

Diseño y simulación de una máquina extractora de manteca de cacao para pequeños productores.**Design and simulation of a butter extraction machine for small scale producers.***Oña Chanaluisa Joel Andres, Vera Rodríguez Roberto Carlos, Bravo López Estefanía Berenice.***INNOVACIÓN Y CONVERGENCIA:
IMPACTO MULTIDISCIPLINAR**

Enero - marzo, V°6 - N°1; 2025

- ✓ Recibido: 25/02/2025
- ✓ Aceptado: 02/03/2025
- ✓ Publicado: 30/06/2025

PAÍS

- Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchila.
- Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchila.
- Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchila.

INSTITUCIÓN

- Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
- Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
- Instituto Superior Tecnológico Tsáchila

CORREO:

- ✉ joelonachanaluisa@tsachila.edu.ec
- ✉ robertoverarodriguez@tsachila.edu.ec
- ✉ estefanabravo@tsachila.edu.ec

ORCID:

- <https://orcid.org/0000-0002-5200-9715>
- <https://orcid.org/0009-0002-2038-8447>
- <https://orcid.org/0000-0002-5200-9715>

FORMATO DE CITA APA.

Oña, J. Vera, R. Bravo, E. (2025). Diseño y simulación de una máquina extractora de manteca de cacao para pequeños productores. Revista G-ner@ndo, V°6 (N°1), 2151 – 2172.

Resumen

El presente estudio aborda el diseño y simulación de una máquina extractora de manteca de cacao para pequeños productores, con el objetivo de optimizar el proceso de extracción, reducir costos y mejorar la calidad del producto. La producción de cacao representa una actividad clave en la economía ecuatoriana, pero los métodos tradicionales presentan limitaciones en rendimiento, eficiencia y competitividad. Para el desarrollo del estudio, se emplearon herramientas de diseño asistido por computadora y simulaciones estructurales mediante software especializado. El prototipo incorpora un tornillo de paso variable y un sistema de transmisión por poleas, permitiendo una operación eficiente bajo presiones de hasta 50 MPa y una velocidad de rotación de 60 rpm. Se seleccionó acero inoxidable AISI 304 para los componentes en contacto con el cacao debido a su resistencia a la corrosión y durabilidad. Los resultados indican que la implementación de esta tecnología reduce los tiempos de procesamiento, minimiza desperdicios y garantiza un producto de alta calidad. Además, su diseño accesible y de bajo costo permite modernizar la producción cacaotera y fortalecer la competitividad de los pequeños productores en mercados nacionales e internacionales.

Palabras Clave: Diseño y simulación, Manteca de cacao, Pequeños productores, Análisis estructural.

Abstract

This study presents the design and simulation of a cocoa butter extraction machine for small-scale producers, with the aim of optimizing the extraction process, reducing costs, and improving product quality. Cocoa production is a key activity in the Ecuadorian economy, but traditional methods present limitations in yield, efficiency, and competitiveness. For the development of the study, computer-aided design tools and structural simulations using specialized software were employed. The prototype incorporates a variable-pitch screw and a pulley transmission system, allowing efficient operation under pressures of up to 50 MPa and a rotation speed of 60 rpm. Stainless steel AISI 304 was selected for the components in contact with cocoa due to its corrosion resistance and durability. The results indicate that the implementation of this technology reduces processing times, minimizes waste, and guarantees a high-quality product. Additionally, its accessible and low-cost design modernizes cocoa production and strengthens the competitiveness of small-scale producers in national and international markets.

Keywords: Design and simulation, Cocoa butter, Small Producers, Structural analysis.

Introducción

La producción de cacao es una actividad fundamental para la economía de Ecuador, con un impacto significativo en el sector agrícola y en la generación de empleo. Sin embargo, los pequeños productores enfrentan dificultades en la extracción de manteca de cacao debido a la ineficiencia de los métodos tradicionales, los altos costos de procesamiento y la falta de tecnología adecuada. En el contexto de la industria alimentaria, la extracción eficiente de manteca de cacao ha ganado interés debido a su impacto en la calidad del producto y los costos operativos. Según Grass Plata y Vera Parra (2023), el diseño y construcción de una prensa hidráulica para la extracción a partir de licor de cacao representa una solución innovadora. Aunque el prototipo desarrollado tenía una capacidad limitada de 3 kg, el modelo demuestra que es posible escalarlo a capacidades de 30-40 toneladas, permitiendo observar el comportamiento bajo condiciones reales. Gómez et al. (2020) llevaron a cabo un análisis detallado sobre la eficiencia energética en el proceso de extracción de manteca de cacao. Su investigación destacó que la optimización de los métodos utilizados puede reducir significativamente el consumo de energía, sentando las bases para diseños más sostenibles y eficientes. Por otro lado, Singh et al. (2019) se enfocaron en la optimización de procesos para la extracción de aceites vegetales mediante el uso de técnicas avanzadas de simulación. Sus resultados sugieren que la implementación de simulaciones en el diseño puede mejorar significativamente la eficiencia y reducir costos operativos, aportando un enfoque relevante para la extracción de manteca de cacao.

El cacao es un producto de gran importancia para la economía ecuatoriana, representando uno de los principales rubros de exportación agrícola. Según datos del Banco Central del Ecuador (BCE, 2023), la producción de cacao genera más de 500,000 empleos directos e indirectos, especialmente en zonas rurales. Ecuador es reconocido mundialmente como uno de los principales exportadores de cacao fino de aroma, un tipo de cacao altamente

valorado por la industria chocolatera debido a sus características organolépticas únicas (ANECACAO, 2023). A nivel global, Ecuador ocupa una posición destacada en la exportación de cacao, aportando aproximadamente el 10% de la producción mundial y liderando la exportación regional con un 38% del mercado de cacao fino de aroma (Oikonomics, 2023). Sin embargo, enfrenta desafíos como baja productividad, calidad deficiente y falta de capacitación, agravados por escasez de mano de obra, plagas y la intervención de intermediarios que pagan precios bajos. Este proyecto busca desarrollar una máquina extractora de manteca de cacao accesible, fácil de operar y de bajo mantenimiento.

