

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño y construcción de un prototipo para fermentación de cacao en baba

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Loor Suárez Rimer Josué

Mora Tagle Gabriel Antonio

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

A Dios por las bendiciones recibidas; a mis padres José y Galaliz, por todo su esfuerzo y el apoyo incondicional que me brindan; a mis abuelos y familia, por su cariño; a mi hermana María José, por ser la inspiración que me motiva a seguir adelante; a mis amigos Andrea D., Andrea L., Javier y Josué, por hacer de este camino una experiencia inolvidable y a todos y cada uno de los que formaron parte del proceso. Gracias...totales.

Gabriel Antonio Mora Tagle

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a la Ph.D. Emérita Delgado y al Ing. José Reinoso por las enseñanzas, dirección y consejos recibidos durante la realización de este proyecto; al Ph.D. Juan Peralta y a MAINSU con su representante Ing. Xavier Suárez, por el espacio otorgado para el desarrollo y construcción del prototipo y a los docentes por sus conocimientos y experiencias compartidas.

Declaración Expresa

Nosotros *Loor Suarez Rimer Josué y Mora Tagle Gabriel Antonio* acordamos y reconocemos que la titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, información no divulgada y cualquier otro derecho o tipo de Propiedad Intelectual que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, incluyendo cualquier derecho de participación de beneficios o de valor sobre titularidad de derechos, pertenecerán de forma total, perpetua, exclusiva e indivisible a LA ESPOL, sin limitación de ningún tipo. Se deja además expresa constancia de que lo aquí establecido constituye un “previo acuerdo”, así como de ser posible bajo la normativa vigente de transferencia o cesión a favor de la ESPOL de todo derecho o porcentaje de titularidad que pueda existir.

Sin perjuicio de lo anterior los alumnos firmantes de la presente declaración reciben en este acto una licencia de uso gratuita e intransferible de plazo indefinido para el uso no comercial de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, sin perjuicio de lo cual deberán contar con una autorización previa expresa de la ESPOL para difundir públicamente el contenido de la investigación, desarrollo tecnológico o invención.

Así también autorizamos expresamente a que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra o invento, por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Guayaquil, _____ del 2023.



Rimer Loor S.



Gabriel Mora T.

Evaluadores

Ph.D. Emérita Delgado

Profesor de Materia

Ph.D. Emérita Delgado

Tutor de proyecto

RESUMEN

En el presente escrito se desarrolla el diseño y construcción de un prototipo de fermentador de granos de cacao en baba, con la finalidad de realizar un proceso más controlado y limpio, evitando el contacto de la masa fermentada con insectos y animales del sector; además de recolectar y aprovechar el líquido exudado de mucílago para ser utilizado como materia prima en otros procesos. Se analizaron los criterios propuestos por el cliente, y se realizaron varios diseños de los cuales, el fermentador de madera de laurel fue el que mejor cumplía con los requerimientos; una vez construido el prototipo se procedió con la fermentación insertando los granos de cacao dentro de la cámara, para comenzar con el proceso; se realizaron frecuentes remociones a la masa fermentada, se realizó la recolección del líquido exudado y además se tomaron datos para analizar la temperatura alcanzada por los granos durante la fermentación; una vez completado el proceso, se procedió con el secado para realizar las pruebas de calidad según la normativa INEN 176; concluidas las pruebas se obtuvieron resultados de más del 75% del total de los granos correctamente fermentados y aproximadamente 1125 ml de mucílago recolectado durante proceso. Finalmente, el prototipo cumple favorablemente con los objetivos propuestos, además permite optimizar la remoción de manera automatizada, garantizando el volteo de la totalidad de la masa y la distribución uniforme de la temperatura dentro de la cámara de fermentación.

Palabras Clave: Remoción, Construcción, Temperatura, Mucílago, Fermentación.

ABSTRACT

This paper develops the design and construction of a prototype fermenter for cocoa beans in slime, to perform a more controlled and clean process, avoiding the contact of the fermented mass with insects and animals of the sector; in addition to collect and use the liquid exuded from mucilage to be used as raw material in other processes. The criteria proposed by the client were analyzed, and several designs were made, of which the laurel wood fermenter was the one that best met the requirements; once the prototype was built, the fermentation process was started by inserting the cocoa beans into the chamber to begin the process; The fermented mass was stirred frequently, the exuded liquid was collected and data was taken to analyze the temperature reached by the beans during fermentation; once the process was completed, the beans were dried to perform the quality tests according to INEN 176 standards; once the tests were completed, the results obtained were more than 75% of the total beans correctly fermented and approximately 1125 ml of mucilage collected during the process. Finally, the prototype complies favorably with the proposed objectives, in addition to optimizing the removal in an automated manner, guaranteeing the turning of the entire mass and the uniform distribution of the temperature inside the fermentation chamber.

Keywords: *Removal, Construction, Temperature, Mucilage, Fermentation.*

Índice general

Evaluadores	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
Índice general	8
Abreviaturas	11
Simbología	12
Índice de figuras	13
Índice de tablas.....	14
ÍNDICE DE PLANOS	16
Capítulo 1	17
1.1 Introducción	18
1.2 Descripción del problema	19
1.3 Justificación del problema	20
1.4 Objetivos	21
1.4.1 Objetivo general	21
1.4.2 Objetivos específicos	21
1.5 Marco teórico	22
1.5.1 Aspectos generales del cacao	22
1.5.2 Grupos genéticos del cacao.....	23
1.5.3 Beneficio del cacao	24
1.5.4 Comercialización del cacao en el Ecuador	31
Capítulo 2	33
2.1 Metodología.....	34
2.1.1 Requerimientos de diseño.....	35
2.1.2 Criterios de diseño	35
2.1.3 Ponderación de criterios	36

2.1.4	Alternativas de solución	37
2.1.5	Selección de alternativas	39
2.1.6	Diseño de la cámara de fermentación.....	40
2.1.7	Criterio de selección del material del eje de transmisión y armadura de la cámara de fermentación.	41
2.1.8	Diseño del eje de transmisión.....	42
2.1.9	Fuerza de tiro para generar rotación del baúl de fermentación.	43
2.1.10	Diseño del eje de transmisión por Fatiga	45
2.1.11	Selección del diámetro de poleas	47
2.1.12	Longitud de la banda de transmisión.....	47
Capítulo 3	49
3.1	Resultados y análisis	50
3.1.1	Dimensiones de la cámara de fermentación	50
3.1.2	Carga total sobre el sistema de fermentación.....	51
3.1.3	Fuerzas de rotación.....	52
3.1.4	Diseño del eje	53
3.1.5	Selección de motorreductor.....	54
3.1.6	Diámetros de las poleas de transmisión.....	55
3.1.7	Selección de banda de transmisión.....	56
3.2	Construcción del equipo	56
3.2.1	Materiales	56
3.2.2	Procedimiento de construcción.....	59
3.3	Experimentación	62
3.3.1	Primera muestra.....	63
3.3.2	Segunda muestra.....	68
3.4	Costo del proyecto	77
Capítulo 4	80

4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	81
4.1.1 Conclusiones.....	81
4.1.2 Recomendaciones.....	82
Referencias.....	83
Apéndice.....	87

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
BCE	Banco Central del Ecuador
OIRSA	Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria
ICCO	International Cocoa Organization
CCN51	Colección Castro Naranjal 51

Simbología

mm	Milímetro
Kg	Kilogramo
Pa	Pascal
psi	Libra por pulgada cuadrada
m	Metro
Lt	Litro
N	Newton
Rpm	Revoluciones por minuto
Hp	Caballos de fuerza
W	Vatios

Índice de figuras

Figura 1 <i>Morfología del cacao</i>	22
Figura 2 <i>Productor agrícola cosechando el fruto del cacao</i>	25
Figura 3 <i>Fermentado de granos de cacao en montones</i>	28
Figura 4 <i>Fermentado de granos de cacao en sacos</i>	29
Figura 5 <i>Fermentado de granos de cacao en cajones</i>	30
Figura 6 <i>Fermentado de granos de cacao por el método de Rohan</i>	30
Figura 7 <i>Exportaciones por grupos de productos del año 2021</i>	32
Figura 8 <i>Diagrama de flujo del proceso de diseño</i>	34
Figura 9 <i>Alternativa de diseño #1: Fermentador de acero inoxidable</i>	38
Figura 10 <i>Alternativa de diseño #2: Fermentador de madera</i>	38
Figura 11 <i>Alternativa de diseño #3: Fermentador de plástico</i>	39
Figura 12 <i>Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión</i>	42
Figura 13 <i>Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión y punto crítico “A”</i>	45
Figura 14 <i>Esfuerzos fluctuantes de flexión en el punto crítico “A”</i>	45
Figura 15 <i>Dimensiones de la cámara de fermentación</i>	51
Figura 16 <i>Grafica esfuerzo vs deformación del acero AISI 304</i>	54
Figura 17 a) <i>Superficie recolectora de mucilago</i> b) <i>cámara de fermentación</i>	60
Figura 18 <i>Armazón de la cámara de fermentación</i>	61
Figura 19 <i>Construcción de la estructura del fermentador</i>	61
Figura 20 <i>Eje de transmisión del prototipo</i>	62
Figura 21 <i>Fermentador de cacao; prototipo</i>	62
Figura 22 <i>Granos de cacao puestos a fermentar dentro de la cámara</i>	63
Figura 23 <i>Temperatura de la masa de cacao alcanzada durante el segundo día</i>	64
Figura 24 <i>Temperatura alcanzada en el tercer día de fermentación</i>	65
Figura 25 <i>Cantidad de mucilago recolectado en el proceso de fermentación</i>	65
Figura 26 <i>Temperatura alcanzada por la muestra en el cuarto día de fermentación</i>	66
Figura 27 <i>Masa de cacao contaminada por hongos</i>	66
Figura 28 <i>Comportamiento de la temperatura durante los días de fermentación</i>	67
Figura 29 <i>Temperatura inicial de la masa de cacao a fermentar</i>	69
Figura 30 <i>Masa de cacao durante el segundo día de fermentación</i>	70
Figura 31 <i>Temperatura alcanzada por el cacao durante el tercer día de fermentación</i> ..	70
Figura 32 <i>Cantidad de mucílago recolectado en la muestra CCN51</i>	71

Figura 33 <i>Temperatura alcanzada por el cacao durante el cuarto día de fermentación</i> .71	71
Figura 34 <i>Temperatura alcanzada por el cacao durante el quinto día de fermentación</i> ..72	72
Figura 35 <i>Temperatura obtenida por el cacao durante el último día de fermentación</i>72	72
Figura 36 <i>Cacao fermentado</i>73	73
Figura 37 <i>Porcentaje de humedad del cacao luego de la fermentación</i>73	73
Figura 38 <i>Granos de cacao colocados en el secador</i>74	74
Figura 39 <i>Análisis de fermentación por medio de corte según norma INEN 176</i>76	76
Figura 40 <i>Comportamiento de la temperatura durante los días de fermentación</i>76	76

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Diferencias de una semilla correctamente fermentada vs una semilla mal fermentada</i>26	26
Tabla 2 <i>Tiempo de fermentación, y proceso de volteo según genotipo del cacao</i>27	27
Tabla 3 <i>Rango y criterios de la comparación por pares</i>36	36
Tabla 4 <i>Comparación por pares para el prototipo de fermentador de cacao</i>36	36
Tabla 5 <i>Rangos y criterios de la matriz de decisiones del fermentador de cacao</i>39	39
Tabla 6 <i>Matriz de decisiones del fermentador de cacao</i>39	39
Tabla 7 <i>Diagramas de carga, esfuerzo cortante y momento del eje de transmisión</i>46	46
Tabla 8 <i>Producto: masa y densidad de cacao en baba</i>50	50
Tabla 9 <i>Dimensiones de la cámara de fermentación</i>50	50
Tabla 10 <i>Parámetros de la estructura de cámara</i>51	51
Tabla 11 <i>Cargas puntuales que actúan sobre el fermentador de cacao</i>52	52
Tabla 12 <i>Parámetros para el cálculo de la fuerza de rotación del motor reductor</i>52	52
Tabla 13 <i>Fuerza de rotación de la cámara de fermentación</i>52	52
Tabla 14 <i>Criterios asumidos para determinar el diámetro del eje del fermentador</i>53	53
Tabla 15 <i>Resultados del diseño del eje del fermentador</i>54	54
Tabla 16 <i>Datos obtenidos para la selección del motorreductor</i>55	55
Tabla 17 <i>Especificaciones técnicas del motor reductor seleccionado</i>55	55
Tabla 18 <i>Relación de transmisión y diámetros de las poleas del sistema de transmisión</i> 55	55
Tabla 19 <i>Especificaciones de la banda de transmisión</i>56	56
Tabla 20 <i>Materiales utilizados en la construcción del equipo</i>56	56
Tabla 21 <i>Resultados obtenidos de la fermentación con la primera muestra</i>68	68
Tabla 22 <i>Requisitos de calidad del cacao en grano beneficiado norma INEN 176</i>75	75

Tabla 23 <i>Resultados obtenidos de la fermentación con la segunda muestra</i>	77
Tabla 24 <i>Costos de la construcción del fermentador</i>	77

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Estructura del fermentador de cacao en baba
- PLANO 2 Bandeja recolectora de mucílago
- PLANO 3 Malla de protección de poleas y bandas
- PLANO 4 Eje de transmisión

Capítulo 1

1.1 Introducción

El cacao es una planta originaria de la zona alta amazónica de América del Sur, comprendido por Perú, Colombia y Ecuador. Actualmente, el cacao se cultiva en muchos países de zonas tropicales (Enríquez, 2010). El cacao en el Ecuador tiene un rol importante en el cambio de la matriz productiva debido a que su producción se realiza en la mayoría de las provincias, teniendo como principal fuente de cultivo las provincias del Litoral (Los Ríos, Guayas, Manabí, Esmeraldas y El Oro), en zonas cercanas a la Cordillera Occidental (Bolívar, Chimborazo, Cañar y Azuay) y en las provincias del noroeste (Sucumbíos, Orellana y Napo) (Barrera, y otros, 2019).

Según datos del Banco Central del Ecuador (BCE), en el año 2017 la producción de cacao ocupó el tercer lugar dentro de las exportaciones (no petroleras) de mayor relevancia, solo después del banano, plátano y camarón, teniendo una producción de alrededor de 308 mil toneladas y dejando ingresos de alrededor de 689 millones de dólares. En el país la producción de cacao de cualquier tipo genera empleo para alrededor de 100 mil familias dentro de los productores como tal; además en la cadena de producción participan otras 200 mil familias, teniendo una influencia directa de alrededor de 600 mil personas (Barrera, y otros, 2019).

El Ecuador Está buscando mejoras en el desarrollo de procesos industriales de cacao. Si bien es cierto que la calidad del cacao depende de factores como: origen del grano, tratamiento postcosecha y tostado, es en el proceso de fermentación donde se desarrolla los compuestos responsables del aroma, color y sabor (Cros, 2000).

El proceso de fermentación comienza poco después de la cosecha de los frutos, que se obtienen de los árboles del género *Theobroma cacao*. Una vez que los frutos son recolectados, se

abren para extraer las semillas, que son los granos de cacao. Estos granos están recubiertos por una pulpa dulce y mucilaginoso.

La fermentación del cacao difiere dependiendo de la zona en la que se desarrolla, del tiempo y del tipo de fermentador que se utiliza durante el proceso, teniendo como los más comunes: tinas plásticas, sacos de yute, montones y cajas de madera (Rivera Fernández, y otros, 2012).

Este procedimiento puede tomar de dos a cuatro días según el genotipo del cacao, durante este tiempo, los agricultores deben voltear y mezclar regularmente los granos de cacao para garantizar una fermentación uniforme y prevenir la proliferación de microorganismos no deseables. Por consiguiente, un buen control sobre el proceso de fermentación garantiza la calidad del cacao (Enríquez, 2010).

1.2 Descripción del problema

Los productores utilizan diferentes métodos en la fermentación del cacao, con características y efectos en el proceso, pero la fermentación en bolsas o sacos es el método tradicional más utilizado por los agricultores, se usa con mayor frecuencia en pequeñas plantaciones o en áreas con limitados recursos y espacio. Consiste en colocar los granos de cacao y la pulpa en bolsas o sacos de fibra natural, como yute o polipropileno. Las bolsas se colocan en montones o en el suelo y se voltean periódicamente para asegurar una fermentación uniforme. Si bien este método facilita el control de la fermentación y evita la mezcla con otros lotes, tal proceso genera que el producto se llene de mosquillas y atraiga a otros animales del área como ratas, e insectos tal es el ejemplo de las arañas.

