado

Se selecciono como material para la estructura un acero AISI 304 para soportar la carga de producción de cacao procesada en cada ciclo, equivalente a 69 kg, además del peso propio de la malla de acero inoxidable, las propiedades del material se presentan en la Tabla 4

En la Figura 28 se muestran las condiciones de carga y las restricciones aplicadas a la mesa de cribado, definidas dentro del software ANSYS para el análisis estructural.

Tabla 4. Propiedades mecánicas del acero AISI 304

Propiedad	Valor
Densidad (ρ)	8000 kg/m ³
Módulo de elasticidad (E)	193 GPa
Límite elástico (σ_y)	215 MPa
Resistencia a la tracción (σ_u)	505 MPa

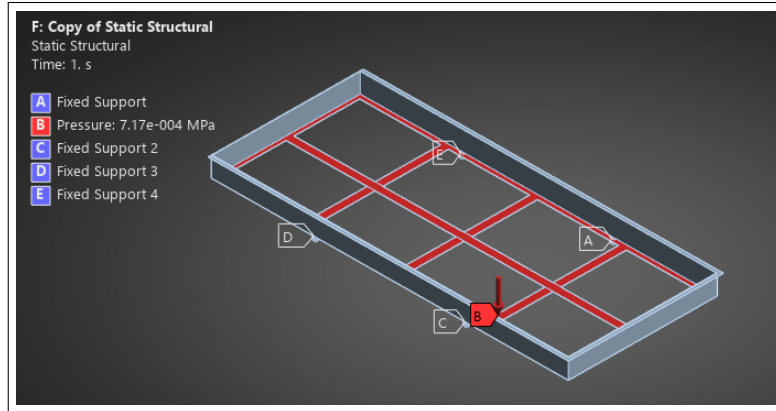


Figura 28. Condiciones de carga.

Esfuerzo de Von Mises

La simulación numérica permitió analizar de manera integral la distribución de esfuerzos equivalentes, la deformación total y el nivel de seguridad estructural del componente. A partir del criterio de Von Mises, se determinó que el esfuerzo máximo alcanzado es de 52.138 MPa, valor que se encuentra por debajo del límite elástico del material, (σ_y) = 215 MPa. Esto indica que el elemento trabaja dentro del régimen elástico bajo las condiciones de carga aplicadas. El factor de seguridad mínimo obtenido es de 4.12, lo que confirma que el diseño presenta un margen adecuado frente a la fluencia del material. Los esfuerzos se concentran principalmente en las zonas de refuerzo transversal, sin comprometer la integridad estructural del sistema en las condiciones evaluadas.

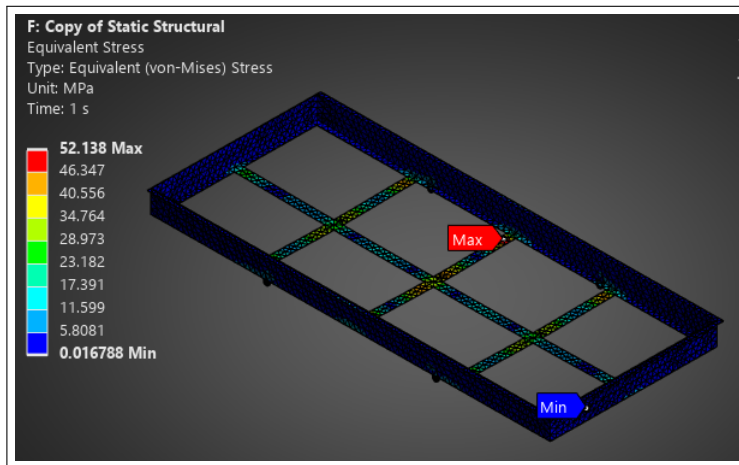


Figura 29. Simulación de esfuerzos de la mesa de cribado.

Deformación

El análisis de deformación total de la mesa estructural muestra un desplazamiento máximo de 0.73 mm, concentrado principalmente en las zonas central de los elementos transversales como se observa en la Figura 30. Evidenciando un comportamiento rígido, que no comprometen la funcionalidad de la mesa de cribado durante el proceso.

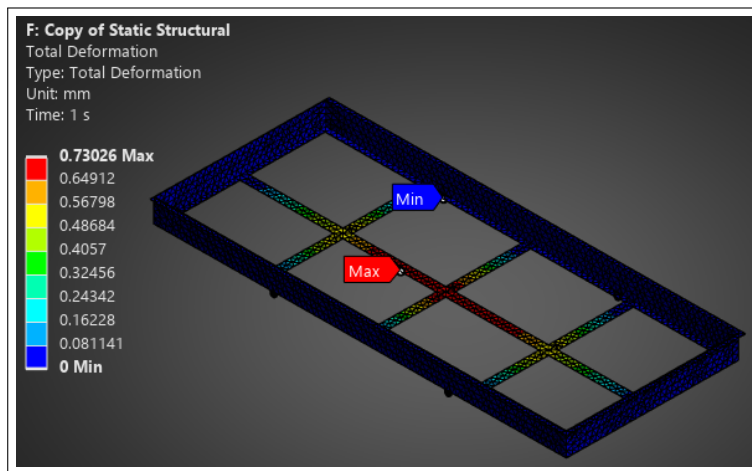


Figura 30. Simulación de esfuerzos de la mesa de cribado.

Factor de seguridad

El análisis del factor de seguridad nos da como resultado 4.12 tal como se muestra en la Figura 31.

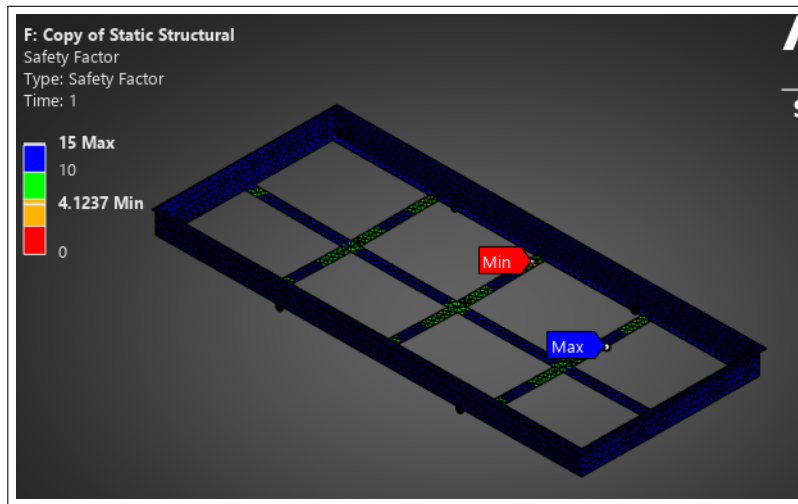


Figura 31. Factor de seguridad biela lateral

■ **Bielas laterales**

Las bielas laterales tienen como función transmitir el movimiento del mecanismo de transmisión hacia la mesa de cribado, permitiendo el desplazamiento oscilatorio requerido durante la operación del sistema. A su vez, estos elementos contribuyen al sostenimiento de la mesa de cribado y actúan como elementos de unión entre la estructura de soporte y la mesa.

Criterios de diseño

- **Material:** las bielas laterales se fabrican en acero AISI 1018, seleccionado por su buena maquinabilidad, lo que facilita la obtención de tolerancias y un acabado adecuado en las superficies de contacto.
- **Dimensiones:** la geometría de las bielas se define en función de la configuración del mecanismo y de las condiciones de montaje, de manera que asegure la correcta transmisión del movimiento y evite interferencias durante la operación. Las dimensiones principales del componente se presentan en la Figura 32.

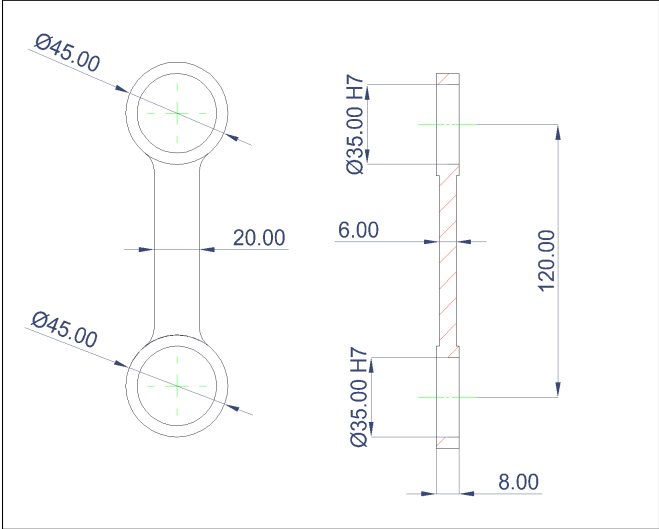


Figura 32. Dimensiones de la biela lateral.

Simulación y análisis de la biela lateral

Tabla 5. Peso de los componentes principales del sistema

Componente	Peso [kg]
Mesa de cribado	26
Malla	10
Cacao a procesar	69
Peso total	105.00

- Carga total considerada :

$$F_T = m \cdot g \quad (13)$$

Donde:

- F_T = La fuerza total de carga [N],
- $m = 105$ kg, la suma de las masas de la mesa, la malla y el cacao a procesar [kg],
- g = es la aceleración de la gravedad, tomada como 9.81 m/s^2 .

$$F_T = 105 \cdot 9.81 = 1030.05 \text{ N}$$

- Distribución de carga en los cuatro puntos de apoyo:

$$F_{\text{apoyo}} = \frac{F_T}{4} = \frac{1030.05}{4} = 257.51 \text{ N} \quad (14)$$

La carga F_{apoyo} se adopta como la fuerza equivalente aplicada en el modelo de simulación de las bielas laterales, como se observa en la Figura 33.

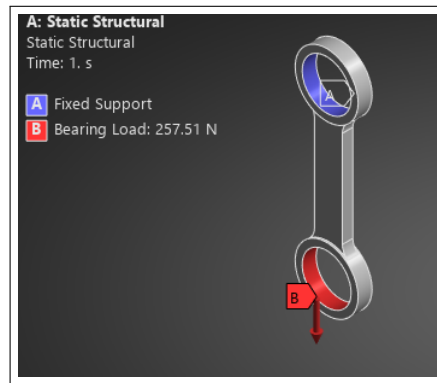


Figura 33. Cargas en la biela lateral.

Esfuerzo de Von Mises

En el análisis de esfuerzo equivalente bajo el criterio de Von Mises, las bielas laterales registran un esfuerzo máximo de 26.791 MPa, el cual se concentra principalmente en las zonas de transición geométrica próximas a los orificios, donde se presentan mayores concentraciones de esfuerzo debido a la discontinuidad de la sección. Esta distribución se aprecia en la Figura 34, donde se identifican las regiones más solicitadas del componente. Al comparar este valor con el límite elástico del material 370 MPa, se verifica que los esfuerzos desarrollados se mantienen ampliamente por debajo del umbral de fluencia, lo que confirma que las bielas operan dentro del régimen elástico y presentan un comportamiento estructural seguro bajo las condiciones de carga analizadas.

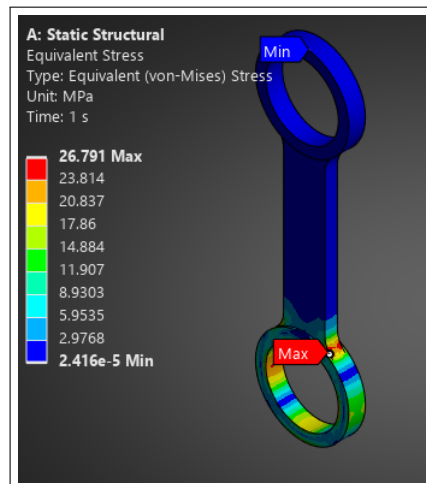


Figura 34. Simulación de esfuerzos bielas laterales.

Deformación

En la Figura 35 se evidencia el análisis de deformación total realizado sobre las bielas laterales muestra un desplazamiento máximo de 0,01 mm, concentrado principalmente en la zona del ojo inferior, donde se presenta la mayor concentración de carga.

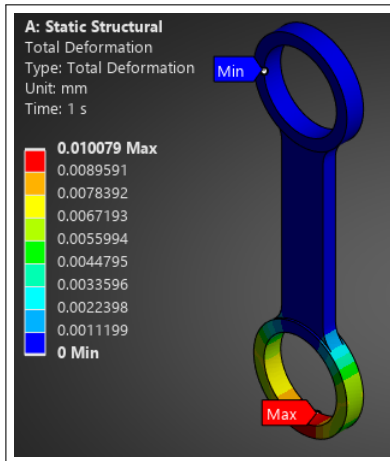


Figura 35. Simulación deformacion bielas laterales.

Factor de seguridad

El análisis del factor de seguridad indica un valor mínimo de 13.801 tal como se muestra en la Figura 36. Este valor elevado se debe a que los esfuerzos generados en la biela lateral son considerablemente menores que el límite elástico del material seleccionado, lo que proporciona un amplio margen de seguridad bajo las condiciones de operación analizadas.

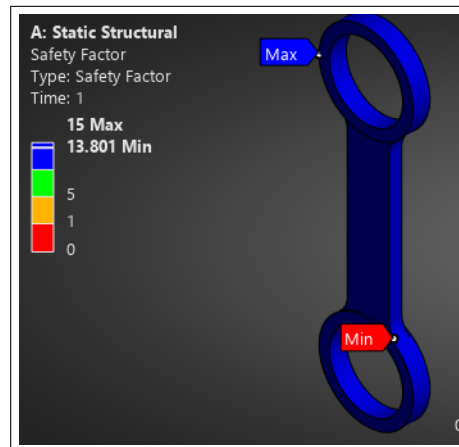


Figura 36. Factor de seguridad biela lateral

■ Rodamientos

Los rodamientos son elementos mecánicos esenciales que permiten el movimiento relativo entre componentes, reduciendo la fricción y el desgaste, y asegurando una correcta transmisión de cargas. En el presente diseño, se utilizan en las uniones de las bielas laterales para facilitar el movimiento de vaivén que genera la oscilación de la mesa de cribado.

Selección de rodamientos

Para la selección de los rodamientos se emplean los valores de masa total del sistema y de la fuerza que actúa sobre cada apoyo, los cuales han sido previamente calculados en el análisis del sistema de cribado y se consideran en esta sección únicamente como datos de entrada.

Datos

- Masa total del sistema: $m = 105$ kg
- Fuerza en cada apoyo: $F_{\text{apoyo}} = 257.51$ N
- Diámetro interior: $d = 17$ mm

Debido a que el mecanismo opera bajo condiciones dinámicas, caracterizadas por cargas alternantes, vibraciones y movimiento oscilatorio, se adopta un factor de servicio de $K_s = 2$, con el fin de contemplar los efectos dinámicos del sistema. En consecuencia, la carga equivalente de diseño por rodamiento se estima como:

$$P_d = K_s F = 2(257.51) = 515.02 \text{ N} \quad (15)$$

Para un diámetro interior requerido de $d = 17$ mm, se selecciona un rodamiento rígido de bolas SKF tipo **W 6003**. El rodamiento, fabricado en acero inoxidable, es adecuado para su uso en el manejo de cacao, ya que ofrece resistencia a la corrosión y cumple con condiciones higiénicas del proceso.

