

DISEÑO DE EQUIPO DE PROCESAMIENTO PARA LA TRANSFORMACIÓN AGROINDUSTRIAL DEL CACAO CULTIVO DE LA PAZ EN COLOMBIA.

Fase 1

Gutiérrez Rodas, Daniel Esteban

Correa Agudelo, Nicolas

Grupo de Investigación

SENNOVA

Email:

dagagata1234@gmail.com

Servicio Nacional de Aprendizaje

SENA

Centro de Comercio Y Turismo

Regional Quindío

RESUMEN

La mecanización agrícola incrementa la productividad, pero su impacto es difícil de cuantificar debido a la interacción con factores técnicos, económicos y sociales; el aumento en los costos de maquinaria ha afectado a pequeños y medianos productores, limitando la rentabilidad y crecimiento del sector. Surge así la necesidad de generar proyectos de investigación aplicada para diseñar maquinaria accesible que mejore la transformación agroindustrial del cacao, cultivo de la paz en Colombia, buscando cerrar la brecha entre la producción agrícola y la industrialización de los Cacaocultores, el del estudio científico del proyecto en curso SGPS-12885 en ingeniería aplicada, es diseñar una maquina de procesamiento que integre los procesos de fermentación, secado, tostado, descascarillado, molienda y producción del licor de cacao, el proceso de investigación se divide en tres fases: Fase 1: diseño y cálculo de ingeniería la cual actualmente está en ejecución 2024; fase 2: manufactura del prototipo 2025 y fase 3 validación del prototipo en campo 2026.

Para la ponencia se realiza una aproximación del prototipo y se socializa detalladamente el procedimiento de diseño, calculo y modelado 3D del eje principal de la máquina, esto nos acercara al proceso de producción de maquinaria industrial para pequeños y medianos productores a nivel nacional, este componente critico en el funcionamiento del prototipo, en donde por medio del estudio realizado demuestra que el eje de 30 mm en acero AISI 316L, de 170 cm posee la capacidad de soportar una carga que supera en más del doble al peso necesario para el procesamiento de la materia prima del prototipo. Esta conclusión se ve reforzada por la cercanía entre el factor de seguridad obtenido mediante software CAD especializado y el calculado teóricamente, por lo cual se justifica la reducción del tamaño del eje en 10 mm disminuyendo costos de manufactura, sin comprometer la integridad estructural del eje, adicionalmente para aumentar la eficiencia del equipo para su prueba de campo en la fase 3, se diseña actualmente un aplicativo web "CacaoLab" y un ambiente para el procesamiento de alimentos con la inclusión de materiales reciclados y energías renovables, se resalta que debido a que el prototipo tiene como finalidad ser presentado para patente para el uso de los Cacaocultores y la extensión de los datos de diseño se hace énfasis en un segmento del proceso de investigación.

PALABRAS CLAVE: (prototipo, eje, diseño, análisis)

INTRODUCCIÓN

La mecanización agrícola es un instrumento de gestión de la agricultura. El cambio de nivel o de tipo de industrialización producirá un aumento de los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, la producción viene determinada por muchos elementos individuales y por la forma como estos interactúan; es solo un elemento del conjunto de insumos que determinan la producción y generalmente, no es posible aislar el efecto sobre dicha producción y definirlo en términos cuantitativos. (Cortés, 2009) y se relaciona con factores como condiciones técnicas, económicas, sociales y políticas.

Los precios de la maquinaria han experimentado aumento continuo, aun mayor desde la época post pandemia (Covid-19), por este contexto es necesario generar soluciones a la oferta y servicios de la mecanización industrial a los pequeños y medianos productores con la finalidad de generar una eficiencia productiva y un puente entre la brecha de producción agrícola y la transformación agroindustrial que actualmente se vive en el país.

El alza en el costo de los insumos y maquinarias de producción afecta gravemente el crecimiento del área productiva tanto a nivel nacional, como departamental, lo que conlleva a que los agricultores vendan su producto como materia del sector primario, esto reduce su rentabilidad, y conlleva a pérdidas económicas o genera otra actividad para el uso del suelo. De esta necesidad nace la ideación del proyecto "Diseño de un equipo de procesamiento para la transformación agroindustrial del cultivo de la paz en Colombia".