El mucílago liberado durante la fermentación se acumula en la parte inferior del saco por falta de mezcla y distribución uniforme, lo que conlleva a una mayor cantidad de desperdicio que no se incorpora eficazmente a los granos de cacao. Debido a tal acumulación, el mucílago puede actuar como una barrera entre los granos y los microorganismos responsables del proceso bioquímico de la fermentación, lo que dificulta el acceso y la interacción de estos con los azúcares presentes en los granos, afectando negativamente la calidad de la fermentación y los sabores resultantes. Este residuo no solo puede ser una pérdida de recursos, sino que también puede generar problemas ambientales al no gestionarse adecuadamente.

1.3 Justificación del problema

El cacao originario de Ecuador conocido como cacao nacional difiere de las plantaciones cultivadas alrededor del mundo, puesto que los granos que produce desarrollan propiedades organolépticas particulares, las cuales son muy valoradas por el consumidor (Garay Vega, 2019).

Comúnmente los agricultores ecuatorianos, emplean como método de transportación y fermentación, la reutilización de sacos de plástico o yute, manteniendo las almendras dentro de ellos por un periodo aproximado de 5 días. Puesto a que la mayoría de estos sacos son reciclados, deben tener un buen control de limpieza y desinfección, para que los contaminantes y vestigios presentes en dichos sacos, no afecten el proceso bioquímico de la fermentación (Enríquez, 2010).

En ciertos casos, se requiere cambiar diariamente de recipiente para que el producto tenga una remoción uniforme, mejor aireación y evitar el ataque de animales e insectos del sector. Si bien es cierto que este método depende del material genético, lugar y cantidad, si no existe la adecuada manipulación del proceso, la mayoría de las semillas en el centro quedan sin fermentar

dando como resultado una fermentación deficiente (Moreno Martínez, Gavanzo Cárdenas, & Rangel Silva, 2019).

Un factor que suelen ignorar los agricultores es el drenaje del mucílago, que se desprende durante la fermentación, ya que el exceso de líquido dificulta la circulación del aire, favorece el crecimiento de microorganismos no deseados y afecta la calidad de la fermentación. Generalmente los residuos de pulpa y cascara, no son aprovechados por los agricultores, los cuales lo desechan en terrenos cercanos a sus fincas, originando un problema de contaminación del suelo y cuerpos hídricos, además de ocasionar malos olores en las inmediaciones (Villagómez García & Arguello Moreta , 2013).

Es por ello , que a partir de todo lo mencionado anteriormente, es de suma importancia realizar un diseño y construcción de un recipiente para la fermentación, el cual facilite el proceso de remoción del producto, y además permita un drenaje óptimo de los líquidos que se desprenden de la semilla en los primeros días de fermentación, permitiendo recolectar el exudado del mucilago para ser aprovechado en otros productos, disminuyendo los problemas ambientales que se generan a partir del mal manejo de estos residuos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un fermentador de cacao en baba por medio de un prototipo que permita el aprovechamiento del líquido fermentado, con la finalidad de la mejora de las propiedades organolépticas del producto final.

1.4.2 Objetivos específicos

- Proponer diseños de forma que permita una fermentación eficiente del producto, movimiento de sistemas y tanque de almacenamiento de baba fermentada.

- Realizar el análisis del diseño mecánico de cada parte del equipo y sistema de movimiento.
- Realizar la construcción del prototipo experimental del fermentador de cacao en baba.
- Realizar el análisis económico del equipo considerando el sistema de control.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Aspectos generales del cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es un arbusto proveniente de los bosques de la región amazónica, actualmente comprendido por Brasil, Perú, Ecuador, Venezuela y Colombia, y que se extiende hasta la región meridional de México. Cuando se trata de cultivos, posee una altura de 4 a 8 metros aproximadamente, y en ciertas ocasiones puede llegar hasta 20 metros dependiendo de factores como las condiciones climáticas, sombra y tipo de suelo en el que se desarrollan.

Tiene hojas de tamaño alargado (7 – 9 cm) y de varios colores según el grupo genético; las flores son de tamaño pequeño y coloreadas, mientras que los frutos son de proporciones robustas y formas variadas. Dentro de estos se encuentra las semillas, que tiene forma oblonga y poseen un recubrimiento que protege al cotiledón, el cual una vez procesado, se comercializa para hacer el chocolate; en la parte exterior, está el mucílago que es la parte viscosa y dulce responsable de la fermentación (Doser, y otros, 2012).

Figura 1

Morfología del cacao



Imagen tomada de: (Yo Soy Agrónomo, 2013)

1.5.2 Grupos genéticos del cacao

Se conoce que el cacao se divide en tres grupos según su genética, los cuales son: Criollos, Forasteros y Trinitarios. En el Ecuador se produce un tipo de cacao Criollo comúnmente llamado como Nacional o De Arriba (Durán & Dubón, 2016).

1.5.2.1 Cacao Criollo

Es un tipo de cacao reconocido mundialmente por su calidad, que son los más utilizados al momento de elaborar chocolates finos, debido a su agradable sabor y aroma; se caracteriza por ser de color verde y rojo, de forma alargada y además su semilla es de color blanco y el mucilago de sabor dulce (Durán & Dubón, 2016).

1.5.2.2 Cacao Forastero

Tanto sus granos, como los chocolates elaborados a partir de este grupo de cacao, son considerados de baja calidad, por mantener un sabor amargo debido al elevado contenido de taninos, y el mucilago es de sabor ácido y con muy poco aroma luego del fermentado. Dentro de sus características están el color verde de sus frutos, con superficie lisa y de forma ovalada (Durán & Dubón, 2016).

1.5.2.3 Cacao Trinitario

Este tipo de cacao nació de las cruces entre el tipo criollo y el forastero, dando como resultado semillas con características compartidas de ambos grupos genéticos, tales como: la robustez y resistencia del grupo Forastero y el sabor y aroma del grupo Criollo (Durán & Dubón, 2016).

1.5.2.4 Cacao Nacional

Antiguamente fue clasificado como cacao de tipo Forastero, pero en la actualidad se sabe que se identifica más con el cacao de tipo criollo, debido a sus propiedades muy parecidas; esta variedad muy tradicional en el Ecuador, se caracteriza por entregar un chocolate de excelente aroma y sabor fuerte el cual lo hace muy apetecible; tiene la particularidad de fermentarse por completo en pocas horas, pero con la desventaja de que es muy susceptible a plagas y enfermedades, además de que solo se cosecha una vez al año (Enríquez, 2010).

1.5.2.4.1 Cacao Híbrido CCN-51

Esta variedad es originaria de Ecuador a partir de la mezcla del cacao Nacional con otros tipos genéticos; fue desarrollado por el productor Homero Castro Zurita con la finalidad de obtener árboles y frutos más resistentes a las plagas y enfermedades, además esta variedad se adapta a cualquier suelo y a diferentes condiciones climáticas presentes en el país; es mucho más productivo pero con la desventaja de que su calidad varía en gran medida con el Nacional y los Criollos en general (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019).

1.5.3 Beneficio del cacao

El beneficio es el proceso en el cual se colocan las semillas de cacao, en recipientes especializados para después, ser comercializados. Este proceso tiene como finalidad la remoción del mucilago para facilitar el secado y la conservación, incrementar la temperatura (40 – 50°C) generando reacciones químicas en la semilla que generan el sabor y el aroma, contribuye a la división del cotiledón y la cutícula, paso primordial para la industrialización y por último darle una buena apariencia y excelente calidad en el mercado (Enríquez, 2010).

1.5.3.1 Cosecha

Consiste principalmente en la recolección de los frutos maduros dados por el árbol de cacao, se conoce como fruto maduro cuando la fruta cambia de color verde a amarillo o de rojo a naranja según sea el caso, lo cual se da aproximadamente entre 120 y 150 días después de fecundarse. Una vez recogido el fruto, se procede a abrir la mazorca para retirar las semillas teniendo en cuenta cuales son las mazorcas aptas para el proceso de fermentación, mismas que no deben estar sobre maduras y con plagas o enfermedades ya que esto podría causar merma en la calidad del producto final u ocasionar problemas de salud en los consumidores (Paredes Andrade, y otros, 2022).

Figura 2

Productor agrícola cosechando el fruto del cacao



Imagen tomada de la finca cacaotera, localizada en Parroquia Virgen de Fátima

1.5.3.2 Fermentación

Es el paso más importante de todo el proceso de producción del cacao, siendo el momento en el que se retira el mucilago excedente de las semillas, se da un proceso exotérmico encargado de matar el embrión de la semilla, y se inician los cambios químicos y físicos encargados de la formación de compuestos precursores del sabor y aroma del chocolate (Paredes Andrade, y otros, 2022).

Para realizar este proceso es necesario tener un lugar que cumpla ciertas especificaciones, tales como buena ventilación, humedad apropiada y sombra, para que la fermentación se pueda dar de manera óptima (Rojas Sosa & Rojas Manayay, 2018). En la **Tabla 1** se muestran las diferencias entre las semillas correctamente fermentadas y las mal fermentadas.

Tabla 1

Diferencias de una semilla correctamente fermentada vs una semilla mal fermentada

<i>Almendras bien fermentadas</i>	<i>Foto</i>	<i>Almendras mal fermentadas</i>	<i>Foto</i>
<i>De aspecto grueso</i>		Aplanadas	
<i>Cascara quebradiza y separada de la almendra</i>		Cascara pegada a la semilla	
<i>Cotiledón de color marrón</i>		Dura	
<i>Sabor medio amargo</i>		Cotiledón de color morado	
<i>Aroma agradable</i>		Sabor amargo	

Información tomada de: (Ortíz & Guilcapi, 2020) y (OIRSA, 2016)

1.5.3.2.1 Factores que influyen en la fermentación

Para que la fermentación se realice de manera óptima y el producto final obtenga la calidad deseada, es importante tener presente los factores que influyen en el curado de la semilla, tales como: la variedad de cacao con el que se trabaja (Criollo, Forastero, Nacional), el grado de madurez de las mazorcas, el tiempo de la fermentación, las condiciones del clima (temperatura, humedad), el proceso de aireación o número de volteos y por último el método de fermentación utilizado durante el proceso (Ortíz & Guilcapi, 2020).

Temperatura y tiempo de fermentación: La temperatura es un factor importante para obtener una buena fermentación; ya que, de lo antes mencionado, y del genotipo del cacao, depende el tiempo que tomara en completar el proceso. Cuando los granos alcanzan su temperatura

máxima la cual ronda entre los 40 y 50°C, y posteriormente comienza a descender, es señal de que la fermentación ha terminado (Ortíz & Guilcapi, 2020), generalmente esto ocurre en 3 días cuando el cacao es Criollo, 8 días cuando el cacao es Forastero y entre 4 y 5 días cuando es cacao Nacional; por lo cual es importante llevar un registro de la temperatura cada 12 o 24 horas (Paredes Andrade, y otros, 2022).

Volteo de los granos: Este proceso es de suma importancia para que los granos logren completar los cambios bioquímicos que se producen en la fermentación, además de prevenir la formación de moho, separar granos que se encuentran adheridos entre sí y para facilitar la aireación con el fin de que la fermentación sea más uniforme. La cantidad de volteos se realiza según el tiempo de fermentación, tal que cuando la fermentación dura de 3-4 días, el volteo se lo realiza cada 24 horas, mientras que cuando la fermentación toma de 5-6 días, el primero volteo se lo realiza pasada las 48 horas, luego se repite el proceso cada 24 horas hasta finalizar la fermentación (Paredes Andrade, y otros, 2022). En la **Tabla 2** se muestra el tiempo idóneo de fermentación según el tipo de cacao, y el proceso de volteo que conlleva cada uno.

Tabla 2

Tiempo de fermentación, y proceso de volteo según genotipo del cacao

<i>Genotipo</i>	<i>Tiempo de fermentación</i>	<i>Proceso de volteo</i>
<i>Criollo</i>	3 – 4 días	Se realiza el volteo cada 24 horas.
<i>Nacional</i>	4 – 5 días	Se realiza el primer volteo pasada las 48 horas, luego se repite el proceso cada 24 horas.
<i>Forastero</i>	8 días	Se realiza el primer volteo pasada las 48 horas, luego se repite el proceso cada 24 horas.

Información tomada de: (Ortíz & Guilcapi, 2020) y (Paredes Andrade, y otros, 2022)

1.5.3.2.2 Métodos de fermentación

Existen varios tipos de sistemas de fermentación, que han sido utilizados por agricultores y productores a lo largo de los años, entre los cuales se destaca la fermentación en montones y la fermentación en sacos de yute o polipropileno. A continuación, se detallan los diferentes tipos de métodos para la fermentación del cacao:

Montones: Consiste en amontonar las semillas de cacao en una superficie, ya sea de cemento o de madera, con la finalidad de escurrir el mucilago y limpiar las semillas (**ver figura 3**). Los montones son cubiertos con hojas de plátano para evitar que el calor producido se pierda en el ambiente (OIRSA, 2016).

Figura 3

Fermentado de granos de cacao en montones



Imagen tomada de: (Nogales, 2017)

Sacos: Consiste en colocar las almendras en sacos de yute o polipropileno, cubiertos también con hojas de plátano para evitar la pérdida de calor (**figura 4**). A pesar de que este método es uno de los más utilizados, no es muy recomendable debido a la dificultad que presenta a la hora de realizar los volteos, y además posee un bajo porcentaje de granos fermentados, lo cual influye en la calidad del producto final (OIRSA, 2016).

Figura 4

Fermentado de granos de cacao en sacos



Imagen tomada de: (Doris, 2011)

Cajones: Este método es uno de los mejores, ya que tiene un alto porcentaje de granos fermentados y su diseño evita la pérdida de calor en las semillas, haciendo el proceso más eficiente. Consiste en una caja de madera de dimensiones de 90x90x90 cm dentro del cual caben alrededor de 3 quintales de semillas; el fondo de los cajones debe estar perforado con agujeros de 7 - 8 mm de diámetro separados cada 10cm, para facilitar el drenaje del mucilago, además posee compartimientos removibles con el fin de simplificar el volteo de las semillas (**ver figura 5**) (OIRSA, 2016).

Figura 5

Fermentado de granos de cacao en cajones



Imagen tomada de: (Nogales, 2017)

Método Rohan: Este método consiste en gavetas de dimensiones 120x80x10 cm y con reglillas de 5cm de ancho en el fondo y cada una de ellas separadas por 5mm, con el fin de facilitar la aireación y el drenaje del exudado. Se deben colocar las gavetas una encima de otra, haciendo pilas de hasta 12 gavetas (**ver figura 6**) y cambiarlas de posición todos los días para mejorar la aireación (Enríquez, 2010).

Figura 6

Fermentado de granos de cacao por el método de Rohan



Imagen tomada de: (Nogales, 2017)

1.5.3.3 Secado del cacao

Una vez completado el proceso de fermentación, los granos de cacao quedan con una humedad del 55-60% aproximadamente, por lo que es necesario reducir esta humedad al 6-7%,

para que los granos puedan completar el proceso bioquímico con el cual se obtiene el sabor y el aroma característico a chocolate.

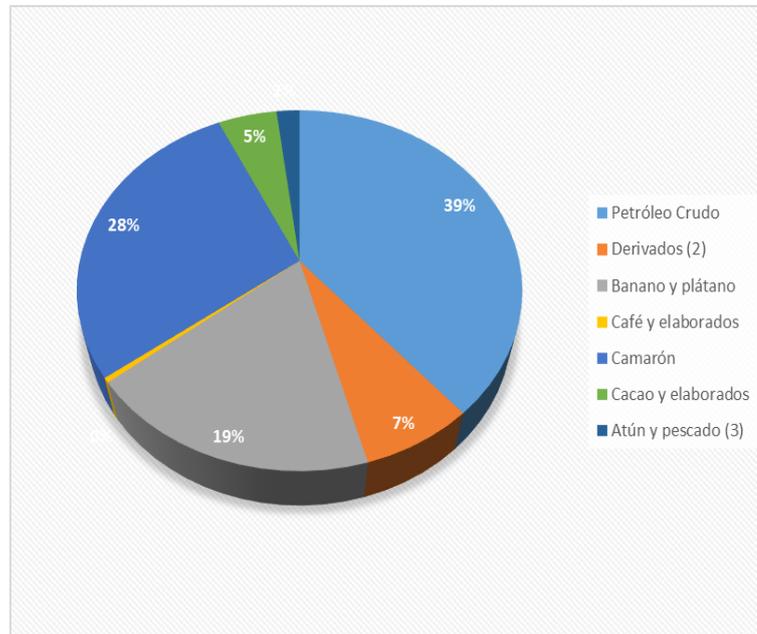
El secado se puede dar de manera natural, colocando los granos en un tendal y removiendo cada cierto tiempo, dejando que el sol realice el trabajo; y además se puede realizar de manera artificial, por medio de secadores, este proceso requiere una mayor atención por motivo que la temperatura no puede exceder los 60°C puesto que el grano podría resecarse y echarse a perder (Paredes Andrade, y otros, 2022).

