

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de una máquina de molienda de cacao para pequeños productores rurales
del Guayas

INGE-2403

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Anthony Roger Chiquito Espinoza

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico:

A Dios por darme la inteligencia necesaria para poder afrontar todas las materias en mi vida universitaria. Al Rey de reyes sea la gloria, honra por los siglos de los siglos amén.

A mis padres Pablo Chiquito y Lety Espinoza quienes siempre estuvieron conmigo desde el inicio hasta el final alentándome para cumplir mi objetivo de poder ser ingeniero mecánico.

A mi abuela Lorenza Perea y tía Mercedes Chiquito quienes me dieron su apoyo durante toda mi carrera estudiantil a pesar de la distancia.

A mi familia en general y también a los que no tuvieron fe de que algún día me iba a graduar.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a:

La ESPOL, sus docentes y toda la parte directiva que me ayudaron a mi formación como ingeniero con valores éticos, morales y científicos.

Al Taller J.C que me dio la oportunidad de trabajar y aprender a usar las herramientas y máquinas que me ayudarían en mi vida profesional.

Al CDTS de manera especial por brindarme conocimientos para emplearlos en el diseño del proyecto.

A mi tutor Miguel Quilambaqui por haberme aceptado en su proyecto y tener la disponibilidad necesaria para guiarme durante el proceso.

Finalmente, un agradecimiento especial a la Sra. Natividad Céleri y su esposo Pedro Vera, por abrirnos la puerta de su hogar y brindarnos la información requerida para llevar a cabo el proyecto.

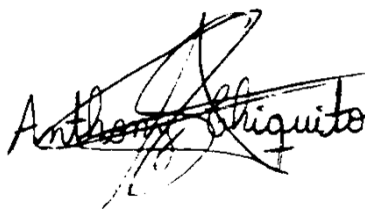
Declaración Expresa

Yo Anthony Roger Chiquito Espinoza acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 5 de febrero del 2023.



Anthony Chiquito Espinoza

Evaluadores

Miguel Quilambaqui Ph.D

Profesor de la Materia

Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto se enfoca en el diseño de una máquina de molienda de cacao para pequeños productores rurales en la provincia del Guayas, donde se incluye una introducción con objetivos, hipótesis y justificación. En el desarrollo, se describen materiales, equipos, técnicas y normas utilizadas, junto con la selección de componentes mediante una matriz de decisión. Los resultados abarcan cálculos de velocidad de 122 RPM y torque del disco 0.41 Nm, selección del motor eléctrico de potencia 0.5 Hp, y especificaciones de la transmisión banda-polea, así como el dimensionamiento y análisis de carga de los rodillos de trituración. Finalmente, se determinó la viabilidad estructural por medio del programa de simulación en SolidWorks y un análisis de costos detallado. Este proyecto ofrece una solución integral para mejorar la producción de cacao, destacando la importancia de la inversión en componentes clave.

Palabras clave: Cacao, Diseño de Molienda, Transmisión Banda-Polea, SolidWorks, Potencia, Eficiencia.

Abstract

This project focuses on the design of a cocoa grinding machine for small rural producers in the province of Guayas, which includes an introduction with objectives, hypotheses and justification. In development, materials, equipment, techniques and standards used are described, along with the selection of components through a decision matrix. The results cover speed calculations of 122 RPM and disc torque of 0.41 Nm, selection of the electric motor with a power of 0.5 Hp, and specifications of the belt-pulley transmission, as well as the sizing and load analysis of the crushing rollers. Finally, structural feasibility is determined through the simulation program in SolidWorks and a detailed cost analysis. This project offers a comprehensive solution to improve cocoa production, highlighting the importance of investment in key components.

Keywords: Cacao, Grinding Design, Belt-Pulley Transmission, SolidWorks, Power, Efficiency.

Índice general

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE PLANOS	XII
CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.5. EL CULTIVO DEL CACAO (<i>THEOBROMA CACAO</i>).....	5
1.6 ZONAS DE PRODUCCIÓN	6
1.7 PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL CACAO.....	11
1.8 PROCESAMIENTO DEL GRANO DEL CACAO	12
1.8.1 TIPOS DE MOLIENDA	13
1.8.2 TIPO DE PROCESAMIENTO	14
1.8.3 PRODUCTOS	16
1.8.4 CHOCOLATE.....	17
1.8.5 TECNOLOGÍA.....	19
1.8.6 VALOR AGREGADO	20
CAPÍTULO 2	23
2.1 CONSIDERACIONES MECÁNICAS	24
2.1.1 MATRIZ DE DECISIÓN	25
2.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	27

