Universidad Nacional de Ingeniería

Área del Conocimiento de Agricultura

DISEÑO TECNOLOGICO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE CACAO EN LA COOPERATIVA LAS AZUCENAS, RIO SAN JUAN

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. CRISTHOFER JESUS MATUS

2018-0955U

Lic. MARGARITA MARIA ROCHA GUTIERREZ

2018-1233U

Tutor:

Dr. DANILO AMBROSIO LOPEZ VALERIO

Noviembre, 2025
Managua, Nicaragua

i. CARTA DEL TUTOR

Me dirijo a ustedes en mi carácter de tutor de la monografía titulada **"DISEÑO TECNOLÓGICO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE CACAO EN LA COOPERATIVA LAS AZUCENAS, RÍO SAN JUAN"**. Desarrollada por los estudiantes **Lic. Margarita María Rocha Gutiérrez** (carné 2018-1233U) y **Br. Cristhofer Jesús Matus** (carné 2018-0955U) como parte de sus requisitos académicos.

Durante el proceso de elaboración de este proyecto, tuve la oportunidad de observar el trabajo de ambos. Quiero destacar la**, dedicación y compromiso** que mostraron en cada etapa. Su responsabilidad con la investigación y la correcta aplicación de los principios de la ingeniería fue integral.

Los estudiantes lograron integrar de manera efectiva la teoría con la práctica, Quiero resaltar particularmente la **capacidad analítica** de Margarita y Cristhofer, así como su habilidad para trabajar en equipo, resolver problemas de forma creativa y mantener una comunicación fluida y respetuosa. Su rigor metodológico y atención al detalle aseguran la calidad de su trabajo y reflejan su formación integral.

En base a la calidad de su trabajo y su desempeño a lo largo de este proyecto, no dudo en **recomendarles**. Estoy seguro de que sus habilidades, conocimientos y ética de trabajo los convertirán en valiosos activos para cualquier organización o proyecto donde se desempeñen

Atentamente,

Dr. Danilo López Valerio

ii. AGRADECIMIENTO

A Dios, fuente de toda sabiduría y verdad. Le doy gracias por cada día de aliento, por iluminar mi entendimiento y por ser el faro de esperanza en los momentos más difíciles.

A mis amados padres, Jorge Rocha y Maria José Gutiérrez: Gracias por ser el origen de mi fuerza, este logro se teje con sus sacrificios silenciosos y su fe inquebrantable en mí. Cuando mis fuerzas flaqueaban, han sido mi ejemplo de fuerza y perseverancia. Gracias por la tranquilidad que me dio saber que contaba con su amor y apoyo incondicional.

Mi más profundo agradecimiento al **Dr. Danilo Ambrosio López Valerio** por su dedicación y paciencia infinita. Su dirección académica, llena de sabiduría y estímulo, ha sido fundamental para dar forma a esta investigación. No puedo expresar con palabras cuánto valoro su apoyo y orientación a lo largo de este viaje académico, ha sido un honor y un privilegio aprender bajo su tutela.

A mis hermanos: Ustedes son el hogar al que siempre vuelvo. Gracias por ser el soporte que me sostuvo incontables veces y por ser la alegría simple que me recordaba la belleza de la vida cuando más lo necesitaba.

Y **A mi compañero de investigación** y cómplice en esta aventura académica, más que un compañero, fuiste un luchador incansable que me impulsó en cada obstáculo. Agradezco infinitamente tu paciencia, tu compañerismo y tu buen humor en los momentos más estresantes. Sin tu apoyo, este camino hubiera sido mucho más difícil y solitario.

Margarita María Rocha Gutierrez

Agradezco a **Dios**, quien, a pesar de todas mis faltas y flaquezas, guía mis pasos y acompaña en mi caminar, quien me da las fuerzas necesarias para seguir adelante día a día, gracias por permitirme culminar este proyecto.

A mi madre **Mirna Matus** y a mi abuela **María Lourdes Torres** por sus cuidados, sacrificios y apoyo constante a lo largo de mi vida. Su esfuerzo y amor incondicional han sido pilares fundamentales en mi formación personal y profesional.

A mi amada novia, **Alexandra Rosales**, por ser mi compañera en este camino de mi vida, por brindarme su apoyo incondicional en los momentos de mayor presión, por su paciencia y motivación constante. Gracias por creer en mí, por acompañarme en cada paso de este proceso y por ser un ejemplo de amor y fortaleza.

A la memoria de mi Papito, **Eugenio Matus** y de mi Padrastro, **Bladimir Aguilar**, quienes, aunque ya no estén físicamente presentes, siempre serán mis padres. Los llevo en mis pensamientos y en mi corazón, su recuerdo me inspira a seguir adelante con determinación.

A mis hermanos **Engel y Emmanuel**, que en los momentos de mayor necesidad no me dejaron solo y me brindaron su apoyo fraternal, recordándome que la unión familiar es una gran fortaleza.

A mi compañera de tesis, **Margarita Rocha** quien ha sido mi amiga desde el primer año de universidad. Con ella compartí alegrías y aprendizajes a lo largo de toda la carrera. Hoy tengo el honor de culminar este camino académico a su lado, agradeciendo su amistad, apoyo y esfuerzo compartido.

A mis amigos, por su compañía, consejos y palabras de aliento que hicieron este camino más llevadero. Su apoyo y amistad han sido un respiro en medio de las exigencias y un recordatorio de que las metas se disfrutan aún más cuando se comparten.

Finalmente, agradezco profundamente a mi tutor de tesis **Danilo López,** por su guía, paciencia y valiosas orientaciones, que fueron clave para la realización de este trabajo académico.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Cristhofer Jesús Matus

iii. DEDICATORIA

A Dios, mi amado Padre celestial. por el propósito, la salud y la claridad mental necesarias para perseverar en este camino.

Con el más profundo amor dedico este trabajo a mi familia, la fuente inagotable de mi fortaleza. **A mis padres**, por darme las raíces para ser fuerte, las alas para volar y por su ejemplo constante de tenacidad. Sin su apoyo moral y material, este camino habría sido intransitable.

A mis hermanos, por ser el vínculo inquebrantable, mi soporte emocional y el hogar al que siempre puedo volver para renovar mis fuerzas, su apoyo constante fue un pilar invisible de este proceso. Ustedes son la raíz de mi existencia y la razón de mi esfuerzo.

Y a mi amor, **Francisco,** que me recordó que lo hermoso de la vida reside en compartir cada momento con quienes más amamos, gracias por estar a mi lado en este capítulo de mi vida. Definitivamente, no sería lo mismo sin ti.

Este título no es una culminación, sino un testimonio de su amor, un amor que me enseñó el valor de la perseverancia y la humildad. Gracias por su fe en mí, a todos.

Margarita María Rocha Gutiérrez

A **Dios**, por ser mi guía en cada paso, por darme fuerzas cuando sentí que no podía más y por mostrarme que los sueños se cumplen con fe y perseverancia.

A mi mamá **Mirna Matus** y a mi abuela **Maria Lourdes Torres**, mujeres muy valiosas de mi vida, por sus cuidados, sacrificios y ese amor inmenso que me sostiene siempre. Este logro también es suyo, porque sin ustedes no estaría aquí.

A mi amada novia, **Alexandra Rosales**, mi compañera de vida, gracias por estar a mi lado en los momentos más difíciles y en los más felices, por tu paciencia infinita, tu apoyo incondicional y tu amor que me inspira a ser mejor cada día.

A la memoria de mi Papito **Eugenio Matus** y de mi padrastro, **Bladimir Aguilar** que, aunque ya no estén en este mundo, los siento conmigo en cada pensamiento y en cada logro. Este trabajo lleva también un pedacito de ustedes, porque me enseñaron a ser fuerte y a luchar por mis metas.

A mis hermanos, **Engel y Emmanuel,** que nunca me dejaron solo, que con su apoyo y cariño me recordaron que la familia es la mayor fortaleza que uno puede tener.

Este triunfo no es solo mío, es de todos ustedes, porque me acompañaron en este camino. Ustedes son la razón de este sueño hecho realidad.

Cristhofer Jesús Matus

iv. RESUMEN

Este trabajo aborda el diseño tecnológico de una planta procesadora de cacao para la cooperativa "Las Azucenas" en Río San Juan, Nicaragua. El problema identificado es la falta de infraestructura y tecnología que limita la capacidad de la cooperativa para agregar valor a su producción y acceder a mercados más competitivos. La justificación del estudio destaca la oportunidad de negocio al satisfacer la alta demanda local de productos derivados, como el chocolate y el cacao en polvo, mientras se promueve el desarrollo socioeconómico y la sostenibilidad ambiental en la región. Los objetivos del estudio fueron determinar la capacidad de producción de la planta, dimensionar los equipos necesarios y calcular sus requerimientos energéticos. La metodología destaca por su novedad al no basarse en un estudio de mercado tradicional, sino en un análisis de bases de datos de comercio regional e internacional, como la SIECA y Trademap, para inferir la demanda potencial de subproductos como chocolate, pasta, manteca y polvo de cacao.

Los resultados principales incluyen el cálculo de una capacidad de procesamiento de aproximadamente 738.32 kg/día y la determinación de la potencia requerida para equipos clave. Los cálculos de dimensionamiento sugieren equipos con capacidades específicas: un tostador de 56.10 kg/lote y un descascarillador con una capacidad de 105.29 kg/h. Además, se determinó una potencia total requerida de 37 HP y un consumo anual de 34,442.59 kWh. En conclusión, el estudio propone un diseño integral y viable que permitiría a la cooperativa diversificar su oferta y mejorar la eficiencia productiva, impulsando el desarrollo sostenible de la región. El aporte o novedad del estudio reside en su enfoque innovador para establecer la capacidad de producción, utilizando datos de comercio para fundamentar las variables de diseño.

Índice de contenido

i. CARTA DEL TUTOR 2
ii. AGRADECIMIENTO 3
iii. DEDICATORIA 5
iv. RESUMEN 7
I. INTRODUCCIÓN 12
II. OBJETIVOS 13
2.1. Objetivo general 13
2.2. Objetivos específicos 13
III. MARCO TEÓRICO 14
3.1 Ubicación geográfica 14
3.2. Variedades de Cacao 14
3.2.1. Criollo 14
3.2.2 Forastero 15
3.2.3 Trinitario 15
3.3 El Cacao: Contexto y Relevancia en Nicaragua. 16
3.3.1 Historia y resurgimiento del Cacao en Nicaragua. 16
3.4. El Cacao: Pilar Socioeconómico y Ambiental en Nicaragua 16
3.5. Criterios de Calidad del Cacao Nicaragüense. 17
3.6. Composición Fisicoquímica del Cacao en Grano 18
3.6.1 Macronutrientes 18
3.6.2. Micronutrientes y Compuestos Bioactivos 19
3.7. Clasificación y Definición de los Subproductos del Cacao 20
3.7.1 Pasta de Cacao (Licor de Cacao) 20
3.7.2 Manteca de Cacao 20
3.7.3 Cacao en Polvo 21
3.7.4 Chocolate 21
3.8 Factores de Calidad 22
3.9 Principios de Ingeniería de Procesos y Diseño de Plantas 22
3.9.1 Ingeniería de Procesos: Definición y Alcance 22
3.9. 2 Diseño de Plantas Industriales 23

3.9.3. Criterios de Diseño 23
3.9.4 Diagramas de Flujo de Proceso (DFP) 24
3.9. 5 Operaciones Unitarias en el Procesamiento de Cacao 24
3.9.6 Balances de Materia y Energía 28
3.9.7 Principios de Conservación de la Masa y la Energía 28
3.10 Balance de Materia 28
3.10.1 Balance de Materia Global de la Planta 28
3.10.2 Balances de Materia por Etapa y por Componente 28
3.10.3 Rendimientos y Eficiencias 29
3.10.4 Generación de Residuos y Subproductos 29
3.11 Balance de Energía 29
3.11.1 Formas de Energía 29
3.11.2 Transferencia de Calor 30
3.11.3 Eficiencia Energética 30
3.12 Dimensionamiento de Equipos 31
3.12.1 Factores de Diseño 31
3.13 Aspectos Tecnológicos y Económicos del Diseño de Plantas de Cacao ... 31
3.13.1 Tecnologías de Procesamiento de Cacao 32
3.13.2 Tipos de Equipos Específicos 32
3.13.3 Criterios de Selección Tecnológica 32
3.13.4 Selección de Equipos 33
3.13.5 Criterios Técnicos 33
3.13.6 Criterios Económicos 34
3.13.7 Criterios de Seguridad y Normativa 34
3.13.8 Sistemas de Utilitarios 34
3.13.9 Consideraciones de Calidad y Seguridad Alimentaria 35
3.13.10 Sostenibilidad y Aspectos Ambientales 36
IV.CÁLCULO DE VARIABLES DE DISEÑO 37
4.1 Capacidad de producción de la planta de transformación del cacao. .. 37
4.1.1 Identificación y Acceso a Fuentes de Datos 37
4.1.2 Análisis de Bases de Datos 38
4.2 Algoritmo de Cálculo 39

4.3 Capacidad de los equipos de transformación del cacao, requeridos para el proceso productivo 42
4.3.1 Variables de Diseño y Procedimientos de Cálculo para el Procesamiento de Cacao 42
4.4 Ecuaciones de Diseño 46
4.4.1 Tostado 46
4.4.2 Descascarillado 47
4.4.3 Molienda 48
4.4.4 Prensado 48
4.5 Requerimiento energético de los equipos para llevar a cabo el proceso de transformación del cacao 49
V. METODOLOGIA 50
5.1 Balance de Materia General 50
La ecuación general para el balance de materia se expresa como: 50
5.2 Balance de Materia en Estado Estacionario 50
5.3 Balance de Materia para un Proceso Específico 50
5.4 Balance de Materia en la Recepción 50
5.5 Balance de Materia en la Molienda 50
5.6 Balance de Materia en el Prensado 51
5.7 Balance de Materia en el Conchado 51
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS 58
6.1 Capacidad de producción de la planta de transformación del cacao. 58
6.2 Capacidad de los equipos de transformación del cacao, requeridos para el proceso productivo 62
6.3 Requerimiento energético de los equipos para llevar a cabo el proceso de transformación del cacao 66
VII. CONCLUSIONES 68
VIII. RECOMENDACIONES 69
IX. BIBLIOGRAFÍA 70
X. ANEXOS 75

Índice de Tablas

Tabla 1 Composición del grano de cacao 44
Tabla 2: Supuestos Estándar para los Procesos 45
Tabla 3: Suposiciones asumidas para el cálculo energético 49
Tabla 4: Cálculos de demanda aparente (Importaciones-Exportaciones) y los promedios de esta demanda aparente para cada categoría. 58
Tabla 5: Estimaciones de Materia Prima (Cacao en Grano) Requerida para las capacidades proyectadas 58
Tabla 6: Resumen de Capacidades de Producción Propuestas 59
Tabla 7: Resumen de Balance de Materia y Dimensionamiento de Equipos (Capacidad: 269.27 toneladas/año de Cacao en Grano) 63
Tabla 8: Balance de materia y energía total 66
Tabla 9: Variables de diseño de las etapas de proceso tecnológico del cacao 66
Tabla 10: Chocolate 75
Tabla 11: Pasta de cacao 75
Tabla 12: Manteca de cacao 76
Tabla 13: Cacao en polvo 76

I. INTRODUCCIÓN

El cacao, Theobroma cacao L., es un cultivo de importancia económica y social a nivel mundial, y en regiones tropicales como Nicaragua. Su valor radica no solo en la producción de granos utilizados para la elaboración de chocolate y otros derivados, sino también en su potencial para generar empleo, impulsar el desarrollo rural y contribuir a la seguridad alimentaria (International Cocoa Organization, 2023). En Nicaragua, una de las áreas de cultivo de cacao se da en la región de Río San Juan, donde pequeñas cooperativas como “Las Azucenas” desempeñan un papel crucial en la producción y comercialización de este fruto (Ministerio Agropecuario, 2022).

La transformación del grano de cacao a productos de valor agregado, como pasta, manteca y chocolate, requiere de procesos tecnológicos y equipos especializados. Un diseño tecnológico adecuado para una planta procesadora de cacao no solo optimiza la eficiencia productiva y la calidad del producto final, sino que considera aspectos como la sostenibilidad ambiental, seguridad alimentaria y las normativas vigentes (Afoakwa, 2016).

La región de Río San Juan, caracterizada por su riqueza natural y agrícola, presenta condiciones agroclimáticas favorables para el cultivo de cacao de alta calidad (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, 2020). Sin embargo, la falta de infraestructura y tecnología para el procesamiento local limita el potencial de las cooperativas como “Las Azucenas” para alcanzar un mayor valor de su producción. La ejecución de una planta procesadora diseñada tecnológicamente para sus necesidades específicas podría superar estas limitaciones, permitiéndoles diversificar su oferta de productos y acceder a mercados más exigentes (Schlüter & Bolwig, 2021).

El presente trabajo monográfico se centra en el diseño tecnológico de una planta procesadora de cacao para la Cooperativa “Las Azucenas” en Río San Juan, Nicaragua. A través de un análisis exhaustivo de los procesos productivos, la selección de equipos, la distribución de planta y la consideración de aspectos económicos y ambientales, se busca proponer un diseño integral que responda a las necesidades y el contexto específico de la cooperativa

La elaboración de este diseño tecnológico se fundamentará en una revisión bibliográfica actualizada, que incluye investigaciones recientes sobre el procesamiento de cacao. Los resultados de este trabajo serán de mucha importancia a la Cooperativa “Las Azucenas”, facilitando la implementación de una planta procesadora que impulse su crecimiento y contribuya al desarrollo sostenible de la región de Río San Juan.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Diseñar tecnológicamente una planta procesadora de cacao para la cooperativa las azucenas

2.2. Objetivos específicos

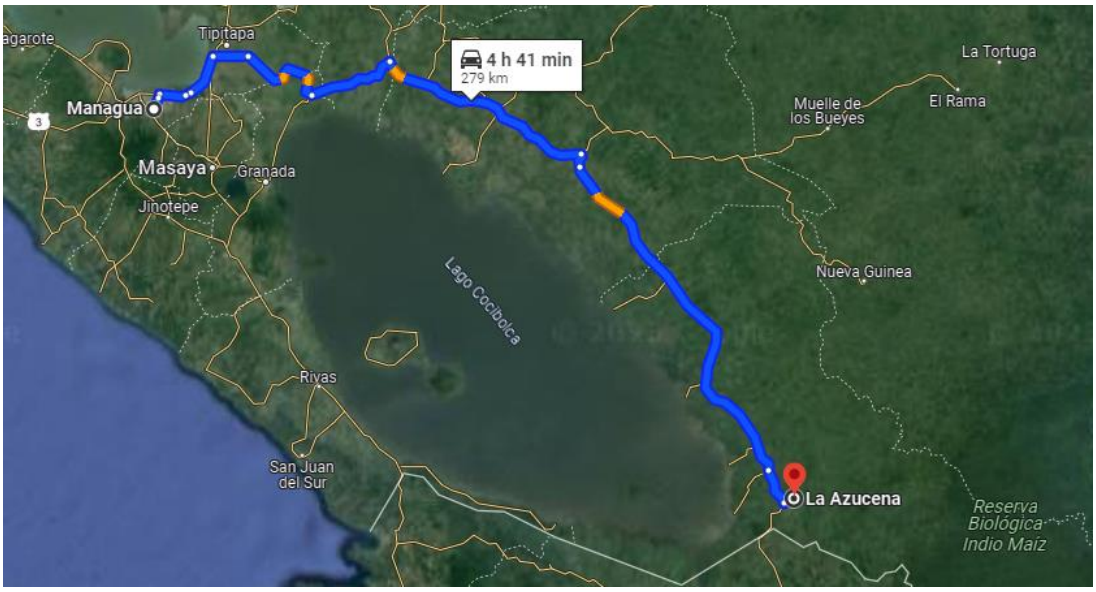
- Determinar la capacidad de producción de la planta de transformación del cacao en 4 subproductos, tales como: Chocolate, pasta de cacao, manteca de cacao y cacao en polvo
- Dimensionar los equipos de transformación del cacao, requeridos para el proceso productivo aplicando los balances de materia generales y por componentes.
- Determinar el requerimiento energético de los equipos para llevar a cabo el proceso de transformación del cacao.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Ubicación geográfica

El centro de acopio y procesamiento de cacao de las cooperativas COOPRULA R.L (Cooperativa Multisectorial Productores Unidos de Las Azucenas), COPAAMA R.L y COAFAMA R.L, ubicada en la comarca La Azucena (Las Azucenas), Municipio de San Carlos en Rio San Juan. Se encuentra a 279 km del casco urbano de Managua.

Ilustración 1Ubicación geográfica comarca Las Azucenas



Fuente: (Google Maps, 2023)

3.2. Variedades de Cacao

La diversidad genética del cacao se clasifica tradicionalmente en tres grupos principales, cada uno con características distintivas que influyen en sus propiedades de procesamiento y en el perfil sensorial de los productos finales.

3.2.1. Criollo

El cacao Criollo es conocido como el “príncipe de los cacaos” debido a su aroma fino, bajo amargor y delicado perfil de sabor con notas frutales, florales y a nuez (Fowler et al., 2020). Sus granos son grandes, de cáscara delgada y de color más claro. Sin embargo, su producción es escasa y su cultivo es más susceptible a enfermedades, lo que lo convierte en un cacao de alto valor en el mercado de cacaos finos. Su escasez y las características deseables de su perfil de sabor son objeto de numerosos estudios en el ámbito de la gastronomía y la investigación de alimentos. Un artículo en Food Quality and Preference (Kuhn et al., 2019) profundiza en las percepciones del consumidor sobre los atributos de sabor del cacao Criollo.

3.2.2 Forastero

El cacao Forastero es la variedad dominante en la producción mundial, representando más del 80% del cacao cultivado (Pu et al., 2021). Se caracteriza por ser robusto, de alto rendimiento y resistente a enfermedades, pero sus granos son generalmente más amargos y astringentes, con un perfil de sabor más intenso y menos complejo que el Criollo. Es el cacao de elección para la producción masiva de chocolate debido a su disponibilidad y costo. La optimización de la fermentación y el tostado para mejorar el perfil de sabor del cacao Forastero es un área activa de investigación, como lo demuestran publicaciones en el Journal of Food Science (Sukha et al., 2020).

3.2.3 Trinitario

El cacao Trinitario es un híbrido natural o cultivado que combina características del Criollo y del Forastero. Ofrece la robustez y el rendimiento del Forastero con un perfil de sabor más fino y complejo, similar al Criollo, aunque con variaciones significativas entre diferentes clones (Perea-Dallos et al., 2019). Es probable que este sea el tipo de cacao que maneje la Cooperativa Las Azucenas en Río San Juan, dadas las características de hibridación y adaptabilidad que suelen buscarse en la agricultura moderna. La selección del equipo y los parámetros de proceso deben considerar las particularidades de este tipo de cacao, especialmente en términos de perfiles de tostado y conchado para maximizar el desarrollo de su sabor.