1.5.4 Comercialización del cacao en el Ecuador

En los últimos años, la comercialización de cacao en el Ecuador ya sea de productos elaborados, semielaborados o en grano, ha experimentado un crecimiento considerable posicionando al país como el tercer productor mundial de cacao, con una producción aproximada de 300 mil toneladas (ICCO, 2023). Este crecimiento ha beneficiado a cerca de 600 mil familias, y ha tenido un impacto positivo en la economía del país; ya que según datos del BCE y como se observa en la **Figura 7**, la salida de cacao y sus elaborados ocupa el tercer lugar dentro de los productos de exportación no petroleros, solo después del banano y el camarón, alcanzando el 5% del total de exportaciones anuales en el Ecuador (Banco Central del Ecuador, 2021). Sin embargo, a pesar del crecimiento evidenciado, el país busca mejorar los procesos de producción con el fin de que para el año 2025, la industria del cacao pueda alcanzar un nivel de exportación de al menos 500,000 toneladas (Mendoza Vargas, Cervantes Molina, & Zamora Cevallos, 2022).

Figura 7

Exportaciones por grupos de productos del año 2021



Fuente: (Banco Central del Ecuador, 2021)

Capítulo 2

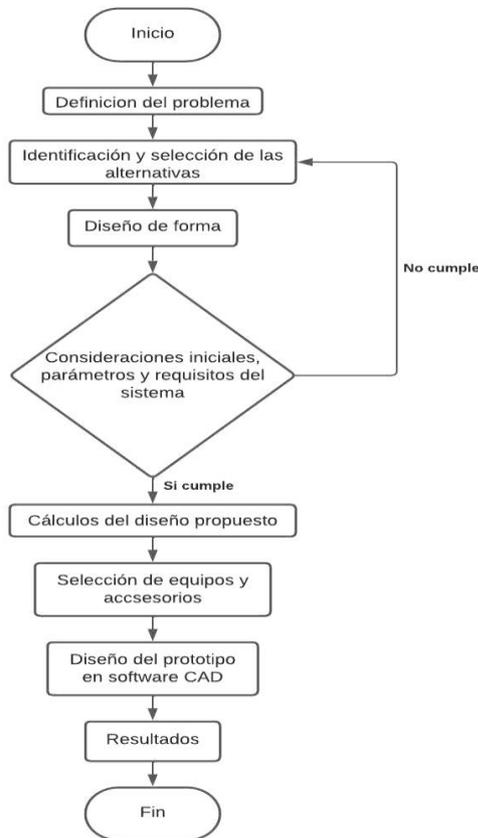
2.1 Metodología.

La etapa de fermentación, es de vital importancia para las propiedades del grano de cacao; en la actualidad dicho proceso, es mayormente realizado en sacos por lo que la calidad final no es la esperada por los productores; es por este motivo que se buscó desarrollar el mejor prototipo de fermentación, tomando en cuenta un sistema en el cual se logre mantener la temperatura de los granos en el rango adecuado, además que facilite la remoción y aeración dentro de la cámara de fermentación, y por último que logre recolectar el mucilago de los granos de cacao para ser utilizados en otros procesos y evitar la contaminación de los suelos.

Para poder mejorar el proceso de fermentación se propuso tres alternativas de diseño que cumplen con las premisas mencionadas y, mediante una matriz de decisiones (análisis cualitativo) se logró seleccionar la solución más adecuada para cumplir con todos los requerimientos del prototipo. A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso del proyecto:

Figura 8

Diagrama de flujo del proceso de diseño



2.1.1 Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño fueron dispuestos según las necesidades del cliente, el cual se basó en las características fundamentales para un fermentado óptimo y de calidad.

- *Capacidad de fermentación:* El fermentador debe tener una capacidad máxima de 6 kilogramos de granos de cacao.
- *Control de temperatura:* La cámara debe ser capaz de mantener y controlar la temperatura de fermentación dentro de un rango específico, preferiblemente entre 45 y 50 °C, para garantizar una fermentación adecuada y consistente.
- *Sistema de agitación:* El diseño debe incluir un sistema de volteo y aireación eficiente que permita mezclar los granos de manera uniforme, promoviendo una fermentación homogénea y evitando que los granos se adhieran entre sí.
- *Diseño higiénico:* El fermentador debe contar con un diseño y materiales que faciliten la limpieza y el mantenimiento de la cámara, evitando la acumulación de residuos, la proliferación de hongos y el riesgo de contaminación cruzada entre lotes de cacao.
- *Sistema de drenaje:* El diseño debe incluir un sistema capaz de drenar y recolectar el exudado del mucilago de los granos de cacao.
- *Adaptabilidad:* El diseño se debe adaptar a diferentes condiciones y requisitos de fermentación, considerando que la duración y la intensidad del proceso depende del tipo de cacao a fermentar.

2.1.2 Criterios de diseño

En los requerimientos detallados, los criterios de diseño escogidos para este proyecto fueron:

- *Eficiencia:* El fermentador debe garantizar un proceso eficiente, asegurando la correcta transformación química de los granos de cacao y promoviendo el desarrollo de sabores y aromas característicos.
- *Temperatura:* El diseño debe permitir un control de la temperatura durante el proceso de fermentación, asegurando que se mantenga dentro del rango óptimo para obtener resultados de calidad.

- *Homogeneidad*: El fermentador debe proporcionar una agitación adecuada que permita una distribución uniforme de la temperatura y los microorganismos en los granos de cacao, logrando así una fermentación homogénea.
- *Facilidad de uso*: El diseño debe ser intuitivo y fácil de usar, permitiendo a los productores realizar el proceso de fermentación de manera sencilla y eficiente.
- *Mantenimiento*: El fermentador debe contar con un diseño que facilite la limpieza y el mantenimiento, minimizando la acumulación de residuos y la proliferación de bacterias, garantizando la higiene y el correcto funcionamiento del equipo.
- *Durabilidad*: El diseño debe ser resistente, utilizando materiales duraderos que soporten las condiciones de fermentación y las del medio, asegurando una extensa vida útil.

2.1.3 Ponderación de criterios

Con la finalidad de conocer el grado de importancia de cada uno de los criterios planteados, se realizó el método de comparación por pares; dando valores de cero, uno y dos según la relevancia de cada criterio, siendo cero el de menor relevancia y dos el de mayor relevancia. En la **Tabla 3** se presenta los criterios de ponderación utilizados:

Tabla 3

Rango y criterios de la comparación por pares

<i>Rango</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Criterio</i>	Menos relevante	Medianamente relevante	Muy relevante

Con los rangos ya definidos, se procedió a realizar la tabla de comparación por pares (**Tabla 4**) para darle la respectiva ponderación a cada uno de los criterios planteados en la sección 2.1.2.

Tabla 4

Comparación por pares para el prototipo de fermentador de cacao

<i>Criterios de selección</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Homogeneidad</i>	<i>Facilidad de uso</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Durabilidad</i>	<i>Calificación</i>	<i>Peso</i>
<i>Eficiencia</i>	-	0	0	2	2	2	6	0,19

<i>Temperatura</i>	2	-	1	2	2	2	9	0,29
<i>Homogeneidad</i>	2	1	-	2	2	2	9	0,29
<i>Facilidad de uso</i>	0	0	0	-	1	2	3	0,10
<i>Mantenimiento</i>	0	0	0	1	-	2	3	0,10
<i>Durabilidad</i>	0	0	0	0	1	-	1	0,03
<i>Total</i>							31	1

Obtenidos los datos ponderados de la matriz de comparación por pares, el análisis dio como resultado que los criterios de mayor relevancia fueron los de temperatura y homogeneidad con un peso de 0,29, seguido de la eficiencia con un valor de 0,19, posteriormente se encuentran los criterios de facilidad de uso y mantenimiento con un peso de 0,10 cada uno y dejando como criterio de menor relevancia la durabilidad con un peso de 0,03. Estos valores obtenidos fueron necesarios para poder plantear la matriz de decisiones y escoger la mejor solución de entre todas las alternativas.

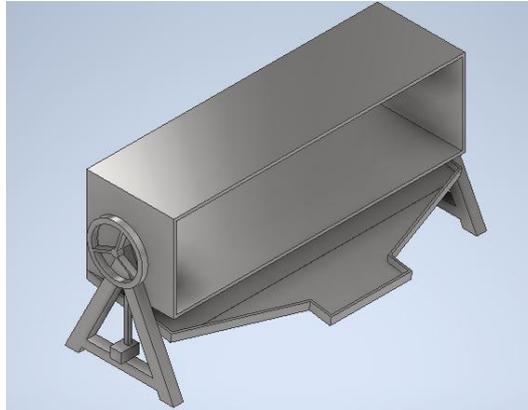
2.1.4 Alternativas de solución

A partir de los requerimientos y criterios establecidos, se presentaron tres diferentes alternativas de diseño los cuales cumplían con lo mencionado anteriormente. A continuación, se detallan cada uno de los diseños propuestos:

Alternativa de solución #1: Se presenta un prototipo hecho de acero inoxidable, material que evita que exista pérdida de calor con el ambiente, la temperatura será monitoreada a través de un sensor que será colocado en la parte interna del fermentador; dentro de la cámara de fermentación consta de un eje con paletas las cuales tienen un accionamiento manual a través de una manivela, este sistema es el encargado de realizar la agitación necesaria de la masa para lograr la aireación, por último el prototipo posee una base con perforaciones de 8mm de diámetro con separación de 5 a 8 cm entre sí, con la finalidad de recolectar el exudado del grano de cacao, este sistema estará controlado a través de una válvula para evitar fugas hacia el entorno (**ver figura 9**).

Figura 9

Alternativa de diseño #1: Fermentador de acero inoxidable



Alternativa de solución #2: En esta alternativa, el prototipo se encuentra hecho de madera de laurel, manteniendo el sensor de temperatura del diseño #1, para monitorear la máxima temperatura alcanzada por los granos durante el proceso; además el sistema para la remoción de la masa se da por medio de la rotación completa del tambor, accionado a partir de un motor colocado en la parte exterior del fermentador, por último la base del fermentador se encuentra perforada con agujeros de 8mm de diámetro y con una separación de 5 a 8 cm entre sí, para dejar escurrir los jugos iniciales de la fermentación (**ver figura 10**).

Figura 10

Alternativa de diseño #2: Fermentador de madera



Alternativa de solución #3: Se presenta un prototipo hecho de plástico libre de BPA (Bisfenol A), que mantiene la temperatura de la cámara dentro del rango requerido, al igual que los dos diseños anteriores posee un sensor de temperatura en el interior del fermentador y la

agitación de la masa se da por medio del movimiento completo del tambor, a través de un motor colocado en la parte exterior del fermentador. Para el sistema de destilado y recolección del exudado, al igual que en los diseños previos, la base se encuentra perforada con agujeros de 8mm separados de 5 a 8 cm entre sí (ver figura 11).

Figura 11

Alternativa de diseño #3: Fermentador de plástico



2.1.5 Selección de alternativas

Una vez detallados todas las posibles soluciones propuestas, se procedió a escoger por medio de una matriz de decisiones, el diseño que cumpla de mejor manera con todos los criterios de diseño detallados en la sección 2.1.2. A continuación en la **Tabla 6** se presenta la matriz de decisiones del fermentador de cacao:

Tabla 5

Rangos y criterios de la matriz de decisiones del fermentador de cacao

<i>Rango</i>	<i>1 – 3</i>
<i>Criterio</i>	1: Baja 2: Regular 3: Alta

Tabla 6

Matriz de decisiones del fermentador de cacao

		<i>Alternativas de fermentador</i>		
<i>Criterio</i>	<i>Peso</i>	<i>Fermentador de acero inoxidable</i>	<i>Fermentador de madera</i>	<i>Fermentador de plástico</i>

<i>Eficiencia</i>	0,19	3	0,57	3	0,57	2	0,38
<i>Temperatura</i>	0,29	3	0,87	2	0,58	2	0,58
<i>Homogeneidad</i>	0,29	3	0,87	3	0,87	3	0,87
<i>Facilidad de uso</i>	0,10	1	0,10	3	0,30	3	0,30
<i>Mantenimiento</i>	0,10	1	0,10	3	0,30	2	0,20
<i>Durabilidad</i>	0,03	3	0,09	2	0,06	2	0,06
<i>Total</i>	1		2,60		2,68		2,39

Una vez obtenidas las ponderaciones de la matriz de decisiones (**Tabla 6**) en base a los diseños propuestos, se obtuvo como resultado que el prototipo que mejor se acopla a los requerimientos para una fermentación de calidad y criterios de diseño planteados, es el fermentador de madera, por lo que fue el diseño seleccionado para la solución de la problemática.

2.1.6 Diseño de la cámara de fermentación

Según (Mitchell , Berovič, & Krieger, 2006), el material con el cual se fabrica la cámara de fermentación, es determinante para una fermentación óptima y por ende un producto final de calidad; por este motivo, para la selección del material se tomó en cuenta uno que su coeficiente de transferencia de calor sea alto, manteniendo la temperatura dentro de la cámara de fermentación en 45°C aproximadamente, para que el embrión del grano de cacao muera y se genere la actividad enzimática.

Con el material ya seleccionado, se procede a realizar el diseño de la cámara de fermentación, para conocer las dimensiones y el volumen de la cámara; para lo cual se partió de la ecuación (2.1), con la que se halla el Volumen del cacao:

$$\rho_{Cacao} = \frac{m_{Cacao}}{V_{Cacao}} \quad (2.1)$$

Donde:

$$\rho_{Cacao} : \text{Densidad del cacao} = 719 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$m_{Cacao} : \text{Masa de cacao} = 10 \text{ Kg}$$

$$V_{Cacao} : \text{Volumen de cacao}$$

Según (Castillo Ramos , 2019), la masa del cacao debe ocupar menos del 50% de la cámara de fermentación, por lo que en este diseño se determinó que el volumen del cacao será igual al 40% del volumen total de la cámara de fermentación tal y como se muestra en la ecuación (2.2).

$$V_{Cacao} = 0.4 * V_{cámara} \quad (2.2)$$

Sabiendo que la cámara de fermentación tiene forma de prisma octogonal, reemplazando la fórmula del volumen de la cámara en la ecuación (2.2), queda expresada de la siguiente manera:

$$V_{Cacao} = 0.4 * 4 * L * a * h \quad (2.3)$$

Donde:

L : Lado de la base del hexagono

a : Apotema del hexagono

h : Longitud del prisma hexagonal

Con la ecuación (2.3), se obtienen los valores de L y h, que son las dimensiones con las que se diseñó la cámara de fermentación.

2.1.7 Criterio de selección del material del eje de transmisión y armadura de la cámara de fermentación.

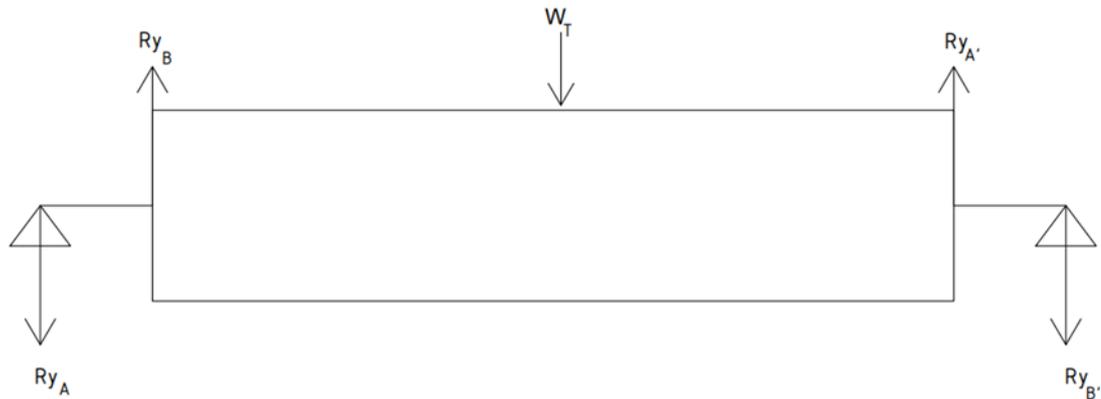
Para seleccionar el material idóneo para el eje de transmisión y la armadura del prototipo, se necesita conocer las propiedades mecánicas de cada material. El acero inoxidable AISI 304 y el acero ASTM A36, fueron los escogidos debido a su bajo costo acorde al alcance del proyecto y condiciones de carga.

2.1.8 Diseño del eje de transmisión

Para realizar el diseño del eje de transmisión, se consideraron todas las cargas presentes que actúan en el sistema, tal y como se muestra en el diagrama de cuerpo libre del eje (**Ver figura 12**).