Su implementación mejorará la calidad del producto, optimizará el proceso de extracción y fortalecerá la competitividad de los pequeños productores en mercados nacionales e internacionales. Diseñar y simular una máquina extractora de manteca de cacao para pequeños productores, utilizando herramientas de diseño y simulación asistida por computadora, con el objetivo de optimizar el proceso de extracción de manera eficiente y accesible. La extracción de manteca de cacao es un proceso crucial en la producción cacaotera, pero los pequeños productores enfrentan diversos desafíos. Los métodos tradicionales utilizados son ineficientes, requieren una gran cantidad de mano de obra y generan productos de calidad variable, lo que limita su competitividad en mercados más lucrativos.

Estos problemas se agravan por la falta de acceso a tecnología avanzada y los recursos necesarios para modernizar el proceso de extracción. Este proyecto aborda estas limitaciones mediante el diseño y simulación de una máquina extractora de manteca de cacao adaptada a pequeños productores. La propuesta tecnológica permitirá optimizar el proceso, mejorar la calidad del producto final y reducir costos operativos. Además, al ser accesible y fácil de operar, esta solución contribuirá al desarrollo sostenible de la región, fortaleciendo la competitividad de los productores y su integración en mercados globales.

Métodos y Materiales

La metodología empleada en este estudio se basó en un enfoque cuantitativo de diseño experimental, orientado a la optimización del proceso de extracción de manteca de cacao mediante simulaciones y análisis estructural. Se utilizó un diseño de investigación aplicada, ya que el objetivo principal fue desarrollar y evaluar un prototipo funcional basado en principios de ingeniería mecánica. La población de estudio estuvo conformada por pequeñas unidades productivas cacaoteras, para las cuales se diseñó un equipo accesible y eficiente. La muestra se seleccionó en función de los requerimientos técnicos y productivos del sector, considerando parámetros como la capacidad de procesamiento y la calidad del producto final. Se emplearon técnicas de simulación estructural mediante el método de elementos finitos para evaluar la resistencia y el desempeño del sistema mecánico de extracción. Los cálculos de esfuerzos se realizaron bajo condiciones de carga máxima, asegurando que los materiales seleccionados cumplieran con los estándares de seguridad y durabilidad. Adicionalmente, se realizaron pruebas de validación teórica comparando los resultados obtenidos con datos experimentales previos en equipos similares. Este enfoque metodológico permitió evaluar la viabilidad del diseño propuesto y su potencial aplicación en el sector productivo.

Análisis de Resultados

A partir del análisis documental realizado en investigaciones previas, se establecieron los parámetros de diseño fundamentales para la máquina extractora de manteca de cacao como se muestran en la tabla 1. Este proceso permitió definir aspectos clave como la capacidad de prensado, la presión óptima de extracción y los materiales más adecuados para garantizar un rendimiento eficiente y duradero. Se priorizó la resistencia estructural, la eficiencia energética y la facilidad de operación para pequeños productores. Con base en estos criterios, se llevaron a cabo simulaciones estructurales que validaron la viabilidad del diseño, asegurando que los componentes críticos soporten las cargas esperadas sin comprometer su integridad mecánica.

Los resultados obtenidos proporcionan un marco comparativo con los métodos tradicionales de extracción, permitiendo evaluar mejoras en términos de eficiencia, costos operativos y calidad del producto final.

Tabla 1 Propiedades físicas y químicas del licor de cacao y su impacto en la extracción de manteca de cacao.

Propiedad Il	Valor Aproximado	Tipo de Propiedad	Impacto en la Extracción de Manteca de Cacao
Contenido de grasa (%)	30 - 32	Química	Determina la cantidad de manteca extraíble y la eficiencia del prensado.
Viscosidad a 40°C (Pa·s)	1 - 5	Física	Influye en la fluidez del licor y la facilidad de prensado.
Viscosidad a 60°C (Pa·s)	<1	Física	A menor viscosidad, más fácil es la separación de manteca.
Humedad (%)	6 - 8	Química	Altos valores pueden afectar la fluidez del cacao y su extracción.
pH de la pulpa	3.3 - 4.0	Química	Valores bajos pueden generar corrosión en la maquinaria.
Teobromina y cafeína (%)	1 - 3	Química	Afecta la viscosidad de la manteca y su separación.
Tamaño de partícula (µm)	10 - 30	Física	Tamaños más pequeños aumentan la viscosidad y dificultan la extracción.
Temperatura de molienda (°C)	50 - 70	Física	Temperaturas más altas reducen la viscosidad y facilitan el flujo.

Fuente: Datos basados en investigaciones de Afoakwa et al. (2008), Goya et al. (2022), Urbańska et al. (2021) y IOCCC (200).

Los datos presentados en la tabla 2 reflejan la relación entre la temperatura y la viscosidad del licor de cacao, evidenciando una disminución progresiva de la viscosidad a medida que la temperatura aumenta. Este comportamiento es fundamental para el diseño y optimización de los procesos de extracción, ya que una menor viscosidad facilita el flujo del licor de cacao a través de los sistemas de prensado y filtrado, mejorando la eficiencia del proceso. En aplicaciones futuras, estos valores pueden servir como referencia para análisis de flujo en simulaciones computacionales, permitiendo evaluar el comportamiento térmico del material en distintos

escenarios operativos. Además, la información obtenida es crucial para el dimensionamiento de componentes mecánicos en equipos de extracción, asegurando que los sistemas de bombeo y canalización sean adecuados para manejar el licor de cacao en las condiciones de temperatura óptimas.