Un estudio sobre la diversidad genética de los cacaos Trinitario en América Latina, publicado en Tree Genetics & Genomes (Sounigo et al., 2020), ofrece información valiosa sobre la variabilidad de sus atributos.

La elección del tipo de cacao influye directamente en las propiedades de procesamiento, como los tiempos y temperaturas óptimas de fermentación y tostado, y en el perfil sensorial de los productos finales. Por ejemplo, un cacao con mayor acidez natural podría requerir un conchado más prolongado. La comprensión de estas variaciones es crucial para la selección de equipos y la determinación de los parámetros de proceso en el diseño de la planta procesadora.

3.3 El Cacao: Contexto y Relevancia en Nicaragua.

El cacao ha resurgido en Nicaragua como un cultivo estratégico, no solo por su potencial económico, sino también por su impacto socioambiental, especialmente en zonas rurales como Río San Juan. Par el diseño tecnológico de una planta procesadora que agregue un alto valor en el sector, es fundamental comprender la trayectoria histórica, las particularidades botánicas y variedades presentes en el país, su rol socioeconómico actual y los criterios de calidad específicos para el cacao nicaragüense.

3.3.1 Historia y resurgimiento del Cacao en Nicaragua.

La presencia del cacao en Nicaragua se remonta a tiempos prehispánicos, donde era cultivado y valorado por las poblaciones indígenas, quienes lo utilizaban en rituales y como bebida ceremonial y medicinal (Newson, 1987). Tras la Conquista y la Colonia, el cacao se mantuvo como un cultivo importante, aunque su relevancia fluctuó a lo largo de los siglos debido a diversos factores económicos y políticos, como la priorización de otros cultivos de exportación entre los que destacan el café y el banano (Radell, 1969).

En las últimas décadas, Nicaragua ha experimentado un notable resurgimiento del cultivo de cacao. Este ha sido impulsado por factores como la búsqueda de diversificación productiva ante la volatilidad de los precios del café, el creciente interés global por el cacao fino y de aroma, y el apoyo de programas de desarrollo rural y cooperación internacional que han promovido el cacao como una alternativa rentable y sostenible para pequeños y medianos productores (CATIE, 2017).

Regiones como la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), Matagalpa, Jinotega y especialmente Río San Juan han visto un incremento significativo en sus áreas de cultivo, beneficiándose de condiciones agroecológicas favorables y la implementación de sistemas agroforestales (MAGFOR, 2011)

3.4. El Cacao: Pilar Socioeconómico y Ambiental en Nicaragua

El cacao ha surgido como un pilar fundamental para el desarrollo socioeconómico en las zonas rurales de Nicaragua. Para miles de familias campesinas, especialmente aquellas con acceso limitado a tierras y recursos, el cacao representa una oportunidad de generar ingresos sostenibles, diversificar sus economías y mejorar sus condiciones de vida (NITLAPAN-UCA, 2016).

Su cultivo se integra mayoritariamente en sistemas agroforestales, lo que no solo contribuye a la conservación del medio ambiente al promover la biodiversidad y la captura de carbono, sino que también ofrece servicios ecosistémicos cruciales como la regulación hídrica y la protección del suelo (CATIE, 2017). En regiones como Río San Juan, donde la degradación de suelos y la deforestación han sido desafíos, el cacao agroforestal ofrece una alternativa productiva que mitiga el impacto ambiental y fomenta la resiliencia climática de las comunidades (CIAT, 2015).

Además, el sector cacaotero nicaragüense ha visto un crecimiento en la organización de productores en cooperativas, como la Cooperativa Las Azucenas. Estas cooperativas desempeñan un papel crucial en:

- La mejora de las capacidades técnicas y de gestión de los productores.
- El acceso a mercados más justos y directos, un comercio justo comercio justo representa un cacao de especialidad).
- La negociación colectiva y el fortalecimiento de la cadena de valor, facilitando la inversión en infraestructura de postcosecha y procesamiento.
- La promoción del empoderamiento comunitario y la equidad de género ((PRODECOOP, 2018)

3.5. Criterios de Calidad del Cacao Nicaragüense.

La calidad del cacao nicaragüense no solo se evalúa por sus características genéticas, sino, crucialmente, por el manejo postcosecha, que incluye la fermentación y el secado. Estos procesos son determinantes para el desarrollo de los precursores de sabor y aroma que distinguen al cacao fino y de aroma. Los compradores internacionales y la industria del chocolate gourmet buscan características específicas en el cacao de Nicaragua:

- Buen secado: Un contenido de humedad adecuado (generalmente entre 6% y 8%) para prevenir el crecimiento de moho y asegurar una buena conservación (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala, 2012; aplicable por similitud de prácticas regionales).
- Buena fermentación: Evidenciada por un color interno del grano uniforme (marrón chocolate o rojizo, no pizarroso ni púrpura), un aroma característico a cacao y la ausencia de olores a humo o putrefacción. Una fermentación adecuada reduce la astringencia y amargor y desarrolla los precursores de sabor (Zambrano, 2013).
- Ausencia de defectos: Granos libres de moho, insectos, granos pizarrosos, granos germinados, impurezas, y olores extraños (CATIE, 2017)
- Homogeneidad: Un lote de granos uniformes en tamaño y grado de fermentación y secado.
- Perfil sensorial: Para el cacao fino, se valoran notas afrutadas, cítricas, florales, de nuez o caramelo, lo que lo hace ideal para la elaboración de chocolates de especialidad (Universidad Nacional Agraria, 2019)

La implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) desde la parcela hasta el proceso de secado es fundamental para asegurar un cacao de alta calidad el cual que maximice su valor en el mercado y asegure la sostenibilidad de la cadena productiva. La planta procesadora “Las Azucenas” deberá estar diseñada para optimizar estos procesos críticos y garantizar que el cacao nicaragüense alcance su máximo potencial de calidad.

3.6. Composición Fisicoquímica del Cacao en Grano

El grano de cacao es una matriz compleja cuya composición fisicoquímica determina sus propiedades organolépticas y nutricionales, así como su comportamiento durante el procesamiento. La comprensión de estos componentes es fundamental para el diseño de una planta procesadora de cacao eficiente.

3.6.1 Macronutrientes

Los macronutrientes presentes en el cacao son clave para su valor nutricional y sus características tecnológicas.

3.6.1.1. Agua

La humedad es un factor crítico en la calidad del grano de cacao, afectando su almacenamiento y procesamiento. Un contenido de humedad inadecuado puede conducir al crecimiento de moho y a la producción de ácidos grasos libres, deteriorando la calidad del cacao (Afoakwa, 2019). Durante el tostado, la reducción controlada de la humedad es esencial, ya que influye en las reacciones químicas que desarrollan el aroma y el sabor. Investigaciones publicadas en el Journal of Food Engineering han detallado los modelos de transferencia de masa durante el secado y tostado del cacao, demostrando cómo la optimización de este proceso puede mejorar la calidad final del producto (Beltrán-Orozco et al., 2020).

3.6.1.2 Grasas (Manteca de Cacao)

La manteca de cacao, que constituye entre el 50% y el 57% del peso seco del grano, es el componente más valioso. Su composición de ácidos grasos, predominantemente ácido esteárico, palmítico y oleico, le confiere un punto de fusión característico, cercano a la temperatura corporal humana, lo que contribuye a la distintiva sensación de “derretimiento en la boca” del chocolate (Minifie, 2020).

El polimorfismo de la manteca de cacao, es decir, su capacidad para cristalizar en diferentes formas, esto es crucial para la textura y estabilidad del chocolate. El control de estas formas cristalinas durante el templado es esencial para evitar el “fat bloom” (afloramiento graso) y garantizar una apariencia brillante y una textura deseable. Un estudio reciente en Food Chemistry abordó la influencia de las

condiciones de procesamiento en las propiedades de cristalización de la manteca de cacao (Lipp & Anklam, 2021).

3.6.1.3. Proteínas y Carbohidratos

Las proteínas (10-15%) y carbohidratos (azúcares reductores, sacarosa, polisacáridos) del cacao son esenciales para las reacciones de Maillard durante el tostado. Estas reacciones entre aminoácidos y azúcares son las principales responsables de la formación de los complejos compuestos de aroma y sabor que caracterizan al chocolate (Beckett, 2019). La fibra dietética (alrededor del 30% en los granos desgrasados) también juega un papel importante, contribuyendo a la textura y a los beneficios nutricionales del cacao, incluyendo su impacto positivo en la salud digestiva. La interacción entre estos macronutrientes durante el tostado ha sido investigada en profundidad en publicaciones como Food Research International (Ramírez-Sánchez et al., 2022), destacando su contribución al perfil organoléptico.

3.6.2. Micronutrientes y Compuestos Bioactivos

Además de los macronutrientes, el cacao es rico en compuestos bioactivos que le confieren propiedades únicas.

3.6.2.1. Polifenoles (flavonoides, taninos)

Los polifenoles, especialmente los flavonoides (epicatequina, catequina, procianidinas) y taninos, son los principales responsables del amargor y la astringencia del cacao sin procesar (Quiñones et al., 2020). Estos compuestos son también poderosos antioxidantes, asociados con numerosos beneficios para la salud cardiovascular y la reducción del estrés oxidativo. Sin embargo, el procesamiento del cacao, particularmente la fermentación y el tostado, puede afectar significativamente su concentración.

La fermentación reduce la astringencia al degradar algunos polifenoles, mientras que el tostado puede polimerizarlos o degradarlos. Un artículo en el Journal of Agricultural and Food Chemistry discute detalladamente cómo el procesamiento postcosecha influye en el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante del cacao (Crozier et al., 2019).

3.6.2. 2. Alcaloides (Teobromina y Cafeína)

Los alcaloides, principalmente la teobromina y en menor medida la cafeína, son responsables de los efectos estimulantes característicos del cacao y su contribución al sabor amargo. La teobromina, más abundante que la cafeína en el cacao, tiene un efecto estimulante más suave y prolongado (Martínez-Pinilla et al., 2019). Su presencia y proporción varían entre los diferentes tipos de cacao y afectan el perfil de sabor final de los productos derivados. La investigación sobre

los efectos fisiológicos de estos alcaloides en humanos ha sido ampliamente documentada en revistas de nutrición y farmacología.

3.6.2.3. Vitaminas y Minerales

Aunque en menor proporción, el cacao contiene vitaminas del grupo B, vitamina E y minerales esenciales como magnesio, hierro, potasio, fósforo, zinc y selenio (Li et al., 2021). Estos micronutrientes contribuyen al valor nutricional general del cacao y sus derivados.

3.7. Clasificación y Definición de los Subproductos del Cacao

El cacao en grano se transforma en una variedad de subproductos que son la base de la industria chocolatera y de otros sectores.

3.7.1 Pasta de Cacao (Licor de Cacao)

La pasta de cacao, también conocida como licor de cacao o masa de cacao, es un producto intermedio esencial obtenido de la molienda de los nibs de cacao tostados y descascarillados. Es 100% masa de cacao pura, que contiene tanto los sólidos de cacao como la manteca de cacao en su proporción natural (Rodríguez-Estrada et al., 2020). La obtención de la pasta implica un proceso de molienda fina que rompe las células del cacao, liberando la manteca y creando una suspensión viscosa. Sus usos principales son como materia prima para la elaboración de chocolate, la extracción de manteca de cacao y la producción de cacao en polvo.

La calidad de la pasta de cacao es crucial, ya que influye directamente en el sabor y la textura de los productos finales. Un estudio en Journal of Food Science and Technology (Gong et al., 2021) analizó la influencia del grado de molienda en las propiedades reológicas de la pasta de cacao.

3.7.2 Manteca de Cacao

La manteca de cacao es la fracción grasa del grano de cacao, separada de la pasta de cacao por prensado. Posee propiedades físicas únicas, como un punto de fusión estrecho (aproximadamente 34-35°C), cercano a la temperatura corporal, lo que le confiere la capacidad de derretirse rápidamente en la boca, una característica deseada en el chocolate (Lipp & Anklam, 2021). Su polimorfismo, es decir, su capacidad para cristalizar en diferentes formas (desde la forma I de baja estabilidad hasta la forma VI más estable), es fundamental para el proceso de templado del chocolate, que asegura una estructura cristalina estable, un brillo atractivo y una buena resistencia al “fat bloom”.

La manteca de cacao es un ingrediente valioso en la industria alimentaria, no solo para el chocolate, sino también en confitería y productos de panadería, y en la

industria cosmética y farmacéutica debido a sus propiedades emolientes y protectoras. La investigación continua sobre las propiedades cristalinas de la manteca de cacao es vital para la innovación en productos chocolateros (Hartel et al., 2020).

3.7.3 Cacao en Polvo

El cacao en polvo es el resultado de la molienda de la torta de cacao desgrasada, que se obtiene después de extraer la manteca de la pasta de cacao. Se distingue principalmente entre cacao natural y cacao alcalinizado (o Dutch-processed). El cacao natural es más ácido, de color más claro y posee un sabor más astringente y frutal (Beckett, 2019). El cacao alcalinizado, por otro lado, es sometido a un proceso de alcalinización (tratamiento con soluciones alcalinas, como carbonato de potasio) que neutraliza su acidez, oscurece su color y le confiere un sabor más suave, menos amargo y con notas de chocolate más pronunciadas.

El propósito de la alcalinización es mejorar la dispersibilidad del cacao en líquidos y suavizar su sabor, haciéndolo más versátil para diversas aplicaciones, desde bebidas hasta productos de panadería. Un estudio en Food Science and Technology International (Holliday et al., 2019) evaluó el impacto de la alcalinización en las propiedades funcionales y el perfil antioxidante del cacao en polvo.

3.7.4 Chocolate

El chocolate es el producto más conocido derivado del cacao, y se define como una mezcla de pasta de cacao, manteca de cacao, azúcar y, dependiendo del tipo, otros ingredientes como sólidos lácteos, vainilla, etc.

Tipos Principales

Los principales tipos de chocolate incluyen:

- Chocolate negro: Contiene un alto porcentaje de pasta de cacao y manteca de cacao, con poco o ningún sólido lácteo. Su intensidad de sabor y amargor varían según el porcentaje de cacao.
- Chocolate con leche: Incorpora sólidos lácteos (leche en polvo) y generalmente más azúcar, lo que le confiere una textura más suave y un sabor más dulce y cremoso.
- Chocolate blanco: A diferencia de los otros tipos, el chocolate blanco no contiene sólidos de cacao, solo manteca de cacao, azúcar, sólidos lácteos y saborizantes (Afoakwa, 2019).

3.8 Factores de Calidad

Dos procesos son críticos para la calidad del chocolate:

- Conchado: Es un proceso de mezcla, agitación y aireación prolongada de la masa de chocolate a temperaturas controladas. Durante el conchado, se desarrollan y refinan los sabores, se reduce la acidez volátil, se eliminan compuestos indeseables y se mejora la textura, logrando una sensación suave en boca (Minifie, 2020). La duración y la intensidad del conchado influyen en la viscosidad y el perfil de sabor final. Un análisis en Food Chemistry (Kong et al., 2022) examinó los cambios químicos durante el conchado y su impacto en la calidad del chocolate.

- Atemperado: Es un proceso de control de temperatura que promueve la cristalización de la manteca de cacao en la forma cristalina más estable (Forma V). Un atemperado adecuado asegura que el chocolate tenga un brillo duradero, una textura firme y crujiente, y sea resistente al “fat bloom” (Beckett, 2019). Un templado incorrecto puede llevar a la formación de cristales inestables, resultando en un chocolate opaco y con una textura arenosa. La ciencia detrás del atemperado y sus implicaciones para la calidad del chocolate sigue siendo un área de estudio importante en la ciencia de los alimentos (Rodríguez-Padilla et al., 2021).

3.9 Principios de Ingeniería de Procesos y Diseño de Plantas

Para el diseño tecnológico de una planta procesadora de cacao, es fundamental sentar las bases en los principios de la ingeniería de procesos. Esto nos permite abordar el proyecto de una manera estructurada y eficiente.

3.9.1 Ingeniería de Procesos: Definición y Alcance

La ingeniería de procesos es la disciplina que se encarga del diseño, operación, control y optimización de los procesos industriales. En nuestro caso, se aplica a la transformación del grano de cacao en sus derivados, como pasta, manteca, polvo y, eventualmente, chocolate. Su alcance es amplio, abarcando desde la concepción inicial de la idea hasta la puesta en marcha y mejora continua de la planta. Implica la aplicación de principios de termodinámica, transferencia de masa y calor, mecánica de fluidos y cinética química para desarrollar procesos eficientes y sostenibles (Sinnott & Towler, 2020).

3.9. 2 Diseño de Plantas Industriales

El diseño de plantas industriales es la materialización de los principios de ingeniería de procesos en una instalación física. No es solo dibujar un plano, sino integrar todas las operaciones unitarias en un sistema coherente y funcional.

3.9.2.1 Fases del Diseño

El diseño de una planta se descompone en fases secuenciales que aseguran una progresión lógica y minimizan riesgos:

- Conceptual (Fase 1): Esta etapa inicial se centra en la viabilidad del proyecto. Aquí se definen la idea general, se realizan estudios de mercado y se evalúa la rentabilidad potencial. Es donde se selecciona la ruta de proceso óptima a nivel macro, considerando las tecnologías disponibles y los requerimientos del producto final (Ulrich & Eppinger, 2020). Para nuestra planta de cacao, implicaría decidir qué productos finales se van a producir (pasta, manteca, chocolate), el volumen de producción y las tecnologías básicas a considerar.

- Básica (Pre-ingeniería) (Fase 2): Se entra en el detalle técnico. Se desarrollan los balances de materia y energía para cada operación unitaria, lo que permite el dimensionamiento preliminar de los equipos principales. Se generan los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP) y se establecen las especificaciones clave para los equipos. En esta fase se definen los parámetros operativos y se hace una primera estimación de costos de inversión y operación (Turton et al., 2018). Para una planta de cacao, esto significa calcular flujos de cacao, energía para el tostado, capacidades de molienda y prensado, y determinar el tamaño de cada equipo.

3.9.3. Criterios de Diseño

Al diseñar cualquier planta, ciertos criterios, guían todas las decisiones de ingeniería:

- Seguridad: Prioridad máxima. El diseño debe minimizar riesgos para el personal y el medio ambiente, cumpliendo con todas las normativas de seguridad industrial (Mannan & Lees, 2020).

- Eficiencia: Maximizar la conversión de materia prima y energía en producto, minimizando residuos y consumo de recursos (Smith & Van Ness, 2018).

- Flexibilidad: La capacidad de la planta para adaptarse a cambios en la materia prima, volumen de producción o diversificación de productos (Cussler & Moggridge, 2020).

Esto es crucial para una cooperativa, y permite:

- Sostenibilidad: Reducir la huella ambiental, optimizando el uso de agua, energía y gestionando adecuadamente los subproductos y residuos (González-García et al., 2019).

- Economía (Inversión y Operación): Minimizar los costos de capital (CAPEX) y los costos operativos (OPEX) sin comprometer la calidad o la seguridad. Una buena ingeniería busca el equilibrio óptimo (Peters et al., 2003).

- Calidad del Producto: Asegurar que los productos cumplan con los estándares de calidad y especificaciones deseadas (Afoakwa, 2019).

- Facilidad de Mantenimiento: Diseñar la planta para que las tareas de mantenimiento sean accesibles, seguras y eficientes, minimizando los tiempos de inactividad (Rosaler & Rice, 2019).

3.9.4 Diagramas de Flujo de Proceso (DFP)

El Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) es una herramienta gráfica fundamental en la ingeniería de procesos. Proporciona una representación visual de la secuencia de las operaciones unitarias, el flujo de materiales y las principales corrientes de proceso, incluyendo equipos clave, líneas de flujo, válvulas y puntos de control esenciales (Turton et al., 2018). Es el “plano general” del proceso, crucial para la comunicación entre ingenieros y para la toma de decisiones en el diseño de la planta.

3.9. 5 Operaciones Unitarias en el Procesamiento de Cacao

El procesamiento de cacao implica una serie de operaciones unitarias secuenciales, cada una con su propósito específico y desafíos ingenieriles.

3.9.5.1 Recepción y Limpieza

Esta es la primera línea para la calidad del cacao.

- Control de calidad inicial: Se verifica la humedad del grano (crítica para evitar el moho y el deterioro), y la presencia de impurezas y defectos (Afoakwa, 2019).

- Cribado y separación: Se utilizan cribas vibratorias o rotatorias para eliminar partículas gruesas (piedras, ramas) y separadores magnéticos para objetos metálicos. La eficiencia de esta etapa impacta directamente en el rendimiento de las etapas posteriores y en la vida útil de los equipos (Minifie, 2020).

3.9.5.2 Tostado

- El tostado es una de las operaciones más críticas para el desarrollo del perfil de sabor del cacao.

- Principios: Involucra transferencia de calor principalmente por convección y conducción, y en menor medida por radiación, dentro de un tostador (Beckett, 2019).

Objetivos:

  - Desarrollo de sabor y aroma: A través de las reacciones de Maillard y Strecker, donde precursores como azúcares y aminoácidos reaccionan para formar cientos de compuestos volátiles (Ramírez-Sánchez et al., 2022).
  - Reducción de humedad: Disminuir el contenido de agua a niveles óptimos para la molienda y almacenamiento.
  - Eliminación de compuestos volátiles indeseables: Como el ácido acético residual de la fermentación, que puede aportar notas agrias (Afoakwa, 2019).
  - Desprendimiento de la cascarilla: La contracción del grano facilita la separación posterior de la cáscara.

- Variables de proceso: Temperatura del tostador, tiempo de tostado y la humedad inicial del grano. La optimización de estas variables es crucial para el perfil sensorial deseado (Beltrán-Orozco et al., 2020).

3.9.5.3 Descascarillado

Después del tostado, el descascarillado es vital.

- Propósito: Separación eficiente de la cáscara (cascarilla) de los nibs (cotiledones), que son el material principal para las siguientes etapas. La cascarilla tiene poco valor y puede afectar negativamente la calidad del producto final si no se elimina (Minifie, 2020).

- Métodos: Se emplean combinaciones de corrientes de aire (separación neumática), vibración y fricción mecánica en equipos especializados (descascarilladoras). La eficiencia de separación es un parámetro clave; un bajo porcentaje de cáscara en el nib es fundamental para la calidad del licor de cacao (Afoakwa, 2019).

3.9.5.4 Molienda de Nibs a Pasta (Licor de Cacao)

Esta operación transforma los nibs sólidos en una suspensión líquida densa.

- Principios: Reducción de tamaño predominantemente por fricción y cizallamiento de los nibs. El calor generado por la molienda (energía mecánica convertida en térmica) es suficiente para fundir la manteca de cacao, lo que permite que los sólidos de cacao se dispersen en ella, formando la pasta o licor de cacao (Beckett, 2019).

