

PROYECTO SGPS 12885-2024 DISEÑO DE EQUIPO DE PROCESAMIENTO PARA LA TRANSFORMACIÓN AGROINDUSTRIAL DEL CACAO CULTIVO DE LA PAZ EN COLOMBIA. FASE1



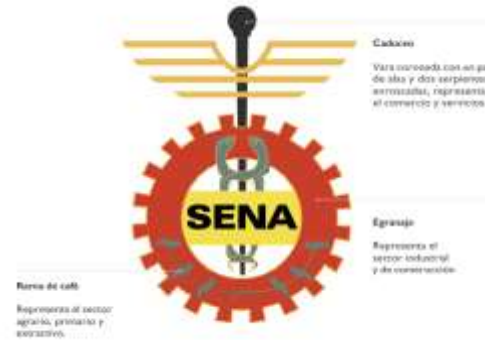
ORGANIZAN



**UNIVERSIDAD
LIBRE®**

Introducción

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, el objetivo del estudio científico de ingeniería aplicada es diseñar una maquina de procesamiento que integre las fases de fermentación, secado, tostado, descascarillado, molienda y producción del licor de cacao.



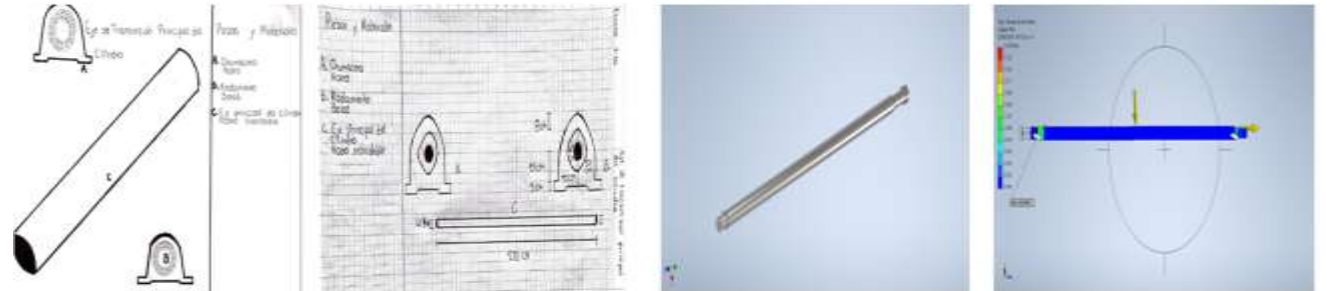
En este caso en específico se socializa una aproximación al prototipo y se detalla para la ponencia el procedimiento de diseño, calculo y modelado 3D del **eje principal** de la máquina, el cual es una pieza critica en el funcionamiento del prototipo. El análisis realizado demuestra que el eje de 30 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 CAD especializado y el calculado teóricamente, por lo cual se justifica científicamente la reducción del tamaño del eje en 10 mm disminuyendo costos de manufactura, sin comprometer la integridad estructural del eje.

Metodología

1. Visitas de Campo: para medir parámetros físicoquímicos 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.



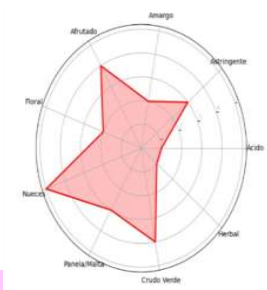
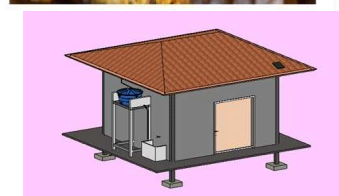
2. Diseño del Prototipo: Se inicia con bocetos preliminares, seguidos por planos a mano alzada con cotas, posteriormente cálculos dimensiones y diseño de ingeniería, incluyendo análisis de tensión y modelado 2D y 3D utilizando software especializado.