De acuerdo con el catálogo del fabricante, el rodamiento seleccionado presenta una capacidad de carga dinámica $C = 15.5$ kN y una capacidad de carga estática $C_0 = 9.6$ kN, valores ampliamente superiores a la carga equivalente de diseño ($P_d \approx 0.52$ kN). Por lo tanto, el rodamiento seleccionado que se observa en la Figura 37 garantiza un funcionamiento seguro y compatible con las condiciones requeridas durante la operación del sistema de cribado.



Figura 37. Rodamiento rígido de bolas SKF W 6003

■ **Pernos**

Para el dimensionamiento de los pernos se realiza el análisis de los esfuerzos a los que estarán sometidos durante la operación. Dado que la unión funciona como una articulación sometida a movimiento oscilatorio, se adopta una carga de diseño equivalente obtenida a partir del peso del conjunto, amplificada mediante un factor dinámico que considera los efectos de vibración propios del funcionamiento del sistema. La disposición de los pernos en la unión se presenta en la Figura 38.

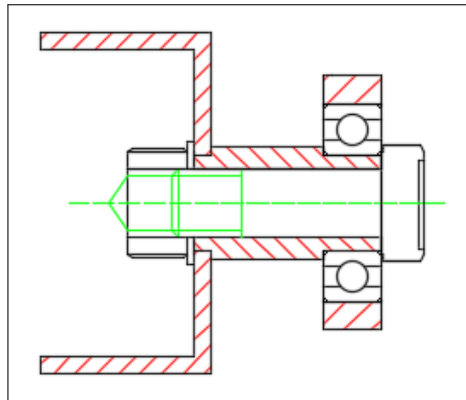


Figura 38. Disposición del perno.

Datos de entrada

- Número de sujeciones del sistema: $n_u = 4$
- Masa total considerada: $m = 105 \text{ kg}$
- Aceleración de la gravedad: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Factor dinámico adoptado: $K_d = 4$
- Material del perno: Acero Gr. 8.8

Propiedades mecánicas del perno Gr. 8.8

- Resistencia última a tracción: $S_u = 800 \text{ MPa}$
- Límite elástico: $S_y = 640 \text{ MPa}$

Cálculo

- Peso total del conjunto:

$$W = mg \quad (15)$$

- Carga de diseño equivalente:

$$F_d = K_d W \quad (16)$$

- Carga distribuida por sujeción:

$$F_u = \frac{F_d}{n_u} \quad (17)$$

- Área resistente del perno (vástago liso):

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (18)$$

- Esfuerzo cortante en el perno (doble cortante):

$$\tau = \frac{F_u}{2A} \quad (19)$$

- Resistencia a corte Shigley:

$$S_{sy} = 0.577 S_y$$

(20)

- Esfuerzo cortante admisible del perno:

$$\tau_{adm} = \frac{S_{sy}}{N} \quad (21)$$

Sustitución numérica

$$W = 105(9.81) = 1030.05 \text{ N}$$

$$F_d = 4(1030.05) = 4120.2 \text{ N}$$

$$F_u = \frac{4120.2}{4} = 1030.05 \text{ N}$$

- Resistencia a corte :

$$S_{sy} \approx 0.577(640) = 369 \text{ MPa}$$

Adoptando un factor de seguridad $N = 2$:

$$\tau_{adm} = \frac{(369)}{2} = 184.5 \text{ MPa}$$

Área requerida

$$A = \frac{F_d}{2\tau_{adm}} \quad (22)$$

$$A = \frac{1030.05}{2 \cdot 184.5 \times 10^6} = 5.582 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Diametro

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

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 5.582 \times 10^{-6}}{\pi}} = 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

El diámetro obtenido corresponde al valor mínimo teórico requerido desde el punto de vista resistente, considerando únicamente el esfuerzo cortante. Un perno de diámetro cercano al valor teórico calculado presentaría baja rigidez transversal, mayor susceptibilidad a deformaciones locales y posible incremento de juego en la unión durante la operación dinámica del sistema.

Por estas razones, y considerando que la unión forma parte de un conjunto vibratorio de aproximadamente 105 kg, se adopta un perno M12×60 mm de acero Grado 8.8, el cual proporciona un margen amplio de seguridad estructural, mayor robustez mecánica y mejor comportamiento frente a fenómenos de fatiga y desgaste, garantizando así la confiabilidad del sistema en servicio continuo.

b) Diseño de mecanismo de transmisión

El mecanismo de transmisión se encarga de llevar el movimiento del motor hasta la mesa de cribado para que el equipo pueda funcionar correctamente. En esta etapa, el mecanismo biela–manivela transforma el movimiento de giro del motor en un movimiento alternativo, lo que permite que la mesa de cribado oscile y se separen correctamente los granos de la vena.

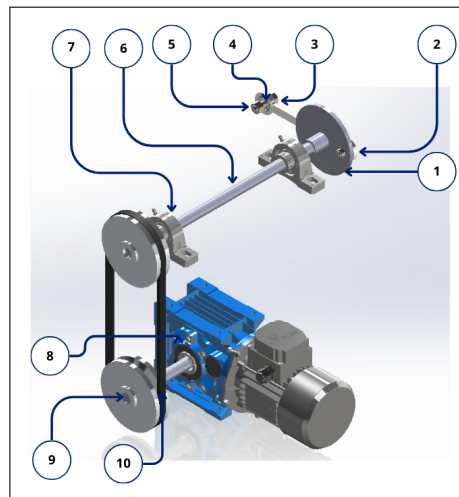


Figura 39. Partes mecanismo de transmisión.

Tabla 6. Partes del mecanismo de transmisión

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Manivela	1
2	Biela	1
3	Pernos	2
4	Rodamientos	2
5	Tuercas	2
6	Eje conducido	1
7	Chumaceras	2
8	Motor	1
9	Poleas	2
10	Banda de transmisión	1

En la Figura 39 se identifican los componentes que conforman el mecanismo de transmisión, los cuales se detallan en la Tabla 6. Con el fin de asegurar el funcionamiento adecuado del mecanismo de transmisión se desarrolla un análisis cinemático y dinámico del conjunto, los cuales nos permitirán realizar el dimensionamiento correcto de los componentes de este mecanismo y la selección del motor que es el encargado de generar el movimiento.

- Análisis cinemático

El análisis cinemático permite determinar el comportamiento del movimiento generado por el mecanismo de transmisión hacia la mesa de cribado. En la Figura 40 se muestra el esquema representativo del sistema y las principales variables consideradas.

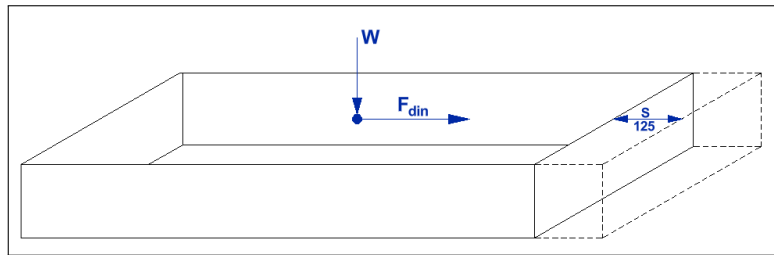


Figura 40. Diagrama analisis cinematico.

Para realizar el análisis cinemático y dinámico partimos de datos impuestos que se definieron a partir de comprobación manual de proceso, los cuales representan el comportamiento real del sistema durante su funcionamiento:

- **Frecuencia de operación:** $f = 1$ Hz

Se selecciona una frecuencia baja con el fin de generar un movimiento controlado de la mesa oscilatoria, permitiendo la separación progresiva de la vena central sin producir impactos ni deterioro del grano de cacao.

- **Carrera total del movimiento:** $S = 2e = 125$ mm

La carrera se define a partir de la excentricidad de la manivela y se adopta de manera que asegure una adecuada redistribución del material sobre la superficie de cribado.

- **Amplitud del movimiento:** $A = \frac{S}{2} = e = 62.5$ mm La amplitud corresponde al desplazamiento máximo de la mesa respecto a su posición media.

La velocidad angular del sistema se expresa como:

$$\omega = 2\pi f \quad (23)$$

$$\omega = 2\pi(1) = 6.283 \text{ rad/s}$$

La velocidad del sistema se obtiene derivando el desplazamiento con respecto al tiempo:

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = e\omega \cos(\omega t) \quad (24)$$

La velocidad máxima ocurre cuando el coseno toma el valor unitario, resultando:

$$v_{\text{máx}} = e\omega = 0.0625(6.283) = 0.3927 \text{ m/s}$$

La aceleración se determina derivando la expresión de la velocidad:

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = -e\omega^2 \sin(\omega t) \quad (25)$$

El valor máximo de aceleración se obtiene como:

$$a_{\text{máx}} = e\omega^2 = 0.0625(6.283)^2 = 2.47 \text{ m/s}^2$$

Estos valores constituyen la base para el cálculo de las fuerzas dinámicas y el posterior análisis estructural de los componentes del sistema de transmisión.

- Análisis dinámico

La fuerza dinámica máxima generada por el sistema se determina aplicando la segunda ley de Newton:

$$F_{\text{din}} = m a_{\text{máx}} \quad (26)$$

Donde:

$m = 105 \text{ kg}$: Masa equivalente del mecanismo de cribado.

$a_{\text{max}} = 2.47 \text{ m/s}^2$: Aceleración máxima

Reemplazando:

$$F_{\text{din}} = 105(2.47) = 259.4 \text{ N}$$

Se consideran pérdidas por fricción, irregularidad del material y transmisión, aplicando un factor del 30%:

$$F_{\text{din}} = 259.4 \cdot 1.3 = 337.22 \text{ N}$$

Esta fuerza representa la carga dinámica máxima transmitida desde la manivela hacia la biela, posteriormente se calcula el torque máximo T .

$$T = F_{\text{din}} e \quad (27)$$

$$T = 337.22(0.0625) = 21.076 \text{ N m}$$

A partir de los datos obtenidos del análisis cinemático y dinámico procedemos a realizar el dimensionamiento de los componentes del mecanismo de transmisión.

- **Manivela**

La manivela es el elemento encargado de transformar el movimiento rotacional continuo del eje principal en un movimiento alternativo que se transmite a la biela y, posteriormente, a la mesa de cribado. Su geometría y dimensiones principales se presentan en la Figura 41, las cuales definen la excentricidad del sistema y, por ende, las características cinemáticas del movimiento impuesto.

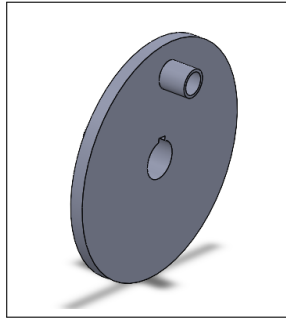


Figura 41. Manivela.

Partiendo de estos datos anteriormente expuestos, realizamos el dimensionamiento de la manivela, la misma que va a ser fabricada en acero AISI 1018 y sus propiedades se presentan en la Tabla 7:

Tabla 7. Propiedades mecánicas del acero AISI 1018

Propiedad	Valor
Densidad (ρ)	7870 kg/m ³
Módulo de elasticidad (E)	200 GPa
Límite elástico (σ_y)	370 MPa
Resistencia a la tracción (σ_u)	440 MPa

Dimensionamiento de la Manivela

Datos

- Carrera: $S = 2e = 125$ mm
- Radio de la manivela: $r = A = \frac{S}{2} = e = 62.5$ mm
- Fuerza dinámica: $F_{din} = 337.22N$
- Torque máximo: $T = 21.076$ N m

Tomando en cuenta recomendaciones de diseño para elementos con agujeros sometidos a una carga, se adopta un margen radial a dos veces el diámetro del pasador, más el diámetro constructivo mínimo, la relación se expresa de la siguiente manera [43]:

- Cálculo del diámetro

$$R_{\text{ext}} \geq r + 2d_p + 10 \text{ mm} \quad (28)$$

Si tomamos un pasador de $d_p = 12 \text{ mm}$

$$R_{\text{ext}} \geq 62.5 + 2(12) + 10 = 96.5 \text{ mm}$$

$$D \geq 96.5 \cdot 2 = 193 \text{ mm}$$

El resultado del cálculo para definir el diámetro del disco nos da un resultado de 193 mm pero para el diseño y su posterior construcción se opta por un diámetro de 195 mm.

- Dimensionamiento del espesor de la manivela

El espesor mínimo de la manivela se determina a partir del criterio de flexión para un disco con orificio central, considerando concentración de esfuerzos:

$$t \geq \frac{32K_tMD}{\pi \sigma_{adm}(D^4 - d^4)} \quad (29)$$

donde:

- t : espesor de la manivela [m]
- K_t : factor de concentración de esfuerzos = 5
- M : momento flector actuante [N · m] = 21.076 Nm
- D : diámetro exterior del disco [m] = 195mm
- d : diámetro del orificio central [m] = 20mm
- σ_{adm} : esfuerzo admisible [Pa] = 120MPa

Reemplazando

$$t = \frac{32 \cdot 5 \cdot 21.076 \cdot 0.195}{\pi \cdot 120 \times 10^6 (0.195^4 - 0.02^4)} = 0.0012 \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

El valor $t_{\min} = 1\text{mm}$ obtenido analíticamente corresponde a un modelo idealizado. Debido a la naturaleza cíclica de la carga, concentraciones de esfuerzo en orificios, y criterios de rigidez y fabricación, se adopta un espesor superior considerable. En consecuencia, se selecciona $t = 8\text{mm}$ para asegurar estabilidad y durabilidad.

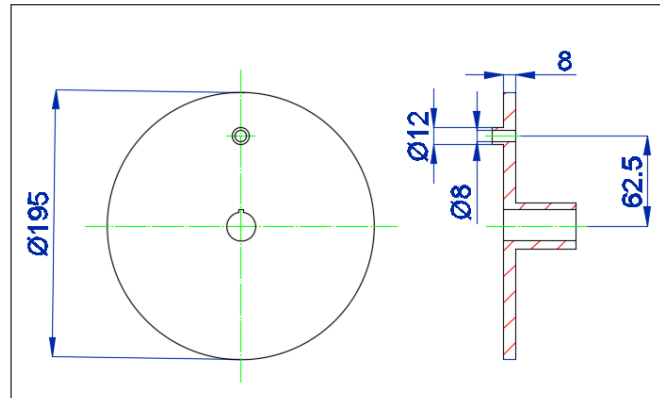


Figura 42. Dimensiones de la manivela.

Simulación y análisis de la manivela

La simulación permite evaluar de forma conjunta la distribución de esfuerzos equivalentes, la deformación total y el nivel de seguridad estructural de la manivela. Para ello, se aplican las condiciones de carga correspondientes a la fuerza y el torque actuantes, tal como se muestra en la Figura 43 (a). En la Figura 43 (b) se observa que las deformaciones obtenidas son reducidas con un valor máximo de 0.008mm , mientras que en la Figura 43 (c) se evidencia que los esfuerzos generados tienen un valor máximo de 21.618MPa por lo se mantienen por debajo del límite elástico del acero AISI 1018, cuyo valor es de 370MPa , dándonos un valor de factor de seguridad de 17.11 .