- Equipos: Comúnmente se usan molinos de discos (que pueden ser de pasadores o de piedras) para una molienda gruesa inicial, seguidos de molinos de bolas para una reducción de tamaño fina y eficiente (Gong et al., 2021). La finura de molienda (tamaño de partícula) es un parámetro crítico que afecta la textura y la reología de la pasta.

3.9.5.5 Prensado

Si el objetivo es obtener manteca de cacao y cacao en polvo, el prensado es el siguiente paso.

- Propósito: Separación de la manteca de cacao líquida de la torta de cacao sólida (Minifie, 2020).

- Principios: Se basa en la filtración por presión, donde la pasta de cacao es sometida a altas presiones en una cámara filtrante.

- Equipos: Se utilizan prensas hidráulicas, que pueden ser de operación por lotes o continuas (Beckett, 2019).

- Variables: La presión aplicada, la temperatura de la pasta y el tiempo de prensado son críticos para maximizar el rendimiento de la manteca y controlar el contenido de grasa residual en la torta.

3.9.5.6 Pulverización (Molienda de Torta a Polvo)

La torta de cacao, una vez prensada, se convierte en polvo.

- Propósito: Reducción de tamaño de la torta de cacao (que es un sólido compacto) a un polvo fino y homogéneo (Afoakwa, 2019).

- Equipos: Los equipos típicos incluyen molinos de martillos para una molienda más gruesa y molinos de chorro para obtener partículas muy finas, ideales para cacao en polvo de alta calidad (Holliday et al., 2019). El diseño de esta etapa debe considerar el riesgo de explosión de polvo debido a la naturaleza combustible del cacao en polvo.

3.9.5.7 Conchado (para Chocolate)

Esta operación es exclusiva para la fabricación de chocolate y es esencial para su calidad final.

- Propósito: El conchado es un proceso multifuncional que desarrolla sabor (eliminación de volátiles ácidos, oxidación), refina la textura (reducción final del tamaño de partícula para una sensación suave en boca) y mejora la fluidez y propiedades reológicas de la masa de chocolate (Minifie, 2020).

- Equipos: Se utilizan conchadoras, que pueden ser de tipo longitudinal (más antiguas, pero aún usadas para chocolates premium) o rotatorias (más eficientes, de tipo Schulze o modernas conchadoras-refinadoras) (Beckett, 2019).

- Variables: Tiempo (horas a días), temperatura (40-90°C), aireación y el cizallamiento aplicado. La optimización de estas variables es un arte y una ciencia que define el carácter del chocolate (Kong et al., 2022).

3.9.5.8 Atemperado (para Chocolate)

El atemperado es la etapa final crucial para la calidad física del chocolate.

- Propósito: Controlar la cristalización de la manteca de cacao para asegurar la formación predominante de la forma cristalina beta-V, que es la más estable, confiere brillo, una buena fractura (“snap”) y previene el “fat bloom” (afloramiento graso) (Beckett, 2019).

- Principios: Involucra un ciclo preciso de calentamiento y enfriamiento para fundir cristales inestables e inducir la nucleación y crecimiento de cristales de tipo V (Rodríguez-Padilla et al., 2021). Es un control de fase a nivel molecular.
- Equipos: Se utilizan atemperadoras continuas (las más comunes en la industria) o atemperadoras por lotes para producciones más pequeñas.

3.9.5.9 Moldeo y Empaque

Finalmente, las operaciones que dan forma y protegen el producto.

- Moldeo: El chocolate atemperado se vierte en moldes para dar la forma deseada (barras, tabletas, figuras) y luego se enfría en túneles de enfriamiento para solidificarlo rápidamente.

- Empaque: Protección del producto contra la humedad, el oxígeno, la luz y los daños físicos para preservar su calidad y extender su vida útil. Los

materiales y el diseño del empaque son críticos para la estabilidad del producto (Afoakwa, 2019).

3.9.6 Balances de Materia y Energía

Para el diseño tecnológico de una planta procesadora de cacao, los balances de materia y energía son la espina dorsal del proyecto. Sin estos cálculos precisos, cualquier estimación de equipos o costos sería especulación. Son la base para asegurar que la planta sea eficiente y viable.

3.9.7 Principios de Conservación de la Masa y la Energía

A nivel fundamental, se en dos leyes inmutables de la física: el Principio de Conservación de la Masa y el Principio de Conservación de la Energía. Esto significa que, en cualquier sistema cerrado, la masa y la energía totales se mantienen constantes; no se crean ni se destruyen, solo se transforman. En el diseño de procesos, aplicamos estos principios para cuantificar todo lo que entra y sale de un equipo o de la planta completa (Sinnott & Towler, 2020).

3.10 Balance de Materia

El balance de materia es nuestra herramienta para rastrear la masa de cada componente a través de todo el proceso.

La ecuación básica es: Entrada = Salida + Acumulación. Sin embargo, en la mayoría de los procesos industriales, se opera en estado estacionario, lo que simplifica la ecuación a Entrada = Salida (Turton et al., 2018). Esto significa que no hay acumulación de masa dentro del sistema con el tiempo. Es la base para cualquier cálculo de capacidad.

3.10.1 Balance de Materia Global de la Planta

Primero, se realiza un balance de materia global de la planta. Aquí se cuantifican todas las entradas de materia prima (grano de cacao, agua, aditivos) y todos los flujos de salida (productos finales como pasta de cacao, manteca, cacao en polvo; subproductos como la cascarilla; y residuos). Este balance macro da una primera idea de los flujos totales de material y es crucial para la planificación logística y la gestión de inventario (Ulrich & Eppinger, 2020).

3.10.2 Balances de Materia por Etapa y por Componente

Luego, el proceso se desglosa. Se aplican los balances a cada operación unitaria individualmente (recepción, tostado, descascarillado, molienda, etc.). Lo crucial es que no solo se balancean la masa total, sino que también se desglosa la masa de cada componente clave: grasa (manteca de cacao), sólidos no grasos, y, especialmente, la humedad. Esto permite determinar los flujos internos

específicos y la composición exacta del material en cada punto del proceso (Geankoplis et al., 2018). Por ejemplo, entender cuánta humedad se reduce en el tostado y cuánta grasa se extrae en el prensado es fundamental.

3.10.3 Rendimientos y Eficiencias

Con los balances, se pueden calcular los rendimientos y eficiencias de conversión en cada etapa. Esto se define como el porcentaje de material deseado obtenido a partir de la entrada en una operación específica. Por ejemplo, el porcentaje de nibs obtenidos del grano tostado y descascarillado, o el porcentaje de manteca de cacao extraída de la pasta (Afoakwa, 2019). Estos indicadores son críticos para la optimización del proceso y la evaluación económica.

3.10.4 Generación de Residuos y Subproductos

Los balances de materia también permiten cuantificar la generación de residuos y subproductos. En el procesamiento de cacao, esto incluye la cascarilla del descascarillado, las tortas de cacao residuales después del prensado, y cualquier otro material de descarte. Esta cuantificación es clave para diseñar los sistemas de manejo de residuos y para explorar posibles valorizaciones de estos subproductos, lo que puede generar ingresos adicionales o reducir costos de eliminación (González-García et al., 2019).

3.11 Balance de Energía

El balance de energía es igual de vital, ya que permite cuantificar la energía que entra y sale del sistema. Esto es directamente proporcional a los costos operativos y a la huella de carbono.

Similar al balance de materia, el balance de energía cuantifica la energía que entra y sale de un proceso o equipo (Smith & Van Ness, 2018). Es fundamental para calcular los requerimientos de servicios auxiliares, como vapor, electricidad o agua de enfriamiento.

3.11.1 Formas de Energía

En el procesamiento de cacao, se manejan estas formas de energía:

- Calor sensible: Energía asociada directamente al cambio de temperatura de una sustancia. Por ejemplo, calentar los granos de cacao en el tostador (Sinnott & Towler, 2020).

- Calor latente: Energía involucrada en los cambios de fase, sin un cambio de temperatura asociado. La evaporación del agua durante el tostado es un ejemplo claro de calor latente, donde se requiere una

cantidad significativa de energía para convertir el agua líquida en vapor (Geankoplis et al., 2018).

- Trabajo: Energía en forma mecánica o eléctrica. Esto incluye la energía mecánica consumida por los motores de los molinos, las bombas, los agitadores de las conchadoras, y la energía eléctrica que alimenta toda la maquinaria (Peters et al., 2003).

3.11.2 Transferencia de Calor

Entender los mecanismos de transferencia de calor es crucial para el diseño de equipos térmicos:

- Conducción: Transferencia de calor a través de un material sólido por contacto directo (ej., a través de la pared de un tostador).

- Convección: Transferencia de calor entre un sólido y un fluido en movimiento (ej., el aire caliente en un tostador de cacao) (Cengel & Ghajar, 2020).

- Radiación: Transferencia de calor por ondas electromagnéticas (ej., calor radiado de elementos calefactores o las paredes calientes del tostador).

La aplicación de estos principios permite calcular los requerimientos de calor en equipos clave como los tostadores, las conchadoras (si incorporan calentamiento para mantener la fluidez) y los secadores. También ayuda a estimar las pérdidas de calor en sistemas de tuberías y tanques, lo que es vital para el aislamiento térmico y la eficiencia (Prentice, 2020).

3.11.3 Eficiencia Energética

La eficiencia energética es un concepto clave que busca minimizar el consumo de energía por unidad de producto. Implica identificar indicadores de rendimiento energético (ej., kWh/kg de cacao procesado) y desarrollar estrategias de optimización. Estas estrategias pueden incluir el aislamiento térmico de equipos y tuberías, la recuperación de calor de corrientes calientes (ej., de los gases de escape del tostador para precalentar aire de entrada), y la selección de equipos con motores de alta eficiencia (Hasanbeigi et al., 2019). Un diseño energéticamente eficiente reduce costos operativos y el impacto ambiental.

3.12 Dimensionamiento de Equipos

Los balances de materia y energía son la información de entrada directa para el dimensionamiento de los equipos.

La metodología consiste en utilizar los flujos de materia y energía calculados en los balances para determinar la capacidad volumétrica, la superficie de intercambio de calor, la potencia requerida y las dimensiones físicas específicas de cada equipo. Por ejemplo, los balances indicaran el volumen de cacao a procesar por hora, lo que directamente define el volumen de los tostadores, el caudal de las bombas necesarias para mover la pasta, o la potencia requerida para los molinos (Turton et al., 2018).

3.12.1 Factores de Diseño

Además de los flujos, consideramos varios factores de diseño esenciales:

- Capacidad requerida: La producción horaria o diaria que la planta debe manejar.

- Tiempo de residencia: El tiempo que el material debe permanecer en un equipo para que la operación se complete (ej., tiempo de tostado, tiempo de conchado).
- Características del fluido: Propiedades como la viscosidad de la pasta de cacao o la densidad del cacao en polvo, que afectan el diseño de bombas, tuberías y sistemas de transporte (Minifie, 2020).

- Propiedades de los materiales: Densidad, calor específico, conductividad térmica y resistencia mecánica de los materiales que se procesan y de los materiales de construcción de los equipos.

- Datos de diseño de la literatura o de proveedores: Frecuentemente, los fabricantes de equipos proporcionan curvas de rendimiento y datos de diseño específicos que se incorporan en los cálculos (Perry et al., 2008). Esto es crucial para seleccionar el equipo comercialmente disponible que mejor se ajuste a nuestras necesidades.

3.13 Aspectos Tecnológicos y Económicos del Diseño de Plantas de Cacao

Cuando se diseña una planta procesadora de cacao, no solo pensamos en la química o la física del proceso. También necesitamos integrar las consideraciones tecnológicas y económicas para asegurar que el diseño sea viable, eficiente y rentable a largo plazo. Aquí es donde la ingeniería cobra vida.

3.13.1 Tecnologías de Procesamiento de Cacao

La selección de la tecnología es un pilar fundamental en el diseño de cualquier planta industrial.

3.13.2 Tipos de Equipos Específicos

Para cada operación unitaria en el procesamiento del cacao, existen diversas opciones de equipos, cada una con sus pros y contras. Por ejemplo:

- Tostadores: Se puede optar por tostadores de lecho fijo o de tambor rotatorio. Los de tambor rotatorio ofrecen una agitación más uniforme y son comunes para grandes volúmenes, mientras que los de lecho fijo pueden ser más adecuados para lotes pequeños o tostado especializado (Afoakwa, 2019). También existen opciones de tostado por infrarrojos o microondas, aunque menos comunes a escala industrial para cacao.

- Molinos para nibs: Desde molinos de discos (que pueden ser de pasadores o de piedras, generando un calor significativo para la fusión de la manteca) hasta molinos de bolas, que son más eficientes para alcanzar finuras de molienda muy elevadas, cruciales para la textura del licor de cacao (Gong et al., 2021).
- Prensas de manteca: Las prensas hidráulicas discontinuas son robustas y versátiles para pequeñas y medianas producciones, mientras que las prensas continuas se emplean en operaciones a gran escala por su mayor rendimiento y automatización (Minifie, 2020).

- Molinos de torta a polvo: Molinos de martillos para una molienda más gruesa y molinos de chorro o de impacto para obtener polvos extremadamente finos, vitales para el cacao en polvo de alta calidad y buena dispersibilidad (Holliday et al., 2019).

- Conchadoras: Las conchadoras longitudinales son más tradicionales y permiten un control muy fino del proceso, aunque son de lote y menos eficientes energéticamente. Las conchadoras rotatorias o combinadas (refinadoras-conchadoras) son más compactas y eficientes para producciones modernas a gran escala (Beckett, 2019).

3.13.3 Criterios de Selección Tecnológica

La elección de una tecnología sobre otra se basa en una serie de criterios técnicos y operativos:

- Eficiencia de proceso: ¿Qué tan bien convierte la materia prima en producto? ¿Cuál es el rendimiento de extracción de manteca? (Turton et al., 2018).

- Consumo energético: Aspecto crítico para los costos operativos. Se busca equipos con alta eficiencia energética, por ejemplo, motores de alta eficiencia o sistemas con recuperación de calor (Hasanbeigi et al., 2019).

- Requerimientos de mantenimiento: La complejidad y frecuencia del mantenimiento, así como la disponibilidad de repuestos, impactan la operatividad de la planta (Rosaler & Rice, 2019).

- Grado de automatización: Dependiendo de la escala y la mano de obra disponible, se puede optar por equipos más manuales o totalmente automatizados, lo que afecta la inversión inicial y la eficiencia operativa (Sinnott & Towler, 2020).

- Durabilidad y vida útil: La robustez del equipo y su expectativa de vida útil son importantes para el retorno de la inversión.

- Adaptabilidad a la materia prima local: Los equipos deben ser capaces de procesar las características específicas del cacao de Río San Juan (tamaño, humedad, impurezas).

- Disponibilidad de repuestos y servicio técnico: Especialmente crítico en regiones con infraestructura limitada.

3.13.4 Selección de Equipos

La selección de equipos es el paso donde los cálculos de balances de materia y energía se traducen en la elección de máquinas específicas.

3.13.5 Criterios Técnicos

- Capacidad: Directamente derivada de los balances de materia. El equipo debe poder manejar el flujo de material diseñado (Turton et al., 2018).

- Materiales de construcción: Es fundamental el uso de materiales de grado alimenticio (ej., acero inoxidable 304 o 316) para todas las superficies en contacto con el cacao, cumpliendo con las normativas sanitarias y evitando la contaminación o la corrosión (Mannan & Lees, 2020).

- Presión y temperatura de operación: Los equipos deben estar diseñados para soportar las condiciones de operación específicas (ej., alta presión en prensas, altas temperaturas en tostadores).

- Sistemas de control: Sensores de temperatura, humedad, presión, flujo; PLCs para la automatización de secuencias y monitoreo. Un buen sistema de control asegura la repetibilidad y la calidad del proceso (Smith & Van Ness, 2018).

- Seguridad inherente: Diseño que minimice riesgos de atrapamiento, quemaduras, explosiones de polvo (especialmente en molienda de cacao en polvo) y fugas.

3.13.6 Criterios Económicos

- Costo de inversión (CAPEX): El precio de compra del equipo, su instalación, transporte y puesta en marcha. Es el desembolso inicial principal (Peters et al., 2003).

- Costos operativos (OPEX): Incluyen el consumo de energía (eléctrica, térmica), mano de obra necesaria para operar y supervisar el equipo, y los costos de mantenimiento (repuestos, lubricantes, servicio técnico) (Sinnott & Towler, 2020)

- Vida útil: La expectativa de cuánto tiempo el equipo operará eficientemente antes de requerir un reemplazo mayor.
- Valor residual: El valor estimado del equipo al final de su vida útil.

3.13.7 Criterios de Seguridad y Normativa

- Cumplimiento de estándares de seguridad industrial: Por ejemplo, normativas OSHA (Occupational Safety and Health Administration) o equivalentes nacionales, que rigen la operación segura de maquinaria y la prevención de accidentes (Mannan & Lees, 2020).

- Cumplimiento de estándares de seguridad alimentaria: Certificaciones como ISO 22000 o requisitos de la FDA (Food and Drug Administration) o autoridades sanitarias locales, que aseguran la inocuidad del producto final (Mortimore & Wallace, 2013).

3.13.8 Sistemas de Utilitarios

- Una planta industrial no solo son los equipos de proceso; requiere una serie de sistemas de utilitarios que son la “sangre” de la operación.

- Agua: Es vital para la limpieza de equipos, lavado de granos (si aplica) y en algunos procesos de enfriamiento. La calidad del agua (potable) para el proceso y la limpieza es fundamental para la seguridad alimentaria. Además, el tratamiento de efluentes debe ser considerado para cumplir con las regulaciones ambientales (González-García et al., 2019).

- Vapor: Es la principal fuente de calor en la mayoría de las plantas de procesamiento de alimentos. Se utiliza en tostadores, conchadoras, tanques de almacenamiento y para la limpieza con vapor. Se requiere un sistema de generación (caldera), distribución (tuberías aisladas) y retorno de condensado eficiente (Prentice, 2020).

- Energía Eléctrica: La columna vertebral de la operación. Se debe evaluar la fuente de suministro (red nacional, capacidad de la subestación local, o si se requiere generación propia con generadores diésel). La distribución interna (tableros, cableado, protecciones) y la eficiencia de los motores eléctricos son clave para el OPEX (Hasanbeigi et al., 2019).

- Aire Comprimido: Usado para la instrumentación y control (válvulas neumáticas, actuadores), transporte neumático (en algunos casos, para cacao en polvo) y limpieza con aire. Se requiere un compresor, secador y filtros para asegurar aire de calidad (Rosaler & Rice, 2019).

- Sistemas de Refrigeración: Necesarios para el almacenamiento de productos sensibles al calor como la manteca de cacao (para mantenerla en estado sólido) y para el enfriamiento del chocolate atemperado en el moldeo. El diseño de cámaras frías y túneles de enfriamiento es parte de esto (Afoakwa, 2019).

3.13.9 Consideraciones de Calidad y Seguridad Alimentaria

Más allá de la eficiencia, la calidad y la seguridad alimentaria son imperativos legales y comerciales.

- Buenas Prácticas de Manufactura (BPM): Son el conjunto de procedimientos y condiciones operativas que aseguran la producción de alimentos seguros y de calidad. Incluyen aspectos de higiene del personal, diseño higiénico de las instalaciones y equipos, control de plagas y prevención de la contaminación cruzada (Mortimore & Wallace, 2013). Su implementación es fundamental desde el diseño de la planta.

- Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP): Es un sistema preventivo para garantizar la inocuidad alimentaria. Implica la identificación de peligros biológicos, químicos y físicos, la determinación de puntos críticos de control (PCCs) en el proceso, el establecimiento de límites críticos, el monitoreo, las acciones correctivas, la verificación

y el registro (FDA, 2020). Para el cacao, esto podría incluir el control de temperatura en el tostado para eliminar patógenos o el control de humedad para prevenir micotoxinas.

- Normativas de Calidad: La planta debe cumplir con los estándares nacionales e internacionales para productos de cacao y chocolate. Esto puede incluir límites de humedad, contenido de grasa, finura de molienda, y la ausencia de contaminantes (ej., metales pesados, residuos de pesticidas). Normativas como el Codex Alimentarius o regulaciones específicas de mercados de exportación deben ser consideradas (Codex Alimentarius Commission, 2023).

3.13.10 Sostenibilidad y Aspectos Ambientales

En el diseño moderno, la sostenibilidad no es una opción, sino una necesidad.

- Impacto Ambiental: Cuantificación y minimización del consumo de recursos (agua, energía, materias primas), la generación de residuos (sólidos como la cascarilla, líquidos como efluentes) y las emisiones a la atmósfera (gases del tostado, partículas) (González-García et al., 2019). Esto requiere un enfoque de evaluación del ciclo de vida (LCA).

- Gestión de Residuos: Se deben planificar estrategias para la minimización, reutilización y valorización de los residuos. Para la cascarilla de cacao, las opciones incluyen su uso como compost (enmienda de suelo), biocombustible (generación de energía para la misma planta), o la extracción de compuestos bioactivos para industrias nutracéuticas (Cai et al., 2020). El tratamiento de aguas residuales generadas en la limpieza también es crucial para cumplir con las descargas (Judd & Judd, 2019).

IV. CÁLCULO DE VARIABLES DE DISEÑO

4.1 Capacidad de producción de la planta de transformación del cacao.

Para el dimensionamiento de las variables de diseño de la planta, se implementó un procedimiento específico. El análisis de bases de datos especializadas en exportaciones e importaciones identificado como una herramienta cuantitativa y eficaz para determinar la capacidad de una planta, especialmente en contextos donde los datos de mercado locales son limitados. La observación de los flujos de comercio permitió inferir la demanda no satisfecha por la producción nacional, así como identificar las oportunidades de mercado para los productos que podría ofrecer la cooperativa.

Se adoptó un procedimiento alternativo centrado en el **Análisis de Bases de Datos de Comercio**. Este enfoque se consideró óptimo para establecer una visión macro del mercado y fundamentar la capacidad de producción de la planta, focalizándose en la utilización de datos comerciales para identificar la demanda potencial de subproductos del cacao tanto en Nicaragua como en la región centroamericana. Los pasos ejecutados en este procedimiento fueron los siguientes:

4.1.1 Identificación y Acceso a Fuentes de Datos

Para llevar a cabo el análisis detallado, se consultaron diversas fuentes de información consideradas fiables. Entre las **fuentes regionales e internacionales complementarias** que fueron utilizadas, se destacaron:

- **Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA):** A través de su Sistema de Estadísticas de Comercio Exterior Centroamericano (SICA), se accedió a datos del comercio intrarregional. El análisis de las importaciones de productos de cacao en países vecinos permitió identificar mercados potenciales para la exportación de los productos elaborados por la Cooperativa Las Azucenas.

- **International Trade Centre (ITC) - Trademap:** Esta plataforma, disponible en www.trademap.org, constituyó una herramienta valiosa. Facilitó la exploración de estadísticas de comercio detalladas (tanto de importaciones como de exportaciones) categorizadas por producto (mediante códigos del Sistema Armonizado - SA) y por país.