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



PARAMETROS DE CONTROL DEL EQUIPO EN EL PROCESAMIENTO

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Fermentación Estandarizada

- Alcohólica, anaerobia
- Acética, aerobia
- Láctica, anaerobia



Secado

- Control de temperatura
- Control humedad final producto
- Concentración de componentes volátiles (Sabor y Aroma)



Molienda

- Tamaño de partícula
- Subproductos (manteca y licor)
- Materia prima para procesamiento

Requisitos

1	Granos mohosos *
2	Granos negros
3	Granos dañados por insectos *
4	Granos germinados *
5	Granos partidos y planos *
6	Granos múltiples
7	Granos parcialmente fermentados o violetas
8	Granos fermentados
9	Pizarrosos

BENEFICIOS DEL PROCESAMIENTO AGROINDUSTRIAL Y EL PROTOTIPO

Proceso

- Estandarizado
- Mayor Rentabilidad
- Reducción de costos

Productor

- Menor infraestructura
- Marcas y productos de origen tipo exportación

Productos

- Calidad, variedad sabor, aroma e inocuidad.
- Nuevos nichos de mercado

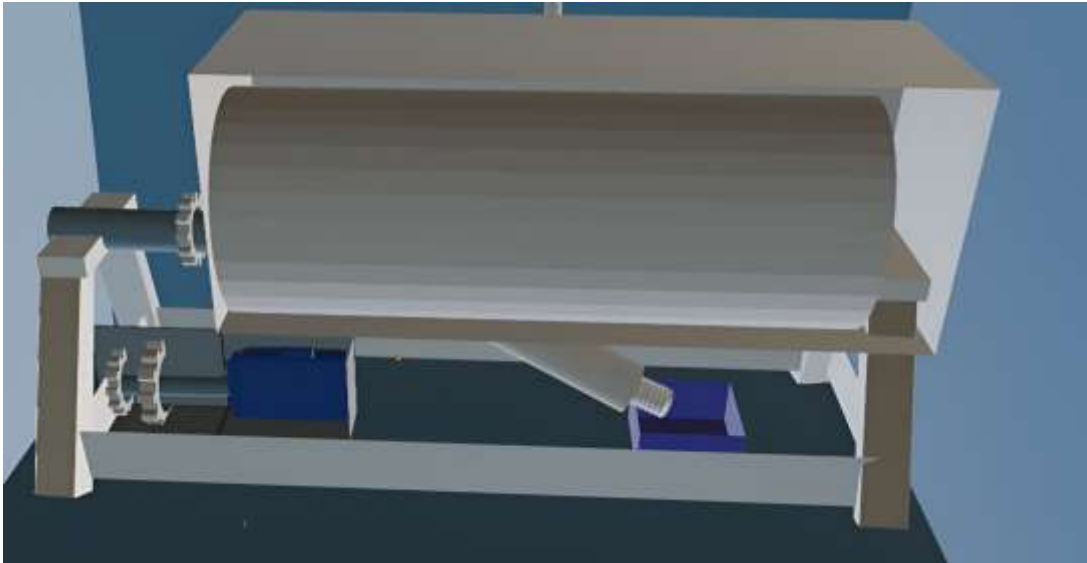
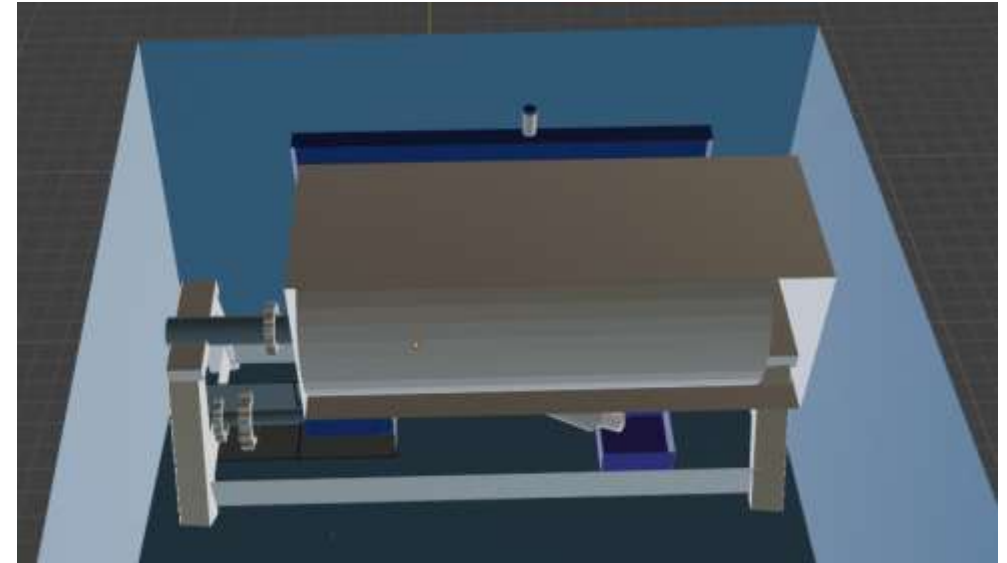
SENA