2.3 DISEÑO DE LA CÁMARA DE MOLIENDA	28
2.3.1 VELOCIDAD DE DISCO DEL MOLINO.....	29
2.3.2 TORQUE DEL DISCO.....	29
2.4 ELECCIÓN DEL EJE.....	31
2.4.1 DIÁMETRO MÍNIMO DEL EJE	32
2.4.2 GEOMETRÍA DEL EJE	32
2.4.3 FACTORES DE SEGURIDAD.....	33
2.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	33
2.5.1 PANDEO DE COLUMNA	34
2.5.2 ESFUERZO CRÍTICO PARA COLUMNAS.....	35
2.6 DISEÑO DE MOLIENDA.....	35
2.7 SELECCIÓN DE MATERIALES.....	36
2.8 DISEÑO DE BANDAS Y POLEAS.....	37
2.8.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN BANDA – POLEA	38
2.8.2 RELACIÓN DE POTENCIAS Y TORQUE.....	38
2.8.3 VELOCIDAD REQUERIDA	39
2.8.4 POTENCIA DEL DISEÑO.....	39
2.8.5 DISTANCIA ENTRE CENTROS.....	40
2.8.6 LONGITUD DE BANDA	40
2.8.7 POTENCIA NOMINAL.....	40
2.8.8 NÚMERO DE BANDAS	41
2.9 CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS EN EL DISEÑO	41
2.10 OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL DISEÑO	42
CAPÍTULO 3	44
3.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS	45
3.1.1 VELOCIDAD Y TORQUE DEL DISCO.....	45
3.1.2 TORQUE DEL DISCO.....	45
3.1.3 SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO	46
3.1.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN BANDA – POLEA	48
3.1.5 SELECCIÓN DE BANDA Y POLEA	49
3.1.6 CARGA CRÍTICA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL	53
3.1.7 DIMENSIONAMIENTO DE LOS RODILLOS DE TRITURACIÓN	54
3.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO DE MOLIENDA	59

3.3 COSTOS	61
3.3.1 ANÁLISIS DE COSTOS	63
CAPÍTULO 4	66
4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	70
APÉNDICES	74

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASTM American Society for Testing and Materials

NACE National Association of Corrosion Engineer

ISO Internacional Organization for Standardization

INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización

Simbología

mg	Miligramo
Vc	Velocidad crítica
T	Torque
n	Velocidad en rpm
g	Aceleración gravitacional
β	Ángulo de conicidad de discos
Preq	Potencia requerida motor
η	Eficiencia del mecanismo
\dot{m}	Flujo másico
ρ	Densidad de cacao
k	Constante de descarga
dp	Diámetro de almendra de cacao
σ_f	Esfuerzo admisible
mm	Milímetro
Vd	Velocidad de desplazamiento
P	Potencia de accionamiento
npp	Número de polos motor
Tm	Torque motriz
Pm	Potencia motriz
d	Diámetro polea conducida
D	Diámetro polea conductora
Pd	Potencia de diseño
C2	Factor de servicio
Ir	Relación de velocidad

wm	Velocidad angular motor
wc	Velocidad angular eje
Ld	Longitud de banda
CCp	Distancia entre centros
Pr	Potencia nominal de la banda
Pb	Potencia básica nominal
C1	Factor de corrección de la longitud de la banda
C3	Factor de corrección de arco de contacto
dmin	Diámetro mínimo de eje
FS	Factor de seguridad
Sy	Esfuerzo de fluencia
M	Momento
Ka	Factor de superficie
Kb	Factor de tamaño
Kc	Factor de confiabilidad
Kd	Factor de temperatura
Ke	Factor de cambio por concentración de esfuerzos
Kf	Factor de efectos varios
Se'	Límite de resistencia
Sut	Esfuerzo último
σ_{max}'	Esfuerzo máximo
Per	Carga crítica
E	Módulo de Young
Cmin	Carga dinámica mínima
Co	Carga de diseño

Ld	Vida nominal en revoluciones
F'	Cortante primario
m	metros
kW	kilo watts
Nm	Newtons metros
Pa	Pascales
MPa	Mega pascales
N	Newtons
Kgm ²	Kilogramos metros cuadrados
s	segundos
hz	Hertz
rpm	revoluciones por minutos
mm	milímetros

Índice de figuras

Figura 1: Distribución de cargas.....	56
Figura 2: Diagrama de fuerza cortante.....	57
Figura 3: Diagrama de momento flector.....	57
Figura 4: Simulación de eje realizada en SolidWorks.....	58

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de Decisión.....	26
Tabla 3. Potencias nominales de Bandas en V	76
Tabla 4. Factor de corrección.....	76
Tabla 5. Factor de corrección banda	77
Tabla 6. Factor de servicio.....	77
Tabla 7. parámetros de Banda.....	77
Tabla 8. Parámetros Kb.....	78
Tabla 9. Sección de banda	78

Índice de planos

PLANO 1 Molino Corona

PLANO 2 Molino Martillo

PLANO 3 Molino Cuchillas

Capítulo 1

1.1 Introducción

En 2022, la producción de cacao en Ecuador aumentó un 12%, alcanzando las 412.000 toneladas. Las exportaciones también crecieron un 11%, alcanzando las 415.000 toneladas.