  Trademap permitió identificar a los principales países importadores de chocolate, pasta de cacao, manteca o polvo procedentes de Nicaragua, así como determinar los principales proveedores de estos productos hacia Nicaragua.

En **Anexos X**. Anexos 10.1, Se presentan las tablas 10, 11, 12 y 13, de datos de Importación y exportaciones de Chocolate (SIECA), pasta de cacao, manteca de cacao y cacao en polvo, respectivamente.

En anexos 10.2. se presentan los Cálculos de Estimación de la Capacidad de Producción y de la materia prima: (Cacao en Grano)

Pasos Necesaria para determinar la capacidad de procesamiento

Se procedió a desarrollar un procedimiento y un algoritmo de cálculo para determinar la capacidad de producción de una planta procesadora de cacao, con el objetivo de transformar cacao en cuatro subproductos: chocolate, pasta de cacao, manteca de cacao y cacao en polvo. Se consideraron los valores de exportación e importación, tanto en términos de volumen como de valor, presentados en anexos 10.1

4.1.2 Análisis de Bases de Datos

Se realizó un análisis de los datos de exportación e importación de productos de cacao. Los datos se organizaron por año, tipo de producto, valores (US$) y volúmenes (toneladas).

Los productos considerados fueron:

- **Exportaciones:**
    - Manteca, grasa y aceite de cacao (código arancelario 180400)
    - Pasta de cacao desgrasada total o parcialmente (180320) y sin desgrasar (180310)
    - Cacao en polvo con adición de azúcar u otro edulcorante (180610) y sin adición de azúcar (180500)
- **Importaciones:**
    - Manteca, grasa y aceite de cacao (180400)
    - Chocolate y demás preparaciones alimenticias que contengan cacao (1806)
    - Cacao en polvo sin adición de azúcar ni otro edulcorante (180500)
    - Pasta de cacao desgrasada total o parcialmente (180320) y sin desgrasar (180310)

Los datos se analizaron para identificar tendencias en los volúmenes de exportación e importación, lo que permitió estimar la demanda y oferta de estos productos en el mercado, sirviendo como una base fundamental para la determinación de la capacidad de producción de la planta.

4.1.3 Procedimiento para la Determinación de la Capacidad de Producción

El procedimiento para determinar la capacidad de producción se estructuró en las siguientes etapas:

1. **Recopilación y Limpieza de Datos:** Se obtuvieron los datos históricos de exportación e importación de los subproductos de cacao Se verificó la consistencia y el formato de los datos para asegurar su correcta utilización.
2. **Cálculo de la Demanda Aparente Nacional:** Se calculó la demanda aparente nacional para cada subproducto, utilizando los datos de exportación e importación. La demanda aparente se entiende como la cantidad de un producto que se consume o se requiere dentro de un país.
3. **Proyección de la Demanda Futura:** Se proyectó la demanda futura de cada subproducto utilizando métodos estadísticos basados en los datos históricos. Esta proyección es crucial para estimar la capacidad requerida a largo plazo.
4. **Estimación de Rendimientos de Proceso:** Se establecieron rendimientos típicos para cada etapa del proceso de transformación del cacao en los cuatro subproductos. Estos rendimientos son fundamentales para calcular la cantidad de materia prima necesaria para producir una determinada cantidad de producto final.
5. **Cálculo de la Capacidad de Producción:** Se determinó la capacidad de producción óptima considerando la demanda proyectada, los rendimientos del proceso y los factores estratégicos.

4.2 Algoritmo de Cálculo

El algoritmo de cálculo se diseñó para procesar los datos y generar la capacidad de producción deseada. Los pasos se detallan a continuación:

1. **Lectura de Datos:**
    - Se leyeron los datos de exportación (valores y volúmenes) y de importación (valores y volúmenes) para cada subproducto de cacao.
2. **Agregación de Datos por Categoría de Producto:**
    - Se agruparon los datos para los subproductos que tienen múltiples códigos arancelarios o descripciones similares (e.g., diferentes tipos de pasta de cacao o cacao en polvo).
3. **Cálculo de Demanda Aparente Nacional (DA_i):**
    - Para cada subproducto i y para cada año t, se calculó la demanda aparente nacional utilizando la siguiente ecuación:

$$\mathrm{DA}_{\mathrm{i,t}} = \mathrm{Producción}_{\mathrm{i,t}} + \mathrm{Importaón}_{\mathrm{i,t}} - \mathrm{Expotación}_{\mathrm{i,t}}$$

- Dado que los datos de “Producción” nacional no se encontraron reportados, se asumió que la demanda aparente podría ser aproximada por:

$$\mathrm{DA_{i,t}} \approx +\mathrm{Importaón_{i,t}} - \mathrm{Expotación_{i,t}}$$

- En un escenario ideal con datos completos, la producción nacional sería un componente clave. Para este análisis, la demanda aparente se interpretó como el balance comercial del producto.

4. **Cálculo de la Demanda Promedio Histórica (DPH $_i$):**
    - Se calculó la demanda promedio histórica (en volumen) para cada subproducto i a lo largo de los años disponibles:

$$\mathrm{DPHi} = \sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{Importaciones_{i,t}} - \mathrm{exporaciones_{i,t}}}{n}$$

Donde n es el número de años con datos disponibles.

5. **Cálculo de la Demanda Anual Potencial (DAP$_i$):**
    - Se estimó la demanda anual potencial para cada subproducto, considerando el promedio histórico y un factor de crecimiento proyectado, si fuera aplicable. En ausencia de un factor de crecimiento específico, se consideró la demanda promedio como la demanda potencial inicial.

6. **Determinación de la Materia Prima Necesaria (MPN$_i$):**
    - Para cada subproducto i, se calculó la cantidad de materia prima (cacao en grano) necesaria para satisfacer la demanda potencial, considerando los rendimientos de proceso (R_i):

$$\mathrm{MPNi} = \frac{\mathrm{DAPi}}{\mathrm{Ri}}$$

Donde Ri es el rendimiento de cacao en grano a subproducto i. Es importante señalar que los rendimientos varían significativamente según el proceso y la calidad del cacao. Se asumen los siguientes valores teóricos o de referencia para los rendimientos:

- Cacao en grano a pasta de cacao: Rpasta ≈0.8 - 0.85 (80-85%)
- Pasta de cacao a manteca de cacao: Rmanteca ≈0.4 - 0.5 (40-50% de la pasta)
- Pasta de cacao a cacao en polvo: Rpolvo ≈0.4 - 0.5 (40-50% de la pasta)
- Pasta de cacao a chocolate: Rchocolate ≈0.9 - 0.95 (90-95%, asumiendo adición de otros ingredientes)

7. **Cálculo de la Capacidad de Producción Total (CP_{total}):**
    - La capacidad de producción total de la planta se estimó como la suma de las demandas potenciales de todos los subproductos, convertidas a su equivalente en cacao en grano o directamente a la producción deseada para cada subproducto.

$$\mathrm{CP_{planta}} = \sum_{i=1}^{m} \mathrm{DAP_i}\ (\text{En toneladas del subproducto})$$

O, si se requiere la capacidad en términos de procesamiento de cacao en grano:

$$\mathrm{CP_{cacao\ en\ grano}} = \sum_{i}^{m} \mathrm{MPN_i}$$

Donde m es el número total de subproductos a producir.

4.3 Capacidad de los equipos de transformación del cacao, requeridos para el proceso productivo

4.3.1 Variables de Diseño y Procedimientos de Cálculo para el Procesamiento de Cacao

El diseño tecnológico de una planta procesadora de cacao requiere la determinación precisa de diversas variables operacionales para cada etapa del proceso, garantizando la eficiencia y la calidad del producto final. Estas variables se establecen en función de la composición del grano de cacao y los objetivos de producción.

4.3.1.1 Variables de Tostado

La operación de tostado es crítica para el desarrollo del sabor y aroma característicos del cacao, así como para la reducción de su humedad. Para el diseño de esta etapa, se consideran la carga másica, la temperatura, el tiempo por lote y la reducción de humedad del grano.

La carga másica se refiere a la cantidad de granos de cacao que se procesarán en cada ciclo del tostador. Su cálculo se deriva de la capacidad de producción deseada de la planta, expresada en kilogramos por hora, y del tiempo de ciclo establecido para el tostador en minutos por lote. La carga másica por lote se determina multiplicando la capacidad de producción deseada por el tiempo de ciclo del tostador y dividiendo el resultado entre 60 (para convertir minutos a horas), lo que se expresa como: Carga másica (kg/lote) = (Capacidad de producción (kg/h) * Tiempo de ciclo (min/lote)) / 60 (Afoakwa, 2016).

La temperatura de tostado es un factor fundamental que influye directamente en el perfil de sabor y aroma del cacao. Para determinar la temperatura óptima, es necesario consultar la literatura científica especializada y las recomendaciones de los fabricantes de equipos de tostado. Adicionalmente, se debe considerar el tipo específico de cacao a procesar y el perfil de sabor deseado para los productos finales (Beckett, 2008).

En cuanto al tiempo por lote, este se refiere a la duración de cada ciclo de tostado, y es esencial para lograr el grado de tostado adecuado. Su determinación se realiza preferentemente a través de pruebas de tostado a escala de laboratorio o piloto, ajustando el tiempo en función del tamaño de los granos de cacao y la temperatura del tostador para asegurar el desarrollo óptimo de los precursores de sabor (Fellows, 2009).

Finalmente, la reducción de humedad del grano es un parámetro clave para asegurar la estabilidad del cacao tostado y su posterior procesamiento. Para calcularla, se requiere la medición de la humedad inicial de los granos de cacao

antes del tostado y la humedad final una vez completado el proceso. La reducción de humedad se expresa como: Reducción de humedad = (Humedad inicial - Humedad final) / Humedad inicial.

4.3.1.2 Variables de Descascarillado

El descascarillado es la operación que separa la cascarilla del nib (o cotiledón) de cacao, un paso crucial para la pureza del producto. Las variables de diseño para esta etapa incluyen la carga másica, la tasa de descascarillado y la tasa de trituración. La carga másica para el descascarillado corresponde a la cantidad de granos de cacao tostados que el equipo procesará por hora. Esta variable se determina directamente a partir de la capacidad de producción global establecida para la planta (Wang, J. Y., 2017).

La tasa de descascarillado mide la eficiencia del equipo para separar la cascarilla de los nibs. Se calcula cuantificando la masa de nibs obtenidos en relación con la masa total de los granos procesados. Una tasa alta indica una separación eficiente.

Por otro lado, la tasa de trituración es un indicador de la cantidad de granos de cacao que se rompen indebidamente durante el proceso de descascarillado. Para su cálculo, se mide la masa de granos rotos en comparación con la masa total de los granos alimentados al equipo. Un valor bajo en esta tasa es deseable para minimizar pérdidas y asegurar la calidad de los nibs.

4.3.1.3 Variables de Molienda

La molienda transforma los nibs de cacao en licor de cacao, una pasta fina que es la base para otros productos. Las variables consideradas son la carga másica y la velocidad de rotación del molino.

La carga másica en la molienda se refiere a la cantidad de nibs de cacao que el molino procesará por hora. Este valor se calcula a partir de la capacidad de producción general de la planta y considerando el rendimiento obtenido en la etapa de descascarillado, es decir, la cantidad de nibs puros disponibles para la molienda (Rao & Langrish, 2014).

La velocidad de rotación del molino es un factor determinante en la finura del licor de cacao y la eficiencia energética del proceso. Su determinación inicial se basa en las recomendaciones específicas proporcionadas por el fabricante del molino. No obstante, para optimizar el proceso y alcanzar la finura deseada, es aconsejable realizar pruebas a escala con el equipo para ajustar la velocidad de rotación a las características particulares del cacao y los requerimientos del producto final.

4.3.1.4 Variables de Prensado

El prensado es la operación mediante la cual el licor de cacao se separa en manteca de cacao y torta de cacao (que se usa para cacao en polvo). Las variables de diseño clave son la carga másica y la presión de trabajo. La carga másica para el prensado define la cantidad de licor de cacao que se procesará en cada lote de la prensa. Este valor se deriva de la capacidad de producción total de la planta y del rendimiento de la etapa de molienda, es decir, la cantidad de licor de cacao disponible. (Towler & Sinnott, 2012).

La presión de trabajo es el factor más crítico en la operación de prensado, ya que determina la eficiencia de separación de la manteca de cacao del licor. Similar a otras operaciones, la determinación de la presión óptima comienza con la consulta de las recomendaciones del fabricante del equipo de prensado. Posteriormente, se deben realizar pruebas experimentales para ajustar la presión a las propiedades reológicas específicas del licor de cacao y al rendimiento deseado de manteca y torta.

El diseño tecnológico de una planta procesadora de cacao requiere la determinación precisa de variables clave para cada operación unitaria. Estas variables se calculan en función de la composición física del grano de cacao, presentada en la Tabla 1, y de los requerimientos específicos de cada etapa del proceso en la Tabla 2. Supuestos Estándar para los Procesos

En anexos 10.3 se muestran los Cálculos de Variables de Diseño y Dimensionamiento de Equipos

Tabla 1 Composición del grano de cacao

Composición del cacao	Porcentaje (%)
Materia seca	81
Cascarilla	12
Humedad	7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Supuestos Estándar para los Procesos

Tostado:	**Valor**
Humedad inicial de entrada al tostador:	7%
Humedad final deseada después del tostado:	2%
Tiempo de ciclo del tostador (por lote):	30 minutos (0.5 horas)
Pérdidas de materia seca durante el tostado:	1%
Descascarillado:	
Eficiencia de remoción de cascarilla:	98%
Pérdidas de nibs en la cascarilla:	0.5%
Tasa de trituración (pérdida de nibs por rotura excesiva):	0.1%
Molienda:	
Rendimiento de licor de cacao a partir de nibs:	99%
Prensado:	
Contenido de grasa en el licor de cacao (típico para variedades comunes):	55%
Rendimiento de manteca de cacao:	85% (de la grasa disponible en el licor)
Contenido de grasa en la torta de cacao residual:	10%
Densidades de los materiales:	
Densidad aparente del cacao en grano:	600 kg/m^3
Densidad aparente de los nibs de cacao:	650 kg/m^3
Densidad del licor de cacao:	940 kg/m^3
Densidad de la manteca de cacao:	900 kg/m^3

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de Cálculo A continuación, se detalla el procedimiento y las ecuaciones utilizadas para el dimensionamiento de los equipos de una planta procesadora de cacao. Este proceso se basa en balances de materia para asegurar que la capacidad de cada equipo sea adecuada para el flujo de material en cada etapa.

1. **Definición de la Capacidad de Producción:** El primer paso es establecer la capacidad de entrada de materia prima, generalmente en kilogramos por día (kg/día) o toneladas por año (ton/año). Esta cifra servirá como base para todos los cálculos.

2. **Conversión de Unidades:** La capacidad de producción anual se debe convertir a una base horaria (kg/h) para el dimensionamiento de equipos, considerando las horas de operación diarias y los días de operación anuales.

3. **Balances de Materia por Etapa:** Se realizan balances de materia para cada operación unitaria (tostado, descascarillado, molienda, prensado).

Esto implica calcular la masa de entrada y salida de cada componente (materia seca, agua, cascarilla, manteca, etc.) basándose en rendimientos y supuestos operativos.

4. **Dimensionamiento de Equipos:** Una vez que se conocen los flujos másicos de entrada para cada etapa, se aplican ecuaciones de diseño para determinar la capacidad y el tamaño de los equipos. Para equipos por lotes, se calcula la carga por lote, y para equipos continuos, se utiliza el flujo másico horario.

4.4 Ecuaciones de Diseño

Se utilizan las siguientes ecuaciones clave para los cálculos.

4.4.1 Tostado

Capacidad Horaria (Ch): Es el flujo másico de cacao crudo que entra al proceso por hora.

Ecuación 1: Capacidad horaria

$$C_h = \frac{C_{anual}}{D_{op} x H_{op}}$$

Donde:

C_h: Capacidad anual (kg/año)

D_{op}: Días de operación por año (días/año)

H_{op}: Horas de operación por día (h/día)

Carga Másica del Tostador por Lote (M_{lote}): Es la masa de cacao que el tostador procesa en cada ciclo.

Ecuación 2: Carga másica del tostador por lote

$$Mlote = Ch \times Tciclo$$

Donde:

T_{ciclo}: Tiempo de ciclo del tostado (horas/lote)

Volumen del Tostador (V_t): Es el volumen necesario para contener la carga de cacao de un lote.

Ecuación 3: Volumen del tostador

$$V_t = \frac{\rho_{cacao}}{M_{lote}}$$

Donde:

ρ_{cacao}: Densidad aparente del cacao en grano (kg/m^3)

Masa de Cacao Tostado de Salida ($M_{salida,\ tostado}$): Es la masa total del cacao después de perder humedad y materia volátil.

Ecuación 4: Masa del cacao tostado de salida

$$Msalida, tostado = Mms \times (1 - Pms) + Mcascarilla + Magua, f$$

Donde:

M_{ms}: Masa inicial de materia seca (kg)

P_{ms}: Porcentaje de pérdida de materia seca (%)

$M_{cascarilla}$: Masa inicial de cascarilla (kg)

$M_{agua,f}$: Masa final de agua (kg)

4.4.2 Descascarillado

Capacidad del Descascarillador (C_{desc}): La capacidad del equipo debe ser al menos igual al flujo másico horario de cacao tostado.

Ecuación 5: Capacidad del descascarillador

$$C_{desc} \geq \frac{M_{opsalida,tostado}}{H_{op}}$$

Masa de Nibs de Salida (M_{nibs}): La masa de nibs limpios obtenida después de la separación.

Ecuación 6: Masa de nibs de salida

$$Mnibs = Msalida, tostado \times Tdesc$$

Donde:

T_{desc}: Tasa de descascarillado (%)

4.4.3 Molienda

Capacidad del Molino (C_{molino}): La capacidad del molino debe ser al menos igual al flujo másico horario de nibs de cacao.

Ecuación 7: Capacidad del molino

$$C_{molino} \geq \frac{M_{nibs}}{H_{op}}$$

Masa de Licor de Salida (M_{licor}): La masa de licor de cacao obtenida después de la molienda.

Ecuación 8: Masa de licor de salida

$$Mlicor = Mnibs \times Rmolienda$$

Donde:

$R_{molienda}$: Rendimiento de la molienda (%)

4.4.4 Prensado

Masa de Manteca de Cacao ($M_{manteca}$): La masa de manteca extraída del licor de cacao.

Ecuación 9: Masa de manteca de cacao

$$Mmanteca = Mlicor \times Cgrasa \times Rextracción$$

Donde:

C_{grasa}: Contenido de grasa en el licor (%)

$R_{extracción}$: Rendimiento de extracción de la prensa (%)

Carga Másica de la Prensa por Lote ($M_{lote,\ prensa}$): La masa de licor de cacao que la prensa puede procesar en cada ciclo.

Ecuación 10: Carga masica de la prensa por lote

$$M_{lote,prensa} \geq \frac{M_{licor}}{N_{lotes}}$$

Donde:

N_{lotes}: Número de lotes de prensado por día.

Capacidad de la Prensa (C_{prensa}): La capacidad nominal del equipo debe ser igual o mayor a la carga másica calculada.

Ecuación 11: Capacidad de la prensa

$$Cprensa \geq Mlote, prensa$$

4.5 Requerimiento energético de los equipos para llevar a cabo el proceso de transformación del cacao.

Con el siguiente procedimiento se calculan los requerimientos energéticos de los equipos del proceso de transformación del cacao, en Tabla 3 se presentan las suposiciones asumidas para el cálculo energético.