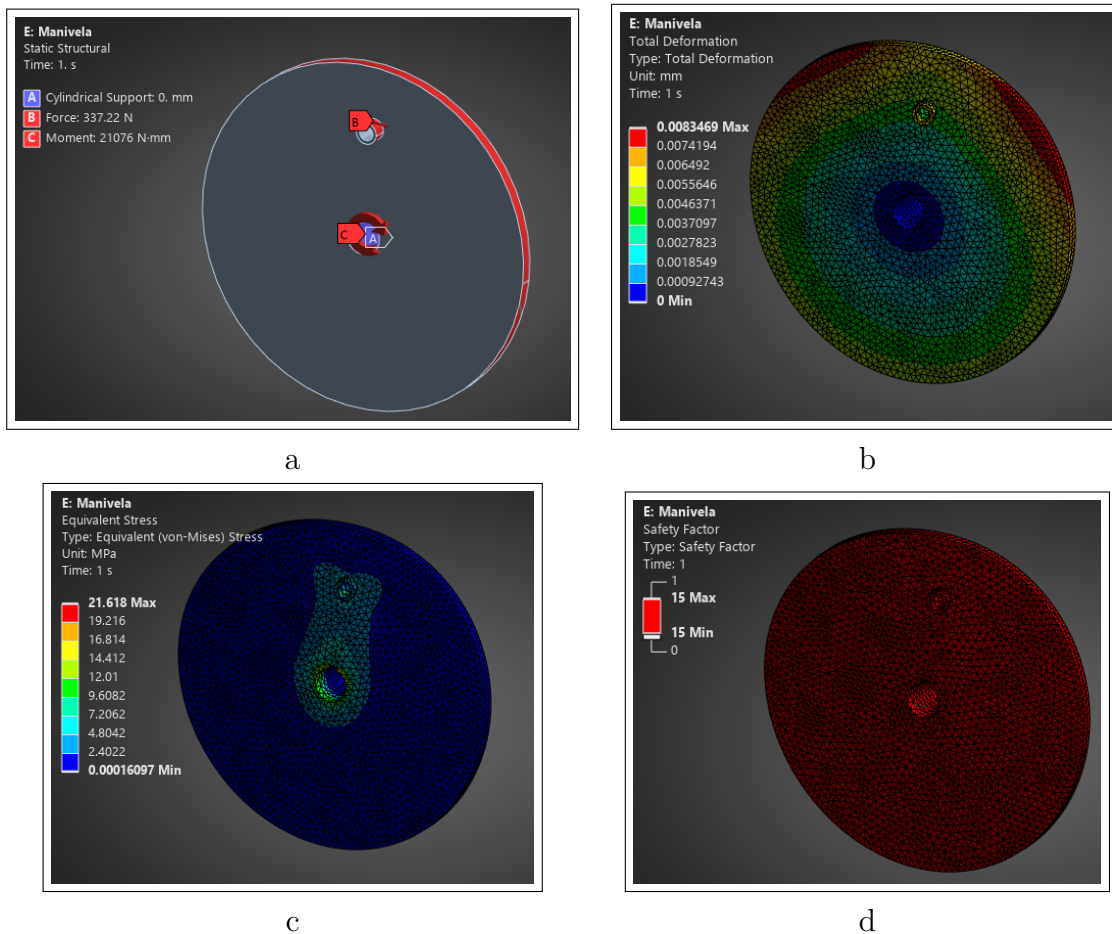


Figura 43. Simulación manivela.

■ **Biela principal**

La biela principal constituye el elemento fundamental del mecanismo biela–manivela, siendo la encargada de transmitir directamente el movimiento y la fuerza generados por la manivela hacia la mesa de cribado.

- La geometría de la biela principal se define en función de la configuración del mecanismo y de las condiciones de montaje mediante pasadores en sus extremos. Las dimensiones principales del componente se presentan en la Figura 44. Al igual que en las otras bielas, y debido a su facilidad de mecanización, se selecciona el acero AISI 1018 como material de construcción.

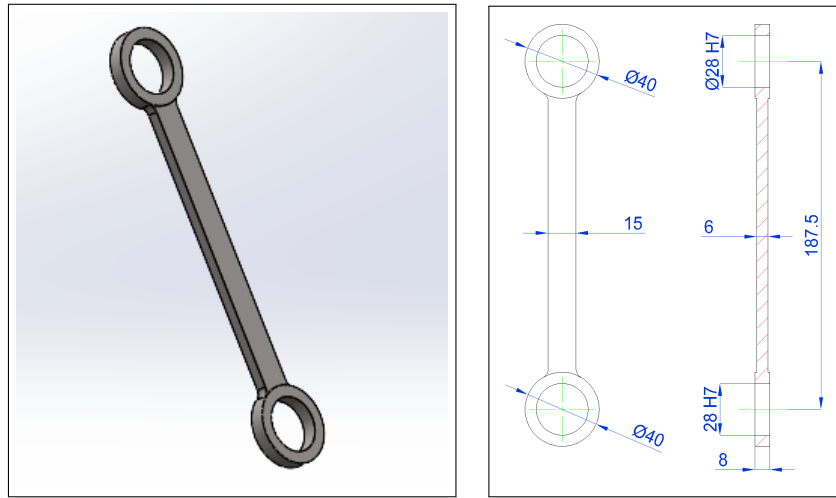


Figura 44. Dimensiones de la biela principal.

Simulación y análisis de la biela principal

A partir del análisis dinámico del mecanismo se adopta como carga de diseño la fuerza máxima transmitida hacia la biela de $F_d = 337.22$ N. Se aplica esta carga en el extremo de la biela, y se simula la deformación y los esfuerzos en el componente, los cuales se presentan en la Figura 45 distribuida sobre la superficie cilíndrica interna del alojamiento, evitando concentraciones artificiales por aplicación puntual de fuerza.

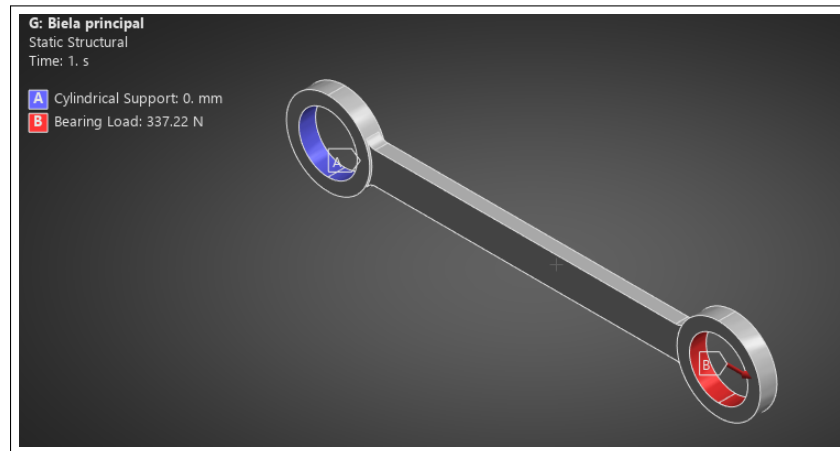


Figura 45. DCL del eje conducido.

Los resultados del análisis por elementos finitos, Figura 46 muestran que la biela principal presenta una deformación máxima de 0.0063 mm, concentrada en el extremo donde se aplica la carga, mientras que el esfuerzo equivalente máximo alcanza un valor

aproximado de 30.603 MPa. Estos valores se encuentran por debajo del límite elástico del acero AISI 1018 equivalente a 370 MPa, lo que indica que el componente trabaja dentro de un régimen elástico y seguro. En consecuencia, su factor de seguridad es igual a 12.09, demostrando que la geometría y el material seleccionados garantizan un comportamiento estructural adecuado bajo la carga de diseño.

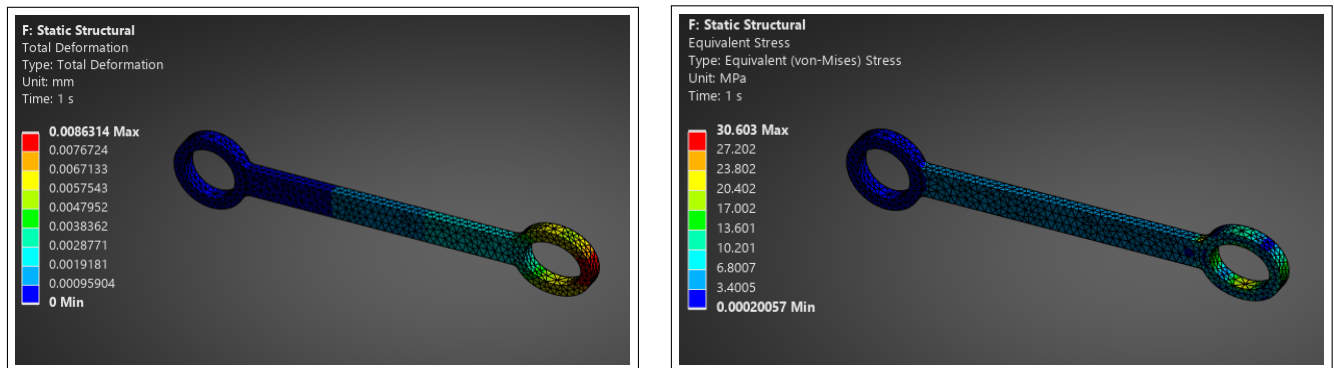


Figura 46. Simulación biela principal.

■ **Pernos**

Para la selección de los pernos para el sistema biela - Manivela consideramos la $F_{dim} = 337.22$ N, analizamos la resistencia a la tracción.

Datos de entrada

- Perno trabaja en doble cortante.
- $F_{dim} = 337.22$ N
- Factor dinámico adoptado: $K_d = 4$
- Material del perno: Acero Gr. 8.8

Propiedades mecánicas del perno Gr. 8.8

- Resistencia última a tracción: $S_u = 800$ MPa
- Límite elástico: $S_y = 640$ MPa

La fuerza de diseño equivale a:

$$F_d = K_d \cdot F_{dim} \tag{30}$$

$$F_d = 4 \cdot 337.22 = 1348.88 \text{ N}$$

- Resistencia a corte aproximada (Shigley):

$$S_{sy} \approx 0.577S_y \quad (31)$$

$$S_{sy} \approx 0.577(640) = 369 \text{ MPa}$$

- Adoptando un factor de seguridad $N = 2$:

$$\tau_{adm} = \frac{(369)}{2} = 184.5 \text{ MPa} \quad (32)$$

Área requerida

$$A = \frac{F_d}{2\tau_{adm}} \quad (33)$$

$$A = \frac{1348.88}{2 \cdot 184.5 \times 10^6} = 3.655 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Diametro

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (34)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 3.655 \times 10^{-6}}{\pi}} = 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

Verificación por aplastamiento (bearing)

El esfuerzo de aplastamiento (bearing) en la oreja se determina mediante:

$$\sigma_b = \frac{F_d}{dt} \quad (35)$$

donde F_d es la fuerza de diseño, d el diámetro del perno y t el espesor de la oreja. Se adopta un espesor de oreja de $t = 8 \text{ mm}$.

Para un perno M8 ($d = 8$ mm), se obtiene:

$$\sigma_b = \frac{1348.88}{0.008 \cdot 0.008} = 21.08 \text{ MPa}$$

El esfuerzo admisible a compresión localizada se calcula con un factor de seguridad $N = 2$ respecto al límite elástico del material:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{N} \quad (36)$$

Considerando acero grado 8.8 ($S_y = 640$ MPa):

$$\sigma_{adm} = \frac{640}{2} = 320 \text{ MPa} \quad (37)$$

Finalmente, se verifica la condición:

$$\sigma_b = 21.08 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 320 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, la unión cumple el criterio de aplastamiento, y el diseño no se encuentra gobernado por presión de contacto. En base a los resultados se seleccionan dos pernos, el primero es un M8x25 mm y un perno M12x40 de Acero Gr. 8.8 cumpliendo así con los criterios de resistencia considerados.

▪ Rodamientos

Se seleccionan los rodamientos que se emplearán en la biela principal del sistema biela-manivela. Estos se encuentran sometidos a la carga dinámica calculada previamente, la cual se multiplica por un factor de servicio $K_s = 2$, obteniéndose una carga de diseño de $F = 674.44$ N. Para esta condición, se requiere un rodamiento con un diámetro interior de 12 mm.

En función de estos criterios, se selecciona un rodamiento rígido de bolas SKF tipo **W 6001**, el cual cumple con la capacidad de carga requerida y con los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de transmisión.

▪ Eje conducido

El eje conducido transmite el movimiento rotacional hacia la manivela del mecanismo biela–manivela. Para su dimensionamiento se consideran las solicitaciones de *flexión* producidas por la fuerza dinámica de la manivela y la *torsión* asociada al par requerida para generar el movimiento alternativo.

Diagrama de cuerpo libre y cálculo de reacciones

Con el fin de determinar las cargas transmitidas a los apoyos del eje principal, se realiza el análisis estático. La Figura 47 muestra el diagrama de cuerpo libre del eje, donde se identifican las reacciones en los rodamientos R_A y R_B , la fuerza dinámica F_{din} aplicada en la manivela, así como las distancias características del sistema.

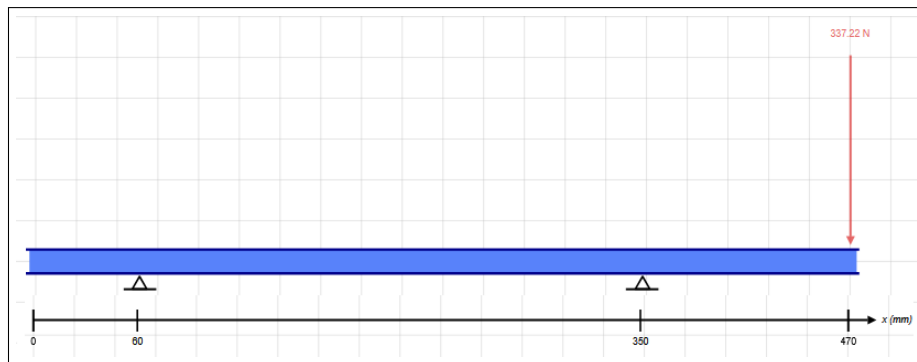


Figura 47. DCL del eje conducido.

A partir del diagrama de cuerpo libre, se plantean las ecuaciones de equilibrio estático. Tomando momentos respecto al apoyo A :

$$\sum M_A = 0 \quad (38)$$

$$\sum M_A = R_B \cdot d_1 - F_{\text{din}} \cdot d_2$$

$$R_B = F_{\text{din}} \frac{d_2}{d_1}$$

$$R_B = 337.22 \cdot \frac{0.41}{0.29} = 476.759 \text{ N}$$

Asimismo, se realiza una sumatoria de fuerzas:

$$\sum F = 0 \quad (39)$$

$$\sum F = R_A + R_B - F_{\text{din}}$$

$$R_A + 476.759 - 337.22 = 0$$

$$R_A = -139.54 \text{ N}$$

Una vez determinadas las reacciones en los apoyos del eje, se procede a la construcción de los diagramas de fuerza cortante y momento flector, estos resultados se presenta en la Figura 48.