- Proyectado para solicitud de patente de invención SENNOVA, Quindío para el cultivo de la paz
- Por Fases

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

APROXIMACIÓN “CACAOLAB FACTORY”



Derechos de autor:
SENA CENTRO DE COMERCIO Y TURISMO-SENNOVA
Regional Quindío

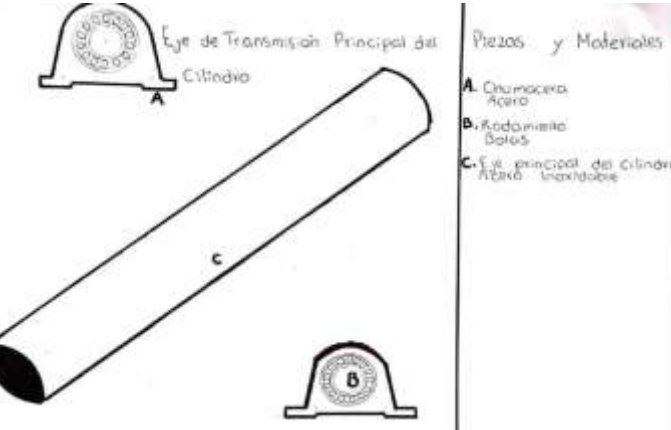
ORGANIZAN



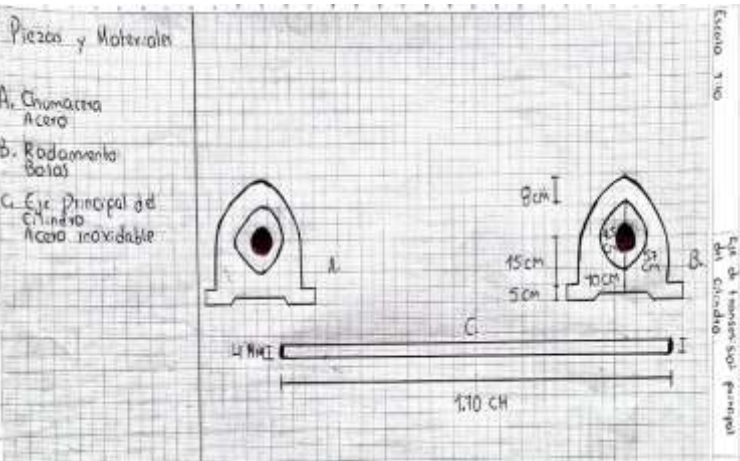
UNIVERSIDAD
LIBRE®

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

a) Boceto preliminar del Eje principal



a) Plano a mano alzada con cotas



3.Diseño del eje.