Este crecimiento se debió a 2 factores principales:

- A una combinación de factores, entre los que se encuentran el aumento de la superficie cultivada, el mejoramiento de los rendimientos y el aumento de los precios internacionales.
- Como resultado de eso, el sector cacaotero ecuatoriano generó ingresos por USD 1.000 millones, beneficiando a cerca de 250.000 familias (Subgerencia de Análisis de Productos y Servicios, 2023).

El cacao es uno de los cultivos de importancia económica en el Ecuador, ya que de su producción y procesamiento dependen diversos aspectos críticos de la economía del país. Las exportaciones de cacao ecuatoriano a nivel internacional constituyen una fuente significativa de ingresos para el país, contribuyendo a la generación de divisas y al empleo de un gran número de personas en las zonas cacaoteras. Además, la producción y procesamiento del cacao también respaldan la industria de la fabricación de chocolate y productos relacionados, lo que agrega valor a la cadena de suministro y ofrece oportunidades adicionales para la creación de empleo y el crecimiento económico. Unos de las actividades que realizan con este producto, es su procesamiento para la obtención de diversos derivados como: el chocolate en sus diversas formas, como tabletas, bombones, trufas y otros productos de confitería. Este es quizás el producto más conocido y ampliamente consumido que se obtiene a partir del cacao. Además del chocolate, el cacao se procesa para producir cacao en polvo, que se utiliza en la elaboración de bebidas, pasteles, helados y otros productos de repostería. La manteca de cacao, una grasa vegetal extraída de los granos que es otro importante

derivado que se utiliza en la fabricación de chocolate, así como en productos de cuidado de la piel, cosméticos y productos farmacéuticos. Cada vez más existen una mayor demanda de los productos procesados tanto para mercado interno como para la exportación. A pesar de la creciente demanda mundial de productos a base de cacao de alta calidad, muchos pequeños productores rurales en esta región se enfrentan a desafíos significativos para llevar cabo procesos de molienda. Se estima que la contribución del cacao al PIB de Ecuador se encuentra en el rango del 2% al 3% (Banco Central del Ecuador, 2022). La falta de acceso a maquinaria adecuada y el uso de métodos tradicionales ineficientes a menudo resultan en una baja calidad del producto final y un rendimiento económico insuficiente para los agricultores.

La falta de acceso a tecnología y maquinaria moderna para el procesamiento y valor agregado del cacao puede ser un desafío significativo para los productores y la industria del cacao en muchos países. Esto puede tener un impacto en la calidad del producto final, la eficiencia de la producción y la capacidad de competir en el mercado global.

En muchos lugares, especialmente en regiones donde se cultiva cacao, los agricultores pueden carecer de acceso a maquinaria avanzada para la fermentación, secado, tostado y molienda del cacao. La falta de tecnología adecuada puede llevar a una calidad variable del cacao, lo que a su vez afecta la calidad del chocolate producido. Los granos de cacao mal procesados pueden tener sabores no deseados y afectar negativamente el producto final.

Por otro lado, en la industria del chocolate, la demanda y la oferta de diversas marcas de cacao en polvo y chocolate pueden variar considerablemente. Las marcas de chocolate de alta calidad suelen buscar cacao del mismo tipo que cumpla con estándares específicos de sabor y aroma. Todos conocemos que, si los productores de cacao en una región tienen dificultades para acceder a tecnología moderna para el procesamiento y la fermentación, es más probable que su cacao no cumpla con estos estándares exigentes (FONTAGRO, 2023).

Dada la situación actual, se presentó esta propuesta de proyecto, que tuvo como objetivo el de diseñar una máquina de molienda de cacao específicamente adaptada a las necesidades de los pequeños productores rurales del Guayas. La maquinaria propuesta busca brindar la tecnología para el adecuado procesamiento de las almendras de cacao, además de mejorar la calidad y la eficiencia del proceso de molienda, al tiempo que reduce la carga de trabajo manual, así como el tiempo de dedicación. Además, que les permite una mayor rentabilidad en la venta de sus cosechas procesadas.