El objetivo de la ejecución de todas las fases (1,2,3) del proyecto en curso, es generar una máquina mecánica-calorífica en base al diseño y cálculos de ingeniería, para estandarizar el procesamiento del cacao en campo, con un equipo/prototipo asequible a los agricultores que les

genere una trazabilidad y mejora del proceso de producción de cacao a nivel nacional, focalizado en apoyar el crecimiento de las microempresas agrícolas productoras del fruto, cabe resaltar que la fase actual la numero uno en ejecución vigencia 2024 es el diseño, calculo y modelado 3D del prototipo.

En iniciativa del gobierno nacional con el Cacao como cultivo para la paz en Colombia y con el propósito de CAMPESENA de generar un proceso diferencial, integral e incluyente para los campesinos, se realiza investigación científica aplicada para fomentar la mecanización del campo y contribuir a la sostenibilidad del Cultivo De La Paz en Colombia.

METODOLOGÍA

1. Visitas de Campo: Se realizan inspecciones para medir parámetros fisicoquímicos del cacao en estado fresco, donde se resalta la densidad para el cálculo del volumen y capacidad del equipo de procesamiento, posteriormente se verifican de sistemas de procesamiento de los productores, utilizando los datos recopilados, se establecen los procesos que debe integrar el prototipo de maquinaria, incluyendo los procesos de fermentación, secado, tostado, descascarillado, molienda y refinación en licor de cacao.

2. Diseño del Prototipo: Se inicia con bocetos preliminares, seguidos por planos a mano alzada con cotas, posteriormente cálculos dimensiones y diseño de ingeniería, incluyendo análisis de tensión, modelado 2D y 3D utilizando software especializado.

3. Complementos:

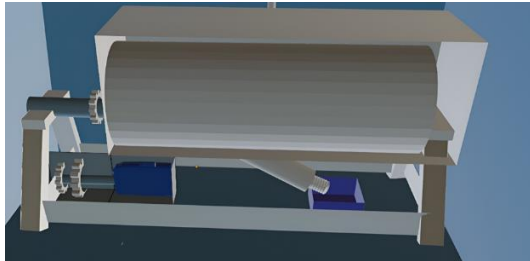
Aplicación de software: Su función es el análisis estadístico por medio de hilos de programación de Python para el comportamiento del prototipo en campo.

Planta de procesamiento escalable con materiales reciclados: Su función es el establecimiento de la maquinaria en campo en su proceso experimental y de validación.

Resultados

Aproximación al equipo

“CACAOLAB FACTORY”



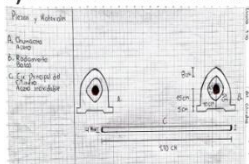
Derechos de autor: Sena CCYT

Componentes Críticos del equipo de procesamiento para profundizar en el proceso de diseño de ingeniería de maquinaria agroindustrial.

Debido a la extensión de los datos técnicos que integra el proyecto SGPS-12885 y a que el prototipo tiene como finalidad ser presentado para patente se profundiza en este caso en específico en diseño de ingeniería de elementos críticos, como el **eje principal**, asegurando la viabilidad y eficiencia del equipo completo. Esta metodología estructurada un enfoque sistemático para el desarrollo de soluciones innovadoras en maquinaria agrícola, adaptadas a las necesidades de los productores agrícolas.

3.Diseño del eje.

a) Planos a mano alzada b) Calculo del eje principal



Total 296 Kg

Elemento	Masa (Kg)	Cantidad	Masa total (Kg)
Granos cacao	200	1	200
Lámina acero	65	1	65
Chumaceras	2,5	2	5
Anillos refuerzo	5	2	10
Tapas	2	2	4
Tornillos tuercas	2	1	2
Paletas remoción	1	10	10

➤ **Pesos que soportará el eje**

Se le adiciona 20% de peso para reducir el esfuerzo del material.

$$296 \text{ kg} \times 1,2 = \mathbf{355,2 \text{ Kg}}$$

$$F_{eje} = m_{eje} a = 355,2 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{m}{s^2} = \mathbf{3484,5 \text{ N}}$$

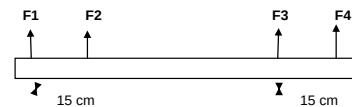
Donde:

Feje = Fuerza ejercida en el eje (N)

Meje = masa que soporta el eje (Kg)

a = aceleración de la gravedad (m/s²)

Diagrama de fuerzas en el eje



$$F1 + F2 + F3 + F4$$

Según (Budynas & Nisbett, 2015), no es necesario evaluar todas las fuerzas, solamente los puntos críticos.