Figura 12

Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión



A partir del DCL (Diagrama de Cuerpo Libre) graficado (Figura 12), se obtiene la ecuación (2.4) con la que se calcula la carga total del cacao.

$$W_T = W_{Carga\ Cacao} + W_g \quad (2.4)$$

Donde:

W_T : Carga total sobre el sistema de fermentación

W_g : Carga de madera y estructura de acero

$W_{Carga\ Cacao}$: Carga de cacao (masa de 10 Kg)

La carga de madera y estructura de acero que la recubre (W_g), se obtiene a partir de la ecuación (2.5) que se expresa de la siguiente manera:

$$W_g = W_{madera} + W_{estructura} \quad (2.5)$$

De la cual, W_{madera} se obtiene resolviendo la ecuación (2.6):

$$W_{madera} = (m_{frontal})(g)(8) + (m_{lateral})(g)(2) \quad (2.6)$$

Donde:

$m_{frontal}$: La masa de los tablones frontales de madera

$m_{lateral}$: La masa de los tablones laterales de madera

g : Aceleracion debido a la gravedad

Mientras que para la carga de la estructura ($W_{estructura}$), se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones dadas por el fabricante; en este caso se escogió un perfil de acero ASTM A36, el cual tiene un peso por metro lineal de $W_{perfil} = 1,19 \text{ Kg}/m$. Con el peso de los perfiles de acero y además conociendo las dimensiones de la cámara de fermentación se puede calcular $W_{estructura}$.

$$W_{estructura} = (W_{perfil})(L)(8)(2) \quad (2.7)$$

Donde:

L : Longitud del tablon

W_{perfil} : Peso del perfil de aluminio

2.1.9 Fuerza de tiro para generar rotación del baúl de fermentación.

En este caso para saber cuál es momento torsor que necesita el motor para hacer rotar el sistema de fermentación, se debe calcular la fuerza de tiro a partir de la ecuación (2.8); para esto tomaremos a la cámara de fermentación con carga como un sólido rígido con centro de rotación en su centro de masa:

$$\sum M = I * \alpha \quad (2.8)$$

Donde:

I : Inercia de la cámara de fermentación

α : aceleración angula

De la ecuación (2.8), para obtener la inercia de la cámara de fermentación, se usa la ecuación (2.9):

$$I = m_i * R_i^2 \quad (2.9)$$

Donde:

m_i : masa del solido

R_i : radio del solido

Mientras que para obtener el valor de α se debe recurrir a la ecuación:

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \quad (2.10)$$

Donde:

ω_f : Velocidad angular final

ω_0 : Velocidad angular inicial

t : Tiempo

Para obtener la fuerza de tiro con la que la cámara de fermentación rotará, se debe tomar la ecuación (2.11):

$$T = F * d \quad (2.11)$$

Esta ecuación se la iguala con la ecuación del momento (2.8) con lo que nos queda de la siguiente manera: $F * d = I * \alpha$, de donde se despeja F resultando en la ecuación final (2.12):

$$F = \frac{I * \alpha}{d} \quad (2.12)$$

Donde:

F : Fuerza de tiro

d : Distancia

2.1.10 Diseño del eje de transmisión por Fatiga

Se consideró un factor de seguridad $FS \geq 2,5$ para vida infinita; se determinó el diámetro del eje, tomando en cuenta el momento torsor generado por el motor al arrancar, para este caso se analizó que no existían esfuerzos torsores alternantes por lo que el esfuerzo de torsión medio es 0. Además, se tomó en cuenta esfuerzos fluctuantes de flexión en el punto crítico "A" mostrado en la **Figura 13**, estos existirán por la caída por gravedad del cacao al rotar la cámara de fermentación.

Figura 13

Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión y punto crítico "A"

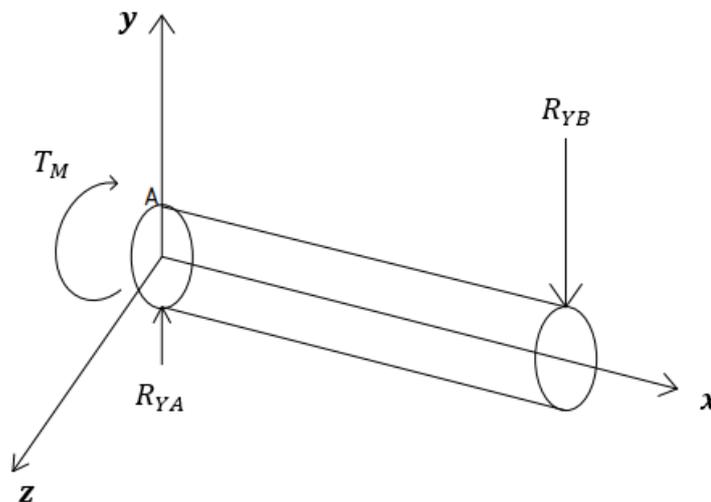


Figura 14

Esfuerzos fluctuantes de flexión en el punto crítico "A"

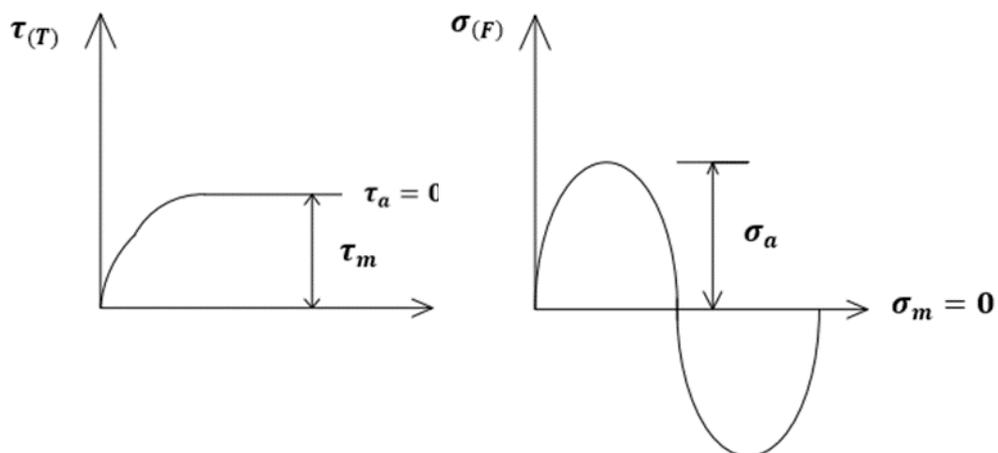
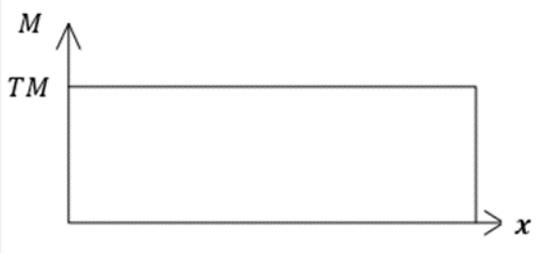
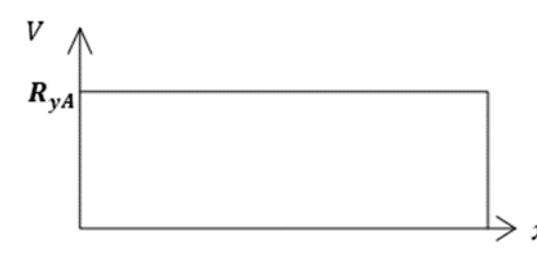
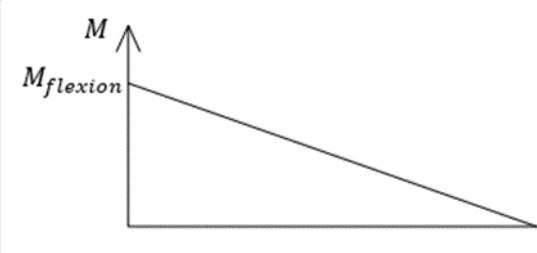


Tabla 7

Diagramas de carga, esfuerzo cortante y momento del eje de transmisión

Gráfica	Descripción
	<p>Diagrama de cargas del eje de transmisión</p> <p>T_m: Torque de salida del motoreductor</p>
	<p>Diagrama de esfuerzo cortante del eje de transmisión</p>
	<p>Diagrama de momento del eje de transmisión</p>

Según norma ASME desarrollamos que la ecuación para determinar el diámetro de un eje bajo condiciones de carga alternativa es

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f * \frac{Ma}{Se} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fsm} * \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (2.13)$$

Donde Se se calcula con la ecuación

$$Se = C_{CA} \cdot C_R \cdot C_{Te} \cdot C_{TA} \cdot C_{SU} \cdot [0,5 \cdot S_{ut}] \quad (2.14)$$

2.1.11 Selección del diámetro de poleas

Para realizar la selección de las poleas que conformaron el sistema de transmisión del fermentador, fue necesario tener en cuenta la ecuación (2.15):

$$D_1 \omega_1 = D_2 \omega_2 \quad (2.15)$$

Donde:

D_1 : Diámetro de la polea menor

ω_1 : Velocidad de rotación del motor

D_2 : Diámetro de la polea mayor

ω_2 : Velocidad de rotación del eje

Arreglando la ecuación (2.15), se puede hallar la ecuación que describe la relación de transmisión (2.16), necesaria para hallar los diámetros referenciales de las poleas, a partir de la velocidad de salida del motor reductor, y la velocidad de giro del eje de transmisión.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (2.16)$$

Después se seleccionó un diámetro referencial de una de las poleas, para multiplicarlo con la relación de transmisión calculada, se obtiene el valor del diámetro de la segunda polea (ver apéndice A).

2.1.12 Longitud de la banda de transmisión

Para realizar una correcta selección de la banda que se utilizó para el sistema de transmisión del fermentador, fue necesario tomar en cuenta los valores obtenidos para las poleas de la sección 2.1.11; con lo cual al reemplazar dichos valores en la ecuación (2.17), se logró hallar la longitud de la banda con la que trabajara el sistema.

$$L_p = 2a + 1,57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 + D_1)^2}{4a} \quad (2.17)$$

Donde:

L_p : Longitud de la banda de transmisión

a : Distancia entre ejes de las poleas

Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

Los resultados obtenidos del diseño a partir del análisis teórico y experimentaciones del prototipo construido se detallan en este capítulo, permitiendo a la vez determinar el costo total del proyecto.

3.1.1 Dimensiones de la cámara de fermentación

En el capítulo anterior se presentaron las ecuaciones básicas usadas en este proyecto para determinar las dimensiones del fermentador con una capacidad de 10 kg de cacao en baba. En la **tabla 8**, se detallan los datos preliminares de la cantidad de producto y densidad del cacao en baba a fermentar, así mismo en la **tabla 9**, se presenta las dimensiones de la cámara de fermentación; obtenidos a partir de la ecuación (2.3). En la figura 15 se presenta el bosquejo de las dimensiones de la cámara de fermentado.

Tabla 8

Producto: masa y densidad de cacao en baba.

Masa de cacao [Kg]	10
Densidad de cacao [Kg/m^3]	719

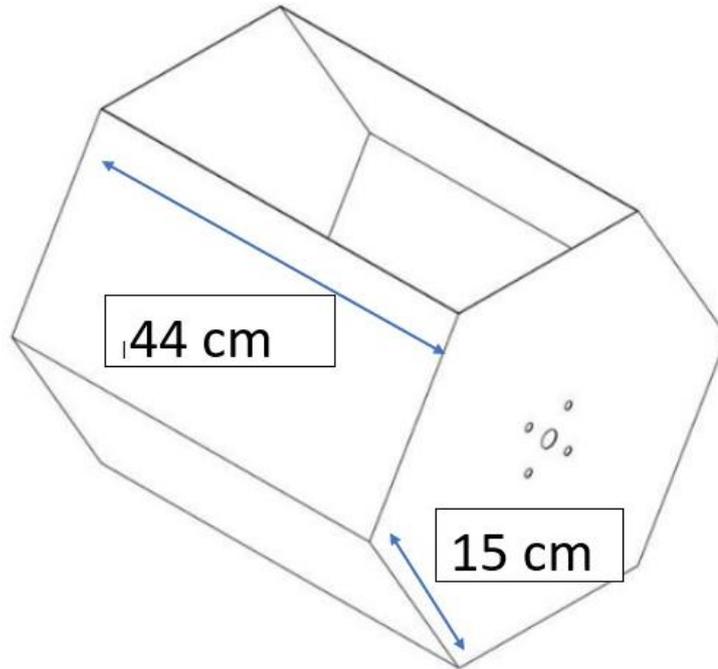
Tabla 9

Dimensiones de la cámara de fermentación

Forma	Octagonal
Longitud de la cámara [cm]	44
Lado de la cara lateral [cm]	15
Volumen de la cámara [LT]	34
Volumen de cacao [LT]	13,6

Figura 15

Dimensiones de la cámara de fermentación.



3.1.2 Carga total sobre el sistema de fermentación

Para calcular la carga total sobre la cámara de fermentación, se deben considerar ciertos parámetros (tabla 10) de madera, estructura metálica (ver ecuaciones 2.6 y 2.7 respectivamente) y la carga otorgada por la masa de cacao en baba.

Tabla 10

Parámetros de la estructura de cámara

Masa del tablón lateral de la cámara de fermentación [Kg]	0,4677
Masa del tablón frontal de la cámara de fermentación [Kg]	0,7656
Densidad de madera de laurel [Kg/m^3]	580
Peso del perfil de aluminio [Kg/m]	1,19
Longitud del perfil lateral [m]	0,15
Longitud del perfil frontal [m]	0,44

Con los datos detallados en la tabla 10, se evaluaron las cargas totales del tambor, permitiendo determinar la potencia del motor que girará la cámara cada cierto tiempo para que el cacao en baba se fermente mejor y no se dañe. Los resultados se presentan en la **tabla 11**:

Tabla 11

Cargas puntuales que actúan sobre el fermentador de cacao

Carga del cacao [N]	95,926
Carga de la madera [N]	60,2334
Carga de la estructura [N]	28,01736
Carga W_g [N]	88,25076
Carga total sobre el fermentador [N]	184,177

3.1.3 Fuerzas de rotación

Para calcular la fuerza requerida del motor reductor que permita rotar la cámara de fermentación, fue necesario asumir ciertos parámetros tales como; velocidad angular, tiempo y distancia. Dichos parámetros se muestran en la **tabla 12**.

Tabla 12

Parámetros para el cálculo de la fuerza de rotación del motor reductor

Velocidad angular inicial ω_0 [rev/min]	20
Velocidad angular final ω_f [rev/min]	0
Distancia [m]	0,1

Con los valores detallados en la tabla 12 se procede a calcular la aceleración angular (ecuación **2.10**), para mayor comprensión del cálculo en el **apéndice A** se presenta el procedimiento detallado. A continuación, en la **tabla 13**, se muestran los resultados:

Tabla 13

Fuerza de rotación de la cámara de fermentación

Aceleración angular $[rad/s^2]$	2,09
---	------

Inercia [$Kg * m^2$]	0,339
Momento [$N * m$]	0,70851
Fuerza de rotación [N]	7,0851

3.1.4 Diseño del eje

Para el diseño del eje del fermentador, se aplica la norma ASME donde se especifica los criterios mencionados en la **tabla 14**. Para el cálculo del diámetro del eje se utiliza la ecuación (2.13).

Tabla 14

Criterios asumidos para determinar el diámetro del eje del fermentador

C_{CA}	1
C_{TE}	1
C_{TA}	1
C_{SU}	0,84
C_R	1
Su_t [MPa]	500
S_y [MPa]	200
K_t	3,5
K_{ts}	2
K_f	2,25
K_{fs}	1,57
N_f	2,5
T_m [$Lb * in$]	42,22
M_a [$Lb * in$]	152,14

Nota: Los valores de Su_t y S_y , fueron sacados de la gráfica de esfuerzo vs deformación del acero

inoxidable AISI 304 (Ver figura 16), el resto de los valores fueron tomados de la normativa dada por ASME.

Figura 16

Grafica esfuerzo vs deformación del acero AISI 304

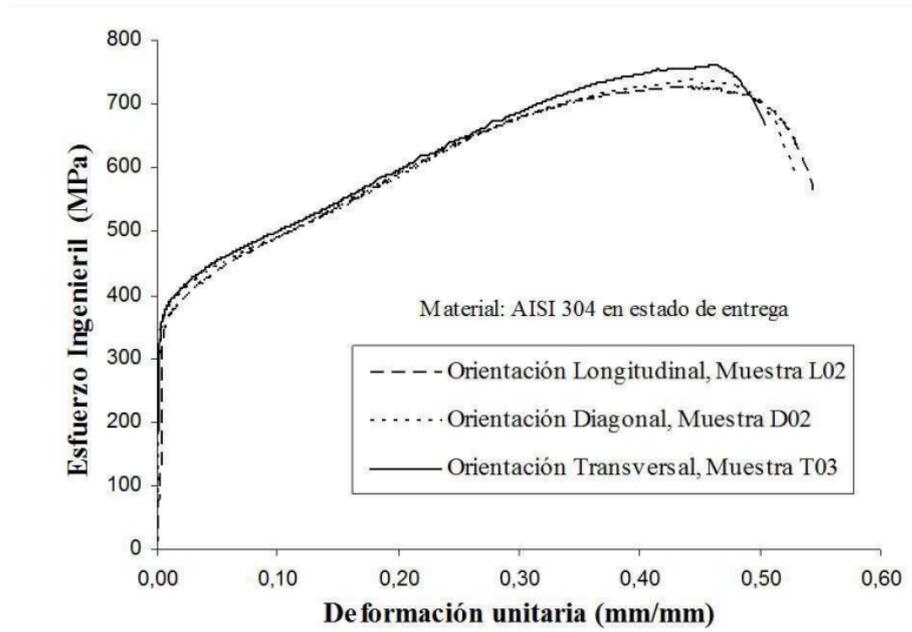


Imagen tomada de: (Pereira , Torres, Amigo , & Zambrano, 2012)

Sustituyendo los criterios en la ecuación (2.14), para hallar S_e , posteriormente aplicando la ecuación (2.13) se procede a determinar los diámetros nominales para el eje del fermentador. Los valores de los diámetros se presentan en la **tabla 15**.