1.2 Descripción del Problema

En muchas zonas rurales ecuatorianas dedicadas a la producción del cultivo de cacao, demandan de la transformación y valor agregado de sus cosechas para la obtención de varios subproductos como lo son el chocolate de alta calidad, las pastas hechas en base del producto principal, que pueden ser generados en la finca, del cual pueden obtener mejores condiciones y precio de la materia prima obtenida. Una de las dificultades es del desconocimiento técnico, así como el mantenimiento de los equipos necesarios para poder realizar ese proceso. Por tal motivo al disponer de diseño y construcción de una máquina, las personas podrán generar el debido valor agregado a sus cosechas, además de generar fuentes de trabajo y empleo, mejorando las condiciones de producción y emprendimiento en el sector rural.

1.3 Justificación del Problema

Este cultivo, tiene una importancia económica y social, además que sus cosechas pueden ser procesadas de forma primaria por el productor. En el cacao, se debe seleccionar las mazorcas que están listas para la cosechar, luego de extraer las almendras, se procede hacer las labores de fermentación y secado. Ahí muchas personas por diversos motivos venden, esa producción de forma primaria (cacao en baba) a los centros de acopio e intermediarios. Pero también hay demanda de productos ya elaborados y que pueden ser

procesados a nivel de finca, con el uso de máquinas de molienda, lo que les ayudaría potencialmente a los productores a tener varios canales de comercialización, garantizando una economía sostenible y circular en la zona, generando emprendimientos y empleos para el sector rural.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar una máquina de molienda para pequeños productores de cacao que se ajuste a las necesidades del sector rural.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar los parámetros necesarios para el diseño de la máquina de molienda.
2. Seleccionar todos los componentes mecánicos y eléctricos para el diseño y construcción de un prototipo de la máquina.
3. Establecer especificaciones técnicas para el funcionamiento del sistema de molienda.
4. Realizar el manual de mantenimiento de la máquina.
5. Realizar un análisis económico de los costos generales involucrados en el proyecto.

1.5. El cultivo del cacao (*Theobroma cacao*)

El cacao, conocido por su importancia histórica y su inconfundible sabor, es una planta originaria de las selvas tropicales de América. Su nombre científico, *Theobroma cacao*, que significa "alimento de los dioses", lo que refleja la veneración que tenían las antiguas civilizaciones mesoamericanas, como los Mayas y los Aztecas. A lo largo de los siglos, el cacao ha evolucionado, desde ser una bebida amarga y sagrada en las civilizaciones precolombinas hasta convertirse en uno de los productos más amados y consumidos en todo el mundo: el chocolate. El cacao es una planta que produce mazorcas con semillas de cacao,

que son los más preciados granos utilizados para elaborar el chocolate. A lo largo de la historia, los europeos jugaron un papel crucial al llevar el cacao a Europa y adaptarlo a las preferencias locales. El chocolate se convirtió en un manjar de lujo que se disfrutaba tanto en bebida como en forma de tabletas sólidas (Moyota, 2016).

1.6 zonas de producción

El continente africano, sobresale como el epicentro de la producción mundial de cacao, y esto se debe a una combinación de factores significativos. En primer lugar, la región goza de un clima propicio para el cultivo del cacao, con temperaturas consistentes que van desde los 18°C a 32°C (64°F a 90°F) y lluvias adecuadas en muchas áreas, lo que favorece el desarrollo de los cacaoteros. Además, la amplia extensión de tierras dedicadas al cultivo de cacao en países africanos contribuye en gran medida a su posición dominante (Moyota, 2016). La tradición y la experiencia en la producción de cacao son un elemento crucial. Muchos agricultores africanos han cultivado cacao durante generaciones, lo que les brinda un profundo conocimiento de las prácticas agrícolas óptimas y la selección de variedades de cacao adecuadas. Esta herencia de conocimiento se ha transmitido a lo largo de los años y ha contribuido a la calidad y la consistencia del cacao africano. Además de la abundante mano de obra disponible en la región también, ha constituido un factor importante.