Tabla 2 Variación de la viscosidad del licor de cacao con respecto a la temperatura

Temperatura °C	Temperatura K	Viscosidad (Pa.s)
40	313.15	3.5
50	323.15	1.8
60	333.15	0.6
70	343.15	0.3

Nota. Estos datos fueron obtenidos como parte de la investigación.

Uno de los parámetros clave en el diseño de prensas extractoras de manteca de cacao es la presión de prensado. Diversos estudios sugieren que las prensas hidráulicas utilizadas en microempresas operan a presiones máximas de trabajo de 50-60 MPa (500-600 bares), con un valor óptimo de 50 MPa, ya que presiones superiores no aumentan significativamente el rendimiento de extracción y pueden generar deterioro térmico en la manteca de cacao (Gonzalez et al., 2019); (Silva y Martínez, 2020). De manera complementaria, la temperatura del proceso no debe exceder los 55-60°C, ya que temperaturas más altas pueden afectar la composición química de la manteca, reduciendo su calidad y estabilidad (Torres y Rodríguez, 2022)

Tabla 3 Parámetros Óptimos de Extracción de Manteca de Cacao

Parámetro	Valor	Referencia
Presión óptima de prensado	50 MPa (500 bares)	González et al. (2019)
Rango de presión de operación	50 - 60 MPa	Silva & Martínez (2020)
Densidad	0.9 g/cm ³	

Velocidad de prensado	1.5 - 2.5 mm/s	Pérez et al. (2018)
Temperatura límite del proceso	55 - 60°C	Torres & Rodríguez (2022)
Efecto en la calidad del producto	Temperaturas elevadas pueden degradar compuestos aromáticos y afectar estabilidad química	Jiménez et al. (2021)

Nota: La presión de prensado y la velocidad óptima dependen del tipo de prensa utilizada y del contenido de grasa en el licor de cacao.

La implementación de tecnologías adecuadas en este proceso permite mejorar la eficiencia de extracción y la calidad del producto final, optimizando el diseño y construcción de equipos de prensado adaptados a las necesidades del sector (Jimenez, Vargas, & Sanchez, 2021). La Tabla 4 presenta los cálculos para dimensionar la máquina de prensado en función del diámetro del tornillo sin fin y del núcleo, considerando el área efectiva, la fuerza aplicada, el torque resultante y la potencia requerida. Se observa que a medida que el diámetro del tornillo sin fin y el diámetro del núcleo aumentan, la fuerza aplicada y el torque generado varían significativamente, afectando directamente la eficiencia del prensado. Por ejemplo, un tornillo sin fin con un diámetro de 0,1 m y un núcleo de 0,05 m requiere un torque de 14,726,25 N·m y una potencia de 108,86 kW (145,92 HP), lo que indica una alta demanda energética. En contraste, un tornillo de 0,037 m con un núcleo de 0,0333 m requiere un torque considerablemente menor de 188,96 N·m y una potencia de 1,40 kW (1,87 HP), evidenciando un menor esfuerzo mecánico y menor consumo energético.

Estos cálculos son fundamentales para seleccionar un diseño óptimo que equilibre la eficiencia del proceso de extracción con el consumo energético y la durabilidad de los componentes. Un tornillo de mayor diámetro puede proporcionar mayor fuerza de compresión, pero a costa de un mayor requerimiento energético. En contraste, un diseño más compacto puede reducir la potencia demandada, pero podría afectar la eficiencia de extracción. Por ello, el análisis de estos parámetros es clave para optimizar el diseño de la máquina de prensado,

asegurando un funcionamiento eficiente y sostenible en el contexto de pequeños productores de cacao.

Tabla 4 Cálculos para dimensionar la máquina de prensado

Diámetro s tornillo sin [m]	Diametr o del nucleo fin [m]	Área [m ²]	Fuerza [N]	TORQUE [N.m]	POTENCI A [KW]	POTENCIA [HP]
0,1	0,05	0,005891	294525,0	14726,25	108,86	145,92
0,1	0,09	0,001492	74613,0	3730,65	27,58	36,97
0,06	0,03	0,002121	106029,0	3180,87	23,51	31,52
0,06	0,054	0,000537	26860,7	805,8204	5,96	7,98
0,037	0,0333	0,000204	10214,5	188,968614	1,40	1,87

Nota. Estos valores fueron calculados a partir de las fórmulas expresadas anterior a esta tabla. Fuente Oña J., Vera R.

El desempeño de la máquina de prensado está influenciado directamente por el paso del tornillo sin fin, ya que este parámetro determina la velocidad lineal del cacao y la capacidad de extracción del sistema. A medida que el paso del tornillo disminuye, la velocidad de avance del material también se reduce, lo que afecta la cantidad de producto extraído por unidad de tiempo.

La Tabla 5 muestra el cálculo de la capacidad de extracción considerando distintos valores de paso del tornillo, manteniendo una velocidad constante del sistema en 60 rpm. Se observa que un paso mayor (30 mm) permite una mayor velocidad lineal del cacao y, por ende, una mayor capacidad de extracción, alcanzando hasta 209,02 kg/h. En contraste, cuando el paso se reduce a 10 mm, la capacidad disminuye hasta 69,67 kg/h, lo que puede ser beneficioso para

un control más preciso del proceso, pero con una menor tasa de producción. Estos datos permiten analizar la relación entre el diseño del tornillo y la eficiencia del proceso de extracción, facilitando la selección de parámetros óptimos según las necesidades de producción.