Tabla 3: Suposiciones asumidas para el cálculo energético

Carga total de cacao:	269.27 Ton/año (269,270 kg/año).
Rendimiento del proceso:	Pasta de cacao: 50%
	Manteca de cacao: 30%
	Cacao en polvo: 20%
Energía requerida para el proceso:	≈ 300 BTU/kg de cacao.
Eficiencia del sistema:	80%.
Potencia del gas butano:	1,000 BTU/ft^3.
Densidad del gas butano:	0.5 lb/ft^3

Fuente: Elaboración propia

V. METODOLOGIA

5.1 Balance de Materia General

La ecuación general para el balance de materia se expresa como:

Ecuación 12: Ecuación general para balance de materia

Entrada – Salida + Generación – Consumo = Acumulación

5.2 Balance de Materia en Estado Estacionario

- En un sistema en estado estacionario (donde no hay acumulación de materia), la ecuación se simplifica a:

Ecuación 13: Balance de materia en estado estacionario

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} - \text{Consumo} = 0$$

5.3 Balance de Materia para un Proceso Específico

- Para un proceso específico, como la producción de chocolate, se pueden definir las entradas y salidas de cada etapa. Por ejemplo, para la etapa de tostado:

Ecuación 14: Balance de energia para un proceso especifico

$$\text{Masa de granos de cacao} - \text{Masa de cacao tostado} - \text{Masa de perdidas} = 0$$

5.4 Balance de Materia en la Recepción

- Si consideramos la recepción de cacao:

  - **Entrada:** Masa de cacao recibida (Min)
  - **Salida:** Masa de cacao limpio (Mout)
  - **Pérdidas:** Masa de impurezas (Mloss)

- La ecuación sería:

Ecuación 15: Balance de materia en la recepción

$$\text{Min} - \text{Mout} - \text{Mloss} = 0$$

5.5 Balance de Materia en la Molienda

- Para la etapa de molienda:
  - **Entrada:** Masa de cacao tostado (Min)
  - **Salida:** Masa de pasta de cacao (Mout)
  - **Pérdidas:** Masa de partículas finas y polvo (Mloss)
- La ecuación sería:

Ecuación 16: Balance de materia en molienda

$$\text{Min} - \text{Mout} - \text{Mloss} = 0$$

5.6 Balance de Materia en el Prensado

- Para el prensado:
  - **Entrada:** Masa de pasta de cacao (Min)
  - **Salida:** Masa de licor de cacao (Mout1) y torta de cacao (Mout2)
  - **Pérdidas:** Masa de residuos (Mloss)
- La ecuación sería:

Ecuación 17: Balance de materia en prensado

$$\text{M}\{\text{in}\} - \text{M}\{\text{out1}\} - \text{M}\{\text{out2}\} - \text{M}\{\text{loss}\} = 0$$

5.7 Balance de Materia en el Conchado

- Para el conchado:
  - **Entrada:** Masa de pasta de cacao (Min)
  - **Salida:** Masa de chocolate terminado (Mout)
  - **Pérdidas:** Masa de vapor y otros volátiles (Mloss)
- La ecuación sería:

Ecuación 18: Balance de materia en el conchado

$$\text{Min} - \text{Mout} - \text{Mloss} = 0$$

A. Balance de Energía Total

Energía total requerida:

$$\text{Energía Total} = \text{Carga} \times \text{Energía requerida por kg}$$

Energía útil requerida considerando la eficiencia:

$$\text{Energía Útil} = \text{Energía Total} / \text{Eficiencia}$$

Cálculo del flujo de gas requerido

$$\text{Flujo de gas} = \text{Energía útil} / \text{Potencia delgas}$$

B. Desglose del Balance de Energía por Etapa

A continuación, se presenta el desglose del balance de energía por cada etapa del proceso:

1. **Recepción y Limpieza:**
   - Energía consumida para la limpieza y clasificación del cacao: 5% de la energía total.
   - Energía utilizada:

$$\text{Energía Limpieza} = 0.05 \times \text{ Energía útil}$$

2. **Tostado:**
   - Energía consumida: 20% de la energía total.
   - Energía utilizada:

$$\text{Energía Tostado} = 0.20 \times \text{ energía utilizada}$$

3. **Descascarillado:**
   - Energía consumida: 5% de la energía útil
   - Energía utilizada:

$$\text{Energía descascarillad} = 5\% \text{ Energía útil}$$

4. **Molienda:**
   - Energía consumida: 15% de la energía total.
   - Energía utilizada:

$$\text{Energía Molienda} = 0.15 \times \text{Energia útil}$$

5. **Prensado:**
   - Energía consumida: 10% de la energía total.
   - Energía utilizada:

$$\text{Energía Prensado} = 0.10 \times \text{energia útil}$$

6. **Pulverización**:
   - Energía consumida: 10% de la energía total.
   - Energía utilizada:

$$\text{Energía Pulverización} = 0.10 \times \text{energia útil}$$

7. **Conchado:**
   - Energía consumida: 15% de la energía total.
   - Energía utilizada:

$$\text{Energía Conchado} = 0.15 \times \text{energia útil}$$

8. **Atemperado:**
    - Energía consumida: 5% de la energía total.
    - Energía utilizada:

$$\text{Energía Atemperado} = 0.05 \times \text{energia útil}$$

9. **Moldeo:**
    - Energía consumida: 5% de la energía total.
    - Energía utilizada:

$$\text{Energía Moldeo} = 0.05 \times \text{ energía útil}$$

10. **Empaque:**
    - Energía consumida: 5% de la energía total.
    - Energía utilizada:

$$\text{Energía Empaque} = 0.05 \times \text{energia útil}$$

C. Procedimiento para el cálculo de la capacidad y potencia requeridas en cada una de las etapas del proceso tecnológico

La potencia del motor en los equipos del proceso de obtención de chocolate se calculó considerando diversos factores como la carga a procesar, la eficiencia del sistema y las características específicas de cada etapa. A continuación, se detallan los métodos utilizados para calcular la potencia en los diferentes equipos:

1. Recepción y Limpieza

Capacidad del transportador y limpiadora:

$$\text{Capacidad} = \text{Carga anual} / \text{Días de operación.}$$

Potencia requerida: **Estimación:** Se usa un valor típico de 1 HP para motores que manejan cargas ligeras y sistemas de transporte. Esta es una aproximación basada en el tipo de equipo y su uso general en la industria.

$$\text{Potencia} = \text{Potencia necesaria para el motor (HP)} \approx 1\ \text{HP}$$

2. Tostador

Energía requerida:

$$\text{Energía requerida} = \text{Carga X Energía útil por kg}$$

Capacidad del tostador:

$$\text{Capacidad} = \text{Carga anual} / \text{Días de operación}$$

- **Conversión a Potencia:** La potencia se puede estimar considerando el tiempo de operación y la energía requerida.

$$\text{Potencia (wats)} = \frac{\text{Energía Total (BTU)}}{\text{Horas de Operación}} \text{x} \frac{1\text{BTU}}{0.293\ \text{W h}}$$

3. Descascarillado.

Energía requerida:

$$\text{Energía requerida} = 0.05 \times \text{Energıa útil}$$

Potencia del motor: **Estimación,** Aproximadamente 2 HP, basada en la experiencia y en el tamaño del equipo necesario para procesar la carga.

Potencia≈2 HP

4. Molienda

Energía requerida:

$$\text{Energía requerida} = 0.15 \times \text{Energıa útil}$$

Potencia del motor:

$$\text{Potencia (wats)} = \frac{\text{Energía Total (BTU)}}{\text{Horas de Operación}} \text{x} \frac{1\text{BTU}}{0.293\ \text{W h}}$$

Potencia≈5 HP

5. Prensado

Energía requerida:

$$\text{Energía requerida} = 0.10 \times \text{Energıa útil}$$

Presión de operación: Potencia del motor: **Estimación de Potencia:** Se estimó en aproximadamente 10 HP, considerando los requerimientos de presión y la carga de trabajo.

Presion≈3000 psi
Potencia≈10 HP

6. Pulverización

Energía requerida:

$$\text{Energía requerida} = 0.10 \times \text{Energıa útil}$$

Potencia del motor: **Estimación:** Aproximadamente 5 HP, basado en la experiencia de maquinaria similar.

Potencia≈5 HP

7. Conchado

Energía requerida:

$$\text{Energía requerida} = 0.15 \times \text{Energıa útil}$$

Potencia del motor: **Estimación:** Aproximadamente 5 HP, para el movimiento y mezclado de la mezcla de chocolate.

Potencia≈5 HP

8. Atenuador

Energía requerida:

$$\text{Energía requerida} = 0.05 \times \text{Energıa útil}$$

Potencia del motor: **Estimación:** Aproximadamente 2 HP, considerando el tamaño del tanque y el proceso de atemperado.

Potencia≈2 HP

9. Moldeo

Energía requerida:

$$\text{Energía requerida} = 0.05 \times \text{Energıa útil}$$

Potencia del motor: **Estimación:** Aproximadamente 2 HP, suficiente para el proceso de moldeo.

Potencia≈2 HP

10. Empaque

Energía requerida:

$$\text{Energía requerida} = 0.05 \times \text{Energıa útil}$$

Potencia del motor: **Estimación:** Aproximadamente 1 HP, para el funcionamiento de máquinas de empaque.

Potencia≈1 HP

Resumen de Cálculos de Potencia

- **Potencias estimadas** fueron ajustadas con base en la experiencia y el tamaño de los equipos requeridos para cada etapa del proceso.
- **Valores típicos** de motores se utilizaron para asegurar que se cumplieran los requisitos de operación.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Capacidad de producción de la planta de transformación del cacao.

Cálculos de Demanda Aparente y Promedios:

En la Tabla 4, se presentan los cálculos de demanda aparente (Importaciones - Exportaciones) y los promedios de esta demanda aparente para cada categoría.

Tabla 4: Cálculos de demanda aparente (Importaciones-Exportaciones) y los promedios de esta demanda aparente para cada categoría.

Demanda aparente, TON	**Chocolate**	**Pasta de Cacao**	**Manteca de Cacao**	**Cacao en Polvo**
2018	2737.2	0.5	2.5	464.6
2019	2856.7	1.7	-1.7	488.3
2020	2863.2	-0.9	2.0	419.0
2021	3030.0	-3.7	8.0	368.8
2022	3348.3	-2.8	1.0	367.0
2023	2239.2	-4.3	0.8	346.3
2024	2730.4	-1.4	-1.0	470.5
Promedio demanda aparente, Ton/año	2829.29	-1.56	1.66	417.79

Fuente: Elaboración propia

En anexos 10.2 se muestran los cálculos para la determinación de la capacidad de producción y de la Materia Prima (Cacao en Grano) Necesaria

En la Tabla 5 se presentan las Estimaciones de Materia Prima (Cacao en Grano) Requerida para las capacidades proyectadas:

Tabla 5: Estimaciones de Materia Prima (Cacao en Grano) Requerida para las capacidades proyectadas

Subproducto	**Pasta de cacao necesaria, Ton**	**Cacao en grano, Ton/año**
Chocolate	157.18	196.48
Cacao en polvo	52.23	65.29
Manteca de caco	5	6.25
Subtotal	214.41	268.02
Pasta de cacao (Venta directa)	1	1.25
Capacidad, total de procesamiento, Ton/año	215.41	269.27

En la Tabla 6 se muestran los resúmenes de las capacidades de producción propuestas.

Tabla 6: Resumen de Capacidades de Producción Propuestas

Subproducto	**Capacidad Propuesta (TON/año de producto final)**	**Cacao en Grano Requerido (TON/año)**
Chocolate	141.46	196.48
Cacao en Polvo	20.89	65.29
Manteca de Cacao	2.00	6.25
Pasta de Cacao (Venta Directa)	1.00	1.25
TOTAL	**165.35 (Producto Final)**	**269.27 (Cacao en Grano)**

Basándose en el análisis de la demanda aparente, que es una aproximación del consumo de un producto en un mercado. La demanda aparente se calcula como: Producción Nacional + Importaciones - Exportaciones. En este caso no se encuentra registrada la producción nacional, por lo cual no se consideró.

Con respecto al:

1. Chocolate

- La demanda aparente de chocolate en Nicaragua muestra un promedio de 2,829.29 Ton/año. Se observa una tendencia de crecimiento constante hasta 2022, seguida de un descenso significativo en 2023, para luego recuperarse en 2024 a niveles similares a 2018. Entre los Factores Internos y Externos, puede mencionar:

    - Internos: El descenso en 2023 podría estar relacionado con factores económicos internos de Nicaragua, como la inflación o cambios en el poder adquisitivo de los consumidores. Un posible aumento en la producción nacional no registrada formalmente también podría explicar la baja en importaciones.

    - Externos: La recuperación en 2024 podría deberse a la estabilización de los mercados o a la normalización de la cadena de suministro global, que se vio afectada por eventos como la pandemia y conflictos geopolíticos.

2. Pasta de Cacao

- La demanda aparente muestra un promedio negativo (-1.56 Ton/año). Esto indica que Nicaragua es un exportador neto de pasta de cacao, es decir,

produce más de lo que consume y el excedente se vende a otros mercados. El valor negativo de los últimos años sugiere un consumo interno muy bajo o una producción nacional que satisface completamente la demanda.

- Factores:
    - Internos: La producción de pasta de cacao en Nicaragua, aunque pequeña, podría estar orientada a la exportación o al consumo de la industria chocolatera local. El mercado interno para este subproducto es casi inexistente.
    - Externos: El flujo de exportación de este producto es el principal motor del mercado, lo que lo hace sensible a las variaciones de la demanda de mercados internacionales.

3. Manteca de Cacao

- La demanda aparente de manteca de cacao es fluctuante, con un promedio bajo de 1.66 Ton/año. Al igual que la pasta de cacao, el mercado interno es reducido y el producto parece estar destinado en gran medida a la exportación o a nichos específicos.
- Factores
    - Internos: El bajo consumo interno sugiere que la industria local de alimentos o cosméticos no utiliza la manteca de cacao de forma masiva, lo que podría representar un nicho de oportunidad.
    - Externos: Las fluctuaciones en el mercado de exportación de manteca de cacao impactan directamente en estos valores.

4. Cacao en Polvo

- Con respecto al cacao en polvo muestra una demanda aparente significativa, con un promedio de 417.79 Ton/año. La demanda es relativamente estable, lo que indica un mercado interno sano y constante para este subproducto, utilizado en la industria de bebidas y repostería.
- Factores
    - Internos: La estabilidad sugiere que este subproducto tiene una buena aceptación en el mercado nicaragüense, con un consumo continuo en hogares y pequeñas empresas.

- Externos: La demanda parece ser principalmente interna, con poca dependencia de las importaciones o exportaciones, lo que la hace un mercado confiable para la Cooperativa.

La Capacidad Total de Procesamiento de cacao en grano es de la planta es de 269.27 Ton/año.

Mediante este análisis se observa existe una oportunidad significativa en el mercado interno para la producción de chocolate y cacao en polvo. La demanda de estos productos es alta y constante, lo que justifica la inversión en una planta de procesamiento.

6.2 Capacidad de los equipos de transformación del cacao, requeridos para el proceso productivo

Se realizaron los cálculos para el dimensionamiento de los equipos de la planta procesadora de cacao, con una capacidad anual de 269.27 toneladas/año de cacao. Luego, se estructuró un algoritmo para Excel.

En la Tabla 7, se muestran los resultados de los balances de materia y dimensionamiento de equipos que incluye el proceso, la entrada y salida de cada etapa, y la capacidad del equipo, basándonos en los cálculos realizados para una capacidad de 269.27 toneladas/año de cacao (o 897.57 kg/día / 112.196 kg/h).

En anexos 10.3 se muestran los cálculos de las variables de diseño y dimensionamientos de los equipos y en **anexos 10.4** el Algoritmo de Cálculo para Dimensionamiento de Equipos en Excel (Capacidad: 269.27 Toneladas/Año)

Tabla 7: Resumen de Balance de Materia y Dimensionamiento de Equipos (Capacidad: 269.27 toneladas/año de Cacao en Grano)

Proceso	**Entrada (kg/día)**	**Salida (kg/día)**	**Capacidad del Equipo Sugerida (unidad)**	**Observaciones de Diseño**
Cacao en Grano (Inicial)	897.57 kg/día (cacao crudo, 7% humedad)			Base de cálculo para toda la planta.
Tostado	897.57 kg/día (cacao crudo)	842.31 kg/día (cacao tostado, 2% humedad)	Tostador de 56.10 kg/lote (aprox. 95 L)	Opera por lotes (16 lotes/día). Temperatura de tostado: 110−140◦C.
Descascarillado	842.31 kg/día (cacao tostado)	730.20 kg/día (nibs de cacao limpios)	Descascarillador de 105.29 kg/h	Equipo continuo o semicontinuo. Tasa de descascarillado: 86.69%.
Prensado	722.90 kg/día (licor de cacao)	337.95 kg/día (manteca de cacao) + 384.95 kg/día (torta de cacao)	Prensa de 144.58 kg/lote	Opera por lotes (aprox. 5 lotes/día). Presión de trabajo: 400−550 bares.
Almacenamiento (Licor)	722.90 kg/día (entrada al tanque)		Tanque de 1000 L (o 1 m^3)	Requiere agitación y calefacción. Capacidad para almacenar >1 día de producción.
Almacenamiento (Manteca)	337.95 kg/día (entrada al tanque)		Tanque de 500 L (o 0.5 m^3)	Requiere calefacción. Capacidad para almacenar >1 día de producción.
Almacenamiento (Cacao/Nibs)	897.57 kg/día (cacao crudo) / 730.20 kg/día (nibs)		Silos/Tolvas de 2-3 m^3	Almacenamiento a granel para varios días de operación.

El análisis de los cálculos de las variables de diseño revela información crucial para la toma de decisiones y la viabilidad del proyecto. Los resultados obtenidos no solo cuantifican los equipos necesarios, sino que también ofrecen una perspectiva clara sobre el rendimiento del proceso y la distribución de la masa a lo largo de las diferentes etapas de la cadena de valor.

Eficiencia y Reducción de Masa

Los cálculos muestran una pérdida progresiva de masa a medida que el cacao avanza en el proceso.

Tostado: El primer gran cambio de masa ocurre en esta etapa, principalmente debido a la reducción de humedad. Pasar de un 7% a un 2% de humedad.

Descascarillado: Esta es la etapa con la mayor pérdida de masa. Se remueve la cascarilla, que constituye un 12% del peso del grano. Esto significa que solo alrededor del 86-87% de la masa inicial del cacao es aprovechable para la producción de nibs.

Molienda y Prensado: Las pérdidas de masa en estas etapas son mínimas, generalmente menos del 1% en la molienda y una reconfiguración de la masa total en el prensado, donde el licor se separa en manteca y torta.

El análisis de estas pérdidas es fundamental, ya que cada kilogramo perdido en etapas tempranas se traduce en una menor producción de productos finales de alto valor, como la manteca y la torta de cacao.

Los resultados de los cálculos impactan directamente en la selección de los equipos. El tostador y la prensa de manteca, que operan en lotes, tienen una carga másica específica por ciclo. Por ejemplo, en la capacidad de 269.27 ton/año, el tostador necesitaría manejar lotes de 56.10 kg, mientras que la prensa manejaría lotes de 144.58 kg. Esta diferencia en la carga de lote se debe a los rendimientos del proceso.

Los equipos de flujo continuo, como el descascarillador y el molino, se dimensionan en función del flujo másico horario. El descascarillador, al recibir todo el cacao tostado, debe tener la mayor capacidad horaria (105.29 kg/h), mientras que el molino puede tener una capacidad menor (91.28 kg/h), ya que solo procesa los nibs.

El análisis muestra que las capacidades de los equipos están interconectadas. El dimensionamiento del molino depende del rendimiento del descascarillador, y el de la prensa depende del rendimiento del molino. Una falla o ineficiencia en una etapa podría generar un cuello de botella en todo el proceso.

Los cálculos de las variables de diseño proporcionan una base sólida para el análisis de costos. La cantidad calculada de manteca y torta de cacao producida

diariamente (337.95 kg/día y 384.95 kg/día, respectivamente) permite estimar los ingresos potenciales del proyecto.

Los tamaños y capacidades de los equipos calculados son fundamentales para solicitar cotizaciones precisas a los proveedores. Esto permite generar un presupuesto de inversión inicial más realista. Además, el análisis de las pérdidas de masa puede orientar la búsqueda de mercados alternativos. Por ejemplo, la cascarilla de cacao (alrededor de 107.71 kg/día) podría venderse como subproducto para la fabricación de té o compost, generando ingresos adicionales y mejorando la sostenibilidad del proyecto.

6.3 Requerimiento energético de los equipos para llevar a cabo el proceso de transformación del cacao.

En las Tabla 8 se presentan los resultados del balance de materia y energía total para el procesamiento del cacao con una carga de 269,270 kg/año

En **anexos 11.5**. Se muestran los cálculos realizados para determinar los requerimientos energéticos de los equipos para llevar a cabo el proceso de transformación del cacao

Tabla 8: Balance de materia y energía total

Parámetro	**Valor**	**Unidad**
Carga	269,270	kg/año
Pasta de cacao	134,635	kg
Manteca de cacao	80,781	kg
Cacao en polvo	53,854	kg
Energía Total	80,781,000	BTU
Energía Útil	100,976,250	BTU
Flujo de Gas	100,976.25	pies cúbicos
Cantidad de Gas	50,488.13	lb
Capacidad diaria	738.32	kg/día

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9, se muestra el resumen de las variables de diseño de las etapas del proceso tecnológico del cacao

Tabla 9: Variables de diseño de las etapas de proceso tecnológico del cacao

Equipo	**Capacidad (kg/día)**	**Energía (BTU/día)**	**Potencia (HP)**
Recepción y Limpieza	738.32	N/A	1
Tostador	738.32	20,195,250	5
Descascarillado	738.32	5,048,812.50	2
Molienda	738.32	15,146,437.50	5
Prensado	738.32	10,097,625	10
Pulverización	738.32	10,097,625	5
Conchado	738.32	15,146,437.50	5
Atenuador	738.32	5,048,812.50	2
Moldeo	738.32	5,048,812.50	2
Empaque	738.32	5,048,812.50	1

Fuente: Elaboración

El análisis de los datos sobre la producción de chocolate revela una carga total de 269,270 kg/año, con una producción de 134,635 kg de pasta de cacao, 80,781 kg de manteca y 53,854 kg de cacao en polvo. La energía total consumida es de 80,781,000 BTU, mientras que la energía útil generada alcanza 100,976,250 BTU, indicando un sistema eficiente. La potencia requerida por los equipos suma 37 HP, destacando el prensado como el de mayor demanda (10 HP).

Se observa que el tostador consume el 25% de la energía total, sugiriendo áreas de mejora. Se recomienda optimizar los procesos de prensado y tostado, así como implementar un sistema de monitoreo continuo para identificar oportunidades de mejora en eficiencia y producción.

VII. CONCLUSIONES

La capacidad de producción total requerida se estimó en 269.27 TON de cacao en grano por año para cubrir parcialmente esta demanda. La pasta de cacao, a pesar de tener una demanda aparente negativa, se considerará un producto intermedio clave para la producción de los demás subproductos, optimizando así la cadena de valor y el aprovechamiento de la materia prima

El dimensionamiento de equipos, basado en la capacidad de producción, establece una base sólida para la inversión. Los cálculos de dimensionamiento arrojan requerimientos específicos para cada equipo principal. Por ejemplo, el tostador necesitaría una capacidad de 56.10 kg/lote, el descascarillador de 105.29 kg/h y la prensa de 144.58 kg/lote. Estos datos concretos son esenciales para solicitar cotizaciones a proveedores y tomar decisiones de inversión fundamentadas.

Aunque el tostado de cacao requiere una cantidad considerable de energía térmica (gas butano-propano), el consumo total de energía del proceso está dominado por la demanda eléctrica. La energía eléctrica anual total es de 34,442.59 kWh, siendo la etapa de conchado la que consume la mayor parte con 21,219 kWh, lo que representa aproximadamente el 61.6% del total eléctrico. Esto indica que la eficiencia del equipo de conchado es crítica para optimizar el costo operativo.

El proceso de tostado es el único que requiere energía térmica, con un consumo anual de 89,070.89 MJ. Por su parte el equipo de conchado es el mayor consumidor eléctrico, acaparando la mayor parte del total anual.

VIII. RECOMENDACIONES

Orientar el diseño y la capacidad de producción de la planta hacia la fabricación de chocolate y cacao en polvo como productos principales.

Se debe establecer una capacidad de producción que permita capturar una cuota inicial del mercado de importación de estos productos, con metas de crecimiento a mediano y largo plazo. Para la manteca de cacao, la capacidad debe ser más conservadora, ajustada a la baja demanda aparente.

Para la pasta de cacao, se sugiere producirla como un producto intermedio clave para el procesamiento interno, en lugar de un producto final para la venta directa.

Dado que el tostado es el principal consumidor de energía térmica, se recomienda implementar un sistema de recuperación de calor residual en el tostador. Este sistema podría utilizar el calor de los gases de escape para precalentar el cacao antes de entrar al proceso principal, lo que reduciría significativamente el consumo de gas y, por ende, los costos energéticos.