Los pequeños productores rurales y las comunidades agrícolas de esa zona participan activamente en la cosecha y el procesamiento del cacao. Esto les permite una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta a las demandas del mercado. Además, las inversiones en la cadena de suministro, como la infraestructura de transporte y el procesamiento local, han fortalecido la posición de África en la industria del cacao. En este sentido, Costa de Marfil y Ghana, han desarrollado instalaciones de procesamiento de cacao de clase mundial que les permiten exportar productos semielaborados, como manteca de cacao y pasta de

cacao, en lugar de granos sin procesar. Desde una perspectiva amplia, la producción es un pilar esencial de la economía y la actividad humana en su conjunto, lo que representa el proceso de crear bienes y servicios aprovechando diversos recursos, que pueden incluir mano de obra, materias primas, tecnología y capital. Esta función productiva es fundamental para satisfacer las necesidades y deseos de la sociedad y para impulsar el crecimiento económico. En resumen, la producción es un motor vital en la maquinaria de la sociedad, permitiendo la generación de riqueza y progreso. La diversidad en los tipos de fabricación ¿Se adapta a diferentes contextos y necesidades? La elaboración artesanal, por ejemplo, se enfoca en la atención meticulosa a la calidad y la personalización de productos, ideal para objetos únicos y especiales. Por otro lado, la producción en un mayor volumen se destaca por la fabricación eficiente de grandes cantidades de productos idénticos, utilizando maquinaria y procesos automatizados. Mientras tanto, la producción por objetivos se aplica a proyectos específicos que pueden variar considerablemente en su alcance y requerimientos. La producción a pedido, por su parte, permite fabricar productos según la demanda, lo que reduce el desperdicio y la acumulación de inventario. Cada uno de estos enfoques de manufactura tiene su lugar y propósito en el mundo económico.

Entonces, los productores son los actores clave en el proceso de fabricación de los productos- Pueden variar en su función y alcance. Ellos se dedican a cultivar y criar animales para abastecer de alimentos. Los productores industriales operan fábricas y plantas industriales, generando bienes de consumo y bienes duraderos. En contraste, los productores de servicios ofrecen resultados tangibles, como servicios de consultoría, educación y atención médica. Los minoristas desempeñan un papel crucial al adquirir materia resultado de otros productores y ponerlos a disposición del público en tiendas físicas o en línea. Esta diversidad de actores contribuye a la variedad y disponibilidad de bienes y servicios en el mercado.

La ubicación de la producción es un aspecto importante en la economía y puede variar significativamente según factores como la disponibilidad de recursos, la infraestructura, el acceso a los mercados y las regulaciones gubernamentales. La producción puede ocurrir tanto en zonas rurales como urbanas, y la elección de la ubicación depende en gran medida de la industria y el tipo de producto. Las zonas de operación pueden ser centros industriales, regiones agrícolas o áreas metropolitanas, cada una con sus propias ventajas y desafíos en términos de producción.

La productividad juega un papel crucial en la eficiencia de la producción. Se refiere a la relación entre la producción y los recursos utilizados en el proceso. Una mayor productividad implica producir más bienes y servicios con la misma cantidad de recursos o incluso menos. La mejora de la productividad es un objetivo constante en la producción, ya que no solo permite un uso más eficiente de los recursos, sino que también contribuye al crecimiento económico y al aumento de la calidad de vida de la sociedad. Por tanto, la optimización de la misma es una prioridad en el mundo de la producción.

Otro aspecto relevante es la disponibilidad de variedades de cacao resistentes. Las investigaciones agrícolas han producido cepas de cacao más resistentes a enfermedades y plagas en la región, lo que ha mejorado la resiliencia de los cultivos y la calidad del cacao.

La producción de cacao es una parte vital de la economía de varios países tropicales, donde miles de agricultores cultivan y cosechan cacao para satisfacer la creciente demanda mundial de chocolate; sin embargo, la industria del cacao también ha enfrentado desafíos, como la explotación laboral y problemas medioambientales. En respuesta, han surgido iniciativas de comercio justo y sostenibilidad para abordar estos problemas y promover prácticas éticas en la cadena de suministro del cacao (Vega, 2017).

El cacao es una planta que presenta una asombrosa diversidad de materiales vegetativos, cada una con sus propias características, perfil de sabor y adaptación a diferentes

climas y regiones. En muchos casos, también llamadas "genotipos," han sido objeto de estudio e investigación a lo largo de la historia para comprender su diversidad genética y sus aplicaciones en la producción de chocolate. En los trópicos, donde el cacao se cultiva principalmente, se encuentran variedades, como el criollo, el forastero y el trinitario. El cacao criollo es conocido por su suave sabor y aroma, mientras que el forastero es apreciado por su productividad, aunque a menudo se le atribuye un sabor menos refinado. El trinitario, por su parte, es una variedad que combina características de criollo y forastero (Ver ilustración 1).