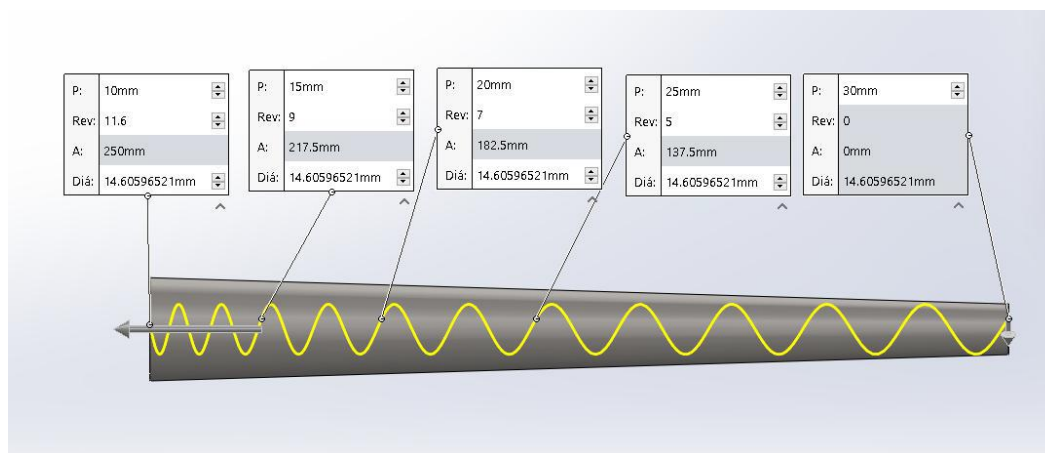
Tabla 5 Cálculo de capacidad de la máquina de prensado con los pasos variables

Paso Tornillo [Mm]	Velocidad Del Tornillo [Rpm]	Velocidad Lineal Del Cacao [M/Seg]	Diámetro Medio Entre Pasos [Mm]	Área Efectiva De Prensado[m ²]	Capacidad De Extracción [m ³ /S]	Capacidad [Kg/H]
30	60	0,03	37	0,002150	0,000065	209,02
25	60	0,025	37	0,002150	0,000054	174,18
20	60	0,02	37	0,002150	0,000043	139,35
15	60	0,015	37	0,002150	0,000032	104,51
10	60	0,01	37	0,002150	0,000022	69,67

Nota. Variación de la velocidad de acuerdo al paso del tornillo sin fin, elaborada por Oña

J., Vera R.

Figura 1 Longitud del paso para el tornillo sin fin.



Nota. Elaborada por Oña J., Vera R.

De acuerdo con la investigación, la velocidad óptima de prensado de la máquina se encuentra en un rango de 40 a 60 rpm, lo que permite una extracción eficiente sin afectar la calidad de la manteca de cacao. Sin embargo, el motor disponible para el diseño cuenta con una

velocidad nominal de 1750 rpm y una potencia de 2 HP, lo que hace necesario implementar un sistema de reducción de velocidad.

Para lograr esta reducción de forma eficiente y económicamente viable, se seleccionó un sistema de dos trenes de poleas o juegos de poleas escalonadas, lo que permitió disminuir la velocidad de giro de manera progresiva sin comprometer la eficiencia mecánica. Este sistema fue elegido debido a su bajo costo de fabricación, facilidad de mantenimiento y accesibilidad en el mercado local. Además, se priorizó un diseño que garantizara la correcta transmisión de potencia y torque, evitando pérdidas de energía y asegurando la durabilidad de los componentes mecánicos.

Tabla 6 Resumen del sistema de reducción de velocidad mediante poleas

Parámetro	Valor seleccionado
Velocidad del motor (rpm)	1750 rpm
Velocidad de prensado requerida (rpm)	40 - 60 rpm
Sistema de reducción	Dos juegos de poleas
Diámetro de la polea motriz (mm)	75 mm
Diámetro de la polea conducida (mm)	400 mm
Número de correas	4 correas en V
Factor de seguridad	1,3
Carga dinámica en correas nuevas (N)	2614,16 N
Frecuencia de vibración en correas nuevas (Hz)	73,27 Hz

Nota. La reducción de velocidad se realizó mediante un sistema de dos etapas con poleas, permitiendo disminuir la velocidad del motor de 1750 rpm a un rango de 40-60 rpm requerido para el prensado. Se seleccionaron diámetros de poleas y número de correas adecuados para garantizar la transmisión eficiente de torque y minimizar pérdidas mecánicas. Datos calculados y elaborados por Oña J., Vera R. (2025).

El sistema de transmisión de la máquina de prensado se diseñó utilizando un motor eléctrico con poleas debido a su menor costo y disponibilidad en el mercado. Sin embargo, existen alternativas más eficientes y sostenibles que podrían mejorar el rendimiento energético, reducir el impacto ambiental y optimizar la eficiencia del proceso. Entre estas opciones se encuentran los sistemas de transmisión hidráulica, la energía solar con motor eléctrico de corriente continua y los sistemas mecánicos de pedal o volante de inercia. A continuación, se presenta una tabla comparativa de estas soluciones:

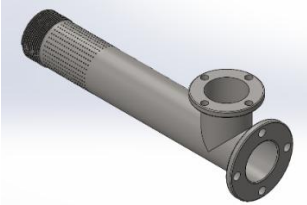
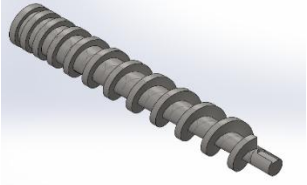
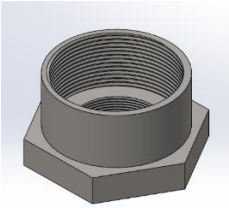
Tabla 7 Comparación de sistemas de transmisión alternativos para la máquina de prensado

Sistema de Transmisión	Ventajas	Desventajas	Eficiencia Energética	Sostenibilidad
Sistema de poleas con motor eléctrico (actual)	Bajo costo inicial, fácil instalación y mantenimiento.	Alto consumo eléctrico, dependencia de la red eléctrica.	Media	Baja
Sistema hidráulico	Mayor fuerza de prensado, control preciso de presión.	Costo elevado, requiere mantenimiento especializado.	Alta	Media
Motor eléctrico con paneles solares	Reducción del consumo eléctrico, autonomía en zonas rurales.	Costo inicial alto, eficiencia depende de la radiación solar.	Alta	Alta
Sistema mecánico con pedal o volante de inercia	No requiere electricidad, ideal para pequeñas producciones.	Requiere esfuerzo físico, menor eficiencia para altas producciones.	Baja	Alta

Nota. La tabla presenta una comparación de diferentes sistemas de transmisión alternativos para la máquina de prensado, evaluando su eficiencia energética, sostenibilidad, ventajas y desventajas en comparación con el sistema de poleas con motor eléctrico. Se consideran opciones más eficientes y sustentables que pueden mejorar el rendimiento del equipo y reducir el impacto ambiental. Datos elaborados por Oña J., Vera R. (2025).