Tabla 15

Resultados del diseño del eje del fermentador

S_e [Kpsi]	30,24
Diámetro menor d [mm]	9,144
Diámetro mayor D [mm]	14,478

3.1.5 Selección de motorreductor

Para realizar la selección del motorreductor, fue necesario asumir una velocidad de giro de baja revolución aproximadamente 5RPM para que no dañe el cacao en baba dentro de la cámara;

Es necesario indicar que el cálculo del motor fue de 1250 Rpm por motivo que debe de vencer las cargas del tambor, con ello se procede a selección el reductor con relación 1:50, obteniendo una salida de 25 RPM. Por lo tanto, al continuar siendo alto, se reduce la velocidad con un juego de poleas y banda alcanzando la velocidad inicialmente establecida. En **tabla 16** se presentan los resultados obtenidos y el tipo de motor seleccionado (tabla 17):

Tabla 16

Datos obtenidos para la selección del motorreductor

Fuerza de giro [N]	7,0851
Potencia necesaria [Hp]	0,0198
Torque nominal [Nm]	2,63

Tabla 17

Especificaciones técnicas del motor reductor seleccionado

Motor- reductor	4GN180K-C10-GIV
Potencia del motor [W]	25
Velocidad de salida del motor [rpm]	1250
Relación de reducción	1:50
Velocidad de salida del reductor [rpm]	25

3.1.6 Diámetros de las poleas de transmisión

Para obtener los valores de los diámetros de las poleas, se han tenido en cuenta algunos parámetros de las secciones anteriores, como la velocidad de salida del motor (ver tabla 17), velocidad angular inicial de la cámara de fermentación (ver tabla 12) y, además, fue necesario asumir un diámetro referencial comercial para la polea menor (el cálculo se detalla en el **apéndice A**). A continuación, en la **tabla 18**, se presentan los diámetros obtenidos para la selección de las poleas del sistema de transmisión:

Tabla 18

Relación de transmisión y diámetros de las poleas del sistema de transmisión

Relación de transmisión	5
Diámetro menor [mm] (asumido)	50,8

Diámetro mayor [mm]	127
Distancia entre ejes [mm]	720

3.1.7 Selección de banda de transmisión

Para realizar la selección correcta de la banda de transmisión, fue necesario conocer los diámetros de las poleas y la distancia entre sus ejes (ver tabla 18), y luego de reemplazar dichos valores en los términos correspondientes de la ecuación (2.17), se logró obtener la longitud de la banda necesaria para el sistema de transmisión; además el perfil y tipo de banda viene dado también por el tipo de polea que se utilizó. A continuación, en la **tabla 19** se presentan los datos para la selección de la banda de transmisión y el código comercial de la misma.

Tabla 19

Especificaciones de la banda de transmisión

Tipo de banda	Tipo “V”
Perfil de banda	Tipo “A”
Longitud de banda [mm]	1683,31

3.2 Construcción del equipo

Una vez dimensionado y calculado el diseño planteado, se construyó el prototipo del fermentador de cacao. En esta sección, se especifica materiales utilizados y procedimiento empleado para la construcción.

3.2.1 Materiales

Los materiales utilizados para la implementación del prototipo de fermentador de cacao son presentados en la **tabla 20**:

Tabla 20

Materiales utilizados en la construcción del equipo

Cantidad	Descripción	Ilustración
1	Plancha de madera de laurel de 20mm de espesor	
1	Tubo cuadrado de acero ASTM A36 1 ½”X1.5 mm	
1	Ángulo de acero ASTM A36 1X1/8”	
1	Eje de acero inoxidable de 1”	
2	Chumacera de piso de 13 mm	

2	Chumacera de pared de 20 mm	
1	Motor 4IK25W-C1-GN-XG de 100V / 1HP / 1250 RPM	
1	Reductor 4GN180K-C10-GIV con relación de reducción 1:50	
1	Polea de aluminio de 2"	
1	Polea de aluminio de 5"	

1	Banda de transmisión	
4	Garruchas de 2"	

Imagen de la chumacera de pared tomada de: (SKF, 2023), Imagen de la garrucha tomada de: (Ruedas y garruchas industriales , 2023)

3.2.2 Procedimiento de construcción

En esta sección se describe el procedimiento construccional del prototipo de fermentador de cacao en baba.

3.2.2.1 Construcción de la cámara de fermentación

Se inicia con la construcción de la cámara de fermentación, fabricada en madera de laurel con las medidas mencionadas en la sección 3.1.1; la cámara cuenta puerta, sección de huecos para escurrir material recubierta con una malla para no entrar insectos. Después, se construye la base de recolección de la baba o mucilago o exudado construido de madera de laurel. A continuación, en la **figura 17** se muestran la construcción de ambas partes anteriormente especificadas.

Figura 17

a) Superficie recolectora de mucílago b) cámara de fermentación



a)



b)

3.2.2.2 Construcción de la estructura del fermentador

Posterior a la fabricación de la cámara y la superficie para la recolección del mucilago, se realizó la construcción de la estructura de soporte del fermentador; construido con acero estructural ASTM36 (Ver figura 18).

Figura 18

Armazón de la cámara de fermentación



Continuando con la estructura, se construyó la base que soportaría todo el prototipo del fermentador y demás componentes que lo conforman, que incluye la base del motor y la superficie que recoge el mucilago; debido al considerable peso que debe soportar el armazón, fue fabricado con acero estructural ASTM A36. En la **figura 19** se presenta la estructura finalizada.

Figura 19

Construcción de la estructura del fermentador



Por último, se realizó la construcción del eje de transmisión con acero inoxidable AISI 304, siendo mecanizado con las dimensiones establecidas en la sección 3.1.4 (**figura 20**).

Figura 20

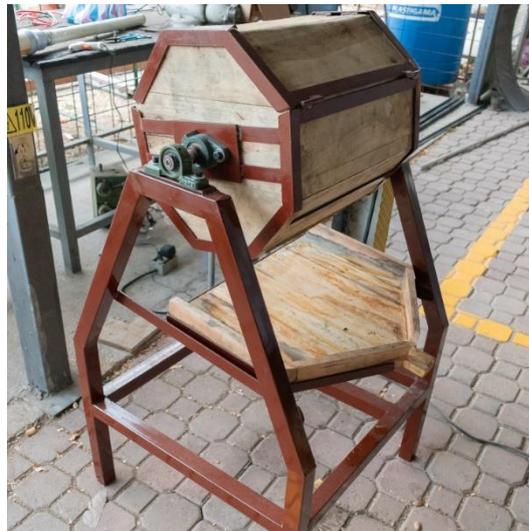
Eje de transmisión del prototipo



Una vez fabricados los principales componentes del fermentador, se ensamblan las partes mencionadas. Posteriormente, se inicia con la fase de análisis de funcionamiento del prototipo y manejo de operación con el cliente. En la figura 21 se muestra el prototipo de fermentador armado para su funcionamiento.

Figura 21

Fermentador de cacao



3.3 Experimentación

El análisis de funcionalidad del prototipo se realiza a partir de la fermentación de 5 y 10 kg de cacao en baba. Se realizaron dos pruebas con cacao nacional y CCN51; después, se detalla el proceso de fermentación de cada muestra de cacao.

3.3.1 Primera muestra

La primera muestra de fermentación se realizó con 5 Kg de cacao de tipo Nacional, realizando el proceso según lo indicado en la bibliografía consultada; se tomaron datos de temperatura, cantidad de mucilago colectado y la cantidad de cacao fermentado que salió de la cámara. A continuación, se detalla el proceso realizado durante la primera muestra.

3.3.1.1 Primer día de fermentación

Se realizó el desgranado de la mazorca, pesando la cantidad de granos con baba obtenidos, con un valor de 5 Kg. Posteriormente se colocaron los granos dentro de la cámara de fermentación para comenzar el proceso pertinente; comenzando con el escurrimiento y recolección del exudado de mucilago. Se mide las temperaturas del fermentado de la pepa, para ello se utiliza termopares tipo K, conectado a un data logger de 4 canales, con la finalidad de medir la temperatura de la parte inferior de la masa de cacao, en la mitad de la masa, en la parte superior de la misma, además se mide la temperatura ambiental. En la **figura 22** se muestran los granos de cacao colocados dentro de la cámara de fermentación.

Figura 22

Granos de cacao puestos a fermentar dentro de la cámara



3.3.1.2 Segundo día de fermentación

Pasadas las 24 horas desde que se colocaron los granos en la cámara de fermentación, se realizó el primer volteo durante 5 minutos y se registró la temperatura de la masa ese día.

Alcanzando temperaturas de 27,4°C en el centro de la masa, 27,2 °C en el fondo de la cámara de fermentación y 27,6 °C en la superficie; además se observa el escurrimiento del mucílago de la cámara al recolector del exudado. A continuación, en la **figura 23** se muestra la temperatura alcanzada por la masa de cacao dentro de la cámara de fermentación.

Figura 23

Temperatura de la masa de cacao alcanzada durante el segundo día



3.3.1.3 Tercer día de fermentación

En el tercer día de fermentado se realizó el segundo volteo de la masa de cacao, registrando nuevamente las temperaturas durante ese día, obteniendo los valores de 33.3 °C en el fondo de la cámara, 29,1 °C en el centro de la masa y 30,7 °C en la superficie de la masa. Además, en este día se terminó de escurrir el mucílago de la masa de las pepas de cacao, por lo que se registró la cantidad recolectada en el proceso, siendo de 600 ml aproximadamente, continuando con la fermentación hasta el siguiente día. En la **figura 24** se observa la temperatura alcanzada durante ese día y en la **figura 25**, la cantidad de mucílago que se recolectó de los 5 Kg de cacao depositados inicialmente.

Figura 24

Temperatura alcanzada en el tercer día de fermentación



Figura 25

Cantidad de mucilago recolectado en el proceso de fermentación



3.3.1.4 Cuarto día de fermentación

Este día se registró un descenso repentino en la temperatura de la masa fermentada, por lo que se decidió abrir la cámara para revisar el estado de los granos de cacao, observando que la masa había adquirido hongos (moho) y la muestra se había echado a perder; se registró la temperatura y retiró la muestra dañada. Después se limpia la cámara retirando los hongos del interior evitando de esta manera futura contaminación para el siguiente ensayo. En la **figura 26** se muestra la temperatura alcanzada, mientras que en la **figura 27** se muestran la muestra contaminada de hongos.

Figura 26

Temperatura alcanzada por la muestra en el cuarto día de fermentación



Figura 27

Masa de cacao contaminada por hongos



A continuación, en la **tabla 21**, se muestran los principales resultados obtenidos de la experimentación con la primera muestra de cacao fermentada y en la **figura 28**, se muestra la gráfica de temperatura obtenida durante el proceso de fermentación.

Figura 28

Comportamiento de la temperatura durante los días de fermentación

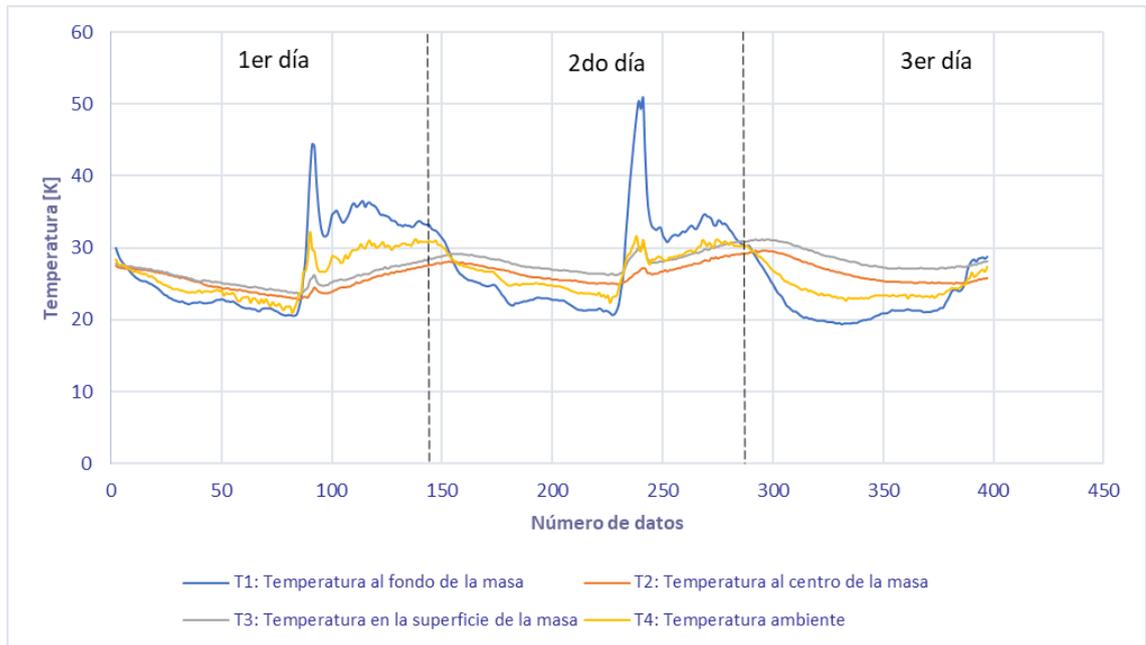


Tabla 21*Resultados obtenidos de la fermentación con la primera muestra*

Tipo de cacao	Nacional
Cantidad de cacao	5 [Kg]
Días de fermentación	4 días
Temperatura mínima	
<i>Fondo de la masa</i>	28,3 [°C]
<i>Centro de la masa</i>	25,9 [°C]
<i>Superficie de la masa</i>	28,2 [°C]
Temperatura máxima	
<i>Fondo de la masa</i>	49,3 [°C]
<i>Centro de la masa</i>	28,2 [°C]
<i>Superficie de la masa</i>	31,7 [°C]
Cantidad de granos fermentados	0 %
Cantidad de mucílago recolectado	600 [ml]

3.3.2 Segunda muestra

Para esta fermentación, se decidió experimentar con cacao CCN-51 recién cosechado y desgranado el mismo día, para comparar el efecto de este cambio con respecto a la primera muestra; en esta prueba se ingresaron 9,8 Kg de cacao en baba dentro de la cámara para realizar la fermentación durante 5 días. A continuación, se detalla el proceso realizado durante la segunda muestra. Para este caso, el volteo de las pepas de cacao en baba se realizó dos veces al día, por aproximadamente 10 min.

3.3.2.1 Primer día de fermentación

En el primer día se llevó a cabo la separación de los granos de la mazorca, y se pesó la cantidad de granos de cacao para fermentar, siendo de 9,8 Kg. Posteriormente, se introdujeron los granos en la cámara de fermentación para iniciar el proceso correspondiente; éste comenzó con el drenaje y la recolección del mucílago, seguido de la inserción de los termopares nuevamente las

temperaturas en diferentes puntos de la masa y la temperatura ambiental. A continuación, en la **figura 29** se muestra la temperatura inicial con la que ingreso la masa a fermentar.

Figura 29

Temperatura inicial de la masa de cacao a fermentar



3.3.2.2 Segundo día de fermentación

En el segundo día se realizó el primer volteo de la masa por un tiempo de 10 minutos, cabe recalcar que, en esta segunda experimentación, la remoción se realizaba dos veces por día para mejorar la aireación del producto. En cuanto a la temperatura que alcanzaron los granos, se registraron valores de 27,3 °C en el centro de la masa, 23,8 en el fondo de la masa y 24,3 en la superficie de la masa; aparte de la medición, el cacao seguía escurriendo mucílago, por lo que en este día no se pudo medir la cantidad recolectada. Se abrió la cámara de fermentación para verificar el estado del producto (Ver figura 30) y se corroboró que el proceso se estaba llevando de manera idónea.

Figura 30

Masa de cacao durante el segundo día de fermentación



3.3.2.3 Tercer día de fermentación

En el tercer día, se realizó nuevamente la remoción de la masa dos veces y se abrió la compuerta de la cámara para verificar el estado de los granos, se observó que la masa se encontraba en perfectas condiciones y se procedió a realizar el registro de las temperaturas, obteniendo valores de 28,8 °C en el centro de la masa y 28,7 °C tanto en el fondo como en la superficie de la masa. En este día la masa dejó de escurrir mucilago, por lo que se midió la cantidad recolectada (Ver figura 32) obteniendo unos 1125 ml de exudado. A continuación, en la **figura 31** se muestra la temperatura alcanzada por el producto.