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

Orden	Materia	Cantidad	Peso (kg)
1	Chumacera	2	0,15
2	Rodamiento	2	0,15
3	Eje principal	1	1,00
4	Cilindro	1	1,00
5	Acero	1	1,00
6	Acero	1	1,00
7	Acero	1	1,00
8	Acero	1	1,00
9	Acero	1	1,00
10	Acero	1	1,00
11	Acero	1	1,00
12	Acero	1	1,00
13	Acero	1	1,00
14	Acero	1	1,00
15	Acero	1	1,00
16	Acero	1	1,00
17	Acero	1	1,00
18	Acero	1	1,00
19	Acero	1	1,00
20	Acero	1	1,00
21	Acero	1	1,00
22	Acero	1	1,00
23	Acero	1	1,00
24	Acero	1	1,00
25	Acero	1	1,00
26	Acero	1	1,00
27	Acero	1	1,00
28	Acero	1	1,00
29	Acero	1	1,00
30	Acero	1	1,00
31	Acero	1	1,00
32	Acero	1	1,00
33	Acero	1	1,00
34	Acero	1	1,00
35	Acero	1	1,00
36	Acero	1	1,00
37	Acero	1	1,00
38	Acero	1	1,00
39	Acero	1	1,00
40	Acero	1	1,00
41	Acero	1	1,00
42	Acero	1	1,00
43	Acero	1	1,00
44	Acero	1	1,00
45	Acero	1	1,00
46	Acero	1	1,00
47	Acero	1	1,00
48	Acero	1	1,00
49	Acero	1	1,00
50	Acero	1	1,00
51	Acero	1	1,00
52	Acero	1	1,00
53	Acero	1	1,00
54	Acero	1	1,00
55	Acero	1	1,00
56	Acero	1	1,00
57	Acero	1	1,00
58	Acero	1	1,00
59	Acero	1	1,00
60	Acero	1	1,00
61	Acero	1	1,00
62	Acero	1	1,00
63	Acero	1	1,00
64	Acero	1	1,00
65	Acero	1	1,00
66	Acero	1	1,00
67	Acero	1	1,00
68	Acero	1	1,00
69	Acero	1	1,00
70	Acero	1	1,00
71	Acero	1	1,00
72	Acero	1	1,00
73	Acero	1	1,00
74	Acero	1	1,00
75	Acero	1	1,00
76	Acero	1	1,00
77	Acero	1	1,00
78	Acero	1	1,00
79	Acero	1	1,00
80	Acero	1	1,00
81	Acero	1	1,00
82	Acero	1	1,00
83	Acero	1	1,00
84	Acero	1	1,00
85	Acero	1	1,00
86	Acero	1	1,00
87	Acero	1	1,00
88	Acero	1	1,00
89	Acero	1	1,00
90	Acero	1	1,00
91	Acero	1	1,00
92	Acero	1	1,00
93	Acero	1	1,00
94	Acero	1	1,00
95	Acero	1	1,00
96	Acero	1	1,00
97	Acero	1	1,00
98	Acero	1	1,00
99	Acero	1	1,00
100	Acero	1	1,00

Total 296 Kg

➤ **Pesos que soportará el eje**
Se le adiciona 20% de peso para reducir el esfuerzo del material.

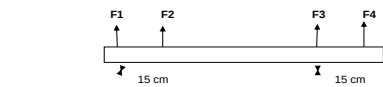
$$296 \text{ kg} \times 1,2 = \mathbf{355,2 \text{ Kg}}$$

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

$$= \mathbf{3484,5 \text{ N}}$$

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.

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

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

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

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:
 σ_{max} = 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:

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

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

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.

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

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

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

$$= \mathbf{16,23 \text{ MPa}}$$

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)

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_X^2 + 3T_{XY}^2}$$

En donde
 σ' = Esfuerzo Von Mises (MPa)
 σ_X = Esfuerzo normal (MPa)
 T_{XY} = Esfuerzo cortante (MPa)

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

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

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 (Sy)