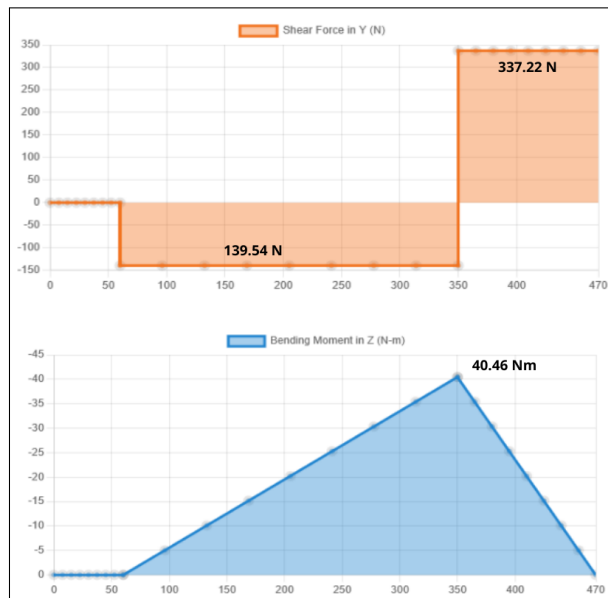


Figura 48. Diagramas de corte y momento del eje.

A partir del diagrama de momento flector se identifica el valor máximo del momento, el cual equivale a 40.46 Nm .

Dimensionamiento del eje por esfuerzos

Una vez identificado el momento flector máximo, se procede a determinar las sollicitaciones actuantes sobre el eje principal. En particular, el eje se encuentra sometido

simultáneamente a esfuerzos de flexión, generados por la fuerza transmitida por la manivela, y a esfuerzos de torsión asociados al torque que produce la fuerza dinamica. Para un eje macizo circular, los esfuerzos máximos por flexión y torsión se expresan como:

$$\sigma = \frac{32M_{\text{máx}}}{\pi d^3}, \quad \tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (40)$$

Aplicando el criterio de Von Mises:

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{\text{adm}} \quad (41)$$

De forma directa, el diámetro mínimo se obtiene como:

$$d_{\text{mín}} = \left[\frac{\sqrt{(32M_{\text{máx}})^2 + 3(16T)^2}}{\pi \sigma_{\text{adm}}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (42)$$

Para el diseño se emplea acero AISI 1018 con esfuerzo de fluencia $\sigma_y = 370$ MPa. Adoptando un factor de seguridad $FS = 2$, el esfuerzo admisible se calcula como:

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_y}{FS} = \frac{370}{2} = 185 \text{ MPa} \quad (43)$$

Sustituyendo :

$$d_{\text{mín}} = \left[\frac{\sqrt{(32 \cdot 40.46)^2 + 3(16 \cdot 21.076)^2}}{\pi(185)} \right]^{\frac{1}{3}} \approx 0.01346 \text{ m}$$

El diámetro mínimo obtenido por criterio resistente es $d_{\text{mín}} \approx 13.46$ mm. No obstante, en un mecanismo oscilatorio resulta prioritario limitar deflexiones y vibraciones del eje, por lo que se adopta un diámetro superior al mínimo calculado. En consecuencia, se selecciona un diámetro comercial de:

$$d = 20 \text{ mm}$$

Comprobación el esfuerzo de Von Mises utilizando la ecuación 41:

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{51.51^2 + 3(13.41)^2} = 56.504 \text{ MPa}$$

- **Chumaceras**

Selección de chumaceras

A partir del análisis estático del eje se obtienen las reacciones en los apoyos:

$$R_A = 139.54 \text{ N}, \quad R_B = 476.759 \text{ N} \quad (44)$$

Debido a que la sollicitación es predominantemente radial, se adopta como condición de diseño la mayor reacción. Considerando además un factor de servicio conservador $K_s = 2$, la carga equivalente de diseño se estima como:

$$P_d = K_s R_B = 2(476.759) = 953.5 \text{ N} \quad (45)$$

En consecuencia, para un eje de diámetro $d = 20 \text{ mm}$, se selecciona la chumacera SKF tipo pedestal **SY 20 TF**, la misma que se puede observar en la Figura 49. De acuerdo con catálogo SKF, esta unidad presenta una capacidad de carga dinámica $C = 12.7 \text{ kN}$ y capacidad estática $C_0 = 6.55 \text{ kN}$, valores ampliamente superiores a la carga equivalente de diseño ($P_d \approx 0.95 \text{ kN}$). Por lo tanto, la chumacera seleccionada garantiza un soporte seguro y robusto del eje durante la operación del mecanismo.

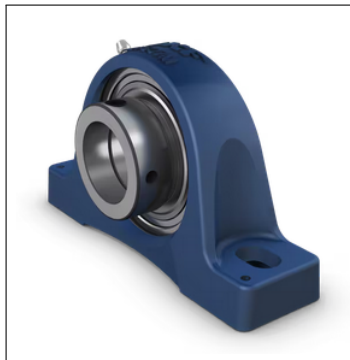


Figura 49. Chumacera SKF SY 20 TF.

- **Motor**

Con base en los requerimientos de velocidad y par previamente definidos para el eje principal, se selecciona un conjunto motomotorreductor como fuente de accionamiento del sistema. Los motores eléctricos de inducción de uso industrial operan típicamente a velocidades nominales del orden de 1750 rpm, valor muy superior a la velocidad de

operación requerida por el mecanismo oscilatorio. En consecuencia, se incorpora una reducción integrada que permite disminuir la velocidad del motor hasta un valor cercano a 60 rpm, adecuado para el correcto funcionamiento del sistema.

Datos de entrada

Los parámetros necesarios para la selección del motoreductor se resumen a continuación, obtenidos de los análisis previos del mecanismo:

- Torque requerido en el eje principal: $T_{\text{eje}} = 21.076 \text{ N m}$
- Factor de servicio: $K_s = 2$
- Velocidad angular: $\omega = 6.283 \text{ rad/s}$

Torque de diseño y potencia requerida

El torque de diseño se determina como:

$$T_d = K_s T_{\text{eje}} = 2(21.076) = 42.15 \text{ N m} \quad (46)$$

Por lo tanto, la potencia mecánica requerida en el eje de salida del sistema es:

$$P_{\text{eje}} = T_d \omega = 42.15(6.283) = 264.8 \text{ W} \quad (47)$$

La potencia de diseño obtenida de 0.2648 kW no se ajusta a una potencia comercial; por esta razón, se selecciona un motoreductor 0.37 kW (0.5 HP) correspondiente a una potencia normalizada, permitiendo una operación confiable bajo condiciones de trabajo continuo. El motor seleccionado tiene las siguientes características técnicas que se detallan en la Tabla 8 y se presenta en la Figura 50.

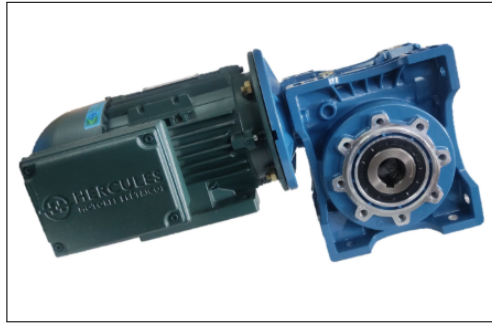


Figura 50. Motorreductor HERCULES 0.5HP 60rpm.

Tabla 8. Características del motorreductor seleccionado

Parámetro	Valor
Tipo de equipo	Motorreductor eléctrico
Potencia nominal	0.5 HP
Frecuencia eléctrica	60 HZ
Velocidad nominal del motor	1750 rpm
Relación de reducción	$i = 30:1$
Velocidad de salida	60 rpm
Torque de operación	46 N · m

■ Poleas

Para permitir una adecuada disposición del conjunto y reubicar el motor respecto al eje del mecanismo biela–manivela, se incorpora un sistema de transmisión por poleas y correa. Dado que el motorreductor seleccionado entrega directamente la velocidad requerida de operación, esta etapa no tiene como objetivo modificar la velocidad de rotación, por lo que se adopta una relación de transmisión unitaria, expresada como:

$$i = \frac{n_{in}}{n_{out}} = \frac{D_2}{D_1} = 1 \quad (48)$$

En consecuencia, se seleccionan poleas de igual diámetro:

- Poleas: $D_1 = 127 \text{ mm} = D_2$

■ **Banda de transmisión**

Para la transmisión de potencia entre las poleas se emplea una correa trapezoidal, seleccionándose una correa de sección tipo A, debido a su adecuada capacidad de transmisión de torque, disponibilidad comercial y facilidad de montaje en aplicaciones de potencia moderada.

La longitud de la correa se determina a partir de la geometría del sistema de poleas y de la distancia entre centros, de acuerdo con el esquema mostrado en la Figura 51.

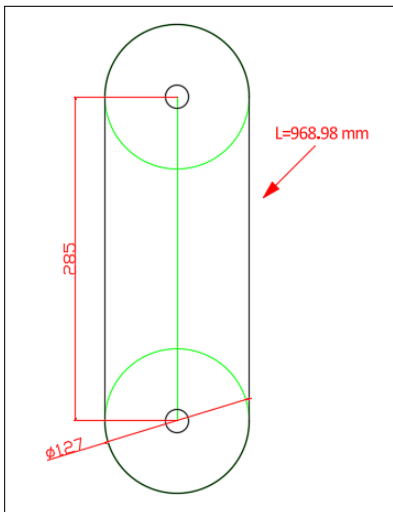


Figura 51. Longitud de la banda de transmisión.

A partir de dicho diagrama se obtiene una longitud aproximada de:

$$L = 968.98 \text{ mm}$$

c) Diseño del mecanismo de limpieza

El mecanismo de limpieza se dispone de tal manera que, mediante el desplazamiento longitudinal de un eje, se acciona una lona de caucho que actúa como barrera móvil para el arrastre y remoción de los residuos acumulados sobre la superficie de cribado. Este movimiento permite despejar el área de trabajo y mantener condiciones adecuadas de operación durante el proceso de desvenado.

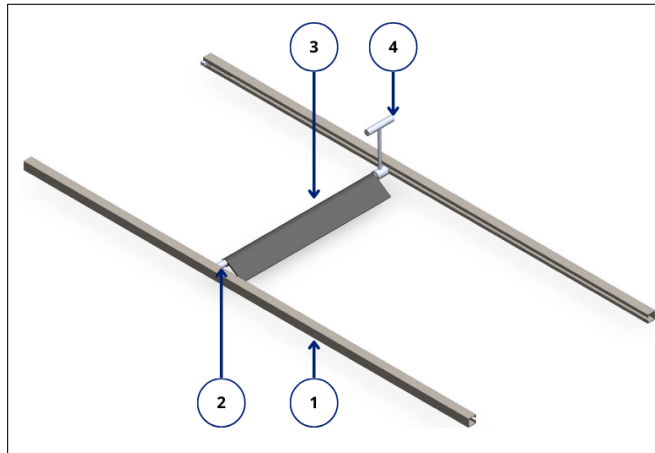


Figura 52. Partes mecanismo de limpieza.

Tabla 9. Partes del mecanismo de limpieza

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Riel corredera	2
2	Eje de limpieza	1
3	Lona	1
4	Manija	1

En la Figura 52 se identifican los componentes que conforman el sistema de limpieza, los cuales se detallan en la Tabla 9. El eje, la manija y la lona de caucho constituyen los elementos principales del mecanismo, permitiendo la remoción controlada de los residuos sin interferir con el funcionamiento del mecanismo de cribado.

■ **Riel corredera**

En la desvenadora de cacao, el riel corredera guía el desplazamiento lineal del mecanismo de limpieza, asegurando un movimiento estable, alineado y de baja fricción sobre la mesa de cribado.

Selección de la riel

Dimensiones

- Largo total de la mesa: $L = 1.80$ m

- Ancho $B = 0.60$ m

En base al dimensionamiento de la mesa de cribado se adoptan dos rieles laterales con longitud comercial seleccionada de:

$$L_r = 1.70 \text{ m} \quad (49)$$

Se seleccionan guías lineales comerciales tipo riel-patín X-Rail fabricadas en acero inoxidable AISI 316L, debido a su adecuada rigidez estructural, correcta alineación geométrica y bajo coeficiente de fricción, lo que las hace idóneas para aplicaciones con movimiento repetitivo y vibración moderada. El uso de acero inoxidable AISI 316L garantiza resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y cumplimiento de los requisitos de grado alimenticio en zonas de contacto directo o indirecto con el cacao.



Figura 53. Riel corredera X-Rail

En la Figura 53 se identifica la riel corredera la misma permite el desplazamiento lineal guiado del sistema de limpieza, asegurando un movimiento recto y estable del eje de limpieza durante la operación.

▪ Eje de limpieza

El eje de limpieza actúa como elemento transversal de soporte del limpiador flexible (lona), permitiendo arrastrar residuos livianos acumulados sobre la malla sin afectar el grano de cacao. No transmite potencia; su sollicitación principal es por rigidez a flexión y esfuerzos por fricción durante el barrido.

Selección del eje

Dimensiones

- Ancho de la mesa de cribado: $B = 0.60$ m

Para cubrir el ancho útil de la mesa permitir fijación lateral sobre las rieles, se define:

$$L_e = 0.59 \text{ m} \quad (50)$$

Se considera holguras y las zonas de sujeción en ambos extremos. Adoptando un diámetro normalizado:

$$d_e = 20 \text{ mm} \quad (51)$$

En la Figura 54 se observa un eje de Acero inoxidable AISI 304, seleccionado por resistencia a la corrosión, su disponibilidad y control dimensional usando comunmente en las industrias alimentarias.



Figura 54. Eje Inoxidable AISI 304

▪ Lona

La lona es encargada de barrer las venas que quedan retenidas sobre la malla después del cribado, evitando su acumulación y manteniendo limpia la superficie de separación. Su flexibilidad permite un contacto controlado con la malla.

Selección de lona

Dimensiones.

En función del ancho del eje en donde va estar sujeta se define el ancho de la lona:

$$L_L = 0.59 \text{ m} \quad (52)$$

para cubrir completamente el ancho útil (0.60 m) con un margen de 0.05 m por lado. Considerando la altura de cama de material $h = 0.08 \text{ m}$, se define una altura total de lona de:

$$H_L = 0.080 \text{ m} \quad (53)$$

Para incrementar la vida útil frente al barrido de venas, el espesor seleccionado es:

$$t_L = 1 \text{ cm} \quad (54)$$

Considerando que la lona mostrada en la Figura 55 debe barrer las venas y fibras sobre la malla, se selecciona caucho SBR en rollo, debido a su elevada resistencia a la abrasión, al desgarro y a la fatiga por flexión, además de ser de fácil limpieza y adecuada para ambientes húmedos. El uso de material comercial garantiza uniformidad de espesor y disponibilidad de reposición.



Figura 55. Lona de caucho SBR

■ Manija de limpieza

En la Figura 56 se observa el las dimesiones para el diseño de la manija la misma que permite al operador desplazar manualmente el mecanismo de limpieza a lo largo del recorrido completo, aplicando una fuerza de empuje/jalón controlada.