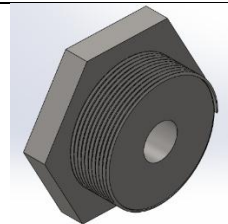
La Tabla 8 muestra los principales componentes de la máquina extractora de manteca de cacao, destacando su función y diseño. Cada pieza fue diseñada para optimizar el proceso de extracción, garantizando eficiencia, facilidad de mantenimiento y durabilidad. Se incorporaron elementos desmontables para facilitar la limpieza y asegurar un ensamblaje accesible. Además, el tornillo sin fin de paso variable y el sistema de evacuación de residuos permiten mejorar el rendimiento del proceso, asegurando una extracción más eficiente de la manteca de cacao y una adecuada expulsión de la torta residual.

Tabla 8 Principales componentes de la máquina extractora

Nombre del componente	Descripción	Diseño
Tolva de ingreso desmontable	El diseño de la tolva es circular y amplio para facilitar el abastecimiento de granos de cacao. Además, permite un desmontaje sencillo para facilitar el mantenimiento y la limpieza.	
Diseño del cilindro exterior	También optamos por el diseño desmontable para garantizar un mantenimiento seguro y una limpieza factible.	
Tornillo sin fin	Diseño de la hélice de paso variable, como se observó en la figura 9.	
Tapa roscada	El siguiente componente nos ayuda a evacuar los residuos o la torta de cacao una vez ya extraída la manteca de cacao	

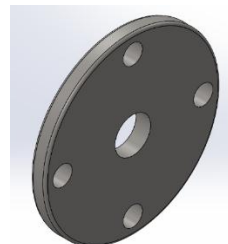
Tornillo de salida de la torta de cacao

Fue diseñado con un diámetro menor que la tapa roscada para mayor presión y una mejor salida de la torta de cacao.



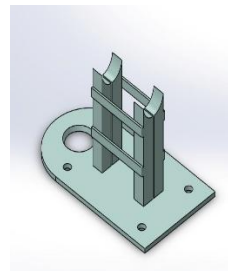
Tapa para el cilindro

Esta permite que no haya desperdicio o fugas del material, en el momento de hacer el proceso de extracción.



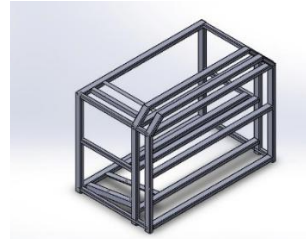
Base

El diseño incluye una estructura reforzada con cuatro tubos de 2 mm de espesor, además de platinas de 12 mm de ancho y 3 mm de espesor, para reducir la vibración



Estructura base de la máquina

La base está diseñada para adaptarse al operario, ocupando poco espacio y teniendo una altura cómoda para facilitar



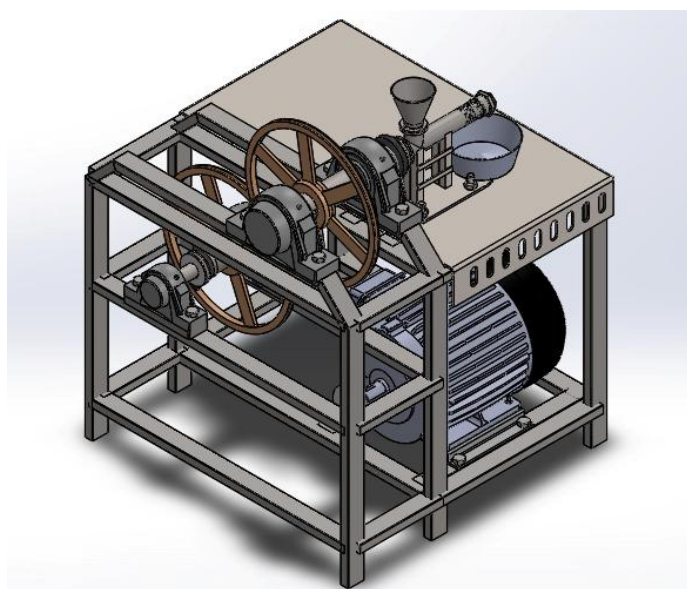
Nota. Tabla elaborada por Oña J., Vera R. (2025)

Para garantizar la higiene y calidad en el proceso de extracción, es fundamental que las superficies en contacto directo con la manteca de cacao tengan un acabado pulido. Este tratamiento superficial reduce el riesgo de contaminación, facilita la limpieza y asegura el cumplimiento de los estándares sanitarios exigidos en la industria alimentaria (Grumeber, s.f.). Por ello, se seleccionó acero inoxidable AISI 304 para la fabricación de estos elementos, ya que es un material de grado alimenticio, ampliamente utilizado en la industria alimentaria debido a su resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y cumplimiento con los estándares de higiene

requeridos. El diseño de la máquina extractora de manteca de cacao incorpora un sistema de prensado mecánico optimizado para separar la manteca del grano de cacao de manera eficiente. Su estructura, fabricada en acero inoxidable AISI 304, garantiza resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza, cumpliendo con los estándares de higiene de la industria alimentaria. El sistema de extracción se basa en un tornillo sin fin de paso variable, impulsado por un motor eléctrico y un mecanismo de transmisión por poleas, lo que permite un control preciso del proceso de prensado. Durante la compresión, la manteca se filtra y se recolecta, mientras que la torta de cacao es expulsada como subproducto.