Se sugiere auditar el equipo de conchado para evaluar la posibilidad de actualizar los motores a modelos de alta eficiencia o instalar variadores de frecuencia (VFD). Esta acción permitiría ajustar la velocidad y el consumo de energía del motor según la carga de trabajo, reduciendo el gasto eléctrico anual que actualmente domina el perfil de consumo de la planta

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Adriana Escobedo Aguilar. (2010). Cadena productiva de cacao en Nicaragua. CATIE.
2. Afoakwa, E. O. (2016). Chocolate science and technology (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
3. Afoakwa, E. O. (2016). Chocolate science and technology. John Wiley & Sons.
4. Ames, J. (2019). Protótipo de máquina descascaradora de cacao. Escuela Académico Profesional Ingeniería Mecánica.
5. Amigos de la tierra. (2022). Obtenido de https://cooperamosconnicaraguablog.wordpress.com/
6. Asociación Nacional de Fabricantes de Chocolate. (2021). Catálogo de Maquinaria para Procesamiento de Cacao. Recuperado de https://www.anfc.org/catalogo.
7. Beckett, S. T. (2008). The science of chocolate. Royal Society of Chemistry.
8. Beckett, S. T. (2019). The Science of Chocolate. Royal Society of Chemistry.
9. Beltrán-Orozco, R., Arcos-Pérez, L. N., & Ortiz-Basurto, E. I. (2020). Drying and Roasting of Cocoa Beans: Mass Transfer Models and Quality Parameters. Journal of Food Engineering, 280, 110008.
10. Cai, Z., et al. (2020). Valorization of Cocoa Bean Shell: A Review of Current Utilization and Future Opportunities. Food Chemistry, 309, 125679.
11. Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Education.
12. Codex Alimentarius Commission. (2023). Standards for Cocoa Products and Chocolate. (Última revisión y acceso a través del sitio web de la FAO/WHO).
13. Coe, S. D., & Coe, M. D. (2019). The True History of Chocolate. Thames & Hudson.
14. Crozier, A., Crozier, S. J., & Jaganath, I. B. (2019). Bioavailability of Dietary Flavonoids and Polyphenols. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67(10), 2739-2752.
15. Cussler, E. L., & Moggridge, G. D. (2020). Chemical Product Design. Cambridge University Press.
16. FDA (Food and Drug Administration). (2020). Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP). (Documentos regulatorios actualizados disponibles en el sitio web de la FDA).
17. Fellows, P. J. (2009). Food processing technology: principles and practice. Woodhead Publishing.
18. Ficklin, J. K., et al. (2021). Enhancing the Resilience of Global Food Systems. Nature Food, 2(1), 1-8.
19. Food Safety Equipment Design Taskforce. (n.d.). Principios de diseño de equipos para la inocuidad alimentaria. Recuperado de FSEDTF.org.

20. Food Safety Equipment Design Taskforce. (n.d.). Principios de diseño de equipos para la inocuidad alimentaria. Recuperado de https://www.fsedtf.org.
21. Fowler, M., Satian, C., & Jayanand, B. (2020). Criollo Cacao: A Review on Its Origin, Genetic Diversity, and Flavor Profile. Food Research International, 137, 109678.
22. García, J., & Gutiérrez, M. (2022). Sostenibilidad de la Producción de Cacao Fino y de Aroma en Nicaragua. Agronomía Mesoamericana, 33(2), 503-518.
23. Geankoplis, C. J., Christie, J., & Edgar, T. F. (2018). Transport Processes and Separation Process Principles. Pearson.
24. Gong, P., Tan, M., & Yang, Q. (2021). Effects of Grinding Conditions on Rheological Properties of Cocoa Liquor. Journal of Food Science and Technology, 58(7), 2686-2693.
25. González-García, S., et al. (2019). Environmental Assessment of Cocoa Production Systems: A Review. Journal of Cleaner Production, 219, 674-686.
26. Google Maps. (2023). Google Maps Obtenido de https://www.google.com/maps
27. Hartel, R. W., et al. (2020). Confectionery Science and Technology. Springer.
28. Hasanbeigi, A., et al. (2019). Energy Efficiency Improvement Opportunities and Technologies in the Food Industry. Journal of Cleaner Production, 237, 117769.
29. Holliday, B. L., et al. (2019). Impact of Alkalization on Physicochemical Properties, Functional Attributes, and Antioxidant Profile of Cocoa Powders. Food Science and Technology International, 25(3), 195-203.
30. International Cocoa Organization (ICCO). (2023). Annual Report on the World Cocoa Market. (Disponible en el sitio web de ICCO).
31. International Organization for Standardization. (2015). ISO 1672:2015 - Food processing machinery — Hygiene requirements. Recuperado de https://www.iso.org/standard/68811.html.
32. Jonathan Sevilla, N. U. (2020). Análisis del proceso productivo en la transformación del cacao en la Cooperativa Jorge Salazar del municipio la Dalia en el primer semestre del año 2020. Repositorio UNAN Managua.
33. Judd, S., & Judd, C. (2019). The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment. Elsevier.
34. Kong, D., et al. (2022). Chemical Changes During Conching of Chocolate and Their Impact on Product Quality. Food Chemistry, 375, 131804.
35. Kuhn, A. L., et al. (2019). Consumer Perceptions of Fine Flavor Cacao Attributes: A Focus on Criollo Varieties. Food Quality and Preference, 71, 280-289.
36. Li, S., et al. (2021). Nutritional Components and Health Benefits of Cocoa. Food Research International, 140, 109865.
37. Lipp, M., & Anklam, E. (2021). Physico-chemical properties of cocoa butter. Food Chemistry, 339, 127810.

38. López, A., & García, M. (2020). Operaciones unitarias para la producción de chocolate negro, con leche y blanco. Una revisión sistemática. Revista de Tecnología Alimentaria, 12(3), 45-56.
39. Mannan, S., & Lees, F. P. (2020). Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control. Butterworth-Heinemann.
40. Martínez, R. (2022). Diseño de una Planta Productora de Barras de Chocolate con Nuez de Macadamia. Revista de Ingeniería y Tecnología, 9(4), 321-335.
41. Martínez-Pinilla, E., et al. (2019). Theobromine and Caffeine: Their Effects on the Human Body. Nutrients, 11(1), 108.
42. Mayorga Mendoza, O. N. (2020). "Evaluación del proceso de producción de chocolate, nibs de cacao, polvo natural de cacao a base de la semilla de cacao Theobroma Cacao tipo criollo fino de aroma elaborados por la Asociación Red Madre Cacao en Nicaragua".
43. MEFCCA. (s.f.). Cartilla Fermentación y secado de cacao. Obtenido de https://www.economiafamiliar.gob.ni/backend/vistas/doc/cartilla/documento6905430.pdf
44. Minifie, B. W. (2008). Chocolate, cocoa and confectionery science and technology (2nd ed.). Avi Publishing.
45. Minifie, B. W. (2008). Chocolate, cocoa and confectionery science and technology (2nd ed.). AVI Publishing.
46. Minifie, B. W. (2020). Chocolate, Cocoa, and Confectionery: Science and Technology. Springer.
47. Ministerio Agropecuario. (2022). Anuario estadístico del sector agropecuario 2021. MAG.
48. Ministerio de Salud Pública. (2018). Diseño higiénico en la industria alimentaria. Guía de Buenas Prácticas de Manufactura.
49. Mortimore, S., & Wallace, C. (2013). HACCP: A Practical Approach. Springer.
50. Motamayor, J. C., et al. (2019). The Domestication of Theobroma cacao L.: From Amazonian Forest to Global Commodity. Frontiers in Plant Science, 10, 168.
51. NSF/ANSI/3-A SSI 14159-1-2014. (2014). Norma sobre los requisitos higiénicos para el diseño de equipos de procesamiento de productos cárnicos y avícolas.U.S. Food and Drug Administration. (n.d.). 21 CFR - Food and Drugs. Recuperado de FDA.gov.
52. NSF/ANSI/3-A SSI 14159-1-2014. (2014). Norma sobre los requisitos higiénicos para el diseño de equipos de procesamiento de productos cárnicos y avícolas.
53. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). Análisis de la Cadena de Valor del Cacao en Centroamérica. (Disponible en el sitio web de FAO).
54. Perea-Dallos, M., et al. (2019). Genetic Diversity and Population Structure of Trinitario Cacao (Theobroma cacao L.) in Colombia. Tree Genetics & Genomes, 15(6), 84.

55. Pérez, J. C. (2019). Implementación de la tecnología para la elaboración de chocolate orgánico (Artículo de revisión). Revista de Agricultura Sostenible, 5(2), 123-135.
56. Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (Eds.). (2008). Perry's Chemical Engineers' Handbook. McGraw-Hill Education.
57. Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. McGraw-Hill Education.
58. Prentice, R. (2020). Food Process Engineering: Principles and Operations. Elsevier.
59. Pu, J., et al. (2021). Genetic Diversity and Population Structure of Forastero Cacao (Theobroma cacao L.) in Hainan, China. Genetic Resources and Crop Evolution, 68(2), 653-665.
60. Quiñones, M., et al. (2020). Polyphenols in Cocoa and Chocolate: Potential Health Benefits and Their Role in Product Quality. Food Chemistry, 303, 125345.
61. Ramírez, L. (2021). Diseño de una Línea Procesadora de Pasta de Cacao Artesanal (Theobroma cacao). Revista de Ciencias Agrarias, 14(1), 89-102.
62. Ramírez-Sánchez, L., et al. (2022). Impact of Roasting on Protein and Carbohydrate Profiles in Cocoa Beans and Their Contribution to Flavor Development. Food Research International, 157, 111394.
63. Rao, S., & Langrish, T. A. (2014). Energy efficiency in the food processing industry. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13(2), 302-330.
64. Rodríguez-Estrada, M. T., et al. (2020). Composition and Quality of Cocoa Liquor from Different Fermentation Processes. Journal of Food Quality, 2020, 8852391.
65. Rodríguez-Padilla, C. J., et al. (2021). Review on Cocoa Butter Crystallization and Tempering for Chocolate Production. Journal of Food Science, 86(2), 305-318.
66. Rosaler, R. C., & Rice, J. F. (Eds.). (2019). Standard Handbook of Plant Engineering. McGraw-Hill Education.
67. Sánchez Rivera, C. I. (2020). Diseño del proceso de producción de cacao en polvo y manteca de cacao. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería. Afoakwa, E. O. (2016). Chocolate science and technology. John Wiley & Sons.
68. Schlüter, S., & Bolwig, S. (2021). Linking smallholders to markets: The role of value chains. In Sustainable agricultural development (pp. 105-125). Routledge.
69. Sinnott, R. K., & Towler, G. (2020). Chemical Engineering Design. Butterworth-Heinemann.
70. Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2018). Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. McGraw-Hill Education.
71. Sounigo, O., et al. (2020). Genetic Diversity and Population Structure of Trinitario Cacao in the Caribbean and Latin America. Tree Genetics & Genomes, 16(4), 58.

72. Sukha, D. A., et al. (2020). Sensory Attributes and Volatile Compound Profiles of Fermented and Roasted Trinitario Cocoa Beans from Trinidad. Journal of Food Science, 85(7), 2097-2107.
73. Torres, S. (2020). El rol de la tecnología en el proceso productivo del cacao y chocolate en una organización de desarrollo. Estudios de Desarrollo Rural, 11(2), 75-84.
74. Towler, G. P., & Sinnott, R. K. (2012). Chemical engineering design: principles, practice and economics of plant and process design. Butterworth-Heinemann.
75. Turton, R., et al. (2018). Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes. Pearson Education.
76. U.S. Food and Drug Administration. (n.d.). 21 CFR - Food and Drugs. Recuperado de https://www.ecfr.gov/current/title-21.
77. Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2020). Product Design and Development. McGraw-Hill Education.
78. UNE-EN ISO 1672. (2015). Norma internacional sobre los requisitos de higiene para la maquinaria utilizada en el procesamiento de alimentos.
79. Valiente Barderas, A. (2014). Problemas de balance de materia y energía en la industria alimentaria (2a ed.). Limusa.
80. Wang, J. Y. (2017). Sustainable food processing: integrating food science with engineering, environment and economics. John Wiley & Sons.

X. ANEXOS

Anexos 10.1, Tabla 10-Tabla 13. Datos de exportaciones e importaciones chocolate, pasta de cacao, manteca de cacao y cacao en polvo,

Tabla 10: Chocolate

	CHOCOLATE			
Año	Exportaciones		Importaciones	
	Valores, $	Volúmenes, Ton	Valores, $	Volúmenes, Ton
2018	34114.3	2.4	9037970.3	2739.6
2019	32544.9	7	8910691.3	2863.7
2020	68489.9	20.7	8683254.3	2883.9
2021	85915.9	16.3	10622497.7	3046.3
2022	88219.9	7.6	13714752.3	3355.9
2023	180246.8	31.7	12689778.6	2270.9
2024	89404.6	9.2	13518562.6	2739.6

Tabla 11: Pasta de cacao

	Pasta de cacao. 180320 - Desgrasada total o parcialmente. 180310 - Sin desgrasar			
Año	Exportaciones		Importaciones	
	Valores, $	Volúmenes, Ton	Valores, $	Volúmenes, Ton
2018	2,703.90	0.3	3,072.00	0.80
2019	9,877.00	0.9	12,241.30	2.60
2020	17,069.00	1.6	2,383.40	0.70
2021	47,932.20	3.7	19.90	0.00
2022	33,930.00	2.8	23.80	0.00
2023	62,273.20	4.3	162.80	0.00
2024	24,700.00	1.4	0.00	0.00

Tabla 12: Manteca de cacao

	180400 MANTECA, GRASA Y ACEITE DE CACAO			
Año	Exportaciones		Importaciones	
	Valores, $	Volúmenes, Ton	Valores, $	Volúmenes, Ton
2018	0	0	19,344.00	2.50
2019	13,736.10	1.7	0.00	0.00
2020	0	0	15,225.20	2.00
2021	0	0	56,058.10	8.00
2022	0	0	6,038.20	1.00
2023	0	0	5,208.50	0.80
2024	8,960.00	1	0.00	0.00

Tabla 13: Cacao en polvo

	Cacao en polvo 180610 - Cacao en polvo con adición de azúcar u otro edulcorante y 180500 CACAO EN POLVO SIN ADICION DE AZUCAR NI OTRO EDULCORANTE			
Año	Exportaciones		Importaciones	
	Valores, $	Volúmenes, Ton	Valores, $	Volúmenes, Ton
2018	6,608.90	2.30	1,013,853.80	466.9
2019	14,718.50	5.50	1,190,797.40	493.8
2020	14,471.10	5.40	1,089,616.10	424.4
2021	3,719.60	1.60	979,492.50	370.4
2022	698.70	0.20	1,070,788.50	367.2
2023	2,922.60	0.60	1,133,344.50	346.9
2024	21,229.10	6.00	1,794,412.00	476.5

Anexos 10.2. Cálculos de Estimación de la Capacidad de Producción y de la materia prima: (Cacao en Grano) Necesaria

Para determinar la capacidad de producción de la planta se enfocará en satisfacer la demanda aparente positiva y aprovechar las oportunidades de mercado.

Consideraciones para la capacidad de producción (en TON de producto final):

- Chocolate: Con la mayor demanda aparente (2829.29 TON/año), una capacidad para satisfacer una parte significativa de esta demanda representa una gran oportunidad. Se podría apuntar a una fracción de la demanda promedio, por ejemplo, el 5% del promedio de importaciones, que es 2829.29×0.05=141.46 TON/año.

- Cacao en Polvo: Presenta una demanda aparente considerable (417.79 TON/año). Un objetivo inicial podría ser cubrir el 5% de esta demanda: 417.79×0.05=20.89 TON/año.
- Manteca de Cacao: La demanda aparente es baja (1.66 TON/año). Podría ser estratégico producir una cantidad que cubra esta demanda y permita una pequeña expansión, por ejemplo, 2 TON/año.
- Pasta de Cacao: La demanda aparente es negativa, indicando un excedente de exportación. Si la cooperativa procesará la pasta para otros subproductos, no se necesitaría capacidad de venta directa inicial. Sin embargo, si se busca un pequeño nicho de exportación o venta local, una capacidad simbólica, por ejemplo, 1 TON/año para venta directa, podría ser considerada. La mayor parte de la pasta de cacao se asumirá como un producto intermedio para la producción de manteca, cacao en polvo y chocolate.

Determinación de la Materia Prima (Cacao en Grano) Necesaria:

Para estimar la cantidad de cacao en grano necesaria para la planta, se deben considerar los rendimientos de cada proceso. Utilizando los rendimientos teóricos mencionados anteriormente:

- Rendimiento de Cacao en Grano a Pasta de Cacao (Rpasta): Se asumirá un 80% (0.8).
- Rendimiento de Pasta de Cacao a Manteca de Cacao (Rmanteca): Se asumirá un 40% (0.4).
- Rendimiento de Pasta de Cacao a Cacao en Polvo (Rpolvo): Se asumirá un 40% (0.4).
- Rendimiento de Pasta de Cacao a Chocolate (Rchocolate): Se asumirá un 90% (0.9), considerando que el chocolate contiene otros ingredientes además de cacao. La cadena de rendimientos es: Cacao en Grano -> Pasta de Cacao -> Chocolate.

- Para 141.46 TON/año de Chocolate:
  - Pasta de cacao necesaria = 141.46 TON/0.9=157.18 TON
  - Cacao en grano necesario = 157.18 TON/0.8=196.48 TON/año
  -
- Para 20.89 TON/año de Cacao en Polvo:
  - Pasta de cacao necesaria = 20.89 TON/0.4=52.23 TON
  - Cacao en grano necesario = 52.23 TON/0.8=65.29 TON/año
  -
- Para 2 TON/año de Manteca de Cacao:
  - Pasta de cacao necesaria = 2 TON/0.4=5 TON
  - Cacao en grano necesario = 5 TON/0.8=6.25 TON/año
  -
- Para 1 TON/año de Pasta de Cacao (para venta directa):
  - Cacao en grano necesario = 1 TON/0.8=1.25 TON/año

Capacidad Total de Procesamiento de Cacao en Grano:

Sumando el cacao en grano necesario para cada subproducto (considerando que la pasta para manteca, polvo y chocolate se produce a partir del mismo cacao en grano):

- Total, Cacao en Grano para Chocolate, Cacao en Polvo y Manteca

= 196.48+65.29+6.25=268.02 TON/año

- Total, Cacao en Grano para Pasta de Cacao de venta directa = 1.25 TON/año
-
- Capacidad Total de Procesamiento de Cacao en Grano Requerida

= 268.02+1.25=269.27 TON/año

Este valor representa la cantidad de cacao en grano que la planta necesitaría procesar anualmente para satisfacer las capacidades de producción de los cuatro subproductos al nivel propuesto.

Conversión de la Capacidad Anual a Unidades Diarias y Horarias

Se realizo, la conversión de la capacidad anual de 269.27 toneladas/año a kilogramos por día y kilogramos por hora, asumiendo días de operación, obteniendo una capacidad de 112.196 kg/h

- **Capacidad Anual**: 269.27 toneladas/año
-
- **Días de Operación al Año:** Asumiremos 300 días/año (para permitir paradas por mantenimiento, feriados, etc., un valor común en la industria).
-
- **Horas de Operación al Día:** Asumiremos 8 h/día.
-
- Capacidad diaria:

269.27 toneladas/año×1000 kg/tonelada/300 días/año=897.57 kg/día

Capacidad Horaria: 897.57 kg/día/8 h/día=112.196 kg/h

Se consideraron los siguientes Estándar para los Procesos

Composición del grano de cacao

- Materia seca: 81%,
- Cascarilla: 12%,
- Humedad: 7%

Tostado:

- Humedad inicial de entrada al tostador: 7%
- Humedad final deseada después del tostado: 2%
- Tiempo de ciclo del tostador (por lote): 30 minutos (0.5 horas)
- Pérdidas de materia seca durante el tostado: 1%

Descascarillado:

- Eficiencia de remoción de cascarilla: 98%
- Pérdidas de nibs en la cascarilla: 0.5%
- Tasa de trituración (pérdida de nibs por rotura excesiva): 0.1%

Molienda:

- Rendimiento de licor de cacao a partir de nibs: 99%
-

Prensado:

- Contenido de grasa en el licor de cacao (típico para variedades comunes): 55%
- Rendimiento de manteca de cacao: 85% (de la grasa disponible en el licor)
- Contenido de grasa en la torta de cacao residual: 10%

Densidades de los materiales:

- Densidad aparente del cacao en grano: 600 kg/m^3
- Densidad aparente de los nibs de cacao: 650 kg/m^3
- Densidad del licor de cacao: 940 kg/m^3
- Densidad de la manteca de cacao: 900 kg/m^3

Anexos 10.3. Cálculos de Variables de Diseño y Dimensionamiento de Equipos

Base de Cálculo:

- Capacidad de entrada de cacao en grano: 897.57 kg/día
- Capacidad horaria: 112.196 kg/h

Proceso de Tostado

- Entrada de cacao al tostador: 897.57 kg/día
- Masa de materia seca en la entrada:
  897.57 kg/día×0.81=727.03 kg materia seca/día
- Masa de agua inicial: 897.57 kg/día×0.07=62.83 kg agua/día
- Masa de cascarilla: 897.57 kg/día×0.12=107.71 kg cascarilla/día

Cálculo de la Reducción de Humedad del Grano:

- Humedad inicial: 7%
- Humedad final deseada: 2%

Agua remanente después del tostado:

Masa de agua final =0.02 X 727.03 kg/día

- Masa de agua final =14.84 kg agua/día

Agua eliminada durante el tostado:

Agua eliminada =62.83 kg/día−14.84 kg/día=47.99 kg agua/día

Cálculo de la Salida de Cacao Tostado:

- Pérdidas de materia seca durante el tostado: 1% de la materia seca inicial.
- Pérdida de materia seca =727.03 kg/día×0.01=7.27 kg/día
- Materia seca final =727.03 kg/día−7.27 kg/día=719.76 kg materia seca/día

Masa de cascarilla (asumimos no hay cambio significativo en peso): 107.71 kg/día

Salida de cacao tostado (Peso total):

Salida de cacao tostado

=719.76 kg/día+107.71 kg/día+14.84 kg/día=842.31 kg cacao tostado/ día

Dimensionamiento del Tostador de Cacao (Tostador por Lotes)

- Variable clave de diseño: Carga másica por lote.
- Capacidad de producción horaria de cacao en grano (entrada): 112.196 kg/h
- Tiempo de ciclo del tostador: 30 minutos/lote=0.5 horas/lote
- **Carga másica por lote (basado en la entrada de grano crudo):**
- Carga másica = Capacidad horaria (kg/h) * Tiempo de ciclo (h/lote)
- Carga másica =112.196 kg/h×0.5 h/lote=56.10 kg/lote
- Número de lotes por día: 897.57 kg/día/56.10 kg/lote≈16 lotes/día

Ecuación de Dimensionamiento:

Vtostador= Carga másica por lote/ Densidad aparente del cacao en grano

- Cálculo del Volumen del Tostador:
- Vtostador=56.10 kg / 600 kg/m^3 = 0.0935 m^3=93.5 L
- Dimensionamiento Sugerido: Se buscaría un tostador con una capacidad nominal de al menos 60−70 kg o 100 L.
- Temperatura de Tostado: Se mantendría en el rango de 110◦C a 140◦C, con un valor estimado de 125◦C.