$$\text{Fuerza total} = F2 + F3 = 3484,5 \text{ N}$$

$$F2 = \frac{3484,5}{2} = \mathbf{1742,25 \text{ N}} = F3$$

$$\mathbf{F2=F3= 1742,25 \text{ N}}$$

Las fuerzas F2 y F3 están ubicadas a 15 cm de las chumaceras de bancada.

$$\text{Momento flector}_{max} = F_{eje} \times d$$

$$M_{max} = 1742,25 \text{ N} \times 0,15 \text{ m} = \mathbf{261,34 \text{ Nm}}$$

➤ **Análisis de esfuerzos en el eje**

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \times C}{I}$$

Donde:

$$\sigma_{max} = \text{Esfuerzo flector máximo}$$

Momento de inercia para una sección circular (I)

$$I = \frac{\pi \times D_{eje}^4}{64}$$

El diámetro del eje es de 40 mm (0,04 m)
Sustituyendo I (momento de inercia) en la ecuación de σ_{max} tenemos:

$$\sigma_{max} = \frac{32 \times M_{max}}{\pi \times D_{eje}^3} = \frac{32 \times 261,34}{\pi \times 0,04^3}$$

$$\sigma' = 50,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = 41,59 \text{ MPa}$$

Esfuerzo torsor máximo (T_{Tmax})

$$T_{Tmax} = \frac{M_{max} \times C}{J}$$

En donde:

T_{Tmax} = Esfuerzo torsor máximo en el eje (MPa)

C = Distancia del centroide (m)

M_{max} = Momento torsor máximo (Nm)

J = Momento inercia polar eje principal

➤ Momento de inercia polar

$$J = \frac{\pi \times D_{eje}^4}{32}$$

➤ El momento máximo

Se multiplica por 10 porque son 10 paletas, ya que se calculó por paleta.

$$20,4048 \text{ Nm} \times 10 \text{ paletas} = 204,048 \text{ Nm}$$

Reemplazando valores en la ecuación de **esfuerzo torsor máximo** (T_{Tmax}), se obtiene:

$$T_{Tmax} = \frac{16 \times M_{max}}{\pi \times D_{eje}^3} = \frac{16 \times 204,048 \text{ Nm}}{\pi \times (0,04 \text{ m})^3} = 16,23 \text{ MPa}$$

Se utiliza la ecuación de falla estática de Von Mises para ejes circulares, rotativos y sólidos. Esto porque, el análisis de fallo estático en una pieza mecánica supone realizar una doble comprobación: comprobación del fallo por resistencia, este ocurre cuando las tensiones de la pieza superan los límites admisibles por el material, produciendo la fractura de la pieza.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3T_{xy}^2}$$

En donde

σ' = Esfuerzo Von Mises (MPa)

σ_x = Esfuerzo normal (MPa)

T_{xy} = Esfuerzo cortante (MPa)

$$\sigma' = \sqrt{(41,59 \text{ MPa})^2 + 3(16,23 \text{ MPa})^2}$$

El eje se va a fabricar en acero inoxidable AISI 316L ya que el eje va a estar en contacto permanente con el cacao (alimentos)

Coeficiente esfuerzo ultimo (S_y)

$$S_y = 170 \text{ MPa.}$$

El factor de seguridad (η_s) del eje, está dado por la siguiente ecuación:

$$\eta_s = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{170 \text{ MPa}}{50,2 \text{ MPa}}$$

$$\eta_{s \ 40mm} = 3,38$$

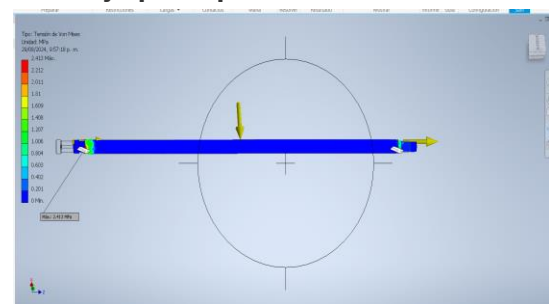
$$\eta_{s \ 30mm} = 2,53$$

Modelado 3D

Acero inoxidable AISI 316L.



Análisis de Tensiones de Von Mises en el eje principal.