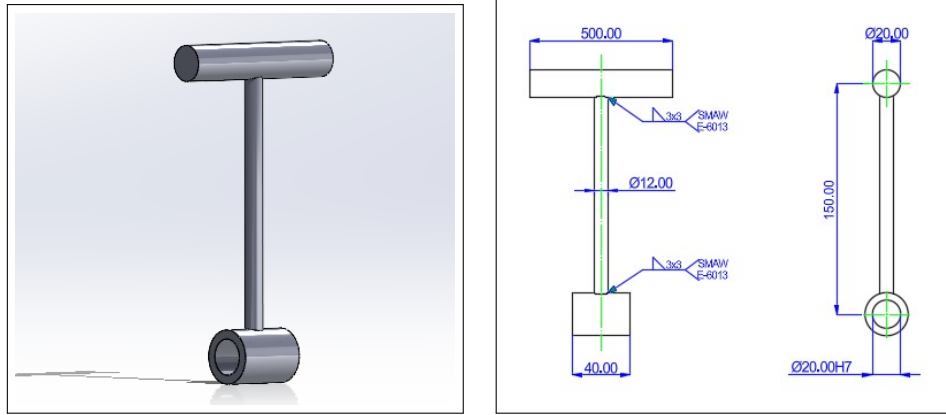


Figura 56. Dimensiones de la manija de limpieza

Selección de la manija

Dimensiones

Para garantizar una operación cómoda y sin interferencia con la cama de material $h = 0.08$ m, se adopta:

- Brazo de palanca: 150 mm
- Diámetro del eje/manija: $\text{Ø}12$ mm
- Empuñadura superior: longitud 500 mm
- Empuñadura inferior: longitud 40 mm
- Diámetro de los alojamientos extremos: $\text{Ø}20$ mm
- Distancia entre centros de los alojamientos: 150 mm

Estas dimensiones permiten al operador accionar el mecanismo sin contacto con el producto y sin colisión con la estructura, se selecciona un material de acero AISI 1018 por su facilidad para mecanizado y con soldadura.

■ **B: Subsistema de soporte y descarga**

El subsistema de soporte y descarga tiene como función recibir y contener las almendras de cacao separadas, facilitando su almacenamiento temporal y su posterior manejo. Este subsistema está conformado principalmente por la estructura de soporte, las tolvas de recolección y el sistema de agarre de sacos, elementos que permiten dirigir el material de forma controlada. Su diseño considera la estabilidad estructural y la facilidad de descarga, contribuyendo al orden y eficiencia del proceso sin interferir con la operación del subsistema de separación, como se muestra en la Figura 57.

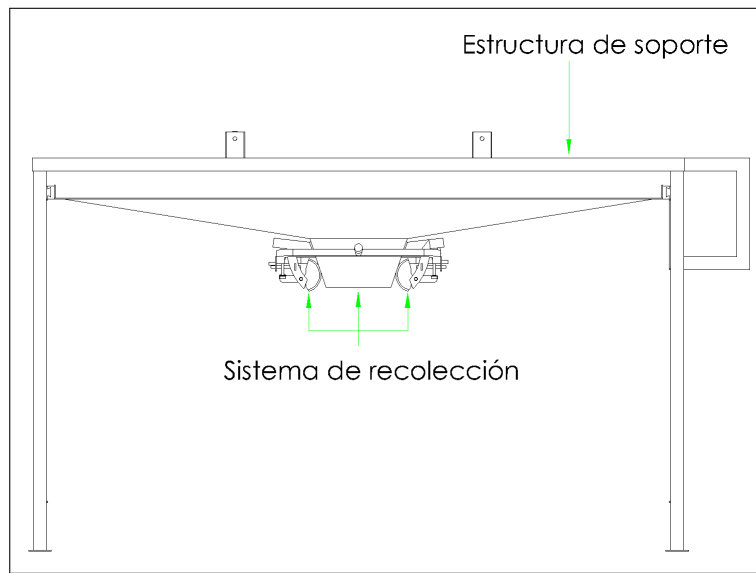


Figura 57. Componentes del subsistema 2.

a) Sistema de recolección

En la Figura 58 se observa el mecanismo el mismo que tiene como función la captación, guiado y recolección del material una vez finalizado el proceso de cribado. Tras la separación de los granos de cacao de la vena central, el material es conducido hacia tolvas cuya geometría favorece un flujo uniforme y controlado. En la Tabla 10 se describen los componentes de este sistema.

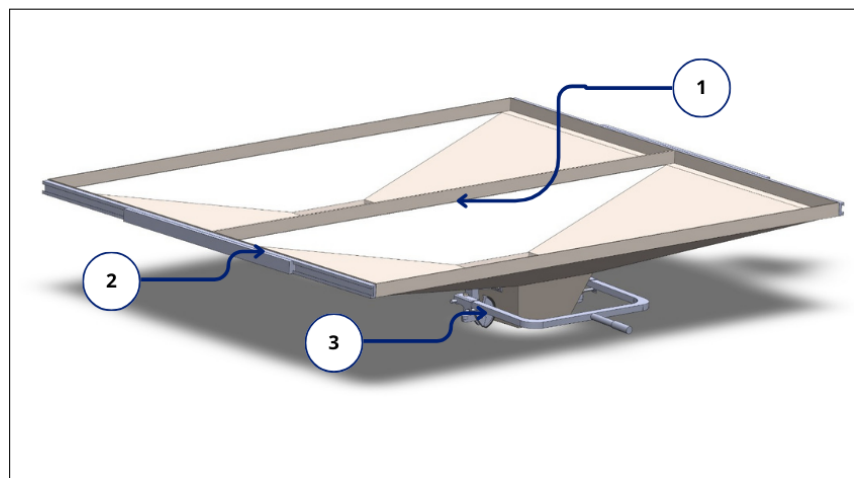


Figura 58. Sistema de recolección.

Tabla 10. Partes del sistema de recolección

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Tolvas	2
2	Elemento de agarre	2
3	Rieles	2

■ **Tolvas**

Las tolvas de recolección cumplen la función de recibir y conducir el cacao separado durante el proceso de cribado hacia el sistema de ensacado. Estos elementos no participan en la transmisión de cargas mecánicas del sistema, por lo que su diseño no se rige por criterios estructurales, sino por aspectos funcionales, geométricos y de operación.

El dimensionamiento de las tolvas se realiza tomando como referencia las dimensiones de la mesa de soporte, de manera que se integren adecuadamente al conjunto sin interferir con el movimiento oscilatorio. Adicionalmente, se consideran criterios ergonómicos, particularmente la altura de trabajo, con el fin de facilitar las tareas de recolección y manipulación del producto por parte del operador.

Criterios de diseño

- **Material:** Debido al contacto directo con el cacao, se selecciona acero inoxidable *AISI 304* como material de fabricación, por sus propiedades higiénicas, resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza. El espesor adoptado es de 2 mm , consistente con el utilizado en la mesa de cribado, lo que simplifica los materiales de fabricación y asegura uniformidad en los componentes del sistema.
- **Geometría:** La geometría de las tolvas se define de manera que permita un flujo continuo del material, evitando acumulaciones y facilitando su descarga. La configuración geométrica seleccionada se presenta en la Figura 59.

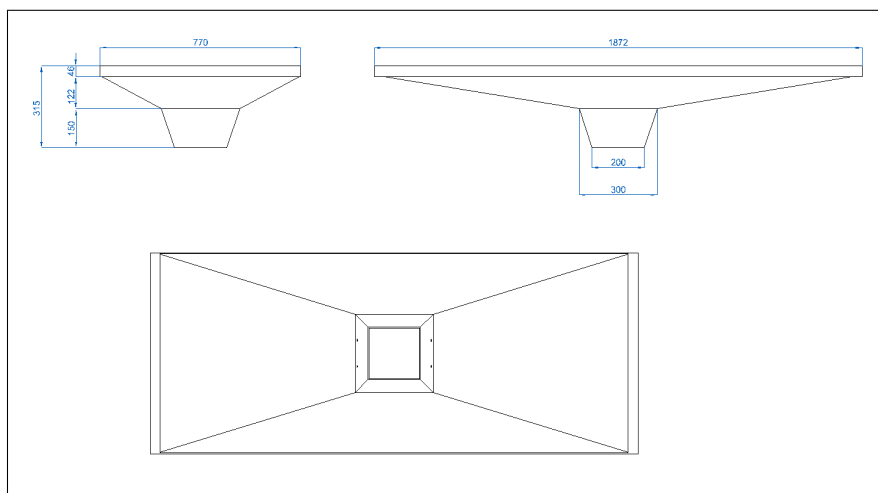
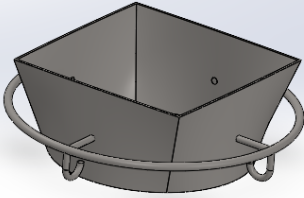




Figura 59. Dimensiones y geometría de la tolva.

■ **Elemento de agarre**

El elemento de agarre fue definida tras la evaluación de tres alternativas de diseño, se considero como criterio fundamental que el sistema no genere daños en el costal durante el proceso de ensacado, en la siguiente Tabla 11 se puede observar las alternativas:

Tabla 11. Alternativas de sujeción del saco para ensacado

Propuesta 1 Agarre de saco por ganchos	Propuesta 2 Agarre de saco por pinzas	Propuesta 3 Agarre de sacos por mordazas laterales
		
<p>- Funcionamiento: La primera alternativa consiste en un sistema de agarre mediante ganchos distribuidos de manera uniforme alrededor de la salida de la tolva.</p>	<p>- Funcionamiento: Este sistema de agarre por pinzas envuelve completamente la zona superior del saco, proporcionando una sujeción continua a lo largo de su borde.</p>	<p>- Funcionamiento: El sistema de agarre por mordazas funciona mediante la presión ejercida por dos elementos mecánicos opuestos que sujetan el borde superior del saco.</p>

A su vez, se elabora la Tabla 12, correspondiente a la matriz de ponderación de las alternativas de sujeción para las tolvas, en la cual se emplea una escala de evaluación de 1 a 5, donde 5 representa el nivel máximo de desempeño y 1 el nivel mínimo, con el fin de seleccionar la opción más adecuada para el sistema propuesto.

Tabla 12. Matriz de ponderación para la selección del elemento de agarre de sacos

Criterio	Peso (%)	Ganchos	Pinzas	Mordazas
Seguridad de sujeción	25	3	4	5
Control de derrames	20	2	4	5
Facilidad de operación	20	4	3	4
Adaptación a sacos	15	3	3	4
Costo de fabricación	10	5	3	3
Mantenimiento y durabilidad	10	4	3	4
Puntaje ponderado	100	3.10	3.55	4.45

En función de los resultados obtenidos en la matriz de ponderación, el sistema de sujeción mediante mordazas laterales presenta el mayor puntaje global de 4.45, por lo que se selecciona como la alternativa más adecuada para el sistema de recolección propuesto.

- **Rieles**

Las tolvas ubicadas bajo la mesa de cribado permiten la recolección y descarga controlada de los granos de cacao. Para asegurar operación continua, el sistema contempla dos tolvas: mientras una se encuentra en llenado, la segunda permanece en espera para ser intercambiada. En este contexto, los rieles de deslizamiento tienen la función de guiar el movimiento longitudinal de las tolvas, mantener su alineación durante la extracción e inserción, y soportar las cargas asociadas al proceso sin atascamientos.

Condiciones geométricas de integración

La estructura dispone de un ancho interno de $B_{est} = 785$ mm, mientras que cada tolva posee un ancho de $B_{tol} = 770$ mm. En consecuencia, se cuenta con una holgura total de:

$$\Delta B = B_{\text{est}} - B_{\text{tol}} = 785 - 770 = 15 \text{ mm} \quad (55)$$

equivalente a aproximadamente 7.5 mm por lado, valor que resulta adecuado para el guiado y para compensar tolerancias de fabricación y posibles acumulaciones de residuos. En dirección longitudinal, la estructura posee $L_{\text{est}} = 2200$ mm y la tolva $L_{\text{tol}} = 1872$ mm, generando un margen disponible de:

$$\Delta L = L_{\text{est}} - L_{\text{tol}} = 2200 - 1872 = 328 \text{ mm} \quad (56)$$

espacio que se utiliza para zonas de maniobra, topes mecánicos y seguridad durante la extracción y la descarga.

Selección de guía

Se seleccionan guías tipo **cola de milano** fabricadas en acero inoxidable **AISI 316L**, debido a su elevada rigidez, estabilidad geométrica y facilidad de limpieza, características requeridas en equipos asociados al procesamiento de cacao. Este tipo de guía ofrece buen control lateral y resistencia al desgaste, manteniendo un desplazamiento lineal estable aun ante operación repetitiva.

Carga de diseño

El peso total del sistema de tolvas es $m_T = 88$ kg y el peso del saco lleno de cacao es $m_S = 51.75$ kg. Dado que se emplean dos tolvas, se considera de forma conservadora que cada tolva representa la mitad de la masa total:

$$m_{\text{tolva}} = \frac{m_T}{2} = \frac{88}{2} = 44 \text{ kg} \quad (57)$$

El caso crítico corresponde a una tolva en operación con el saco lleno, por lo que la masa máxima a soportar es:

$$m_{\text{máx}} = m_{\text{tolva}} + m_S = 44 + 51.75 = 95.75 \text{ kg} \quad (58)$$

Para contemplar operación continua, manipulación y vibración moderada, se adopta un

factor dinámico $F_d = 1.5$, obteniendo la carga de diseño:

$$W_d = F_d m_{\text{máx}} g = 1.5(95.75)(9.81) \approx 1409 \text{ N} \quad (59)$$

Asumiendo distribución simétrica en dos rieles, la carga por riel resulta:

$$W_{\text{riel}} = \frac{W_d}{2} \approx 704.5 \text{ N} \quad (60)$$

Criterio dimensional de la riel

Con el fin de asegurar rigidez y evitar deformaciones que generen atascamientos, se recomienda una sección base de guía del orden de $30 \times 20 \text{ mm}$, con ángulo típico de cola de milano (60°) y longitud de apoyo del carro no menor a 120 mm , lo cual incrementa la estabilidad durante el desplazamiento longitudinal de tolvas de $L_{\text{tol}} = 1872 \text{ mm}$.

b) Diseño de la Estructura de soporte

La estructura de soporte tiene como función integrar y sostener los distintos componentes del sistema, garantizando estabilidad durante la operación y una altura de trabajo adecuada para el operador. Su diseño se basa en criterios de disponibilidad comercial, facilidad de fabricación y resistencia estructural.

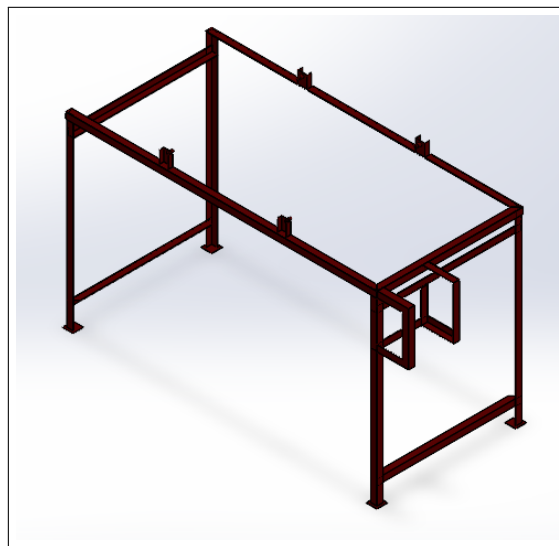


Figura 60. Estructura de soporte.