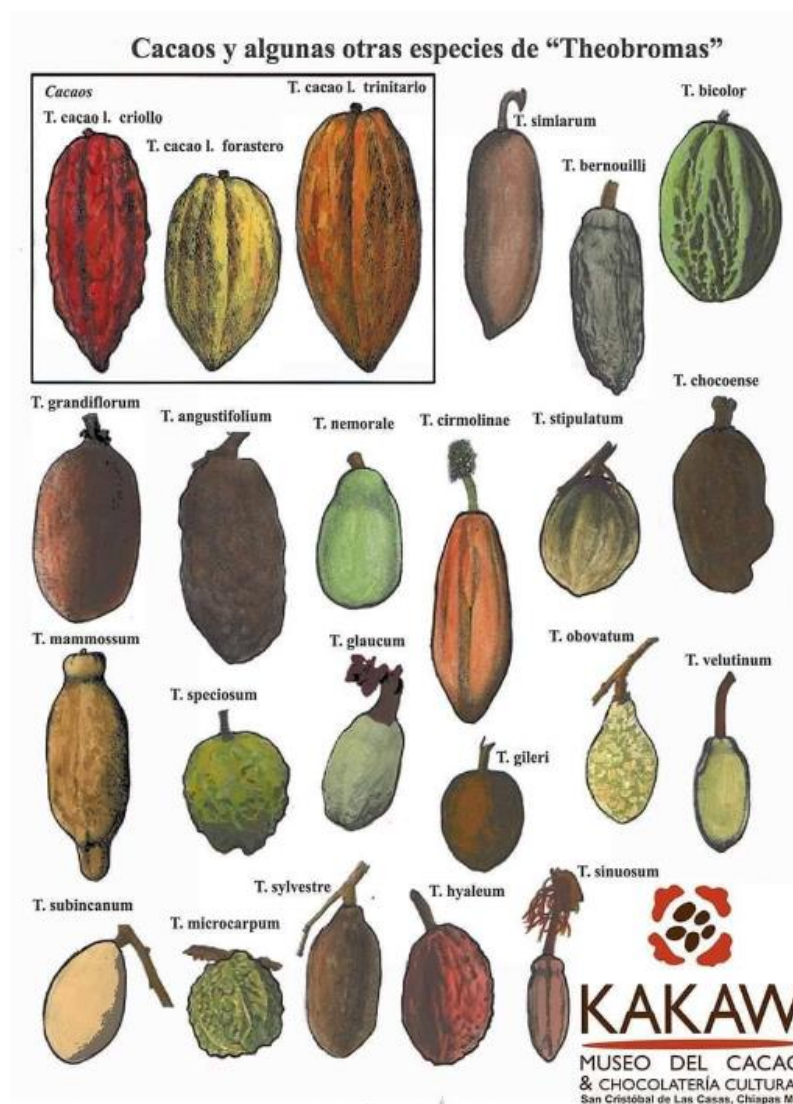


Ilustración 1. Tipos de cacao - KAKAW (Museo del cacao y chocolatería cultural)

La diversidad genética del cacao no solo influye en el sabor, sino también en su resistencia a enfermedades y plagas, así como en su adaptabilidad a diferentes condiciones

climáticas. Esto es particularmente importante dado el creciente interés en el cultivo sostenible de cacao y la necesidad de abordar los desafíos que enfrenta la industria, como la roya y la moniliasis. La investigación y la conservación de las variedades de cacao son fundamentales para garantizar la sostenibilidad de la producción de cacao y la diversidad del chocolate. Los programas de mejoramiento genético buscan desarrollar variedades de cacao más resistentes y de mejor sabor, lo que puede contribuir a la calidad y la competitividad de la industria chocolatera. Además, la preservación de las variedades autóctonas es esencial para mantener la biodiversidad y proteger el patrimonio genético del cacao, lo que podría ser fundamental en el futuro para enfrentar los desafíos del cambio climático y las enfermedades que afectan a este cultivo (Sandoval & Merchán, 2020).

El Ecuador, situado en la región ecuatorial de América del Sur, ostenta un lugar destacado en el mundo del cacao. Nuestro país es conocido por su rica tradición cacaotera, que se remonta a tiempos precolombinos, cuando las civilizaciones indígenas ya cultivaban cacao. Actualmente, somos uno de los principales productores y exportadores de cacao de calidad superior, lo que le ha valido la reputación de ser uno de los mejores productores de cacao fino y de aroma en el mundo. En el nuestro país se cultiva principalmente en las regiones de la Costa, la Sierra y la Amazonía. Cada una de estas regiones ofrece condiciones climáticas y geográficas únicas que influyen en las variedades y características de los granos de cacao. La variedad "Arriba Nacional" es especialmente apreciada por su sabor y aroma distintivos y es típica de la región de la Costa.