Figura 31

Temperatura alcanzada por el cacao durante el tercer día de fermentación



Figura 32

Cantidad de mucílago recolectado en la muestra CCN51



3.3.2.4 Cuarto día de fermentación

Durante el cuarto día de fermentación no se presentó ninguna novedad, por lo que se repitió el mismo proceso que se venía siguiendo los días anteriores: se realizó el volteo dos veces al día, se registró la temperatura de los granos obteniendo valores de 34,4 °C en el centro, 33,6 °C en el fondo y 32,8 °C en la superficie de la masa y por último se verificó que el producto se encuentre en buen estado. En la **figura 33** se observa la temperatura de la masa durante el cuarto día de fermentación.

Figura 33

Temperatura alcanzada por el cacao durante el cuarto día de fermentación



3.3.2.5 Quinto día de fermentación

Durante el quinto día, se observó uno de los picos más altos de temperatura, llegando a tener valores de 42,4 °C en el centro, 34,8 °C en el fondo y 39,2 °C en la superficie de la masa, por lo que se concluyó que el cacao aún seguía en el proceso químico que se lleva a cabo durante

la fermentación, por lo que no fue posible retirarlo del interior de la cámara; por este motivo se realizó nuevamente el proceso de remoción tal y como se venía haciendo los anteriores días y se verifico que la masa se encontraba en buen estado dentro de la cámara de fermentación. En la **figura 34** se observa la temperatura obtenida de la masa durante el quinto día de fermentación.

Figura 34

Temperatura alcanzada por el cacao durante el quinto día de fermentación



3.3.2.6 Sexto día de fermentación

En este día se registró un descenso considerable en la temperatura del cacao, alcanzando valores de 33,1 °C en el centro, 31 °C en el fondo y 30,7 °C en la superficie de la masa; por lo consiguiente, se procedió a abrir la cámara de fermentación para verificar el estado del producto, encontrando que el cacao, tenía el color marrón característico de los granos fermentados (Ver figura 36). Después se retira el cacao del interior de la cámara, y al pesado de la muestra, de 7 Kg. En la **figura 35**, se observa la temperatura que obtuvo la masa de cacao durante su último día de fermentación.

Figura 35

Temperatura obtenida por el cacao durante el último día de fermentación



Figura 36

Cacao fermentado



Finalmente se analiza el porcentaje de humedad de la pepa de cacao (Ver figura 37), se procede al secado de la muestra (Ver figura 38) y la prueba de tonalidad. Para el análisis de esta última prueba se aplica la normativa INEN 176, la cual indica que de cada 100 granos analizados por medio de corte (Ver figura 39), deben existir mínimo 65 granos correctamente fermentados para que el proceso sea reconocido como exitoso (INEN, 2006), tal y como se muestra en la **tabla 22**.

Figura 37

Porcentaje de humedad del cacao luego de la fermentación



Figura 38

Granos de cacao colocados en el secador



Tabla 22

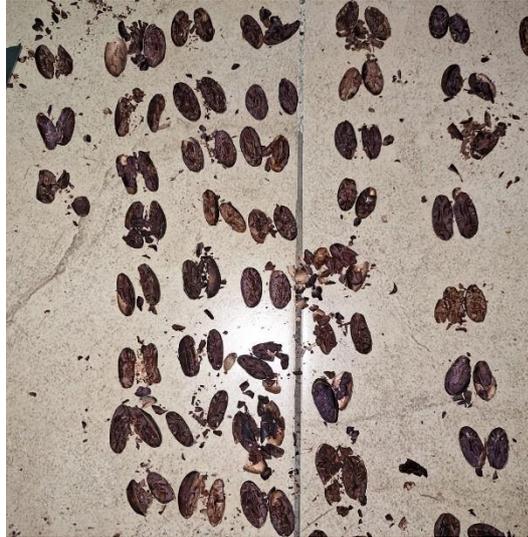
Requisitos de calidad del cacao en grano beneficiado norma INEN 176

Requisitos	Unidad	Arriba					CCN51
		A.S.S.P.S.	A.S.S.S.	A.S.S.	A.S.N.	A.S.E.	
Cien granos pesan	g	135-140	130-135	120-125	110-115	105-110	135-140
Buena fermentación (mín.)	%	75	65	60	44	26	65
Ligera fermentación (mín.)	%	10	10	5	10	27	11
Violeta (máx.)	%	10	15	21	25	25	18
Pizarroso (máx.)	%	4	9	12	18	18	5
Moho (máx.)	%	1	1	2	3	4	1
TOTALES (análisis sobre 100 pepas)	%	100	100	100	100	100	100
Defectuosos (análisis sobre 500 g) (máx.)	%	0	0	1	3	4	1
TOTAL FERMENTADO (mín.)	%	85	75	65	54	53	76
A.S.S.P.S.	<i>Arriba Superior Summer Plantación Selecta</i>						
A.S.S.S.	<i>Arriba Superior Summer Selecto</i>						
A.S.S.	<i>Arriba Superior Selecto</i>						
A.S.N.	<i>Arriba Superior Navidad</i>						
A.S.E.	<i>Arriba Superior Época</i>						

Información tomada de: (INEN, 2006)

Figura 39

Análisis de fermentación por medio de corte según norma INEN 176



A continuación, en la **tabla 23**, se muestran los principales resultados obtenidos de la experimentación con la segunda muestra de cacao fermentada y en la **figura 40**, se muestra la gráfica de temperatura obtenida durante el proceso de fermentación.

Figura 40

Comportamiento de la temperatura durante los días de fermentación

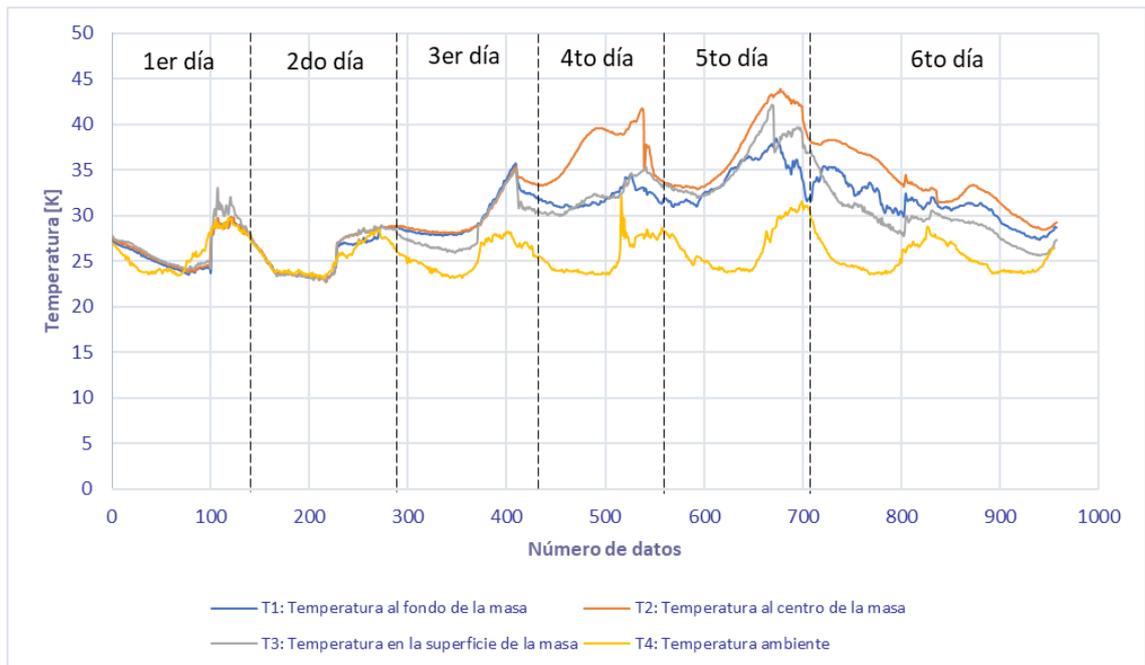


Tabla 23*Resultados obtenidos de la fermentación con la segunda muestra*

Tipo de cacao	CCN51
Cantidad de cacao	9,8 [Kg]
Días de fermentación	6 días
Temperatura mínima	
<i>Fondo de la masa</i>	27,2 [°C]
<i>Centro de la masa</i>	27,4 [°C]
<i>Superficie de la masa</i>	27,6 [°C]
Temperatura máxima	
<i>Fondo de la masa</i>	37,4 [°C]
<i>Centro de la masa</i>	43,9 [°C]
<i>Superficie de la masa</i>	40,8 [°C]
Cantidad de granos fermentados	75%
Cantidad de mucílago recolectado	1125 [ml]

3.4 Costo del proyecto

A continuación, se detallan los costos de construcción del prototipo fermentador de cacao; los cuales se distribuyen en materiales e insumos, maquinado de componentes y mano de obra que fue necesario para la construcción. En la **tabla 24** se presenta el valor total del costo del proyecto.

Tabla 24*Costos de la construcción del fermentador*

Cantidad	Descripción	Unidad	Precio
Estructura			
1	Tubo cuadrado 40mm por 1.2 mm de espesor	Unidad	\$14,86
1	Platina de 25mm x 3mm de espesor	Unidad	\$7,25
1	Angulo L de 35 x 3mm	Unidad	\$8,40
4	Placas 50 x 50 mm	Unidad	\$4,00

4	Garruchas de 2"	Unidad	\$12,80
16	Pernos cabeza de botón M6 x 13 con anillo plano y presión	Unidad	\$3,10
4	Tuercas remachables M8	Unidad	\$1,60
1	Angulo de 100mm x 100mm x 3mm	Unidad	\$2,00
1	Angulo de 40 mm x 700mm x 3 mm	Unidad	\$1,00
1	Platina de 25mm x 6 mm	Unidad	\$1,50
2	Pernos cabeza de botón M8 x 16mm	Unidad	\$0,50
4	Pernos M8 x 30mm	Unidad	\$0,60
1	Pintura anticorrosiva	Litro	\$6,95
Baúl			
	Baúl octogonal de madera		\$50,00
	Bandeja de madera		\$20,00
1	Perilla con esparrago m8	Unidad	\$2,50
1	Platina 100 x 100 x 6 mm	Unidad	\$2,00
2	Bisagras de 8 mm	Unidad	\$3,40
2	Bisagras de madera	Unidad	\$3,80
1	picaporte de madera	Unidad	\$2,10
	Transporte		\$5,00
Eje			
1	Eje de acero inoxidable AISI 304 de 1"	Metro	\$20,00
Guarda			
1	Plancha perforada de 3 mm	Unidad	\$8,50
1/2	Pintura anticorrosiva amarilla	Litro	\$2,50
Materiales			
1	Banda A59	Unidad	\$13,00
1	Polea 2"	Unidad	\$2,00
1	Polea 5"	Unidad	\$4,00
2	Chumacera de piso	Unidad	\$13,50
2	Chumacera de pared	Unidad	\$18,50
1	Caja eléctrica	Unidad	\$6,50
1	Templador	Unidad	\$7,00
1	Bocín	Unidad	\$2,00

70	Cacao para prueba	Unidades	\$25,00
1	Enchufe timmer para programación de ciclos de encendido	Unidad	\$18,52
3	Cable triple	Metros	\$2,12
2	cable doble x 14	Metros	\$1,40
1	Enchufe de tres terminales hembra	Unidad	\$2,10
1	Enchufe de tres terminales macho	Unidad	\$4,10
1	Bornera para cable 16	Unidad	\$1,00
10	Terminales para cable 16	Unidad	\$0,90
1	Motor	Unidad	\$120,00
Mano de obra			
	Corte de perfiles		\$10,00
	Soldadura de estructura		\$30,00
	Pulido de estructura		\$10,00
	Pintada de estructura		\$15,00
	Mecanizado de Eje		\$20,00
TOTAL			\$511,00

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Se ha diseñado e implementado un prototipo para fermentación de cacao en baba, cumpliendo el objetivo propuesto de diseñar un fermentador que permita aprovechar la baba fermentada y además conseguir un cacao fermentado de óptimas condiciones con un proceso más limpio, evitando el contacto del cacao fermentado con animales e insectos de la zona, además de recolectar el exudado de mucílago siendo un desperdicio actual de la fermentación con la finalidad de dar un valor agregado como materia prima para otro proceso productivo para pesticidas, remediación del suelo, licores o bebidas. Generando impactos positivos tanto en términos ambientales e incluso económicos, al reducir la carga de desechos y aumentar el rendimiento del proceso.

El prototipo ha permitido realizar una fermentación de manera controlada y uniforme del cacao en baba, logrando una buena fermentación de más del 75% de los granos de cacao y recolectar aproximadamente 1125 ml de mucílago a partir de 10 kg cacao en baba, con relación a ello el tiempo de fermentado del producto no se reduce, lo que se logra es mantener una temperatura de muestra superior a los 40°C hasta los 45 °C, que permite obtener un cacao con buena calidad organoléptica (olor y sabor). Además, el diseño propuesto permitió optimizar las remociones de manera automatizada y eficiente, garantizando el volteo de la totalidad de la masa y la distribución uniforme de la temperatura dentro de la cámara de fermentación hacia los granos de cacao.

En conclusión el diseño y prototipo implementado, muestra un proceso sostenible para la fermentación de cacao, al generar impactos positivos en beneficio de la industria y el sector agrícola, sin embargo es importante reconocer que la implementación de este prototipo conlleva desafíos propios, tales como: financiamiento, capacitación y adaptación de las comunidades agrícolas a los nuevos procesos; por lo que es fundamental garantizar que el diseño y la implementación del fermentador sean accesibles y relevantes para los pequeños productores, y que los beneficios sean equitativamente distribuidos. Finalmente, la reutilización de materiales estructurales permita disminuir los costos de fabricación, siendo rentable para las comunidades cacaoteras.

4.1.2 Recomendaciones

Para mejorar el diseño del prototipo actual se recomienda la implementación de distribuidores en forma de aletas en la superficie interna del tambor rotatorio, hechas de madera de laurel. Esto ayudara a que los granos se separen al golpear la masa con los distribuidores, haciendo aún más homogéneo el proceso.

Es recomendable que el diseño cuente con una malla en la parte baja exterior de la cámara de fermentación, necesariamente hecha de plástico ya que el mucílago es corrosivo, con la finalidad de que los insectos más pequeños como moscas o abejas no puedan tener contacto con los granos de cacao por medio de los agujeros. Además se debe colocar un termómetro análogo que tenga contacto directo con el centro de la masa, para que pueda realizar las mediciones incluso cuando el tambor se encuentre girando, ya que en las experimentaciones realizadas se retiraban los termopares debido a los cables y su imposibilidad para girar junto con la cámara de fermentación

Finalmente, se recomienda realizar experimentos con la cámara de fermentación fabricada con otros materiales como plásticos o acero inoxidable, por motivo que la madera absorbe el líquido de cacao; haciendo que el tiempo de vida útil de la madera sea menor en comparación que los materiales previamente mencionados; se sugiere también analizar el efecto que conseguiría el reemplazo de estos materiales, con la calidad del fermentado en el producto final del cacao.

Referencias

- Banco Central del Ecuador. (2021). *EXPORTACIONES FOB POR GRUPOS DE PRODUCTOS*.
Obtenido de Banco Central del Ecuador :
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/IEMensual/m2033/IEM-312-e.xlsx>
- Barrera, V., Escudero, L., Racines, M., García, C., Arévalo, J., Casanova, T., . . . Dominguez, J. (Mayo de 2019). *LA CADENA DE VALOR DEL CACAO Y EL BIENESTAR DE LOS PRODUCTORES*. Quito, Ecuador: ARCOIRIS PRODUCCIONES GRÁFICAS.
Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5377/1/iniapsc383.pdf>
- Castillo Ramos , J. M. (Marzo de 2019). *DISEÑO DE UN FERMENTADOR ORIENTADO A MEJORAR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN DEL CACAO CRIOLLO BLANCO DE PIURA*. Obtenido de REPOSITARIOS INSTITUCIONAL PRIHUA:
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4017/MAS_IME_AUT_033.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Cros, E. (2000). Memorias del Primer Congreso Venezolano del Cacao y su Industria . *Factores condicionantes de la calidad*. Maracay: FUNDACITE Aragua.
- Doris, E. O. (2011). *Fermentación de Cacao (Theobroma cacao L.) Tipo Criollo en Diferentes tipos de fermentadores en Sector la Unión Río Negro* . Universidad Nacional del Centro de Perú, Satipo. Obtenido de
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1899/Espinoza%20Osorio.pdf?sequence=1>
- Dosert, N., Roque , J., Cano , A., La Torre , M. I., Weigend , M., & Luebert , F. (2012). *Hoja botánica: Cacao. Theobroma cacao L.* Obtenido de Respositorio Digital del Ministerio del Ambiente: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/185>
- Durán , E., & Dubón, A. (Septiembre de 2016). *Tipos genéticos de cacao y distribución geográfica en Honduras*. Obtenido de Fundación Hondureña de Investigación Agrícola

(FHIA):

http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/guia_tipos_geneticos_de_cacao_y_distribucion_geografica_en_honduras.pdf

Enríquez, G. A. (1985). *CURSO SOBRE EL CULTIVO DE CACAO*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=eZgOAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=enriquez+1985&ots=IrwQ-3UjaJ&sig=akdDODFZ0iwQX5LKZS8P_Xmq04#v=onepage&q&f=true

Enríquez, G. A. (2010). *Cacao Orgánico - Guía para productores ecuatorianos* (Segunda ed.). Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria.