- **Perfiles estructurales:** la estructura se construye principalmente con ángulos L de 40×40×4 mm fabricados en acero estructural A36, material ampliamente utilizado en aplicaciones estructurales debido a su adecuada resistencia mecánica, buena soldabilidad y comportamiento confiable bajo cargas estáticas y dinámicas moderadas.
- **Soporte de la mesa de cribado:** para los apoyos superiores se emplean canales U de 60×30×3 mm, también en acero A36, en los cuales se soportara a la mesa de cribado.
- **Configuración geométrica:** la disposición de los perfiles responde a las dimensiones de la mesa de cribado y a criterios ergonómicos, definiendo una altura total de trabajo que facilita la operación y el mantenimiento del equipo. Las dimensiones generales de la estructura son 2.20×0.785×1.26 m, las cuales se muestran con mayor detalle en la Figura 61.

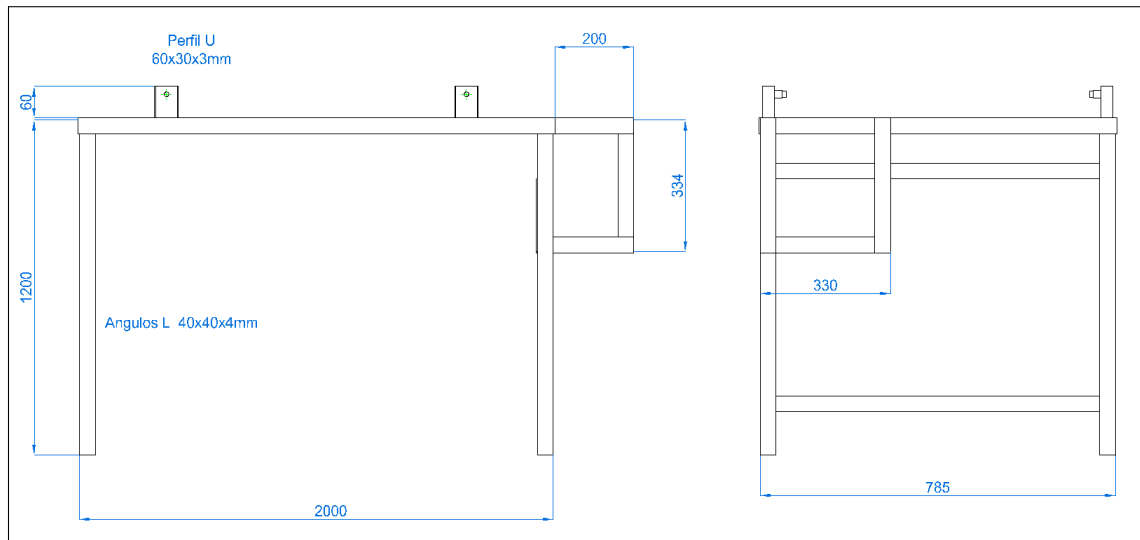


Figura 61. Dimensiones estructura de soporte.

Simulación y análisis de la estructura soporte

Con el objetivo de verificar el comportamiento estructural de la estructura de soporte, se realiza un análisis mediante el método de elementos finitos, considerando las cargas generadas durante la operación del sistema. En este análisis se toman en cuenta el peso del mecanismo de cribado junto con el material a procesar que equivale 105 kg, así

como el peso del sistema de recolección equivalente a 98.94 kg, los cuales representan las principales sollicitaciones que actúan sobre la estructura.

Datos

- **Carga operativa del mecanismo de cribado**

$$F = m \cdot a \quad (61)$$

Donde:

- F es la fuerza equivalente aplicada en la simulación [N],
- m es la masa considerada [kg],
- g es la aceleración de la gravedad, tomada como 9.81 m/s^2 .

$$F_T = 105 \cdot 9.81 = 1030.05 \text{ N}$$

Dado que el mecanismo de cribado se encuentra apoyado en cuatro puntos estructurales, se asume una distribución uniforme de la carga total, asignando a cada apoyo una cuarta parte de la fuerza equivalente considerada.

$$F_1 = \frac{1030.05}{4} = 257.512 \text{ N}$$

- **Carga del sistema de recolección**

$$F_2 = 98.94 \cdot 9.81 = 970.601 \text{ N}$$

Esta carga se modela como una carga remota, debido a que no actúa directamente sobre un punto específico de la estructura, sino que se transmite a través del sistema de descarga hacia los elementos de soporte.

Una vez determinadas las cargas equivalentes, estas se incorporan al modelo en el software ANSYS para la realización de las simulaciones estructurales, tal como se muestra en la Figura 62.

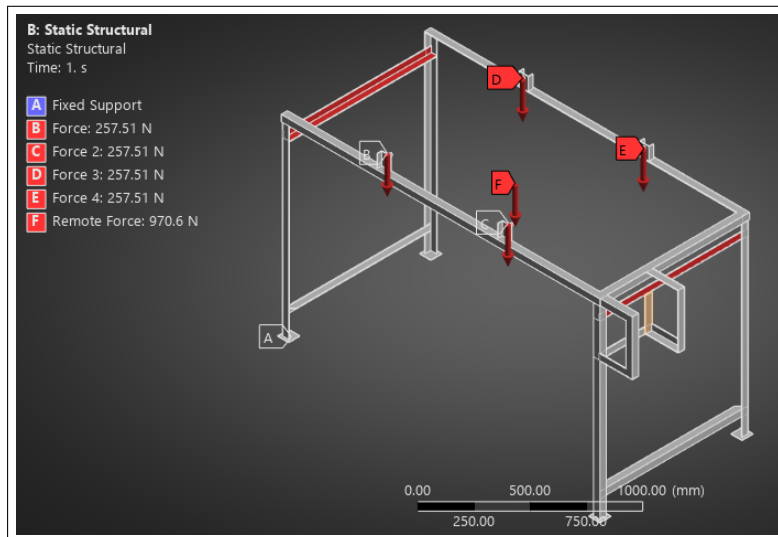


Figura 62. Cargas de la estructura.

Esfuerzo de Von Mises

Se llevó a cabo el análisis de esfuerzos Von Mises, con el fin de comprobar que los esfuerzos inducidos en la estructura se mantienen por debajo del límite elástico del material seleccionado. En la Figura 63 se muestra la distribución de esfuerzos obtenida, alcanzándose un valor máximo de 72.058 MPa, sin superar el límite admisible del material de 250 MPa.

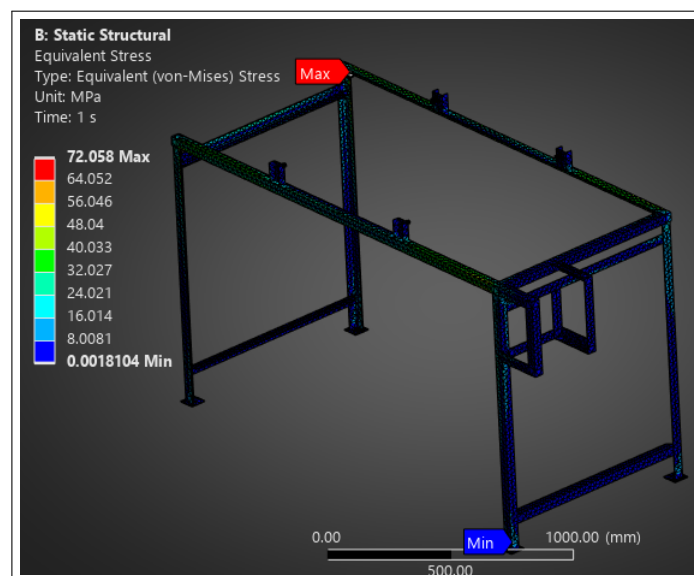


Figura 63. Simulación de esfuerzos de la estructura de soporte.

Deformación

Este estudio permite verificar que la estructura mantiene una rigidez adecuada durante la operación y que las deformaciones no afectan el correcto funcionamiento del sistema. En la Figura 64 se presenta el mapa de deformaciones obtenido en la simulación, donde se registra una deformación máxima de 0.474mm, en las zona de soporte del mecanismo de cribado.

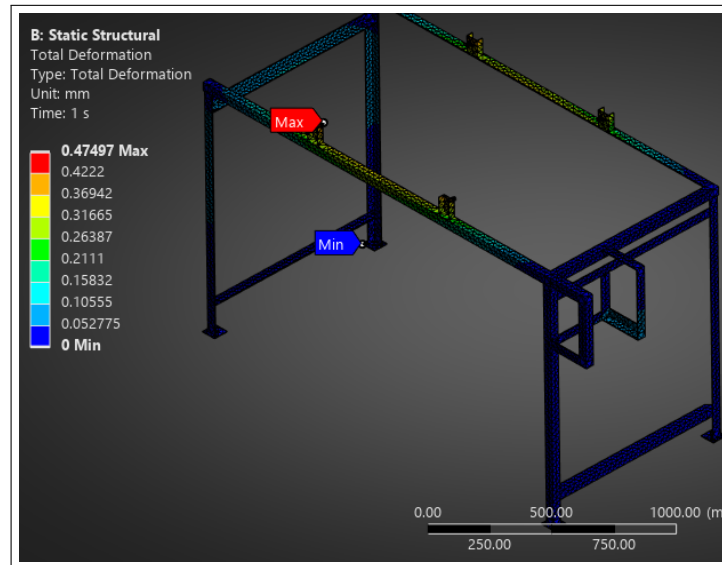


Figura 64. Simulación deformaciones de la estructura de soporte.

Factor de seguridad

Mediante la simulación estructural se determina el factor de seguridad del conjunto. La Figura 65 muestra un valor mínimo de 3.469, evidenciando que la estructura presenta un margen adecuado frente a las cargas consideradas.

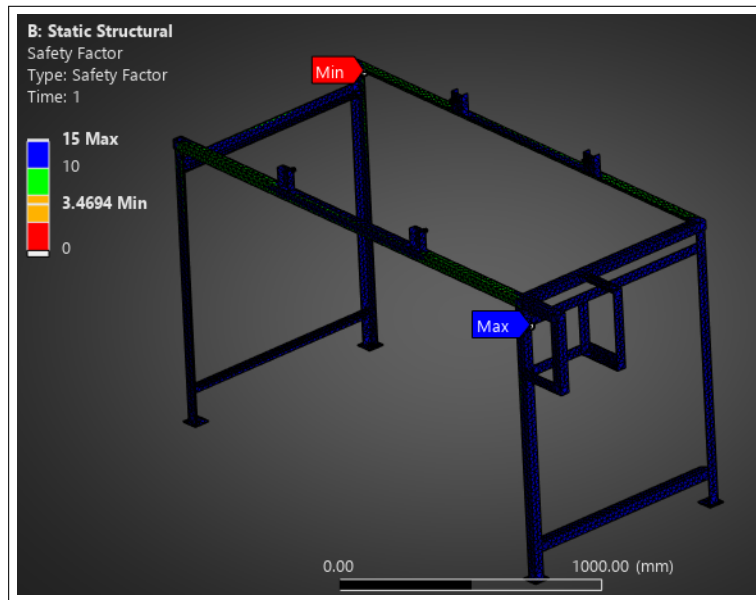


Figura 65. Factor de seguridad estructura de soporte

En función del análisis numérico y de la comprobación del mismo por modelado computacional, se verifica que el mecanismo cumple con los requerimientos estructurales y operativos para el proceso de postcosecha.

Tabla 13. Resultados del análisis estructural

Parámetro	Valor
Esfuerzo de Von Mises (σ_{VM})	72.058 MPa
Deformación máxima (δ)	0.474 mm
Factor de seguridad (FS)	3.46

5.3. Diseño a detalle de los componentes de la desvenadora de cacao

A partir de la validación técnica realizada en la sección anterior, se procede a desarrollar el diseño a detalle de la desvenadora de cacao. Los planos constructivos correspondientes al diseño propuesto se presentan de forma completa en el **Anexo B**.

5.4. Análisis de costos Unitarios

En esta sección se estimará el costo unitario de fabricación de los componentes que integran la desvenadora de cacao.

PROYECTO: Desvenadora de cacao ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:		Nataly Saenz			
PROYECTO: Desvenadora de cacao		1			
ITEM:		1			
DESCRIPCION:		Subsistema de separacion			
UNIDAD:		u			
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA proceso B	RENDIMIENTO proceso/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)	3%MO			1.90	
Sierra circular	1	4.00	1	4.00	
CNC laser	1	45.00	0.5	22.50	
CNC CAV	1	25.00	3	75.00	
Soldadora	1	5.00	1	5.00	
			PARCIAL M	108.40	
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B	
MotoreductorHercules 0.5HP i:30 60RPM	u	1.00	387.23	387.23	
Eje Ac. Frio 1"	kg	9.55	1.69	16.14	
Chumacera SKF SY 20 TF	u	2.00	20.57	41.14	
SKF 6003	u	2.00	6.55	13.10	
Polea tipo A aluminio 5"	u	2.00	7.61	15.22	
Banda trapezoidal Tipo A B44	u	1.00	11.44	11.44	
Pernos M12x40	u	1.00	0.85	0.85	
Pernos M12x35	u	1.00	0.80	0.80	
Plancha acero inox. 1220x2440x2mm	kg	20.00	3.82	76.40	
Electrodo INDURA 1/8" 308L	kg	1.00	22.02	22.02	
Malla acero inoxidable 1.2x1.0 m #2	u	2.00	57.69	115.38	
SKF 6003	u	8.00	7.79	62.32	
Picaporte Platina 3" soldar	u	1.00	2.59	2.59	
Bisagra 2B 60mmx10	u	2.00	1.13	2.26	
Pernos M12x60	u	8.00	1.05	8.40	
Tuercas M12	u	10.00	0.04	0.40	
Riel corredera X-rail	u	2.00	8.99	17.98	
Electrodos Indura 6011 1/8"	kg	0.50	4.42	2.21	
Anillos seeger	u	2.00	1.15	2.30	
Lona de caucho 1/8"	u	0.50	98.46	49.23	
			PARCIAL N	847.41	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte motor	u	1	22.00	1	22.00
Transporte de perfiles (Interno)	u	1	10.00	1	10.00
				PARCIAL O	32.00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Ayudante mecanico	3	4.23	5	63.45	
			PARCIAL P	63.45	
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					1051.26
INDIRECTOS Y UTILIDAD					18.00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					189.23
VALOR PROPUESTO					1240.49

Figura 66. Costo Unitario Subsistema 1.

ÁNALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:					
PROYECTO:					
ITEM: 2					
DESCRIPCION: Sistema de recolección					
UNIDAD: u					
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)	3%MO			1.90	
CNC laser	1	45.00	0.25	11.25	
CNC CAV	1	25.00	1	25.00	
Soldadora	1	5.00	2	10.00	
				PARCIAL M	48.15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B	
Plancha acero inox. 1220x2440x2mm	kg	88.94	3.82	339.75	
Electrodo INDURA 1/8" 308L	kg	0.50	22.02	11.01	
Angulo 40mmx4mm	m	14.70	2.31	33.96	
Canal U 60mmx30mmx3mm	m	0.32	2.22	0.71	
Electrodos Indura 6011 1/8"	kg	1.00	4.42	4.42	
Sistema de agarre	u	2.00	245.42	490.84	
				PARCIAL N	880.69
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte sistema de agarre		1	125.00	1	125.00
				PARCIAL O	125.00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Ayudante mecanico	3	4.23	5	63.45	
				PARCIAL P	63.45
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					
					1117.29
INDIRECTOS Y UTILIDAD					
				18.00%	201.11
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
VALOR PROPUESTO					
					1318.40

Figura 67. Costo Unitario Subsistema 2.

El análisis de precios unitarios (APU) permitió determinar los costos directos asociados a cada uno de los subsistemas que conforman la desvenadora, de acuerdo con el alcance definido del proyecto. Este desglose considera los equipos y herramientas, los materiales, la mano de obra y el transporte necesario para cada subsistema pro, proporcionando una visión clara de la contribución económica de cada subsistema. Los valores obtenidos constituyen la base para la consolidación del costo total del equipo y la evaluación económica de su implementación.

Tabla 14. Análisis de costos totales

N°	Subsistema	Unid.	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Sistema de separación	u	1	1 240.49	1 240.49
2	Sistema de soporte y descarga	u	1	1 318.40	1 318.40
Total					2 558.89

6. Resultados

6.1. Resultados del objetivo 1: Definición del problema

En la fase de definición del problema permitió establecer con claridad el proceso de desvenado de cacao, y que tal como se ejecuta actualmente por pequeños y medianos productores, presenta limitaciones significativas en términos de eficiencia, esfuerzo físico y uso de recursos humanos.

Tabla 15. Resultados del estudio de campo sobre el proceso de desvenado de cacao

Variable analizada	Resultado obtenido
Interés en adquirir un sistema mecánico	85% de respuestas afirmativas
Superficie cultivada destinada al cacao	51% de los productores posee más de 5 ha
Forma actual de realizar el desvenado	80,4% lo realiza de manera manual
Número de personas involucradas en el proceso	80,4% indica la participación de más de 3 personas
Principales dificultades identificadas	Mano de obra (88,2%), tiempo (82,4%) y esfuerzo físico (56,9%)
Tiempo requerido para el desvenado manual	Promedio de 8,3 días
Volumen de cosecha por productor	Entre 151 y 238 baldes (3 473 a 5 750 kg)

Los resultados resumidos en la Tabla 15 evidencian que el proceso de desvenado de cacao se caracteriza por una elevada dependencia del trabajo manual, largos tiempos de ejecución

y una participación significativa de mano de obra. Asimismo, los volúmenes de producción reportados por los productores ponen de manifiesto la necesidad de optimizar esta etapa del proceso, lo que justifica la implementación de un sistema mecánico orientado a mejorar la eficiencia operativa y las condiciones de trabajo.

A partir de estos resultados, fue posible establecer los lineamientos generales que guiaron la definición de las variables de diseño del sistema, tales como las condiciones ergonómicas de operación, la capacidad de procesamiento, el volumen de trabajo y los tiempos de operación. Dichas variables se definieron en función de las características reales del proceso productivo y de las limitaciones identificadas en el método tradicional, constituyendo la base para el desarrollo del diseño conceptual y mecánico del sistema propuesto.

6.2. Resultados del objetivo 2: Diseño de concepto

En esta sección se presentan los resultados correspondientes al Objetivo 2, enfocado en el diseño de concepto de la máquina desvenadora de cacao. En esta etapa se desarrollaron los cálculos necesarios para el dimensionamiento de los principales componentes del sistema, considerando las condiciones reales de operación previamente establecidas. A partir de estos resultados, se realizaron simulaciones estructurales que permitieron verificar la distribución de esfuerzos, las deformaciones y los factores de seguridad en los elementos críticos. Posteriormente, se llevó a cabo la selección de los componentes mecánicos, garantizando que el diseño cumpla con criterios de resistencia, funcionalidad y viabilidad constructiva.

El sistema propuesto se dividió en dos subsistemas para realizar el análisis detallado de cada componente para así poder realizar el análisis de precios unitarios y su futura construcción y ver si se cumple en los objetivos propuestos

6.2.1. Subsistema de separación

En la Figura 68 se presenta el modelado tridimensional del subsistema de separación, correspondiente a una mesa de cribado vibratoria con dimensiones finales de 1,80 m de longitud y 0,60 m de ancho, diseñada para procesar la carga de cacao definida en cada ciclo de operación. La superficie de cribado incorpora una malla de acero inoxidable, seleccionada por su resistencia a la corrosión y por cumplir con los requisitos de contacto con alimentos, garantizando condiciones higiénicas adecuadas durante el proceso de desvenado.

El movimiento vibratorio de la mesa es generado mediante un sistema biela–manivela accionado por un motorreductor de 60 rpm, lo que permite un desplazamiento controlado del

material sobre la superficie de cribado y favorece una separación eficiente entre el grano y la vena central. Esta configuración asegura una distribución uniforme del producto, evitando acumulaciones durante la operación.

Adicionalmente, el diseño incorpora un sistema de limpieza, el cual se activa una vez finalizado cada ciclo de procesamiento, permitiendo la remoción de residuos retenidos en la malla y manteniendo la continuidad operativa del equipo. La selección de los componentes del subsistema se encuentran especificados en la Tabla 16, 17 y 18.

Tabla 16. Selección componentes del mecanismo de cribado.

COMPONENTE	SELECCIÓN	Resultados
Malla 	Espesor: 1.6 mm Material: Acero AISI 304 Área: 1.08 m Dimensiones: 1800x600 mm	Malla comercial de 1"
Mesa de cribado 	Espesor: 2mm Material: Acero AISI 304 Dimensiones: 1800x600x80 mm	Simulación: Von Mises: 52.138 MPa < 215 MPa Deformación: 0.73 mm Factor de seguridad: 4.12 > 1.5
Biela lateral 	Espesor: 8 mm Material: Acero AISI 1018 Centro a centro: 120 mm Diámetro interno: 35 mm Diámetro externo: 45 mm	Simulación: Von Mises: 29.791 MPa < 370 MPa Deformación: 0.01 mm Factor de seguridad: 13.8 > 1.5
Rodamiento 	Material: Acero Inoxidable Tipo: SKF 6003 Diámetro del agujero: 17 mm Diámetro exterior: 35 mm Espesor: 10 mm	Elemento normalizado
Perno 	Material: Acero Gr 8.8 Diámetro: M12	Elemento normalizado

Tabla 17. Selección componentes del mecanismo de transmisión.

COMPONENTE	SELECCIÓN	RESULTADOS
Manivela 	Material: Acero AISI 1018 Espesor: 8 mm Diámetro: 195 mm Excentricidad: 62.5 mm Diámetro del agujero: 20 mm	Simulación: Von Mises: 21.618 MPa < 370 MPa Deformación: 0.008 mm Factor de seguridad: 17.11 > 1.5
Biela principal 	Material: Acero AISI 1018 Espesor: 8 mm Centro a centro: 187.5 mm Diámetro interno: 28 mm Diámetro externo: 40 mm	Simulación: Von Mises: 30.603 MPa < 370 MPa Deformación: 0.0063 mm Factor de seguridad: 12.09 > 1.5
Eje conducido 	Material: Acero AISI 1018 Diámetro: 20 mm Longitud: 470mm	Criterio Von Mises: 50.504 MPa < 370 MPa Factor de seguridad: 7.33 > 1.5
Chumaceras 	Material soporte: Fundición Tipo: SKF SY 20 TF Diámetro del agujero: 20 mm Ancho del soporte: 32 mm	Elemento normalizado
Motoreductor 	Potencia: 0.5HP Velocidad de salida: 60RPM Torque: 46 Nm	Motoreductor HERCULES
Poleas 	Diámetro: 5" 127 mm Material: Aluminio	Elemento normalizado
Banda de transmisión 	Sección: Tipo A Material: Caucho Longitud: 968.98 mm	Elemento normalizado

Tabla 18. Selección componentes del mecanismo delimpieza.

COMPONENTE	SELECCIÓN	RESULTADOS
 Riel corredera	Material: Acero AISI 316L Longitud: 1700 mm	Elemento normalizado
 Eje de limpieza	Material: Acero AISI 304 Diámetro: 20 mm Longitud: 590 mm	Eje comercial mecanizado
 Lona	Espesor: 10 mm Material: Caucho Dimensiones: 590x80 mm	Lona comercial de espesor de 10 mm

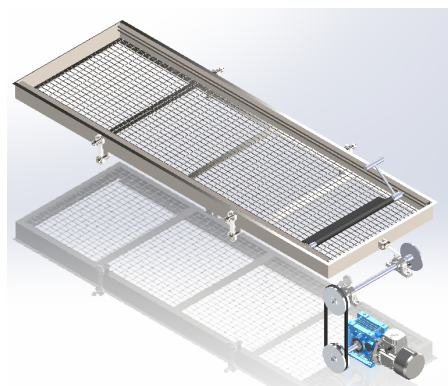


Figura 68. Modelado 3D del subsistema de separación

6.2.2. Subsistema de soporte y descarga

La estructura de soporte del equipo presenta dimensiones finales de 2,20 m de longitud, 0,785 m de ancho y 1,26 m de altura, proporcionando la rigidez y estabilidad. La estructura está fabricada en acero estructural A36, utilizando perfiles angulares de 40 × 40 mm con un espesor de 4 mm.

Las tolvas de recolección se encuentran fabricadas en acero inoxidable AISI 304, con un espesor de 2 mm. Sus dimensiones fueron definidas de acuerdo con la geometría de la estructura de soporte. El sistema de recolección se compone de dos tolvas dispuestas de manera continua para la producción y el ensacado del producto. Para ello, se incorpora un

sistema de rieles, que facilita el desplazamiento controlado de las tolvas durante el llenado y el reemplazo de sacos, asegurando la continuidad operativa del equipo y reduciendo los tiempos muertos del proceso.

Adicionalmente, el sistema de agarre de los sacos corresponde a un mecanismo comercial existente, seleccionado para su acoplamiento directo a las tolvas diseñadas, lo que garantiza un funcionamiento confiable del conjunto y simplifica las tareas de mantenimiento y reemplazo. En la Figura 69 se presenta el modelado del subsistema de soporte y descarga. La selección de los componentes del subsistema se encuentran especificados en la Tabla 19

Tabla 19. Selección componentes de subsistema de soporte y descarga..

COMPONENTE	SELECCIÓN	RESULTADOS
Estructura de soporte 	Sección: Angulo L 40x40x4mm Material: Acero A36 Dimensiones: 2200x785x1260 mm	Simulación: Von Mises: 72.058 MPa < 250 MPa Deformación: 0.47 mm Factor de seguridad: 3.469 > 1.5
Tolvas 	Espesor: 2mm Material: Acero AISI 304 Dimensiones: 1872x770x270 mm	Plancha soldada

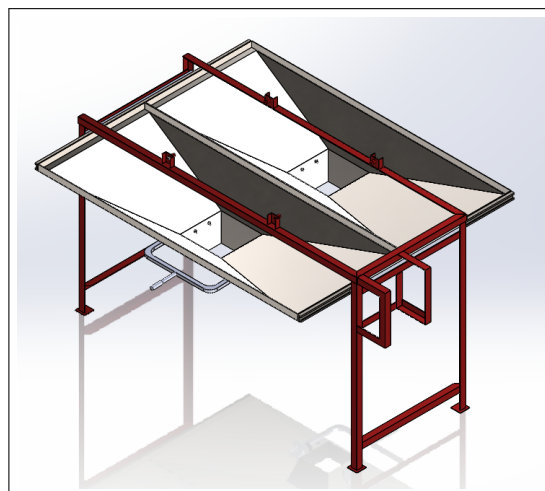


Figura 69. Modelado 3D del subsistema de recolección.

En la Figura 70 se presenta el diseño de la máquina desvenadora de cacao, desarrollado en el software SOLIDWORKS.

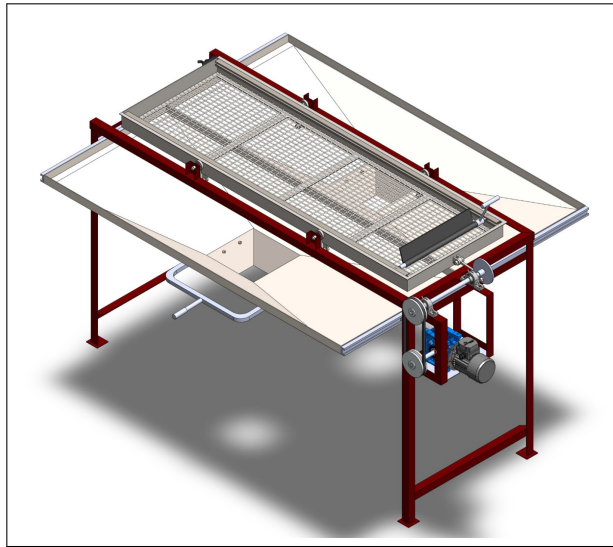


Figura 70. Vista general tridimensional de la propuesta de desvenadora de cacao

6.3. Resultados del objetivo 3: Análisis de costos

En la evaluación económica del sistema mecánico de desvenado de cacao propuesto se realizó un análisis de precios unitarios (APU), considerando los costos relacionados a materiales, equipos y herramientas, transporte y mano de obra para cada uno de los subsistemas que conforman el equipo.

A continuación se presenta una análisis comparativo de costos con la finalidad de evaluar la viabilidad económica de este mecanismo:

6.3.1. Análisis de costos

- **Costo mensual:**

El costo mensual se obtiene multiplicando el costo por ciclo por el número de ciclos realizados al mes:

$$C_{mensual} = C_{ciclo} \times n \quad (62)$$

Para el método tradicional:

$$C_{mensual}^{trad} = 1480 \times 2 = 2960 \text{ USD}$$

Para el método con máquina:

$$C_{mensual}^{maq} = 1040 \times 2 = 2080 \text{ USD}$$

■ **Costo mensual total real:**

En el método mecanizado se incluye la amortización mensual:

$$C_{real}^{maq} = C_{mensual}^{maq} + C_{amortización} \quad (63)$$

$$C_{real}^{maq} = 2080 + 42.65 = 2122.65 \text{ USD}$$

■ **Ahorro mensual:**

El ahorro mensual corresponde a la diferencia entre el método tradicional y el mecanizado:

$$Ahorro = C_{mensual}^{trad} - C_{real}^{maq} \quad (64)$$

$$Ahorro = 2960 - 2122.65 = 837.35 \text{ USD}$$

■ **Reducción porcentual:**

La reducción porcentual se calcula respecto al costo del método tradicional:

$$\%Reducción = \left(\frac{Ahorro}{C_{mensual}^{trad}} \right) \times 100 \quad (65)$$

$$\%Reducción = \left(\frac{837.35}{2960} \right) \times 100 = 28.3\%$$

■ **Periodo de recuperación de la inversión:**

El tiempo de recuperación (payback) se determina dividiendo la inversión inicial entre el ahorro mensual generado:

$$T_{recuperación} = \frac{Inversión}{Ahorro} \quad (66)$$

Considerando que la amortización mensual es de 42.65 USD, se puede estimar la inversión como:

$$Inversión \approx 42.65 \times 12 \times n$$

(donde n es el número de años considerados en la vida útil).