Este diseño presenta varias fortalezas clave: alta durabilidad, bajo mantenimiento, eficiencia en la extracción y una estructura modular que facilita su desmontaje para limpieza y ajustes. Además, su sistema de transmisión garantiza una reducción óptima de velocidad, permitiendo un funcionamiento estable y adaptable a diferentes volúmenes de producción. Gracias a estas características, la máquina ofrece una solución accesible y eficiente para pequeños productores, mejorando su competitividad en el sector agroindustrial.

Figura 2 Diseño de la máquina extractora de manteca de cacao.



Nota. Elaborado por por Oña J., Vera R. (2025)

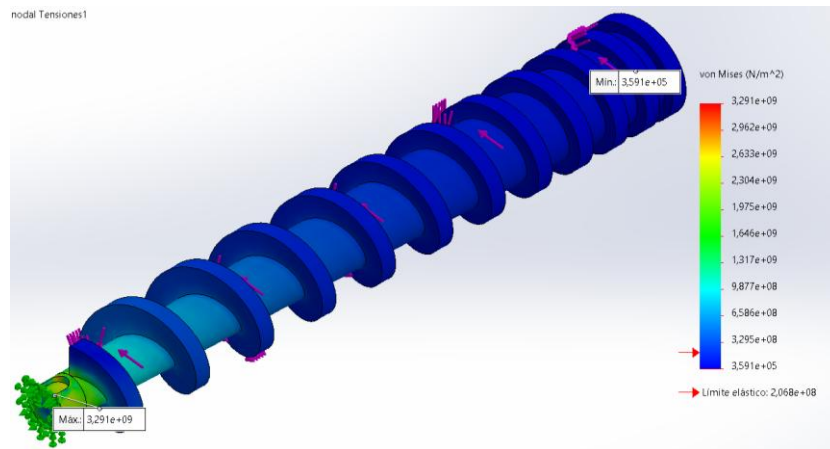
La simulación del análisis de esfuerzos mediante el criterio de Von Mises en el tornillo sin fin de acero inoxidable AISI 304 permitió evaluar la distribución de tensiones en la estructura bajo las condiciones de carga establecidas. Los resultados obtenidos muestran que, en general, la geometría del tornillo presenta un comportamiento estructural adecuado, sin sobrepasar los límites elásticos del material en la mayor parte del volumen del componente.

Tornillo sin fin: Se recomienda el uso de acero inoxidable AISI 304 debido a su excelente resistencia a la corrosión y su idoneidad para aplicaciones en la industria alimentaria. Este material es ampliamente utilizado en equipos y utensilios destinados al procesamiento de alimentos, garantizando higiene y durabilidad. (Chavesbao, s.f.)

Tabla 9 Tabla Comparativa de Propiedades Mecánicas y Simulación

Propiedad	Valor Teórico (AISI 304)	Valor en la Simulación	Ubicación
Límite elástico (σ_y)	2.068×10^8 Pa (206 MPa)	2.068×10^8 Pa (206 MPa)	Material (valor de referencia)
Resistencia última (σ_u)	5.15×10^8 Pa (515 MPa)	No determinado	-
Módulo de Young (E)	1.93×10^{11} Pa (193 GPa)	No determinado	-
Tensión máxima (Von Mises)	5.15×10^8 Pa (515 MPa) (aprox.)	3.291×10^9 Pa (3.291 GPa)	Extremo/Eje
Tensión mínima (Von Mises)	No disponible en tablas	3.591×10^8 Pa (0.359 MPa)	Tornillo sin fin
Deformación unitaria máxima	0.3 - 0.7 % (aprox. 3×10^{-3} - 7×10^{-3})	1.056×10^{-2}	Zona más crítica
Deformación unitaria mínima	No especificado	2.172×10^{-3}	Zona de menor impacto
Desplazamiento máximo (URES)	Depende de las condiciones de carga	4.156 mm	Extremo libre
Desplazamiento mínimo (URES)	Depende de las condiciones de carga	1.000×10^{-3} mm	Zona fija

Nota. Los resultados obtenidos en la simulación permiten evaluar el comportamiento estructural del material bajo cargas específicas, proporcionando información relevante para el diseño y optimización del componente.

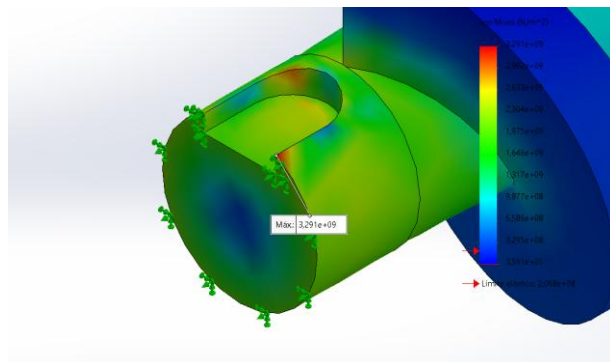
Figura 3 Resultados de esfuerzos de Von Mises en Tornillo Sin Fin

Nota. Elaborada por Oña J., Vera R.

Tensión Máxima Observada:

Se obtuvo un valor máximo de $3.291 \times 10^9 \text{ Pa}$ (3.291 GPa) localizado en el extremo del eje, específicamente en la zona de fijación y contacto con los soportes.