Garay Vega, R. R. (2019). *INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE TOSTADO EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN LA CASCARILLA DE CACAO CLON CCN-51 APROVECHADO PARA ELABORAR FILTRANTE*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4051>

Ibarra, J. (s.f.). *Dr. Jorge Ibarra*. Obtenido de Propiedades mecánicas de los materiales: https://joibarra.yolasite.com/resources/Propiedades%20Mec%C3%A1nicas%20AAM_.pdf

ICCO. (31 de Mayo de 2023). PRODUCTION OF COCOA BEANS. *Quarterly Bulletin of Cocoa Statistic*, 49. Obtenido de https://www.icco.org/wp-content/uploads/Production_QBCS-XLIX-No.-2.pdf

INEN. (2006). *CACAO EN GRANO. REQUISITOS*. Quito : INEN. Obtenido de Agrocalidad.

Mendoza Vargas , E., Cervantes Molina, X., & Zamora Cevallos , E. (2022). Recorrido histórico de la importancia del cacao para la economía del Ecuador. *Sinergias Educativas*. doi:<https://doi.org/10.37954/se.vi.193>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (04 de Septiembre de 2019). *Cacao Híbrido CCN-51 cuenta con certificación de calidad*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería:

<https://www.agricultura.gob.ec/cacao-hibrido-ccn-51-cuenta-con-certificacion-de-calidad/>

Mitchell, D. A., Berovič, M., & Krieger, N. (2006). *Solid-State Fermentation Bioreactors Fundamentals of Design and Operation*. Berlin: Springer Berlin, Heidelberg.

Moreno Martínez, E., Gavanzo Cárdenas, Ó. M., & Rangel Silva, F. A. (2019). Evaluation of the Physical and Sensory Characteristics of Cocoa Liquor Associated with Sowing Models. *Revista Ciencia y Agricultura*, 16(No. 3), 9.
doi:<https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890>

Nogales, R. (Agosto de 2017). *Beneficio del cacao, métodos de fermentación*. Obtenido de Poscosecha cacao: <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-fermentacion.html>

OIRSA. (2016). *Manual regional de buenas prácticas agrícolas, de proceso y empaque de cacao*. Obtenido de OIRSA:
[https://www.oirsa.org/contenido/biblioteca/Manual%20de%20buenas%20pr%C3%A1cticas%20agr%C3%ADcolas%20de%20proceso%20y%20empaque%20de%20cacao%20\(Teobroma%20cacao\).pdf](https://www.oirsa.org/contenido/biblioteca/Manual%20de%20buenas%20pr%C3%A1cticas%20agr%C3%ADcolas%20de%20proceso%20y%20empaque%20de%20cacao%20(Teobroma%20cacao).pdf)

Ortíz, K., & Guilcapi, M. (2020). *Manual de procesos de centro de acopio de cacao*. Obtenido de PROAmazonía: https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/05/Manual_cacao_2021.pdf

Paredes Andrade, N., Monteros Altamirano, Á., Lima Tandazo, L., Caicedo Vargas, C., Bastidas Muñoz, S., Tinoco Jaramillo, L., . . . Enríquez, G. (2022). *Manual del cultivo de cacao sostenible para la amazonia ecuatoriana*. Obtenido de Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5833>

Pereira, J., Torres, M., Amigo, V., & Zambrano, J. (2012). Evaluación de la anisotropía en las propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304 laminado en frío. *Revista Ingeniería UC*, 11.

Rikolto. (10 de Diciembre de 2020). *El secreto familiar tras el cacao fino y de aroma*. Obtenido de Rikolto: <https://latinoamerica.rikolto.org/es/noticias/el-secreto-familiar-tras-el-cacao-fino-y-de-aroma>

Rivera Fernández , R., Mecías Gallo , F., Guzmán Cedeño , A., Peña Galeas, M., Medina Quinteros , H., Casanova Ferrín , L., . . . Nivelá Morante, P. (2012). *EFFECT OF TIME AND TYPE OF FERMENTATION IN PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF COCOA*. Obtenido de <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/120>

Rojas Sosa, J. M., & Rojas Manayay, E. D. (7 de Noviembre de 2018). *Aprovechamiento del Mucilago de Cacao (Theobroma Cacao) en la Formulación de una Bebida no Alcohólica*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/2684>

Ruedas y garruchas industriales . (2023). *GARRUCHA POLIURETANO 1.1/2 PG 23 A*. Obtenido de Ruedas y garruchas industriales: <https://ruedasygarruchas.com.pe/producto/1-2-pg-23a/>

SKF. (2023). *Unidad de rodamientos de bolas con pestaña ovalada con aro interior prolongado y fijación con tornillos de fijación, soporte de fundición, JIS*. Obtenido de SKF: <https://www.skf.com/ar/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCFL%20207>

Villagómez García , S., & Arguello Moreta , F. (2013). *OPTIMIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO (EXUDADO DEL MUCÍLAGO) DE LA ALMENDRA FRESCA DEL CACAO (THEOBROMA CACAO L.) CCN51 EN LA ELABORACIÓN DE VINAGRE*. *Tsafiqui*, 10. Obtenido de <https://revistas.ute.edu.ec/index.php/tsafiqui/article/view/256/260>

Yo Soy Agrónomo. (2013). *Morfología del cacao*. Obtenido de Yo soy agrónomo producir es nuestro hobby: <http://yosoyagronomo.blogspot.com/search/label/CACAO>

Apéndice

APENDICE A: CÁLCULOS

Diseño de la cámara de fermentación

Cálculo de las dimensiones

$$\rho_{Cacao} = \frac{m_{Cacao}}{V_{Cacao}}$$

Despejando:

$$V_{Cacao} = \frac{m_{Cacao}}{\rho_{Cacao}} = \frac{10}{719} = 0,0136 [m^3]$$
$$V_{Cacao} = 13,6 [Lt]$$

Despejando y reemplazando:

$$V_{Cacao} = 0.4 * V_{cámara}$$

$$V_{cámara} = \frac{V_{Cacao}}{0.4} = 34$$

$$V_{cámara} = 34 [Lt]$$

En la siguiente ecuación se asume un término y se despeja:

$$V_{Cacao} = 0.4 * 4 * L * a * h$$

$$0,0136 = 0.4 * 4 * 0,15 * 0,1287 * h$$

$$h = \frac{0,0136}{0.4 * 4 * 0,15 * 0,1287} = 0,44 = 44 [cm]$$

Diseño del eje de transmisión

Cálculo de las cargas

$$W_T = W_{Carga\ Cacao} + W_g$$

$$W_g = W_{madera} + W_{estructura}$$

$$W_{madera} = (m_{frontal})(g)(8) + (m_{lateral})(g)(2)$$

$$W_{estructura} = (W_{perfil})(L)(8)(2)$$

Reemplazando:

$$W_{madera} = (0,7656)(9,81)(8) + (0,4677)(9,81)(2)$$

$$W_{madera} = 60,23 [N]$$

$$W_{estructura} = (1,19)(0,15)(8)(2)(9,81) = 28,01736 [N]$$

$$W_g = 60,23 + 28,01736 = 88,25076 [N]$$

$$W_T = 95,926 + 88,25076 = 184,177 [N]$$

Fuerza de tiro para generar rotación del baúl de fermentación.

$$\sum M = I * \alpha$$

$$I = m_i * R_i^2$$

$$T = F * d$$

$$F * d = I * \alpha$$

Reemplazando en las ecuaciones anteriores

$$I = 18,77 * (0,1344)^2$$

$$I = 0,339 \text{ Kg } m^2$$

$$\sum M = I * \alpha$$

$$F * 0,1 = 0,339 * 2,09$$

$$F = \frac{0,339 * 2,09}{0,1} = 7,0851 [N]$$

Diseño del eje

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f * \frac{Ma}{Se} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fsm} * \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$Se = C_{CA} \cdot C_R \cdot C_{Te} \cdot C_{TA} \cdot C_{SU} \cdot [0,5 \cdot S_{ut}]$$

Reemplazando en las ecuaciones

$$Se = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot [0,5 \cdot 72]$$

$$Se = 30,24 \times 10^3 [psi]$$

$$d = \left\{ \frac{32(2,5)}{\pi} \left[2,25 \left(* \frac{152,14}{30,24 \times 10^3} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(1,57 * \frac{42,21}{29 \times 10^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0,36 \text{ in} = 9,144 [mm]$$

Ahora escogiendo un factor de seguridad de 10 nos queda:

$$D = \left\{ \frac{32(10)}{\pi} \left[2,25 \left(* \frac{152,14}{30,24 \times 10^3} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(1,57 * \frac{42,21}{29 \times 10^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,57 \text{ in} = 14,478 \text{ [mm]}$$

Diámetros de las poleas de transmisión

$$D_1 \omega_1 = D_2 \omega_2$$

Despejando se obtiene la relación de transmisión

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

Reemplazando con los datos de salida del motor y velocidad de giro del tambor

$$i = \frac{25}{5} = 5$$

Por lo que reemplazando en la ecuación con un diámetro nominal el cual en el cálculo es de 1 [pulg], aunque comercialmente se utilizó una polea de 2 [pulg]

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$D_1 * i = D_2$$

$$D_2 = 25 * 5 = 125 \text{ [mm]} = 5 \text{ [in]}$$

$$D_1 = 25 \text{ mm} = 1 \text{ [in]}$$

Longitud de la banda de transmisión

$$L_p = 2a + 1,57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 + D_1)^2}{4a}$$

Reemplazando:

$$L_p = 2(720) + 1,57(125 + 25) + \frac{(125 + 25)^2}{4(720)} = 1683,31 \text{ [mm]}$$