De forma directa, usando el ahorro mensual:

$$T_{recuperación} \approx \frac{Inversión}{837.35} \approx 3 \text{ meses}$$

Los resultados confirman que el método mecanizado reduce significativamente los costos operativos. A pesar de incluir la amortización, el costo total sigue siendo menor, generando un ahorro considerable que permite recuperar la inversión en un periodo corto, validando la viabilidad económica del proyecto.

Concepto	Método Tradicional (USD)	Método con Máquina (USD)
Costo por ciclo	1480	1040
Costo mensual (2 ciclos)	2960	2080
Amortización mensual	—	42.65
Costo mensual total real	2960	2122.65
Ahorro mensual		837.35
Reducción porcentual		28.3 %
Recuperación de inversión	—	≈ 3 meses

Figura 71. Análisis Económico Comparativo del Sistema Manual y el Sistema Mecanizado

7. Conclusiones

El diagnóstico del proceso de desvenado de cacao evidenció que el método tradicional utilizado por pequeños y medianos productores presenta una alta dependencia de la mano de obra, largos tiempos de ejecución y un esfuerzo físico considerable para el operador. Asimismo, los volúmenes de producción y las condiciones reales de trabajo confirman que esta etapa constituye un cuello de botella dentro del proceso de poscosecha, lo que justifica técnicamente la necesidad de implementar una solución mecanizada.

A partir de los requerimientos identificados, se desarrolló el diseño conceptual y mecánico de una máquina desvenadora de cacao que integra subsistemas de separación y recolección, cumpliendo con criterios de ergonomía, capacidad de procesamiento, funcionalidad e higiene. El modelado y la verificación estructural demostraron que el diseño propuesto es técnicamente viable, seguro y adecuado para operar bajo las condiciones reales de pequeños y medianos productores.

El análisis técnico-financiero, desarrollado mediante la metodología de precios unitarios, permitió determinar los costos asociados a los principales subsistemas del equipo, evidenciando que la inversión requerida de USD 2 558.89 se mantiene dentro de un rango económicamente accesible. En comparación, el método tradicional presenta un costo operativo mensual de 2960 USD para dos ciclos de producción, mientras que el sistema mecanizado reduce este valor a 2080 USD; al incorporar la amortización mensual de 42.65 USD, el costo total real asciende a 2122.65 USD. Esta diferencia genera un ahorro mensual de 837.35 USD, lo que representa una reducción aproximada del 28.3% en los costos operativos, confirmando la viabilidad económica del sistema propuesto. Asimismo, este nivel de ahorro permite estimar un periodo de recuperación de la inversión cercano a los 3 meses, evidenciando una rápida recuperación del capital invertido. Finalmente, los resultados demuestran que la implementación del sistema no solo reduce costos, sino que también disminuye la dependencia de mano de obra y optimiza los tiempos de operación en comparación con el método manual tradicional, fortaleciendo su pertinencia desde el punto de vista técnico y económico.

8. Recomendaciones

Se recomienda la construcción de un prototipo funcional, con la finalidad de evaluar su desempeño en condiciones reales de trabajo y así comparar los resultados obtenidos con los valores calculados durante esta etapa de diseño.

Se sugiere realizar estudios complementarios orientados a la optimización del sistema de accionamiento y del proceso de limpieza, considerando alternativas que permitan reducir el consumo energético y facilitar el mantenimiento del equipo.

Para trabajos futuros, se recomienda ampliar el análisis económico incorporando un estudio comparativo de costos operativos a largo plazo, incluyendo mantenimiento, vida útil del equipo y posibles adaptaciones del sistema a diferentes escalas de producción.

Referencias

- [1] A. Abad, C. Acuña, y E. Naranjo, “El cacao en la costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica,” *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, No. 7, Págs. 59–83, 2020.
- [2] J. Johnson, J. Bonilla, y L. Agüero, “Manual de manejo y producción del cacaotero,” *Leon, Nicaragua*, Vol. 40, 2008.
- [3] A. d. P. Sánchez Vargas, O. F. Castellanos Domínguez, y K. P. Domínguez Martínez, “Mejoramiento de la poscosecha del cacao a partir del roadmapping,” *Ingeniería e Investigación*, Vol. 28, No. 3, Págs. 150–158, 2008.
- [4] D. M. P. Murcia, J. A. A. Chávez y colaboradores., “Análisis técnico del proceso de producción de cacao seco a partir de las buenas prácticas agrícolas (bpa) en productores asociados a la cooperativa asopcari en el municipio de granada, meta.” *ASOPCARI*, 2025.
- [5] Google Maps, a) *Ubicación del cantón Cumánnda en la provincia de Chimborazo* b) *Ubicación de recinto San Joaquin*. [Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Cumanda/@-2.2044544,-79.1425499,16z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x91d2bbbe4be873c5:0x3f2a2737878e9b49!8m2!3d-2.206582!4d-79.1336706!16s>]
- [6] L. S. Lowe, “Del cacao y su arqueología en el sur de mesoamérica,” *Kakaw’oro aromado, UNAM, México*, Págs. 19–47, 2016.
- [7] C. Y. Erazo Solórzano, “Influencia del procesado sobre el perfil volátil y su impacto en la calidad de variedades comerciales de cacao (*theobroma cacao* l.) procedentes de ecuador,” *Universidad de Córdoba, UCOPress*, 2025.
- [8] I. Káiser, “La producción de cacao y su incidencia en la economía del sector san mateo del cantón mocache, periodo 2008-2012,” *Quevedo-Ecuador*, 2015.
- [9] F. Ccente Valenzuela, “Preferencia y daño del carmenta spp, relacionado al crecimiento del fruto de *theobroma cacao* l. ccn-51 en dos épocas de producción, pichari, cusco, 2015,” *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*, 2019.
- [10] J. G. Quiroz, “Influencia de la agronomía y cosecha sobre la calidad del cacao,” *Guayaquil, EC: INIAP, Estación Experimental Litoral Sur, Programa Nacional . . .*, 2012.

- [11] N. C. Martínez, “Evaluación de componentes físicos, químicos, organolépticos y del rendimiento de clones universales y regionales de cacao (*theobroma cacao* l.) en las zonas productoras de santander, arauca y huila,” Ph.D. dissertation, Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [12] I. X. Cerón, M. C. García, A. Cubillos, y M. d. P. López, “Poscosecha del cacao,” *Corporación colombiana de investigación agropecuaria-AGROSAVIA*, 2020.
- [13] J. F. MacRobert, P. Setimela, J. Gethi, y M. Worku, “Manual de producción de semilla de maíz híbrido,” *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México*, 2015.
- [14] Primero Ecuador, *Corte de la mazorca de cacao*. [Disponible en: <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=668489116613400id=232518046877178set/>; Accedido el: 25 de octubre del 2025], 2015.
- [15] C. S. Hernández Londoño, “Determinación del momento óptimo de cosecha de copoazú (*theobroma grandiflorum* widd ex spreng schum) en la amazonia occidental colombiana,” Ph.D. dissertation, Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [16] Kywi, *Herramientas usadas en la cosecha de cacao*. [Disponible en: [https://\(https://www.kywitiendaenlinea.com/kit-x-3uni-tijeras-para-podar/p/](https://(https://www.kywitiendaenlinea.com/kit-x-3uni-tijeras-para-podar/p/); Accedido el: 25 de octubre del 2025], 2025.
- [17] J. L. Solís, A. Zamarripa, V. Pecina, E. Garrido, y E. Hernández, “Evaluación agronómica de híbridos de cacao (*theobroma cacao* l.) para selección de alto rendimiento y resistencia en campo a moniliasis,” *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, Vol. 6, No. 1, Págs. 71–82, 2015.
- [18] C. A. K. JOSUE, “Identificación de los principales insectos plagas y enfermedades en el cultivo de cacao (*theobroma cacao* l.) en el cantón milagro,” Ph.D. dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, 2022.
- [19] Redmuch, *Apertura de la mazorca*. [Disponible en: [https://\(https://www.facebook.com/Redmuchhn/posts/extracci](https://(https://www.facebook.com/Redmuchhn/posts/extracci)
- [20] G. A. Enríquez, *El cultivo del cacao*. EUNED, 1983, No. 4.
- [21] R. J. Espin Vera, “Manejo post cosecha del cultivo de cacao (*theobroma cacao*) en la finca meza ubicada en el recinto pueblo nuevo, cantón babahoyo,” B.S. thesis, BABAHOYO; UTB, 2019, 2019.

- [22] N. Campoverde y G. Zambrano, “Optimización de la fermentación y secado de cacao (theobroma cacao l.) variedad ccn-51 medianre la metodología de enfoque por procesos en la comunidad de zhucay,” *Milagro. Obtenido de <https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/4448/1/optimizaci%20c3%2093n%20de%20la%20fermentaci%20c3%2093n%20y%20secado%20de%20cacao>*, Vol. 20, 2019.
- [23] R. V. Estrada Tapia, “Proceso de beneficiado del cacao en la calidad de los granos,” B.S. thesis, BABAHOYO: UTB, 2024, 2024.
- [24] M. M. de la Fuente, “Optimización del trabajo y de la eficiencia energética en un ciclo mixto o de presión limitada,” *Observador del Conocimiento*, 9 (2), pp. 35-48, 2024.
- [25] V. Gattoronchieri, *La postura correcta*. Parkstone International, 2016.
- [26] G. A. A. FRANCO, C. M. G. VELA, V. R. LÓPEZ, y M. D. H. M. E. UN, “Manipulación de herramientas manuales en un área de mantenimiento,” *Universidad*, 2021.
- [27] W. F. T. Llerena, *Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao*. Universidad Internacional de Andalucía, 2016.
- [28] A. C. Montaña, D. M. Pérez, I. G. Montalvo, M. A. S. Medina, y E. H. Bautista, “Evaluación del proceso fermentativo tradicional del theobroma bicolor en teotitlán del valle, oaxaca, méxico,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, Vol. 9, No. 2, Págs. 7899–7909, 2025.
- [29] N. S. Pinto, “Propuesta de mejora a los factores que afectan la competitividad de la cadena productiva del cacao en grano de la empresa aroma amazónico cía. Ltda,” B.S. thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2011, 2011.
- [30] L. H. T. Calderon, “Diseño y simulación de una máquina descascarilladora de granos de cacao para optimizar el proceso de transformación,” *Horizonte Científico International Journal*, Vol. 2, No. 2, Págs. 1–9, 2024.
- [31] J. L. Mogro Pinargote y D. A. Vera Molina, “Implementación de un sistema automatizado para el corte y despulpado de mazorcas de cacao, para mejorar la producción, en la asociación de campesinos lamanenses.ªscala.” *ASCALA*, 2022.
- [32] Taizy Co., *Máquina para partir mazorcas de cacao frescas, galleta para derramar mazorcas de cacao*. [Disponible en: <https://nuts-machine.com/es/fresh-cocoa-pod-splitting-machinecocoa-pod-spiltter-cracker/p/>; Accedido el: 26 de octubre del 2025], 2026.

- [33] WILPAC, *EQUIPOS Y MAQUINARIAS PARA LA INDUSTRIA DEL CACAO*. [Disponible en: <https://online.fliphtml5.com/enmow/cyah/p=1/p/>; Accedido el: 26 de octubre del 2025], 2019.
- [34] H. Ernesto, *Rompemazorcas de cacao Perú*. [Disponible en: <https://www.comersatrading.com/post/rompe-mazorcas-de-cacao/p/>; Accedido el: 26 de octubre del 2025], 2021.
- [35] C. Torres y G. Quevedo Salguero, “Diseño y construcción de una máquina cortadora y despulpadora de cacao con una capacidad de 2400 mazorcas por hora para mejorar la productividad del agricultor,” *ESPOCH*, 2019.
- [36] RAX, *Separador vibratorio*. [Disponible en: <https://https://www.raxmachine.com/es/auxiliary-equipment/vibratory-separator//>; Accedido el: 25 de octubre del 2025], 2024.
- [37] J. R. Parada y colaboradores., “La teoría financiera y análisis técnico,” *Revista Universidad EAFIT*, Vol. 35, No. 116, Págs. 21–36, 1999.
- [38] A. G. Fariñas, M. M. Araujo, G. J. López, A. M. G. González, L. H. Crespo, y A. R. Jiménez, “Definiciones y clasificaciones básicas para el estudio de los costos en salud,” *Infodir (Revista de Información para la Dirección en Salud)*, Vol. 12, No. 23, Págs. 46–54, 2016.
- [39] C. E. Aguirre Sosapanta, “Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructura metálica y hormigón armado para edificios,” B.S. thesis, QUITO/EPN/2008, 2008.
- [40] J. X. Chumbi Sánchez, “Estudio de costos unitarios de una vivienda de dos pisos en la ciudad de cuenca, para la empresa fenixconstructora cía. ltda., considerando dos tipos de estructuras: concreto y acero,” B.S. thesis, QUITO/EPN/2008, 2024.
- [41] H. R. Garcés, “Determinación de costos unitarios para la construcción de minicentrales hidroeléctricas,” B.S. thesis, QUITO/EPN/2012, 2012.
- [42] B. A. Wills y J. A. Finch, *Wills' Mineral Processing Technology*, 8a Ed. Butterworth-Heinemann, 2016.
- [43] J. E. Shigley, R. G. Budynas, y J. K. Nisbett, *Mechanical Engineering Design*, 9a Ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2011.

ANEXOS

Anexo A: Cronograma de Actividades

Tabla 20. Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																										
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Diagnosticar la realidad actual del proceso de producción de cacao para establecer las variables de diseño requeridas para el desarrollo de una máquina desvenadora.	Revisión del estado del arte sobre los metodos de desvenado.	x	x					x	x																	25
	Registrar y clasificar la información relevante, citasiones y consultas.	x	x	x																						15
	Determinar las principales características del cacao y como afecta a su desvenado.	x	x	s																						15
	Redaccion del documento.			x	x	x																				15
Diseñar una máquina desvenadora con metodología de Desing Thinking y los requerimientos del productor, estructurando un análisis numérico y desarrollando un modelado con software de ingeniería que garantice la funcionalidad del equipo y su posterior construcción.	Determinar las variables que intervienen en el diseño.					x	x	x																		15
	Determinar las variables que intervienen en la simulación								x	x																15
	Verificar la configuración del sistema de simulación								x	x																15
	Determinar las variables respuesta del sistema calculado.										x	x	x													20
	Realizar el analisis y validacion de los resultados.																x	x	x							20
Realizar un análisis técnico financiero utilizando la metodología de costos unitarios para calcular los costos y su rentabilidad frente al proceso actual de producción	Realizar un listado de componentes requeridos.																									30
	Cotización de los componentes requeridos.																									30
	Determinar el coste final de la elaboración del diseño.																									15
	Redacción del trabajo de titulación.																									15
Total de horas empleadas																							240			