El cultivo, se ha caracterizado por su diversidad genética, ya que poseemos una gran cantidad de variedades de cacao, muchas de las cuales son únicas y autóctonas. Además, que las producciones, se basan en prácticas de agricultura sostenible y agroecología, lo que contribuye a la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad en las fincas cacaoteras. La cadena de valor del cacao en Ecuador se extiende desde los pequeños productores, a

menudo agricultores familiares, hasta las empresas de chocolate que elaboran productos de alta calidad destinados al mercado nacional e internacional. Por este motivo, el cacao ecuatoriano es apreciado por su diversidad de sabores, que van desde notas frutales y florales hasta matices terrosos y a nueces. En los últimos años, ha ganado notoriedad a nivel global, gracias a su calidad y sostenibilidad. Las cooperativas y organizaciones de productores han desempeñado un papel crucial en la promoción del comercio justo y en la mejora de las condiciones de vida de los agricultores de cacao. Además, se han establecido alianzas con chocolateras internacionales que buscan fuentes sostenibles de alta calidad (Juliani, 2022).

1.7 Producción y Comercialización del Cacao

La producción y comercialización del cacao representa una estructura fundamental de la economía y la cultura del país. Ya que somos conocidos por ser uno de los principales productores de cacao fino y de aroma en el mundo, el mismo que puede ser producido en las regiones como la Costa, la Sierra y la Amazonía. Los agricultores, en su mayoría pequeños productores, siembran y cuidan los árboles de cacao, influenciados por condiciones climáticas únicas que otorgan a los granos características singulares.

Una vez cosechados, los granos de cacao ecuatoriano son comercializados en la cadena de valor, donde las cooperativas y empresas de exportación juegan un papel crucial. El país enfrenta desafíos en términos de estabilidad de precios y comercio internacional, pero su compromiso con la calidad y la sostenibilidad ha llevado a alianzas con chocolateras internacionales en busca de cacao de alta calidad.

El procesamiento de cacao también es una parte integral de la cadena de valor. Los granos se fermentan, secan y tuestan, y se convierten en productos de cacao y chocolate que se distribuyen a nivel nacional e internacional. La diversidad de sabores y variedades de cacao ecuatoriano contribuye a su reputación como productor de cacao de alta calidad.

La sostenibilidad y el comercio justo son prioridades en la industria cacaotera ecuatoriana, y diversas iniciativas se han establecido para mejorar las condiciones de los agricultores y promover prácticas agrícolas sostenibles. La producción y comercialización del cacao en Ecuador no solo tienen un impacto económico significativo, sino que también representan un patrimonio cultural y un compromiso con la sostenibilidad en una de las industrias más apreciadas del país (Vassallo, 2015).

1.8 Procesamiento del grano del Cacao

El procesamiento del grano del cacao es una parte fundamental en la producción de cacao y chocolate. Este proceso implica varias etapas que transforman las almendras en cacao en polvo, manteca de cacao y otros productos derivados. A continuación, se describen las principales etapas del procesamiento del grano de cacao:

- **Recolección y Fermentación:** El proceso comienza con la cosecha de las mazorcas de cacao. Las almendras de cacao están rodeadas por una pulpa dulce y mucilaginosa. Después de la cosecha, ellas son abiertas con una herramienta y las almendras se extraen junto con la pulpa. Luego se colocan en recipientes y algunas veces sacos, para fermentar durante cuatro días o más. Durante este proceso, desarrollan su sabor y aroma característicos.
- **Secado:** Después de la fermentación, las semillas de cacao se extienden al sol en tendales o se secan de forma artificial con secadoras mecánicas con el fin de reducir su contenido de humedad. Esto evita que las mismas se deterioren y se contaminen con la presencia de hongos (mohos) y dañen la cosecha.
- **Tostado:** Las semillas de cacao secas se tuestan para desarrollar aún más sus sabores y eliminar la humedad residual. El tostado también ayuda a desprender las cáscaras de estas.

- **Descascarillado y Ventilación:** Después del tostado, las semillas de cacao se rompen y se separan de las cáscaras externas en un proceso conocido como descascarillado. Esto da como resultado los fragmentos de cacaos conocidos como "nibs". Los nibs se ventilan para eliminar cualquier cáscara residual.
- **Molienda:** Los nibs de cacao se muelen en pasta de cacao, que es una mezcla espesa y densa de partículas de cacao y manteca de cacao. Esta pasta se utiliza como base para la fabricación de chocolate.
- **Conching:** La pasta de cacao se somete a un proceso de conchado, que implica mezclar y calentar la pasta a temperaturas controladas. Este proceso ayuda a suavizar y refinar aún más la textura del chocolate y desarrollar su sabor (Moré, Fanlo, Melero, & Cristóbal, 2015).