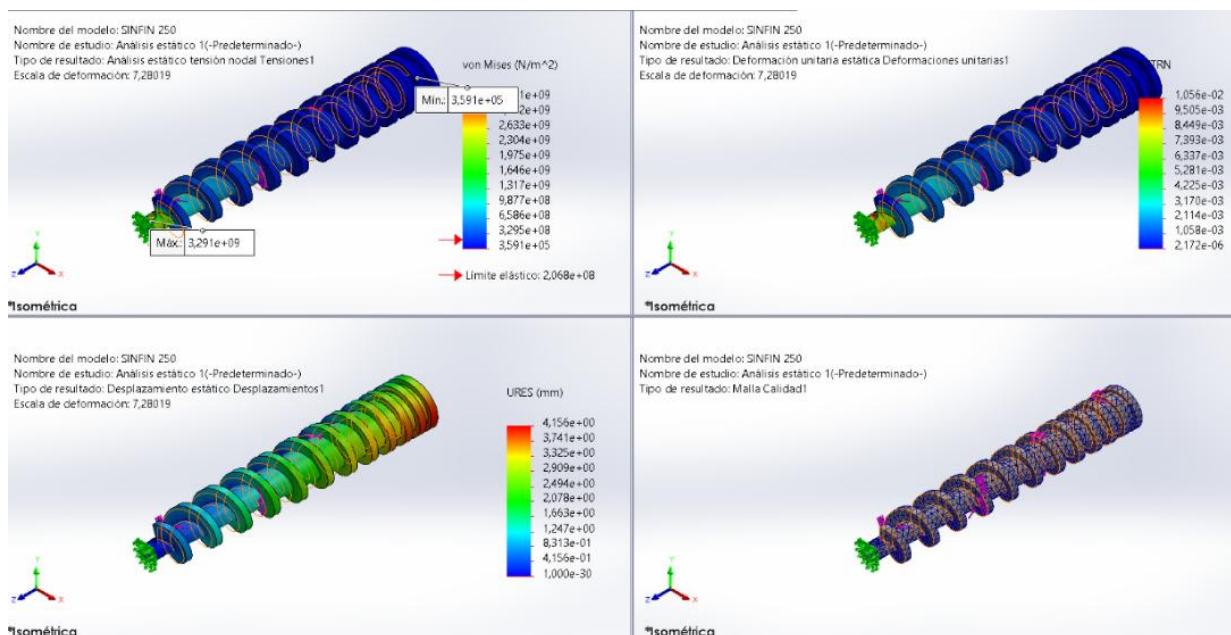
Esta concentración de esfuerzo es producto de un cambio brusco de geometría y restricción de movimientos en esa región, lo cual genera picos de tensión.

Figura 4 Extremo y eje de conexión al sistema de transmisión del tornillo sin fin

Nota. Elaborada por Oña J., Vera R.

El análisis del límite elástico del acero inoxidable AISI 304 confirma que su capacidad máxima antes de deformación plástica es de 206 MPa. En la simulación realizada, las tensiones en el cuerpo del tornillo sin fin se encuentran significativamente por debajo de este valor, con una distribución homogénea dentro del rango permisible del material. En particular, en las zonas funcionales del tornillo, como la hélice y el núcleo, las tensiones registradas no superan los 200 MPa, lo que indica que el componente operará sin riesgo de deformaciones permanentes. Estos resultados validan la resistencia estructural del diseño y aseguran su funcionamiento dentro de los parámetros de seguridad establecidos.

Figura 5 Resultados del análisis, esfuerzos de Von Mises y deformaciones



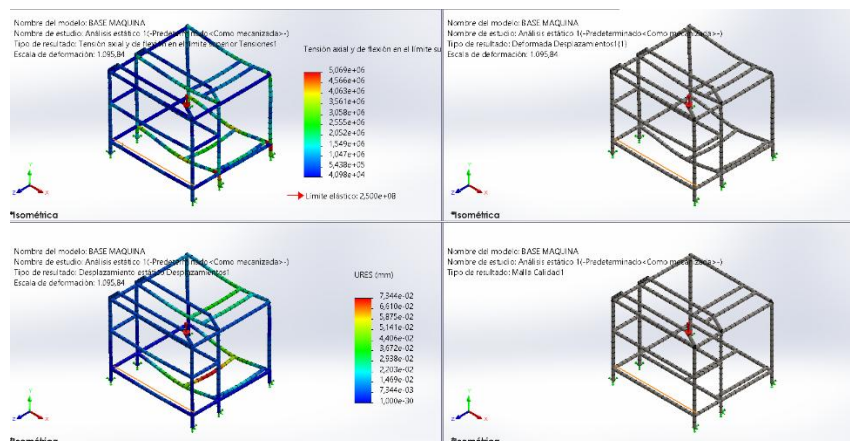
Nota. Elaborada por Oña J., Vera R.

La simulación realizada muestra un desplazamiento máximo de 4.15 mm, localizado en la punta del eje. Este valor es aceptable dentro de los parámetros de diseño, ya que el tornillo sin fin está sometido a cargas dinámicas y la deformación observada no compromete la funcionalidad del sistema. Además, en las zonas críticas de prensado y transporte, la

deformación es mínima, lo que garantiza un funcionamiento estable y eficiente del proceso de extracción.

Este comportamiento estructural se mantiene dentro del rango elástico del material, lo que significa que la deformación es reversible y el componente recupera su forma original tras la eliminación de la carga aplicada. Sin embargo, si se alcanzara el límite elástico, el material podría experimentar deformaciones plásticas permanentes, comprometiendo la vida útil del sistema. Estos resultados validan el diseño y aseguran la resistencia del tornillo bajo las condiciones operativas establecidas (Budynas & Nisbett, 2019)

Figura 7 Análisis estático de la estructura base de la máquina de prensado



Nota. El análisis se realizó con las cargas actuantes en la estructura, mostrando que no existen problema de deformaciones o fallos de material. Elaborados por los autores

Estructura base y bastidor: Para estas estructuras, el acero al carbono ASTM A36 es una elección adecuada, considerando su resistencia mecánica y costo accesible. Este tipo de acero es comúnmente empleado en la fabricación de maquinaria y equipos, ofreciendo un equilibrio entre resistencia y ductilidad. (Plegado., s.f.)