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

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

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

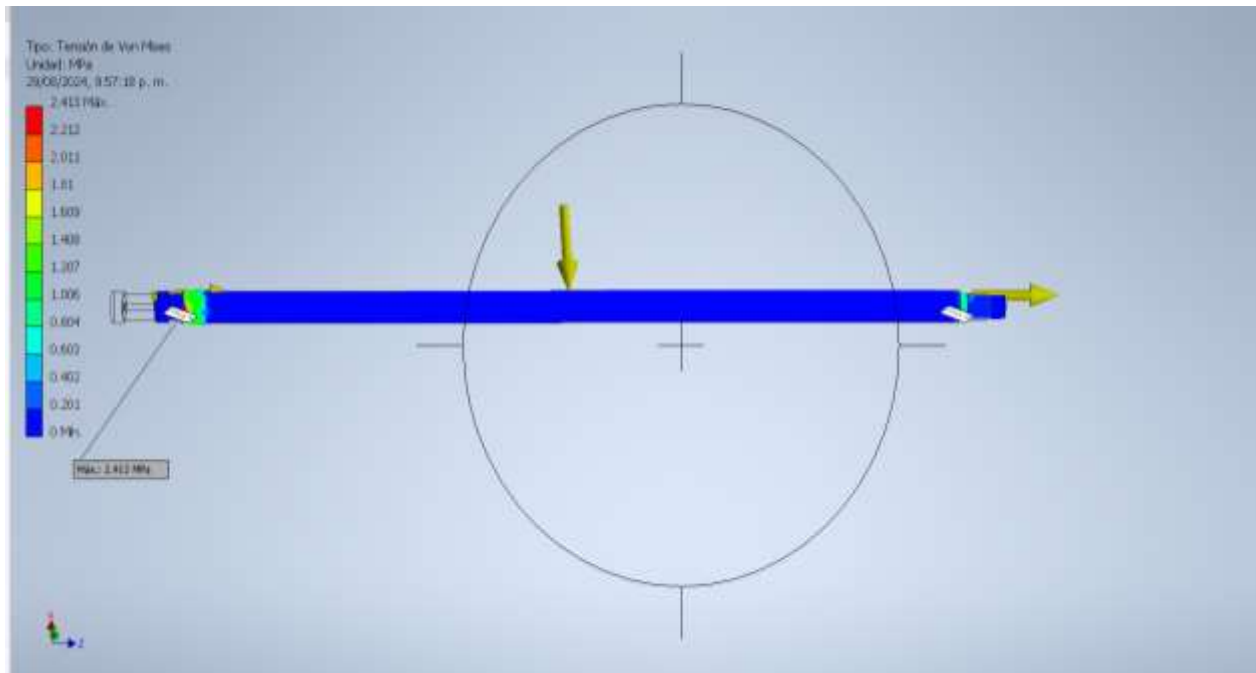
$$\eta_{S \text{ 40mm}} = \mathbf{3,38}$$

$$\eta_{S \text{ 30mm}} = \mathbf{2,53}$$

Eje principal simulación 3D, Acero inoxidable AISI 316L.



Tensiones de Von Mises en el eje principal.



Análisis de cálculo y diseño.

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.

COMPLEMENTOS

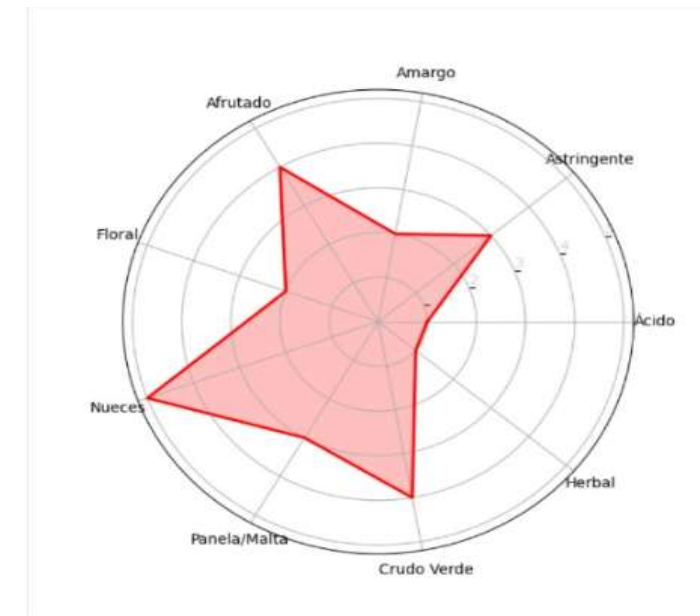
ORGANIZAN



UNIVERSIDAD
LIBRE®

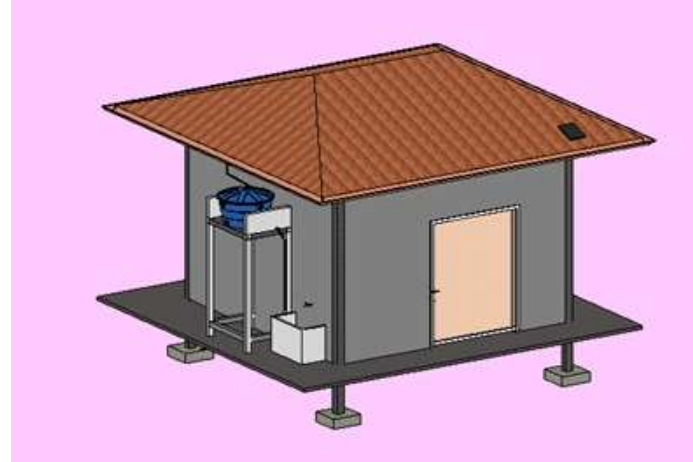
Aplicativo de software- CACAOLAB

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.