Proceso de Descascarillado

Entrada al descascarillador:

- Salida de cacao tostado =842.31 kg cacao tostado/día
- Carga másica horaria al descascarillador:

842.31 kg/día/8 h/día=105.29 kg/h

Cálculo de la Tasa de Descascarillado y Tasa de Trituración:

- Masa de cascarilla en la entrada (del tostado): 107.71 kg/día
- Masa de materia seca del nib en la entrada: 719.76 kg/día

Masa de nibs "teóricos" sin cascarilla y con humedad final:

- Nibs teóricos =719.76 kg/día (ms)+14.84 kg/día (agua)=734.60 kg/día

Masa de cascarilla removida (Eficiencia del 98%):

- Cascarilla removida =107.71 kg/día×0.98=105.56 kg/día

Pérdidas de nibs con la cascarilla (0.5% de los nibs teóricos):

- Pérdidas de nibs =734.60 kg/día×0.005=3.67 kg nibs/día

Pérdidas de nibs por trituración excesiva (0.1% de los nibs teóricos):

- Pérdidas por trituración =734.60 kg/día×0.001=0.73 kg nibs/día

Salida de Nibs de Cacao Limpios (con humedad remanente):

- Nibs de cacao

  =734.60 kg/día−3.67 kg/día−0.73 kg/día=730.20 kg nibs/día

Dimensionamiento del Descascarillador / Rompedor de Cacao

Variable clave de diseño: Carga másica horaria de cacao tostado.

Carga másica horaria: 105.29 kg/h

Ecuación de Dimensionamiento:

Capacidades del cascarillador ≥ Carga másica horaria de cacao tostado

Dimensionamiento Sugerido: Se buscaría un descascarillador/rompedor con una capacidad nominal de al menos 110−120 kg/h.

Tasa de Descascarillado: 730.20 kg/día / 842.31 kg/día =0.8669 o 86.69%

Tasa de Trituración: 0.73 kg/día / 842.31 kg/día = 0.00087 o 0.087%

Proceso de Molienda

Entrada al molino: Nibs de cacao limpios =730.20 kg nibs/día

Carga másica horaria al molino: 730.20 kg/día/8 h/día=91.275 kg/h

Cálculo de la Salida de Licor de Cacao:

Rendimiento de licor de cacao a partir de nibs: 99%

Masa de licor de cacao producido:

Masa de licor =730.20 kg/día×0.99=722.898 kg licor de cacao/día

Dimensionamiento del Molino de Nibs de Cacao (Molino de bolas o de discos)

Variable clave de diseño: Carga másica horaria de nibs de cacao limpios.

Carga másica horaria: 91.275 kg/h

Ecuación de Dimensionamiento:

Capacidad molino ≥ Carga másica horaria de nibs de cacao

Dimensionamiento Sugerido: Se seleccionaría un molino de nibs de cacao con una capacidad nominal de al menos 95−100 kg/h.

Velocidad de Rotación del Molino: Se determinará por especificaciones del fabricante para la finura deseada (ej. 18−25 micrones).

Proceso de Prensado

Entrada a la prensa: Licor de cacao =722.898 kg licor de cacao/día

Carga másica horaria del licor de cacao: 722.898 kg/día/8 h/día=90.36 kg/h

Cálculo de la Producción de Manteca de Cacao y Torta de Cacao:

Contenido de grasa en el licor de cacao: 55%

Grasa total en el licor =722.898 kg/día×0.55=397.59 kg grasa/día

Sólidos no grasos en el licor:

722.898 kg/dı´a−397.59 kg/día=325.31 kg sólidos no grasos/día

Rendimiento de manteca de cacao (del 85% de la grasa disponible):

Manteca de cacao

=397.59 kg grasa/día×0.85=337.95 kg manteca de cacao/día

Grasa remanente en la torta de cacao:

397.59 kg grasa/día−337.95 kg grasa/día=59.64 kg grasa en torta/día

Producción de Torta de Cacao:

Torta de cacao

=325.31 kg so´lidos no grasos/día+59.64 kg grasa en torta/día=384 .95 kg torta de cacao/día

Dimensionamiento de la Prensa de Manteca de Cacao (Prensa Hidráulica por Lotes)

Variable clave de diseño: Carga másica por lote de licor de cacao.

Tiempo de ciclo de prensado: 1.5 horas/lote

Número de lotes por día (operando 8h/día): 8 h/día/1.5 h/lote ≈ 5.33 ≈ 5 lotes/día

Carga másica por lote de la prensa:

Carga másica por lote = Producción diaria de licor / Número de lotes por día

Carga másica por lote =722.898 kg/día/5 lotes/día=144.58 kg/lote

Dimensionamiento Sugerido: Se buscaría una prensa de cacao con una capacidad por cesta de al menos 150 kg de licor de cacao. Para esta capacidad, es probable que se necesite una prensa con múltiples cestas.

Presión de Trabajo: Típicamente entre 400 y 550 bares.

Dimensionamiento de Equipos Auxiliares y Almacenamiento (Preliminar)

Tanques de Almacenamiento de Licor de Cacao:

Volumen diario de licor =722.898 kg/día/940 kg/m^3=0.769 m^3/día

Dimensionamiento Sugerido: Un tanque de al menos 1 m^3 (1000 L) con agitación y calentamiento para almacenar una jornada de producción con margen.

Tanques de Almacenamiento de Manteca de Cacao:

Volumen diario de manteca =337.95 kg/día/900 kg/m^3=0.375 m^3/día

Dimensionamiento Sugerido: Un tanque de al menos 0.5 m^3 (500 L) con sistema de calentamiento y agitación.

Silos o Contenedores para Cacao en Grano y Nibs:

Volumen de cacao en grano diario

=897.57 kg/día/600 kg/m3=1.496 m3/día

Volumen de nibs diario =730.20 kg/día/650 kg/m^3=1.123 m^3/día

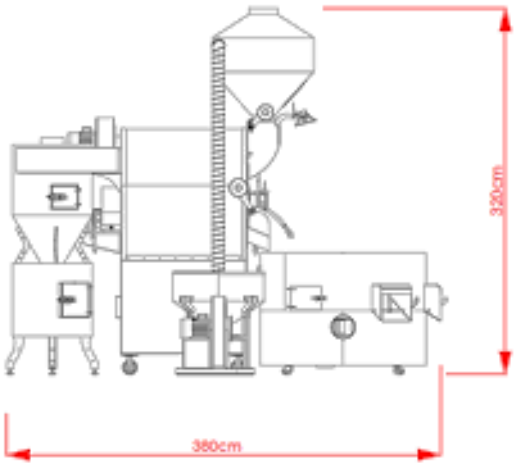
Dimensionamiento Sugerido: Contenedores o tolvas con capacidades entre 2 m^3 y 3 m^3 para almacenar suficiente materia prima o intermedios para varios días de operación.

Anexos 10.4. Fichas técnicas de los equipos

Ficha técnica de Tostador

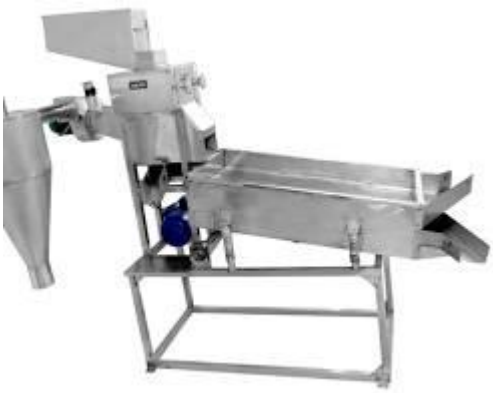
Característica	Detalle Típico
Modelo (Ejemplo)	Golden GR-60 / Besca BSC-60 / Giesen W60A Pro (u otro similar)
Capacidad por Lote	60 kg de café verde
Capacidad por Hora	240 kg/h - 300 kg/h (dependiendo del perfil y el tiempo de tueste)
Tiempo de Tueste (Lote)	≤20 minutos (frecuentemente 10-15 minutos)
Tiempo de Enfriamiento	4-6 minutos
Tipo de Calentamiento	Gas (Natural, GLP/Propano) con **Quemador PREMIX** modulado de última generación, o sistema de aire caliente.
Consumo Máximo de Gas (Ejemplo GLP)	Aproximadamente 6,25 m^3/h
Potencia del Quemador (Térmica)	Cerca de 100 kW – 150 kW/h
Tensión/Frecuencia	380 V / 50-60 Hz (Trifásica)
Potencia Eléctrica Máxima	Aproximadamente 8,9 kW} - 9,7 kW
Sistema de Tueste	Tambor de doble pared (o de hierro fundido opcional). Tueste de medio aire caliente y medio fuego directo o ráfaga de aire caliente.
Control de Proceso	**PLC** (Controlador Lógico Programable) para automatización completa (flujo de aire, llama, velocidad del tambor). **Pantalla táctil**.

Característica	Detalle Típico
Control de Variables	Control del flujo de aire (Damper), control de velocidad del tambor (RPM), control de nivel de llama/potencia del quemador, control de temperatura (grano y aire del tambor).
Compatibilidad Software	Compatible con software de terceros como Artisan y Cropster (para trazabilidad y perfilado).
Seguridad	Doble sistema de supresión de incendios (agua), manivela manual para el tambor en caso de apagón, válvula de seguridad en sistema de gas.
Extracción	Ciclón para la separación de la cascarilla (granza) y extracción de humos.
Características Adicionales	Alta aislación térmica, eficiencia energética, carga y descargas automáticas asistidas por aire, sistema de enfriamiento rápido.
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	Varía, aproximadamente 3,40 m x 1,80 m x 3,60 m

Característica	Detalle Típico
	

Ficha Técnica del Equipo: Descascarillador y Clasificador de Cacao

Nombre del Equipo	Descascarilladora y Clasificadora de Cacao
Modelo	**DCV 120** (Referencial)
Función Principal	Romper el grano de cacao tostado (o seco) y separar los nibs (trozos de cacao) de la cáscara/cascarilla por aspiración y tamizado.
Tipo de Operación	Automática, Carga y Descarga Continua
Capacidad Nominal de Producción	**120 kg/h** (Aproximada, puede variar según el grano)
Material de Construcción	Acero Inoxidable AISI 304 (partes en contacto con el alimento)
Sistema de Ruptura	Rodillos ranurados (ajustables)

Sistema de Separación	Ciclón o Sistema de Aspiración de Múltiples Etapas (Ajustable)
Sistema de Clasificación	Zarandas o tamices vibratorios intercambiables para clasificar nibs por tamaño
Porcentaje de Descascarillado	> 97% - 99% (Pureza del nib)
Porcentaje de Nibs en Cascarilla	< 1% (Pérdida mínima)
Potencia Total Requerida	Aproximadamente 3.1 kW (Variable según fabricante)
Tensión/Voltaje	Trifásico: 220V / 380V / 440V (Configurable según pedido)
Frecuencia	50-60 Hz
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	Aproximadamente 2.4 m x 1.1 m x 2.0 m (Variable)
	

Ficha técnica Molino de Nibs de Cacao

Campo	Especificación
Nombre del Equipo	Molino de Nibs de Cacao / Molino Coloidal / Molino de Discos
Modelo	**JMS-130** (Referencial) o similar
Función Principal	Moler o triturar los nibs de cacao tostados para convertirlos en **licor de cacao** (o masa de cacao) mediante fricción y cizallamiento.
Producto Final	Pasta o Licor de Cacao (pre-refinado)
Capacidad Nominal de Producción	**100 - 200 kg/h** (Depende de la finura deseada)
Mecanismo de Molienda	Molino Coloidal (Rotor y Estator) o Molino de Discos/Pines
Material de Construcción (Contacto)	Acero Inoxidable **AISI 304** o **316**
Material del Rotor/Estator	Acero Inoxidable endurecido (ej. AISI 420) o aleación resistente.
Potencia del Motor	Aproximadamente **7.5 kW** (o 10 HP)
Tensión/Voltaje	Trifásico: 380 V o 440 V(Configurable)
Velocidad de Rotación (Rotor)	2,900 - 3,000 r/min (Alta velocidad)
Finura de la Pasta (Salida)	100 - 500 micras (Típico para pre-refinado, ajustable)
Sistema de Refrigeración	Integrado (Camisa de agua fría) para controlar el calor por fricción.

Campo	Especificación
Control de Finura	Mecanismo de ajuste del espacio entre el rotor y el estator.
Alimentación	Tolva de recepción, a menudo con transportador de tornillo para alimentación constante.
Temperatura de Operación	El calor generado por fricción derrite la manteca de cacao, manteniendo la masa líquida para el flujo. (Monitoreo esencial).
Dimensiones Aproximadas (Largo x Ancho x Alto)	0.7 m x 0.43 m x 1.0 m (Compacto, variable)
Peso Aproximado	175 kg (Variable)
Uso Ideal	Pre-molienda del nib de cacao para reducir el tamaño de partícula antes de un molino de bolas o conchadora/refinadora final.
Mantenimiento	Desmontaje relativamente fácil para limpieza de la cámara de molienda.



Ficha Técnica del Equipo: Prensa Hidráulica Industrial de Cacao

Campo	Especificación
Nombre del Equipo	Prensa Hidráulica Industrial de Manteca de Cacao
Modelo	Prensa de Múltiples Cestas (Ej: 12-pots o 14-pots)
Función Principal	Extraer la **Manteca de Cacao** del licor de cacao a alta presión y separar el residuo sólido (torta de cacao).
Producto de Entrada	Licor de Cacao (pre-calentado a 90°C)
Productos de Salida	1. Manteca de Cacao (Líquida) y 2. Torta de Cacao (Sólida)
Capacidad de Lote (Batch) Total	165 - 220 kg de Licor de Cacao
Tipo de Prensa	Hidráulica (Vertical, Multi-cesta/Cámara)
Número de Cestas/Cámaras	12 a 14 (Común para este rango de capacidad)
Capacidad por Cesta (Límite Mínimo)	14 kg por cesta (para un total de 165 kg en 12 cestas)
Presión Hidráulica Máxima	450 - 550 bar (o 45 - 55 MPa)
Contenido de Grasa Residual en Torta	10% - 12% (Típico para torta de cacao)
Tiempo de Ciclo/Batch	25 - 40 minutos (Incluye llenado, prensado y descarga)
Capacidad Horaria Estimada	2 - 3 ciclos/h, resultando en 300 - 600 kg/h de licor procesado.
Material de Construcción	Acero de Alto Calibre y Acero Inoxidable AISI 304 (partes en contacto con el alimento).

Campo	Especificación
Sistema Hidráulico	Bomba hidráulica de alta presión y pistón central.
Potencia del Motor	7.5 -15 kW (Motor de la bomba hidráulica)
Tensión/Voltaje	Trifásico: 380 V / 440 V (Industrial)
Control	PLC (Controlador Lógico Programable) con pantalla táctil para automatización del ciclo, presión y temperatura.
Sistema de Calentamiento	Chaqueta o camisa calentadora (eléctrica o de agua) para mantener la temperatura del licor antes y durante el prensado.
Dimensiones (LxAxH)	Variable, 2.0 m x 1.5 m x 3.0 m
Peso Aproximado	3,000 kg o más (Máquina de servicio pesado)
Descarga	Torta de cacao sólida: Descarga automática por pistón (cae a un transportador). Manteca: Canal de recogida con filtrado.
	

Ficha Técnica del Equipo: Pulverizador Industrial de Torta de Cacao

Campo	Especificación
Nombre del Equipo	Pulverizador Industrial de Torta de Cacao / Molino Pulverizador
Modelo Típico	WKS-30 / LG-PG300 (referencia industrial)
Función Principal	Reducir la torta de cacao dura (residuo de la prensa) a **polvo fino** (cacao en polvo).
Producto de Entrada	Torta de Cacao Triturada o Trozos (10-12 mm)
Producto de Salida	Cacao en Polvo (Finura ajustable)
Capacidad Diaria Requerida	**738.32 kg/día**
Capacidad Horaria Nominal	**50 – 150 kg/h** (El rango permite cubrir la demanda de 92.29kg/h en 8 horas).
Rango de Capacidad del Equipo	30 - 800 kg/h (Ajustable según finura del tamiz/malla)
Principio de Funcionamiento	Impacto de alta velocidad (Martillos, Cuchillas o Discos Dentados) y cizallamiento.
Finura de Salida	Ajustable, típicamente **80 – 200** (malla) (Necesario para cacao en polvo).
Velocidad de Rotación	Alta, típicamente **3,400 - 5,800 RPM**
Sistema de Tamizado	Incorpora malla o utiliza separación por ciclón/viento para clasificar el tamaño de partícula.
Sistema de Recolección	Separador ciclónico y caja de recolección de polvo con filtro de pulso (para un proceso sin polvo).

Material de Construcción	**Acero Inoxidable AISI 304** (partes en contacto con el producto).
Potencia del Motor Principal	**7.5 - 15 kW** (Depende del rango de capacidad).
Tensión/Voltaje	Trifásico: 380 V/ 440 V (Industrial)
Ventajas Clave	Bajo aumento de temperatura durante la molienda (importante para materiales sensibles al calor/grasa como el cacao).
Dimensiones (LxAxH)	Variable 1.0 x 0.7 x 1.3 m para la unidad principal).
Peso Aproximado	300 - 1,500kg (Solo la unidad principal).
Mantenimiento	Cuchillas/martillos de aleación de acero, de larga duración y fácil reemplazo.



Ficha Técnica del Equipo: Conchador Industrial de Chocolate

Campo	Especificación
Nombre del Equipo	Conchador / Refinadora-Conchadora de Chocolate Industrial
Modelo Típico	CH-500 (referencia industrial para capacidad 500 kg)
Función Principal	Mezcla intensa y refinado final para desarrollar el sabor, reducir la acidez y eliminar la humedad residual en la pasta de cacao (licor).
Capacidad Diaria Requerida	**738.32 kg/día** (Aproximada)
Capacidad de Lote (Batch)	**500 kg** (Capacidad de trabajo nominal)
Tiempo de Procesamiento	**12 - 48 horas** (Variable, según el perfil de sabor deseado y el producto)
Capacidad de Proceso Total	500 kg por ciclo de conchado.
Tipo de Máquina	Tanque Horizontal con Agitador / Conchador de fricción
Principio de Funcionamiento	Fricción y cizallamiento de la masa de cacao para homogeneizar, reducir la humedad, volátiles, y desarrollar el sabor.
Temperatura de Operación	**50 C a 90 C** (Ajustable, controlada por camisa de calentamiento)
Refinación	Finaliza el proceso de reducción de partículas para obtener una finura de 18 - 25 micras.
Sistema de Agitación	Agitador de paletas o brazos de acero inoxidable de alta resistencia.
Material de Construcción	**Acero Inoxidable AISI 304 / 316** (Para las partes en contacto con el producto).

Campo	Especificación
Doble Camisa	Incluida, para calentamiento y/o enfriamiento por circulación de agua caliente o aceite térmico.
Potencia del Motor Principal	11- 22 kW
Sistema de Calentamiento	Eléctrico o a vapor/aceite térmico.
Panel de Control	Pantalla táctil HMI para control de temperatura, tiempo de conchado y velocidad de agitación.
Dimensiones (LxAxH)	Variable 2.5 x 1.5 x 1.8 m
Peso Aproximado	2,500- 4,000 kg



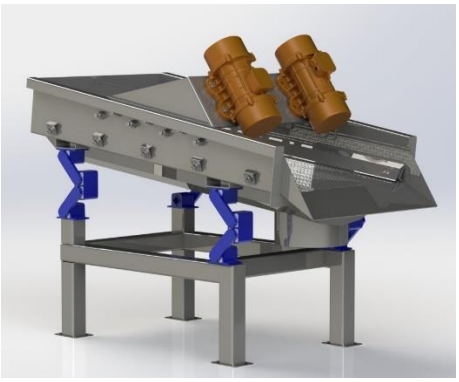
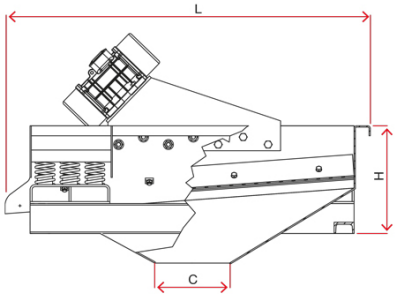
Ficha Técnica del Equipo: Tanque de Almacenamiento y Fusión de Licor de Cacao

Campo	Especificación
Nombre del Equipo	Tanque de Almacenamiento y Fusión (Holding Tank)
Aplicación Principal	Mantener el **licor de cacao** o **masa de chocolate** en estado líquido a una **temperatura constante** y **homogénea**, evitando la solidificación y la separación de fases.
Modelo Típico	QBJ500 o BWG500 (referencia industrial)
Capacidad Máxima (Volumen)	**500 L** ($0.5m^3$)
Capacidad de Carga (Peso de Licor)	515 kg (Depende de la densidad del licor de cacao)
Material de Construcción	Acero Inoxidable AISI 304 (en contacto con el producto). Opcionalmente AISI 316L.
Estructura	Doble camisa (Jacketed), cilíndrica y vertical, con aislamiento térmico exterior.
Agitador	Tipo Ancla, Marco o Paleta de Puerta de servicio pesado, montado en la parte superior.
Velocidad de Agitación	Baja, típicamente 22.5 – 40 RPM (para asegurar homogeneidad sin incorporar aire).
Dimensiones (Diámetro x Altura)	Variable, típicamente Ø1000 mm x 1380 mm (sin incluir motor y patas).
Peso Neto	260 - 500 kg
Salida del Producto	Válvula de bola o mariposa sanitaria de 2 pulgadas en la parte inferior o lateral.

Campo	Especificación
Funciones Adicionales	Degasificación, desodorización, deshidratación y prevención de la separación de la grasa.