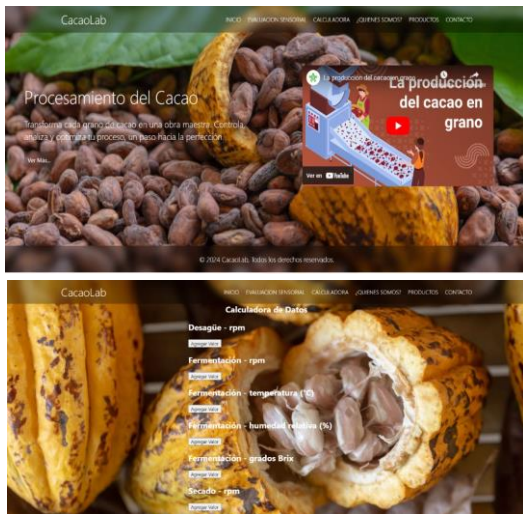
Durante el análisis de cálculo, se determinó que un eje de 40 mm presenta un factor de seguridad de $\eta_s = 3,38$, lo cual supera las necesidades requeridas, ya que soporta tres veces la carga estimada ; al realizar el diseño y digitalización en el software CAD Inventor y con el objetivo de optimizar los costos

de producción sin comprometer la integridad estructural, se optó por un eje de 30 mm de diámetro en acero AISI 316L. Este cambio mantiene el factor de seguridad dentro de un rango adecuado de $\eta_s = (2,413 \text{ a } 2,535)$ asegurando así la resistencia mecánica del componente.

Aplicación de software:

Su función consiste en realizar análisis estadísticos mediante programación en Python, utilizando hilos para evaluar el comportamiento del prototipo en diferentes condiciones ambientales. Esto permite adaptar las variables de operación (media, moda, mediana y desviación estándar) y establecer un estándar de calidad para cada predio.

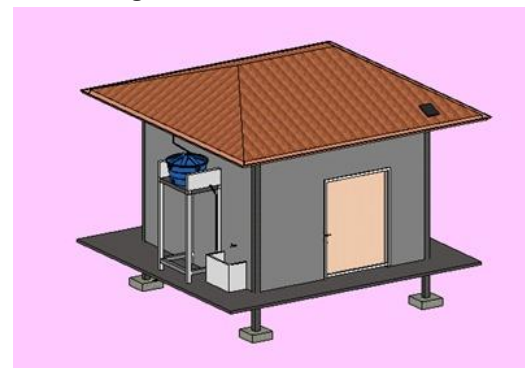
Además, se generan bases de datos cuantitativas para apoyar la toma de decisiones de los productores en cada etapa del procesamiento. Se incluirá también un análisis sensorial para determinar el perfil del cacao.



Planta de procesamiento escalable con materiales reciclados: La función principal es contener la maquinaria "CacaoLab Factory" en el campo para su proceso experimental y de validación. Este diseño incorpora una mezcla de concreto con gránulos de polietileno

(PET) para minimizar costos, reutilizar materiales reciclables y promover la economía circular, sin comprometer la resistencia estructural.

Además, cuenta con un sistema de recolección de aguas lluvias que incluye un protocolo de tratamiento por decantación natural seguido de cloración. La planta posee un sistema de generación de energía adaptable a hidráulica o eólica, según los recursos naturales de la zona. Actualmente, se encuentra en fase de diseño vigencia 2024.



CONCLUSIONES

El análisis realizado demuestra que el eje de 30 mm en acero AISI 316L, de 170 cm posee la capacidad de soportar una carga que supera en más del doble al peso necesario para el procesamiento de la materia prima. Esta conclusión se ve reforzada por la cercanía entre el factor de seguridad obtenido mediante software, η_{s30mm} (2,413), y el calculado teóricamente, η_{s30mm} (2,535). Tal coincidencia evidencia la precisión y la eficacia del análisis de diseño llevado a cabo y justifica la reducción del tamaño del eje en 10 mm reduciendo costos de manufactura, sin comprometer la integridad estructural del eje; garantizando un factor de seguridad con capacidad de soportar hasta 2 veces la carga de la materia prima para el cual fue diseñado.

Los complementos para el proyecto SGPS-12885, que incluyen un aplicativo de software y un diseño de planta de

•

procesamiento sostenible, son esenciales para la validación en campo de "CacaoLab Factory". Estos mejorarán la eficiencia del procesamiento del cacao en la maquinaria, contribuyendo a la creación de un ambiente óptimo y al desarrollo de una base de datos estadísticos para la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 10th Edición*. Mexico: McGraw-Hill Education.
- Cortés. (2009). La mecanización agrícola: gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones en campo. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, vol. 4, núm. 2, julio-diciembre, 2009, pp. 151-160, 11.