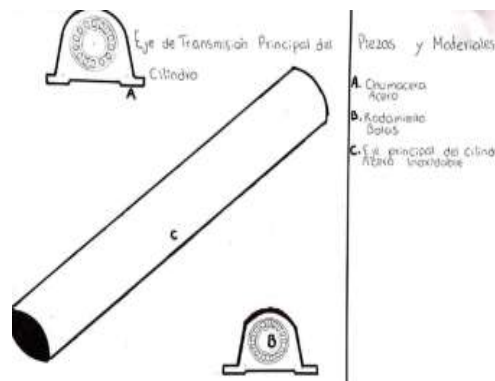
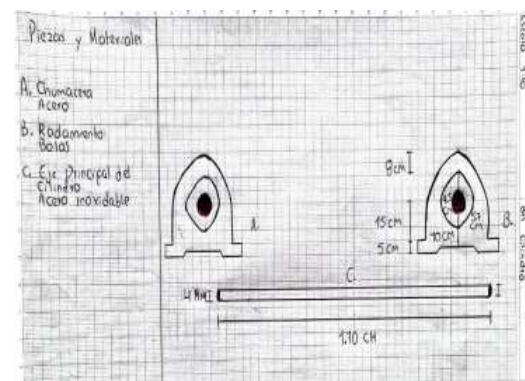
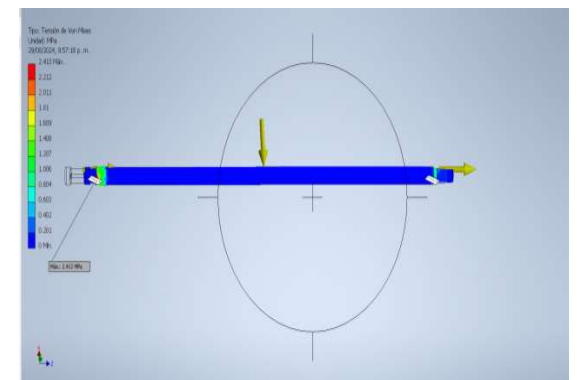
Planta de procesamiento Sostenible

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.



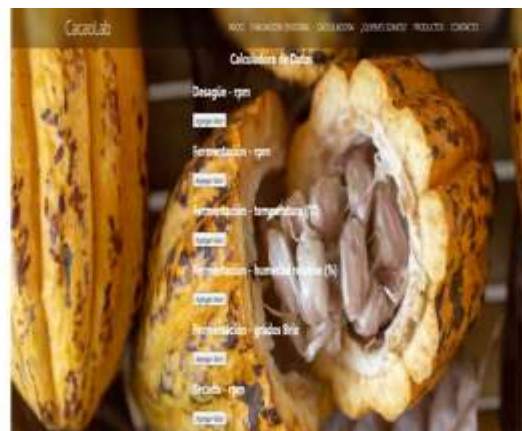
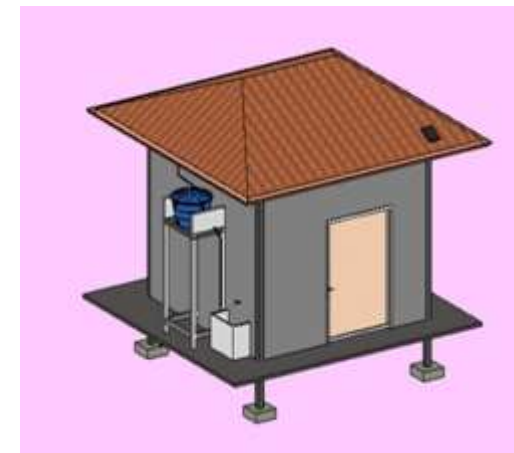
Conclusión 1

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_s (2,413), y el calculado teóricamente, η_s (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.



Conclusión 2

Los complementos para el proyecto SGPS-12885 en sus fases posteriores, 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.



Referencias bibliográficas

- 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.

Tiempo

Preguntas, dudas e inquietudes



GRACIAS
POR LA ATENCIÓN PRESTADA