Ficha técnica del equipo: Criba Vibradora

Característica	Detalle
Modelo (Ejemplo)	CV-738
Función principal	Clasificar y separar partículas sólidas por tamaño mediante vibración
Capacidad nominal de producción	800-1,200 kg/h
Tipo de operación	Carga continua
Material de construcción	Acero al carbono, cámara y mallas en acero inoxidable AISI 304
Sistema de ruptura	Motor vibrador con eje excéntrico y contrapesos
Sistema de separación	Tamizado por malla vibratoria, paso de producto por gravedad y filtrado por abertura de malla
Potencia Total Requerida	1.5 – 3.0 kW
Voltaje	380 V
Frecuencia	50 Hz
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	2.00 m x 1.20 m x 1.40 m
	

Ficha técnica del equipo: Moldeadora

Característica	Detalle
Modelo (Ejemplo)	MZ-738
Función principal	Formar por moldeo y expulsar una vez acabado el molde
Tipo de operación	Ciclo por minutos definidos
Capacidad nominal de producción	500 kg/h
Material de construcción	Estructura en acero al carbono, elementos de molde y partes en contacto, acero inoxidable AISI 304/316
Sistema de ruptura	Sistema de apertura/cierre y expulsión con cilindros neumáticos más sistema de expulsión mecánica
Sistema de separación	Expulsores y transportador de salida, estación neumática o vibrador para separar piezas
Sistema de clasificación	Transportador con sensores y sistema de rechazo, estaciones de inspección automática
Potencia Total Requerida	5 – 12 kW
Voltaje	380 V
Frecuencia	50 Hz
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	1.80 m x 1.20 m x 2.00 m

Característica	Detalle
	

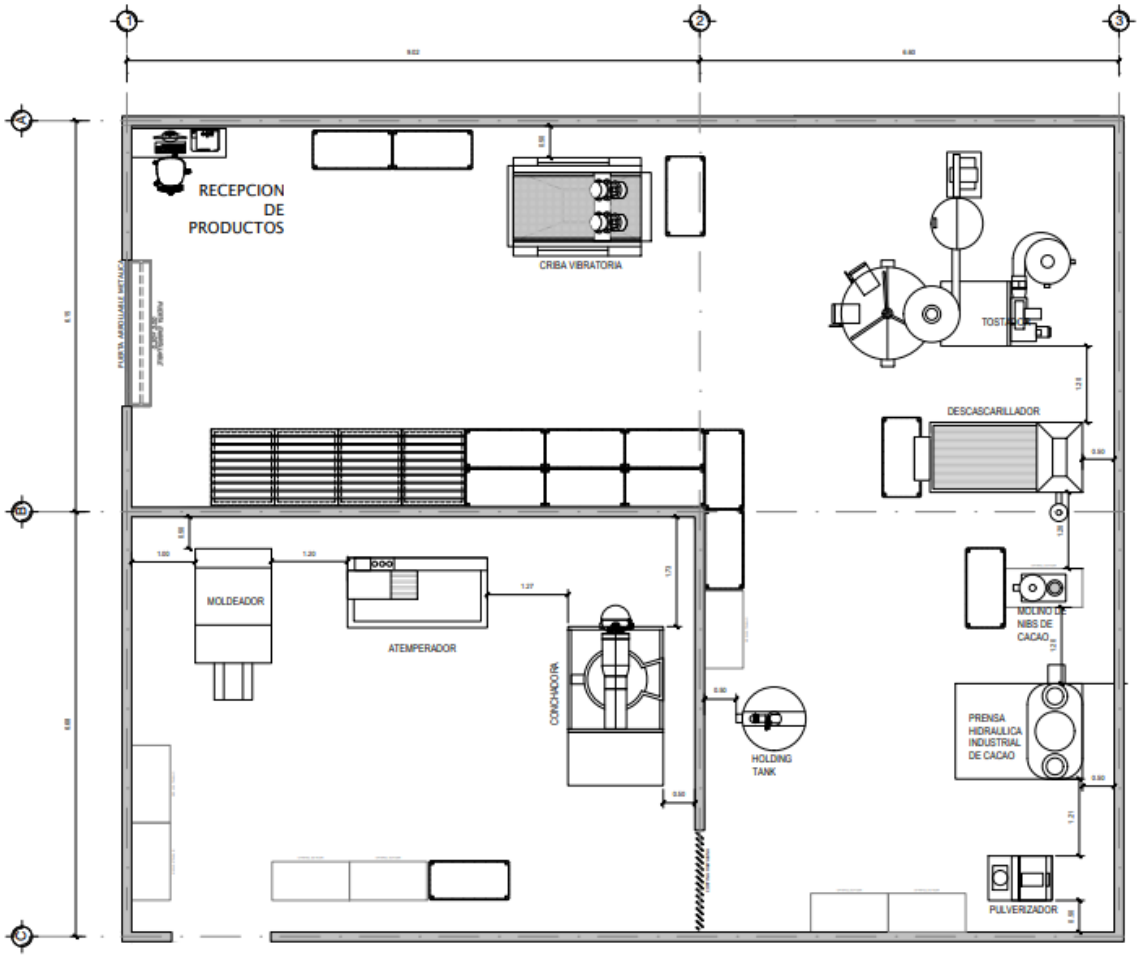
Ficha técnica del equipo: Atemperadora

Característica	Detalle
Modelo (Ejemplo)	AT-738
Función principal	Atemperado de chocolate, controlando de manera precisa las curvas de temperaturas para estabilizar los cristales de manteca de cacao y obtener un producto con brillo y textura fina
Capacidad nominal de producción	700 – 800 kg/h
Tipo de operación	Carga continua
Material de construcción	Cámaras y serpentines en acero inoxidable AISI 304. Estructura exterior en acero al carbono, aislante térmico en poliuretano
Sistema de clasificación	Control electrónico de temperatura por zonas con sensores que mantiene las curvas térmicas ideales según el tipo de chocolate.
Sistema de separación	Incorporado mediante bomba de recirculación y filtros finos
Potencia Total Requerida	8 - 12 kW
Voltaje	380 V
Frecuencia	50 Hz
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	2.20 m x 1.10 m x 1.70 m

Característica	Detalle
	

Anexos 10.5 Área de producción, planta procesadora de cacao

Ilustración 2: Área de producción, planta procesadora de cacao



PLANTA ARQUITECTONICA AREA DE PRODUCCION

Anexos 10.6 Algoritmo de Cálculo para Dimensionamiento de Equipos en Excel (Capacidad: 269.27 Toneladas/Año)

Celda	Descripción	Valor / Fórmula Excel	Unidad	Comentarios / Categoría
A1	SECCIÓN: DATOS DE ENTRADA Y SUPUESTOS GENERALES			
B2	Capacidad de Cacao en Grano (entrada anual)	269.27	ton/año	Cantidad de cacao fermentado y seco que entra a la planta.
B3	Días de Operación al Año	300	días/año	Permite mantenimiento, feriados.
B4	Horas de Operación Diaria	8	h/día	Horas efectivas de trabajo de la planta.
B5	Densidad Aparente Cacao Crudo	600	kg/m³	Densidad promedio del grano de cacao.
B6	Densidad Aparente Nibs	650	kg/m³	Densidad promedio de los nibs de cacao.
B7	Densidad Licor de Cacao	940	kg/m³	Densidad promedio del licor de cacao (pasta).
B8	Densidad Manteca de Cacao	900	kg/m³	Densidad promedio de la manteca de cacao.
A10	SECCIÓN: CONVERSIÓN DE CAPACIDAD			
B11	Capacidad Diaria de Cacao (entrada)	=B2*1000/B3	kg/día	
B12	Capacidad Horaria de Cacao (entrada)	=B11/B4	kg/h	
A14	SECCIÓN: COMPOSICIÓN DEL GRANO DE CACAO (ENTRADA)			

Celda	Descripción	Valor / Fórmula Excel	Unidad	Comentarios / Categoría
B15	Materia Seca (%)	81	%	
B16	Cascarilla (%)	12	%	
B17	Humedad Inicial (%)	7	%	
A19	SECCIÓN: BALANCES DE MATERIA Y FLUJOS GENERALES			
B20	Materia Seca en Entrada (kg/día)	=B11*B15/100	kg/día	
B21	Agua Inicial en Entrada (kg/día)	=B11*B17/100	kg/día	
B22	Cascarilla en Entrada (kg/día)	=B11*B16/100	kg/día	
A24	SECCIÓN: 3.1. PROCESO DE TOSTADO			
B25	Humedad Final Tostado Deseada (%)	2	%	Parámetro de calidad.
B26	Pérdidas Materia Seca Tostado (%)	1	%	Pérdidas por volatilización y Maillard.
B27	Tiempo de Ciclo Tostador (min/lote)	30	min/lote	Típico para tostadores pequeños.
B28	Materia Seca Tostado Final (kg/día)	=B20*(1-B26/100)	kg/día	Materia seca remanente.
B29	Agua Remanente Tostado (kg/día)	=B28*(B25/100) /(1-B25/100)	kg/día	Cálculo de agua en base a la materia seca final y humedad deseada.
B30	Agua Eliminada Tostado (kg/día)	=B21-B29	kg/día	
B31	Salida Cacao Tostado (kg/día)	=B28+B22+B29	kg/día	(Materia Seca Nibs Final + Cascarilla + Agua Final)
B32	Salida Cacao Tostado (kg/h)	=B31/B4	kg/h	
B33	Carga Másica Tostador (kg/lote)	=B12*(B27/60)	kg/lote	Capacidad horaria * (Tiempo de ciclo en horas).

Celda	Descripción	Valor / Fórmula Excel	Unidad	Comentarios / Categoría
B34	Número de Lotes/Día (Tostador)	=B11/B33	lotes/día	Número de lotes basados en entrada diaria.
B35	Volumen Tostador (m^3)	=B33/B5	m^3	Volumen necesario para un lote de cacao crudo.
B36	Volumen Tostador (L)	=B35*1000	L	
A38	SECCIÓN: 3.2. PROCESO DE DESCASCARILLADO			
B39	Eficiencia Remoción Cascarilla (%)	98	%	Porcentaje de cascarilla removida.
B40	Pérdidas Nibs en Cascarilla (%)	0.5	%	Nibs que se pierden con la cascarilla.
B41	Pérdidas Nibs por Trituración (%)	0.1	%	Nibs que se rompen excesivamente.
B42	Cascarilla Removida (kg/día)	=B22*(B39/100)	kg/día	
B43	Cascarilla Remanente en Nibs (kg/día)	=B22-B42	kg/día	
B44	Nibs Teóricos (Materia Seca + Agua Final Tostado) (kg/día)	=B28+B29	kg/día	Masa de los nibs si no hubiera pérdidas y separación perfecta.
B45	Pérdidas Nibs en Cascarilla (kg/día)	=B44*(B40/100)	kg/día	
B46	Pérdidas Nibs por Trituración (kg/día)	=B44*(B41/100)	kg/día	
B47	Salida Nibs Limpios (kg/día)	=B44-B45-B46	kg/día	
B48	Salida Nibs Limpios (kg/h)	=B47/B4	kg/h	
B49	Tasa de Descascarillado (%)	=(B47/B31) *100	%	Eficiencia de obtención de nibs limpios.

Celda	Descripción	Valor / Fórmula Excel	Unidad	Comentarios / Categoría
B50	Tasa de Trituración (%)	=(B46/B31) *100	%	Proporción de nibs rotos respecto al total tostado.
B51	Capacidad Descascarillador (kg/h)	=B32	kg/h	La capacidad del equipo debe ser al menos igual a la entrada de cacao tostado.
A53	SECCIÓN: 3.3. PROCESO DE MOLIENDA			
B54	Rendimiento Licor de Cacao (%)	99	%	Eficiencia de conversión de nibs a licor.
B55	Salida Licor de Cacao (kg/día)	=B47*(B54/100)	kg/día	
B56	Salida Licor de Cacao (kg/h)	=B55/B4	kg/h	
B57	Carga Másica Molino (kg/h)	=B48	kg/h	La capacidad del molino debe ser al menos igual a la salida de nibs limpios.
A59	SECCIÓN: 3.4. PROCESO DE PRENSADO			
B60	Contenido Grasa en Licor Cacao (%)	55	%	Porcentaje de grasa en el licor.
B61	Rendimiento Manteca de Cacao (%)	85	%	Eficiencia de extracción de grasa.
B62	Contenido Grasa en Torta Cacao (%)	10	%	Grasa remanente en la torta.
B63	Tiempo Ciclo Prensa (h/lote)	1.5	h/lote	Incluye carga, prensado, descarga.
B64	Grasa Total en Licor (kg/día)	=B55*(B60/100)	kg/día	

Celda	Descripción	Valor / Fórmula Excel	Unidad	Comentarios / Categoría
B65	Sólidos No Grasos en Licor (kg/día)	=B55-B64	kg/día	
B66	Producción Manteca de Cacao (kg/día)	=B64*(B61/100)	kg/día	
B67	Grasa Remanente en Torta (kg/día)	=B64-B66	kg/día	
B68	Producción Torta de Cacao (kg/día)	=B65+B67	kg/día	
B69	Producción Manteca de Cacao (kg/h)	=B66/B4	kg/h	
B70	Producción Torta de Cacao (kg/h)	=B68/B4	kg/h	
B71	Número de Lotes/Día (Prensa)	=B4/B63	lotes/día	Número de ciclos que la prensa puede hacer.
B72	Carga Másica Prensa (kg/lote)	=B55/B71	kg/lote	Cantidad de licor por ciclo de prensa.
A74	SECCIÓN: 3.5. DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO			
B75	Volumen Tanque Licor (kg) - Deseado	1000	kg	Cantidad de licor que se desea almacenar (ej. más de 1 día de producción)
B76	Volumen Tanque Manteca (kg) - Deseado	500	kg	Cantidad de manteca que se desea almacenar (ej. varios días de producción)
B77	Volumen Tanque Licor (m^3)	=B75/B7	m^3	
B78	Volumen Tanque Manteca (m^3)	=B76/B8	m^3	

Anexos10.7. Cálculos para determinar los requerimientos energéticos de los equipos para llevar a cabo el proceso de transformación del cacao. Para resolver el balance de energía del proceso tecnológico para la obtención de chocolate, seguiremos el flujo desde la recepción y limpieza hasta el empaque, utilizando 269.27 toneladas/año de cacao. A continuación, se presenta los cálculos que incluye el balance de energía y las variables de diseño de los equipos necesarios.

Suposiciones

- ✓ **Carga total de cacao:** 269.27 Ton/año (269,270 kg/año).
- ✓ **Rendimiento del proceso:**
  - Pasta de cacao: 50%
  - Manteca de cacao: 30%
  - Cacao en polvo: 20%
- ✓ **Energía requerida para el proceso:** Aproximadamente 300 BTU/kg de cacao.
- ✓ **Eficiencia del sistema:** 80%.
- ✓ **Potencia del gas butano:** 1,000 BTU/pie cúbico.
- ✓ **Densidad del gas butano:** 0.5 lb/pie cúbico.

1. Balance de Energía Total

Energía total requerida:

$$\text{Energía Total} = 269{,}270\text{kg} \times 300\text{BTU/kg} = 80{,}781{,}000\text{BTU}$$

Energía útil requerida considerando la eficiencia:

$$\text{Energía Útil} = 80{,}781{,}000\ \text{BTU}/0.80 = 100{,}976{,}250\ \text{BTU}$$

2. Desglose del Balance de Energía por Etapa

Recepción y Limpieza:

- Energía consumida para la limpieza y clasificación del cacao: 5% de la energía total.
- Energía utilizada:

$$\text{Energía Limpieza} = 0.05 \times 100{,}976{,}250 = 5{,}048{,}812.5\ \text{BTU}$$

Tostado:

- Energía consumida: 20% de la energía total.
- Energía utilizada:

$$\text{Energía Tostado} = 0.20 \times 100{,}976{,}250 = 20{,}195{,}250\ \text{BTU}$$

Descascarillado:

- Energía consumida: 5% de la energía total.
- Energía utilizada:

$$\text{Energía Descascarillado} = 0.05 \times 100{,}976{,}250 = 5{,}048{,}812.5\ \text{BTU}$$

Molienda:

- Energía consumida: 15% de la energía total.
- Energía utilizada:

$$\text{Energía Molienda} = 0.15 \times 100{,}976{,}250 = 15{,}146{,}437.5\ \text{BTU}$$

Prensado:

- Energía consumida: 10% de la energía total.
- Energía utilizada:

$$\text{Energía Prensado} = 0.10 \times 100{,}976{,}250 = 10{,}097{,}625\ \text{BTU}$$

Pulverización:

- Energía consumida: 10% de la energía total.
- Energía utilizada:

$$\text{Energía Pulverización} = 0.10 \times 100{,}976{,}250 = 10{,}097{,}625\ \text{BTU}$$

Conchado:

- Energía consumida: 15% de la energía total.
- Energía utilizada:

$$\text{Energía Conchado} = 0.15 \times 100{,}976{,}250 = 15{,}146{,}437.5\ \text{BTU}$$

Atemperado:

- Energía consumida: 5% de la energía total.
- Energía utilizada:

$$\text{Energía Atemperado} = 0.05 \times 100{,}976{,}250 = 5{,}048{,}812.5\ \text{BTU}$$

Moldeo:

- Energía consumida: 5% de la energía total.
- Energía utilizada:

$$\text{Energía Moldeo} = 0.05 \times 100{,}976{,}250 = 5{,}048{,}812.5\ \text{BTU}$$

Empaque:

- Energía consumida: 5% de la energía total.

- Energía utilizada:

$$\text{Energía Empaque} = 0.05 \times 100{,}976{,}250 = 5{,}048{,}812.5\ \text{BTU}$$

Variables de Diseño de Equipos

Diseño del Tostador:

- Capacidad del tostador para procesar 269,270 kg/año:

$$\text{Capacidad diaria} = 269{,}270\ \text{kg} / 365\ \text{días} \approx 738.32\ \text{kg/día}$$

Para calcular las variables de diseño de los equipos en el proceso de obtención de chocolate, tomaremos en cuenta los diferentes pasos del proceso: recepción y limpieza, tostado, descascarillado, molienda, prensado, pulverización, conchado, atemperado, moldeo y empaque. A continuación, se presentan las variables de diseño para cada uno de estos equipos.

1. Recepción y Limpieza

Diseño del equipo:

- Tipo: Transportador y limpiadora.
- Capacidad: Debe ser capaz de mover al menos 738.32 kg/día de cacao.
- Potencia requerida: Considerando un motor de 1 HP (745.7 W) como aproximación para equipos de limpieza.

2. Tostador

Diseño del tostador:

- **Capacidad:** 738.32 kg/día.
- **Energía requerida:** 20,195,250 BTU/día.
- **Tiempo de tostado:** Aproximadamente 30 minutos por carga.
- **Flujo de aire:** Debe ser capaz de mantener la temperatura adecuada (aprox. 120-150 °C).

2. **Variables de diseño:**

- **Área de transferencia de calor:** Dimensionar según la carga y la eficiencia térmica.
- **Material del equipo:** Acero inoxidable para resistir altas temperaturas y facilitar la limpieza.

3. Descascarillado

Diseño del descascarillador:

- **Capacidad:** 738.32 kg/día.

- **Energía requerida:** 5,048,812.5 BTU/día.

3. **Variables de diseño:**

- **Tamaño de las mallas:** Diseñadas para separar la cáscara de la nib.
- **Potencia del motor:** Aproximadamente 2 HP (1491 W).

4. Molienda

4. **Diseño del molino:**

- **Capacidad:** 738.32 kg/día.
- **Energía requerida:** 15,146,437.5 BTU/día.

Variables de diseño:

- **Tipo de molino:** Molino de discos o de rodillos.
- **Potencia del motor:** Aproximadamente 5 HP (3730 W).

5. Prensado

Diseño de la prensa:

- **Capacidad:** 738.32 kg/día.
- **Energía requerida:** 10,097,625 BTU/día.

Variables de diseño:

- **Tipo de prensa:** Prensa hidráulica.
- **Presión de operación:** Aproximadamente 3000 psi para extraer manteca de cacao.
- **Potencia del motor:** Aproximadamente 10 HP (7457 W).

6. Pulverización

Diseño del pulverizador:

- **Capacidad:** 738.32 kg/día.
- **Energía requerida:** 10,097,625 BTU/día.

Variables de diseño:

- **Tipo de pulverizador:** Molinos de martillos o de impacto.
- **Potencia del motor:** Aproximadamente 5 HP (3730 W).

7. Conchado

Diseño del conchador:

- **Capacidad:** 738.32 kg/día.

- **Energía requerida:** 15,146,437.5 BTU/día.

Variables de diseño:

- **Tiempo de conchado:** Aproximadamente 4-8 horas.
- **Potencia del motor:** Aproximadamente 5 HP (3730 W).

8. Atenuador

Diseño del atemperador:

- **Capacidad:** 738.32 kg/día.
- **Energía requerida:** 5,048,812.5 BTU/día.

Variables de diseño:

- **Tipo de atemperador:** Túneles o tanques.
- **Potencia del motor:** Aproximadamente 2 HP (1491 W).

9. Moldeo

Diseño del moldeador:

- **Capacidad:** 738.32 kg/día.
- **Energía requerida:** 5,048,812.5 BTU/día.

Variables de diseño:

- **Sistema de refrigeración:** Para solidificar el chocolate.
- **Potencia del motor:** Aproximadamente 2 HP (1491 W).

10. Empaque

Diseño del equipo de empaque:

- **Capacidad:** 738.32 kg/día.
- **Energía requerida:** 5,048,812.5 BTU/día.

Variables de diseño:

- **Tipo de empaque:** Automático o semiautomático.
- **Potencia del motor:** Aproximadamente 1 HP (745.7 W).

1. Recepción y Limpieza

5. **Capacidad del transportador y limpiadora:**

Capacidad=Carga anual / Días de operación anual

$$\text{Capacidad} = 269{,}270\ \text{kg/año} / 365\ \text{días} \approx 738.32\text{kg/día}$$

6. **Potencia requerida:**

Potencia necesaria para el motor(HP)≈1HP

2. Tostador

Energía requerida:

$$\text{Energia requerida} = \text{Carga} \times \text{Energia por kg} = 269{,}270\ \text{kg} \times 0.20\ \text{BTU/kg} = 20{,}195{,}250\ \text{BTU}$$

Capacidad del tostador

$$\text{Capacidad} = \text{Carga anual / dias de operación} = 269{,}270\ \text{kg/año}/365\ \text{días} \approx 738.32\ \text{kg/día}$$

3. Descascarillado

Energía requerida:

$$\text{Energia requerida} = 0.05 \times \text{Energia Total} = 0.05 \times 100{,}976{,}250 = 5{,}048{,}812.5\ \text{BTU}$$

Potencia del motor:

Potencia≈2HP

4. Molienda

Energía requerida:

$$\text{Energia requerida} = 0.15 \times \text{Energia Total} = 0.15 \times 100{,}976{,}250 = 15{,}146{,}437.5\ \text{BTU}$$

Potencia del motor:

Potencia≈5HP

5. Prensado

7. **Energía requerida:**

$$\text{Energia requerida} = 0.10 \times \text{Energia Total} = 0.10 \times 100{,}976{,}250 = 10{,}097{,}625\ \text{BTU}$$

Presión de operación:

Presión≈3000 psi

8. **Potencia del motor:**

Potencia≈10 HP

6. Pulverización

Energía requerida:

$$\text{Energia requerida} = 0.10 \times \text{Energia Total} = 0.10 \times 100{,}976{,}250 = 10{,}097{,}625\ \text{BTU}$$

Potencia del motor:

Potencia≈5HP

7. Conchado

Energía requerida:

$$\text{Energia requerida} = 0.15 \times \text{Energia Total} = 0.15 \times 100{,}976{,}250 = 15{,}146{,}437.5\ \text{BTU}$$

Potencia del motor:

Potencia≈5HP

8. Atenuador

Energía requerida:

$$\text{Energia requerida} = 0.05 \times \text{Energia Total} = 0.05 \times 100{,}976{,}250 = 5{,}048{,}812.5\ \text{BTU}$$

Potencia del motor:

Potencia≈2HP

9. Moldeo

Energía requerida:

$$\text{Energia requerida} = 0.05 \times \text{Energia Total} = 0.05 \times 100{,}976{,}250 = 5{,}048{,}812.5\ \text{BTU}$$

Potencia del motor:

Potencia≈2HP

10. Empaque

Energía requerida:

$$\text{Energia requerida} = 0.05 \times \text{EnergiaTotal} = 0.05 \times 100{,}976{,}250 = 5{,}048{,}812.5\ \text{BTU}$$

Potencia del motor:

Potencia≈1HP.