Conclusiones

La investigación permitió identificar los parámetros técnicos fundamentales que influyen en la extracción de manteca de cacao en pequeños productores. Se evidenció que los métodos tradicionales presentan limitaciones significativas en términos de eficiencia de extracción, costos operativos y calidad del producto final. El estudio de las propiedades físico-químicas del cacao, como su contenido graso, humedad y viscosidad, resultó esencial para el diseño funcional de una máquina extractora que optimice el rendimiento del proceso. Asimismo, se establecieron las condiciones óptimas de operación, incluyendo la presión de prensado, temperatura y velocidad de rotación del tornillo sin fin, garantizando así una mejora en la eficiencia del proceso de extracción.

El desarrollo del diseño mecánico y estructural de la máquina extractora basado en herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), permitió optimizar la configuración del tornillo sin fin y los elementos de transmisión para mejorar la eficiencia del prensado. Se logró dimensionar un sistema de extracción con pasos variables en el tornillo para garantizar un adecuado transporte, molienda y prensado de los nibs de cacao, obteniendo así una mayor recuperación de manteca. La selección de materiales adecuados, como el acero inoxidable AISI 304 para componentes en contacto con el cacao y el acero al carbono ASTM A36 para la estructura, aseguró la resistencia y durabilidad del equipo. Este diseño, al ser adaptado a las necesidades de pequeños productores, representa una solución accesible y eficiente para mejorar su competitividad en la agroindustria del cacao.

El análisis de elementos finitos permitió evaluar el comportamiento estructural de la máquina bajo condiciones de operación, verificando su resistencia y eficiencia. Se identificó que tanto la base de la máquina como los elementos estructurales cumplen con los requisitos mecánicos, garantizando su durabilidad y seguridad. Además, este estudio proporciona información clave para futuras mejoras en el diseño, asegurando un desempeño óptimo y minimizando posibles fallas en su implementación.

Referencias bibliográficas

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., & Fowler, M. (2008). Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. *European Food Research and Technology*, 1259–1268.
- ANECACAO. (2023). *Asociacion Nacional de Exportadores de cacao*. Obtenido de situacion del mercado de cacao fino de aroma en Ecuador : <https://anecacao.com/cacao-en-el-ecuador/tipos-de-cacao/>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2019). *shigley's Mechanical Engineering Design* (11th ed. ed.). McGraw-Hill.
- Chavesbao. (s.f.). *¿Cuándo utilizar tornillería inoxidable?* Obtenido de <https://www.chavesbao.com/noticias/productos/cuando-utilizar-tornilleria-inoxidable>
- DUNPAI. (02 de agosto de 2024). *Comparación de transmisiones por correa, cadena y engranajes*. Obtenido de <https://es.dunpai-chain.com/comparing-belt-chain-and-gear-drives.html>
- Goya, L., Kongor, J. E., & de Pascual-Teresa, S. (s.f.). From cocoa to chocolate: Effect of processing on flavanols and methylxanthines and their mechanisms of action. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), 14365. doi:<https://doi.org/10.3390/ijms232214365>
- Gonzalez, J., Perez , M., & Ramirez, F. (2019). Revista de Ingeniería Agroindustrial,. En *Optimización del proceso de extracción de manteca de cacao mediante prensas hidráulicas de bajo impacto energético* (págs. 45-56). 18(3).
- Grass Plata, M., & Vera Parra, E. (16 de junio de 2023). *Diseño de una prensa hidráulica para realizar extracción de manteca de cacao a partir del licor de cacao*. Obtenido de <https://noesis.uis.edu.co/items/0b84af18-27e4-46a9-a531-d4d3215bae88>
-

Grumeber. (s.f.). *Acero inoxidable AISI 304: Propiedades y usos en la industria alimentaria*.

Obtenido de <https://grumeber.com/acero-inoxidable-aisi-304>

Jimenez, R., Vargas, L., & Sanchez, P. (2021). Innovaciones tecnológicas en la producción de cacao: eficiencia en la extracción de manteca y derivados. *Journal of Agricultural Technology*. 18(3).

Material Mundial. (s.f.). *Acero Inoxidable AISI 304 Ficha Tecnica, Propiedades, Densidad, Dureza*. Obtenido de <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/>

Oikonomics . (29 de diciembre de 2023). *La importancia cacaotera internacional de Ecuador no se refleja en el mercado interno*. Obtenido de [inkedin.com/pulse/la-importancia-cacaotera-internacional-de-ecuador-se-refleja-ju1re/](https://www.linkedin.com/pulse/la-importancia-cacaotera-internacional-de-ecuador-se-refleja-ju1re/)

Plegado., C. y. (s.f.). *Acero ASTM A36: Propiedades y Aplicaciones*. Obtenido de https://corteyplegado.cl/acero-a36/?utm_source=chatgpt.com

SIEMENS. (2025). Obtenido de Siemens Digital Industries Software: <https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/finite-element-analysis-fea/>

Silva, R., & Martínez, H. (2020). *Revista de Ingeniería y Procesos Alimentarios*. En *Análisis del rendimiento de extracción de manteca de cacao en procesos semi-industriales*. (págs. 67-80). 15(4).

SKF. (2025). *Herramienta Belt Drive Design Calculation (Herramienta para el cálculo de los diseños de transmisión por correas)*. Obtenido de <https://www.skf.com/co/digital-tools/select-and-evaluate/belt-drive-design-calculations-tool>

Urbańska, B., Kowalska, H., Szulc, K., Ziarno, M., Pochitskaya, I., & Kowalska, J. (2021). Comparison of the effects of conching parameters on the contents of flavan-3-ols, rheological properties and sensory quality in chocolate milk mass based on liquor from unroasted cocoa beans. 26(9), 2502. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules26092502>

Torres, A., & Rodríguez, G. (2022). Food Science Research. En *Efecto de la temperatura en la estabilidad y composición fisicoquímica de la manteca de cacao durante el prensado*. (págs. 89-97). 2082).