APENDICE B: MODELADO DEL PROTOTIPO

Figura 41

Modelado de la estructura

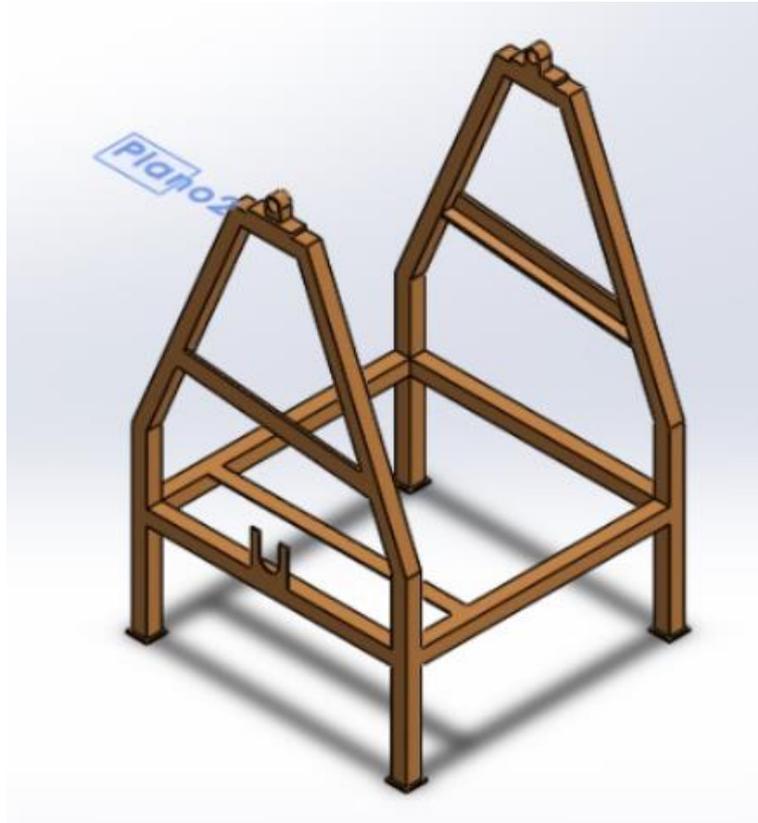


Figura 42

Modelado del eje de transmisión

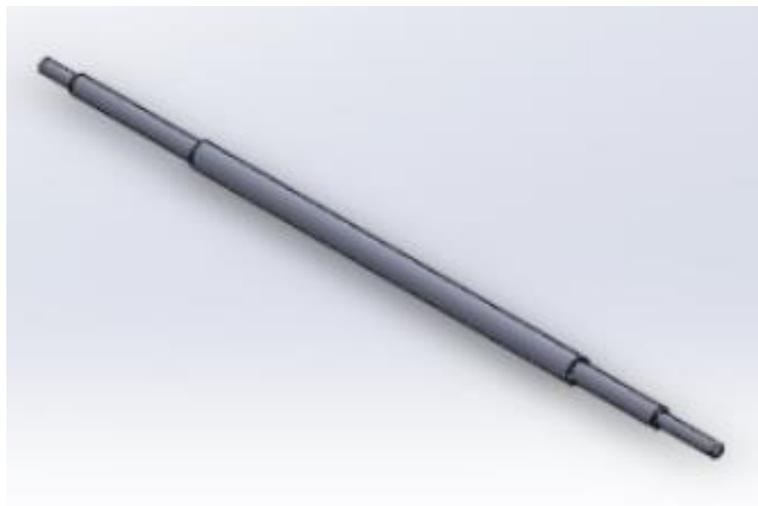


Figura 43

Modelado de la malla protectora de poleas y banda

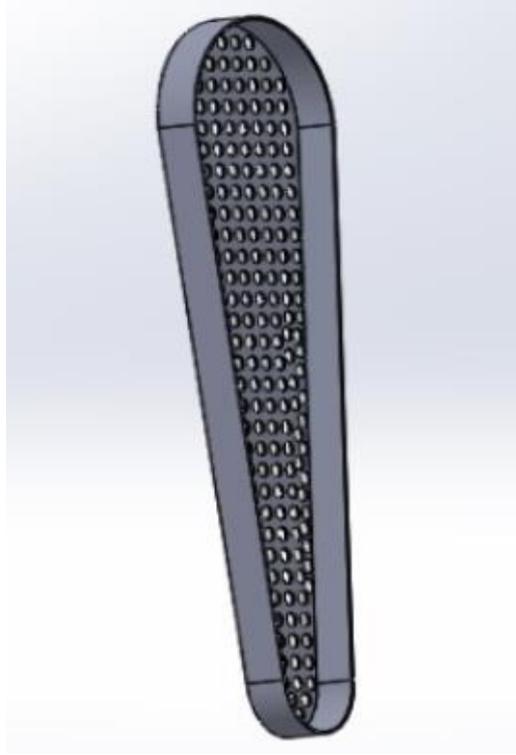
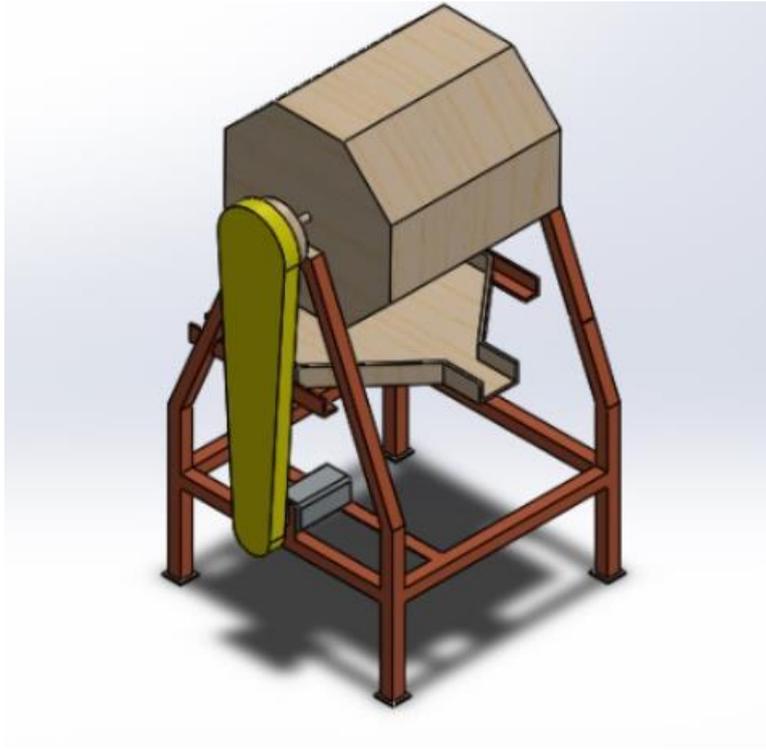
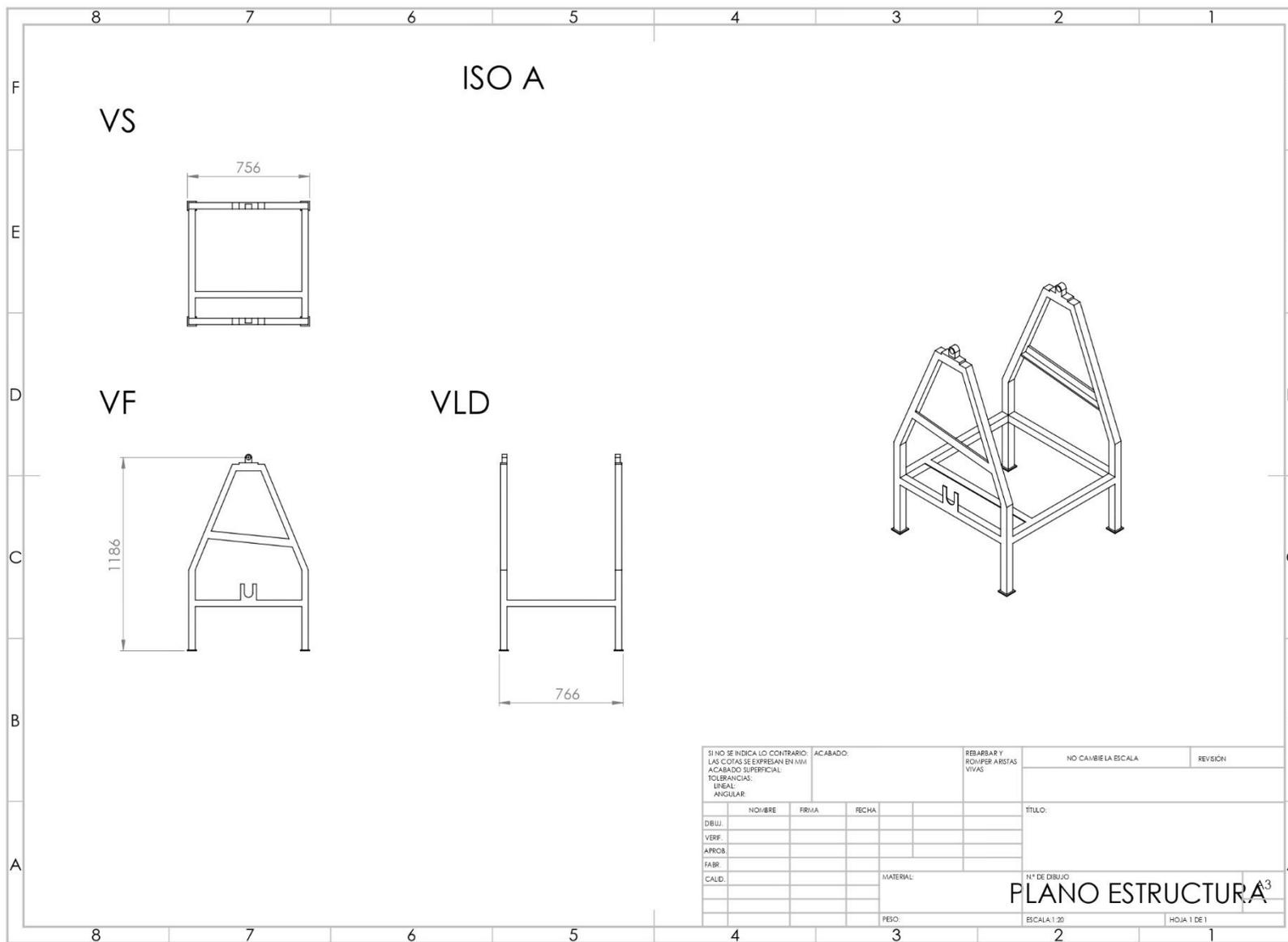


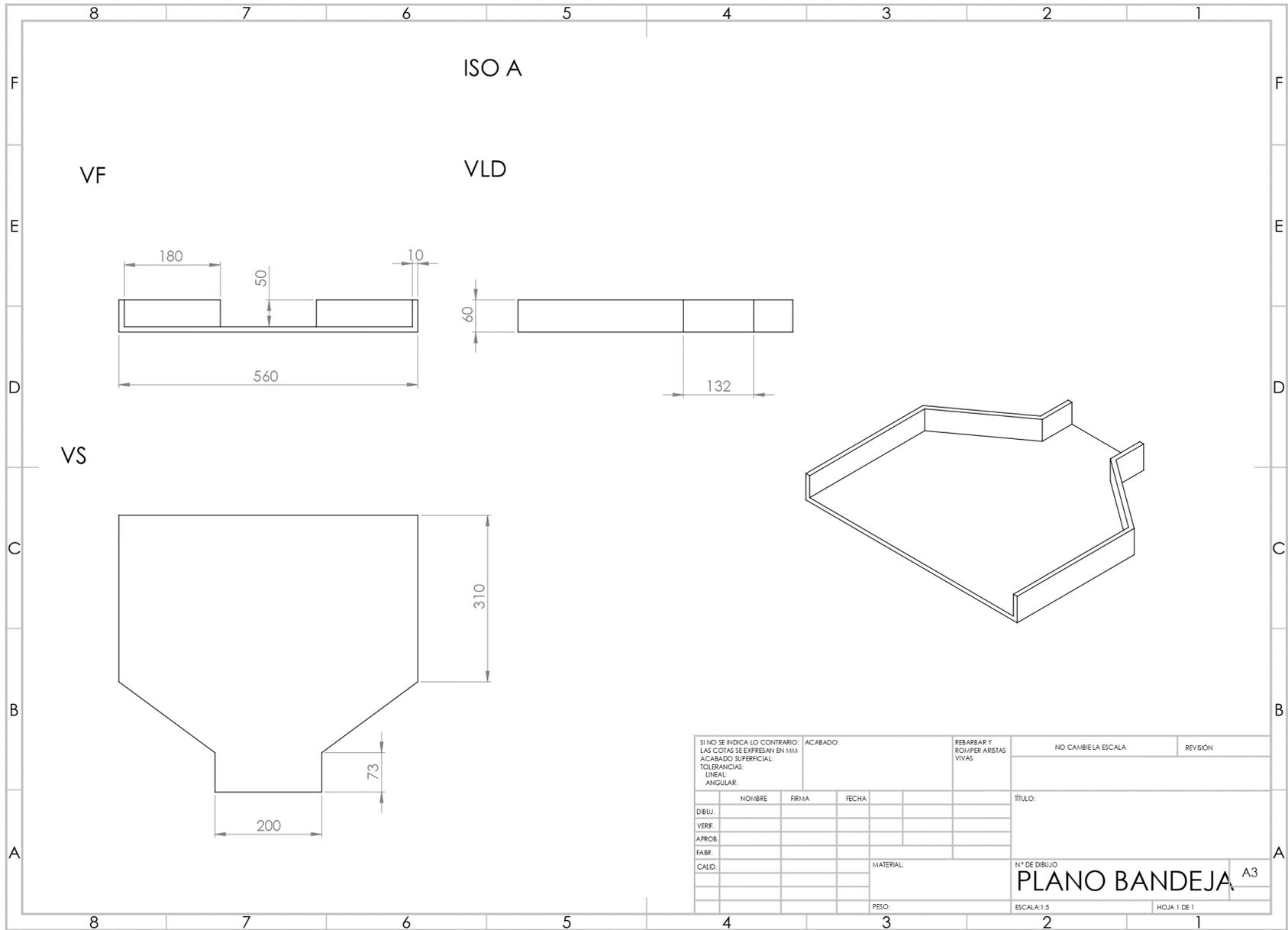
Figura 44

Modelado final del prototipo fermentador de cacao



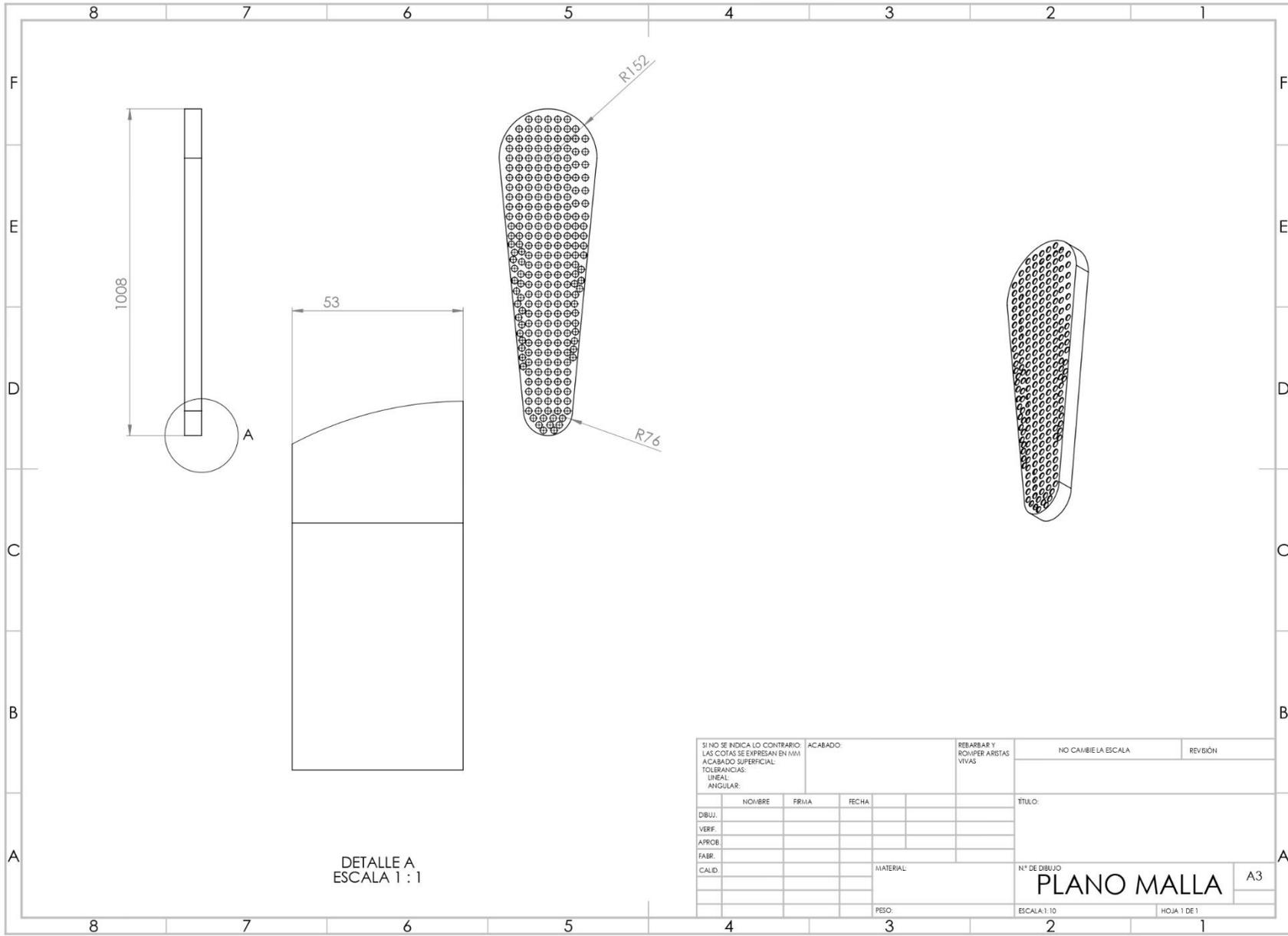
APENDICE C: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN





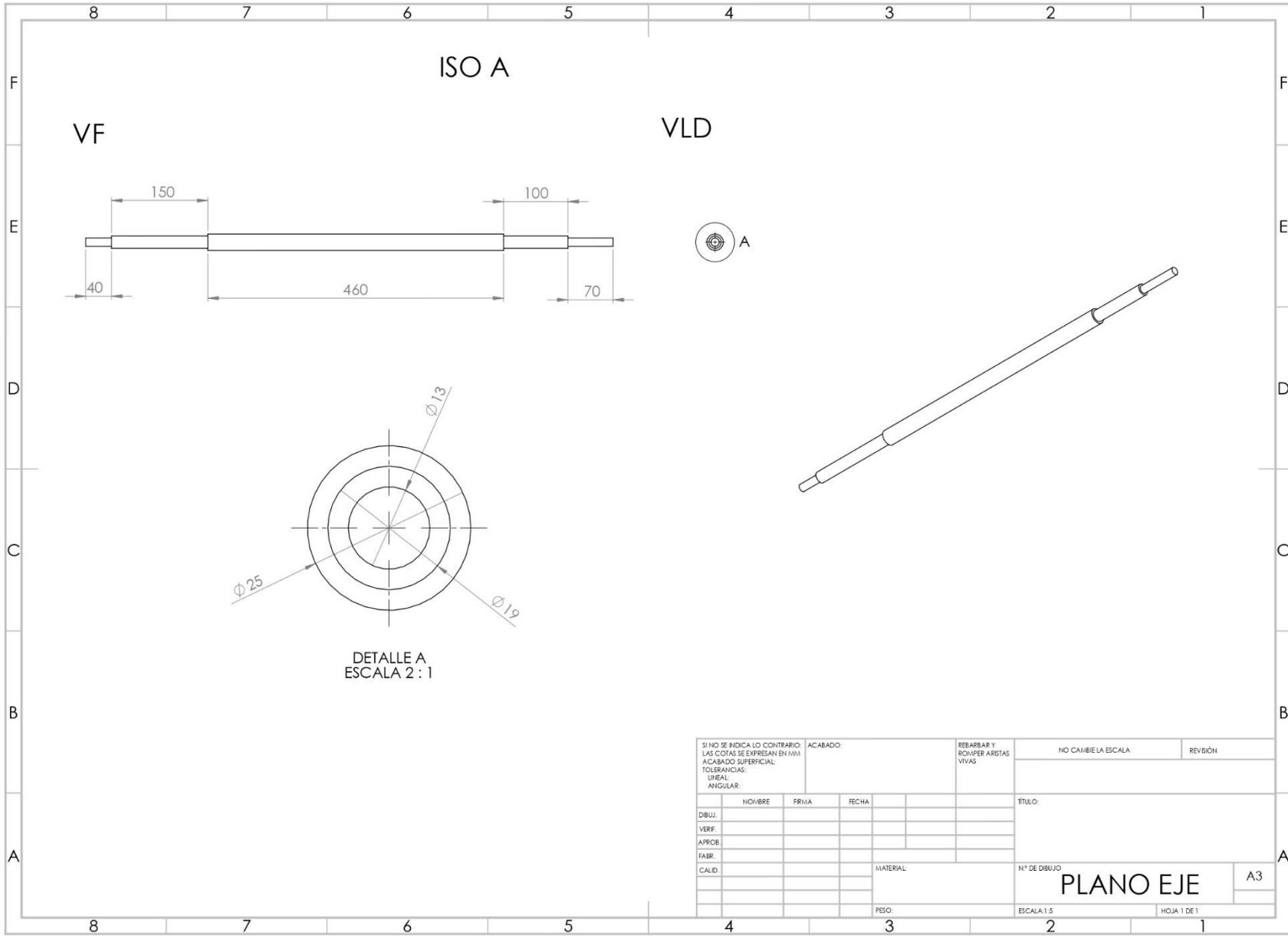
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:										
TOLERANCIAS:										
LINEAL:										
ANGULAR:										
DIBUJ.		NOBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:			
VERF.										
APROB.										
FABR.										
CALID.					MATERIAL:		N° DE DIBUJO		A3	
					PESO:		ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1	

PLANO BANDEJA



DETALLE A
ESCALA 1 : 1

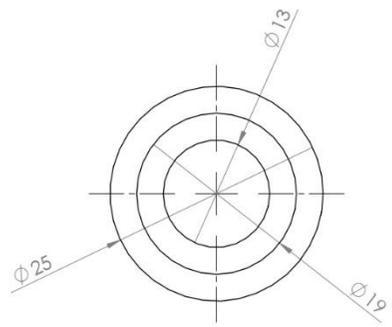
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIAR LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:											
TOLERANCIAS:											
LINEAL:											
ANGULAR:											
	NOV/RE	FIR/IA	FECHA			TÍTULO:					
DIBUJ.						PLANO MALLA					
VERF.											
APROR.											
FABR.											
CALID.											
					MATERIAL:	N° DE DIBUJO		ESCALA: 1:10		HOJA: 1 DE 1	
					PESO:					A3	



ISO A

VF

VLD



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOV/BRE	FIR/IA	FECHA			TÍTULO:	
VERF.						N° DE DIBUJO	
APROB.						PLANO EJE	
FABR.					MATERIAL:	ESCALA: 1:5	
CALID.					PESO:	HOJA 1 DE 1	
						A3	