1.8.1 Tipos de molienda

La molienda del cacao es un proceso importante en la producción de chocolate y otros productos de cacao. Dependiendo de la finura y textura que se desee obtener en la pasta de cacao, se pueden utilizar diferentes tipos de molienda. Aquí se presenta los tipos de molienda comunes utilizados en la industria del cacao:

1. **Molienda Gruesa:** En este método, las semillas de cacao se muelen en partículas más grandes, lo que resulta en una pasta de cacao con una textura gruesa. Esta pasta se puede utilizar como base para la producción de chocolate con trozos o para darle textura a ciertos productos de confitería. La molienda gruesa suele requerir menos tiempo de procesamiento y es menos intensiva en términos de energía.
2. **Molienda Fina:** La molienda fina implica un proceso más prolongado en el que las semillas de cacao se muelen en partículas más pequeñas. Esto permite una pasta de cacao más suave y sedosa, ideal para la producción de chocolate con una textura

suave y cremosa. Es fundamental para el chocolate de calidad premium, ya que permite una mejor dispersión de la manteca de cacao en el chocolate.

3. Molienda Extrafina: Este método es aún más refinado y produce una pasta de cacao extremadamente suave extrafina típica en la fabricación de chocolate de alta gama y se utiliza en productos de chocolate con una textura excepcionalmente fina y sedosa, como el chocolate negro de alta calidad.
4. Molienda Conchado: Aunque técnicamente no es una etapa de molienda en sí, el conchado se refiere al proceso de mezclar y calentar la pasta de cacao de manera controlada para mejorar su textura y sabor. El conchado puede llevarse a cabo en etapas tempranas o tardías del procesamiento, y es esencial para lograr un chocolate de calidad superior.

La elección del tipo de molienda depende del producto de cacao que se está produciendo y de los objetivos específicos en términos de textura y sabor. La duración y la intensidad del proceso de molienda también pueden variar según el tipo de chocolate que se desee obtener. La molienda es una de las etapas clave en la transformación de las semillas de cacao en productos de chocolate y, junto con otras etapas de procesamiento, influye en la calidad final del producto (Choco Museo, 2020).

1.8.2 Tipo de procesamiento

El procesamiento del cacao implica diversas etapas que transforman las semillas de cacao en productos finales como chocolate, manteca de cacao, cacao en polvo y otros derivados. Aquí se presentan algunos de los tipos de procesamiento comunes en la industria del cacao:

1. Procesamiento del cacao en grano: Este proceso se enfoca en la transformación de las semillas de cacao crudo en productos semiacabados, como los nibs de cacao, que son fragmentos de cacao sin cáscara. Incluye las etapas de recolección, fermentación, secado,

tostado, descascarillado y molienda. Los nibs de cacao pueden ser el punto de partida para la producción de chocolate y otros productos de cacao (CEDEÑO & JIMÉNEZ, 2015).

2. Procesamiento de la manteca de cacao: La manteca de cacao es una grasa comestible extraída de las semillas de cacao. Se separa de los nibs de cacao y se purifica mediante procesos de prensado y filtrado. La manteca de cacao se utiliza en la fabricación de chocolate, productos de confitería y productos de cuidado de la piel (Valbuena, 2017).
3. Procesamiento de cacao en polvo: El cacao en polvo se obtiene mediante la extracción de la grasa de los nibs de cacao y luego moliendo el sólido restante en polvo. El cacao en polvo se utiliza en la fabricación de bebidas de cacao, productos de panadería y repostería, y como ingrediente en diversos alimentos y bebidas.
4. Elaboración del chocolate: Este proceso implica la mezcla de los nibs de cacao molido con otros ingredientes, como azúcar y leche en el caso del chocolate con leche, o simplemente azúcar en el caso del chocolate negro. La mezcla se refina, se somete a conchado para mejorar la textura y el sabor, y luego se moldea y enfría para obtener productos de chocolate como tabletas, bombones o coberturas de chocolate.
5. Procesamiento de chocolate blanco: El chocolate blanco se elabora a partir de la manteca de cacao, el azúcar y la leche en polvo. No contiene sólidos de cacao, ya que no se utilizan los nibs de cacao. El proceso de producción incluye la fusión de la manteca de cacao, la incorporación de azúcar y leche en polvo, la conchado y el moldeo.
6. Procesamiento de productos de cacao adicionales: Además de los productos básicos como chocolate, manteca de cacao y cacao en polvo, el cacao se utiliza en la producción de una variedad de productos, como trufas de chocolate, crema de cacao, cacao en polvo aromatizado y más (Alvarez, 2014).

1.8.3 Productos

El procesamiento del cacao da lugar a una amplia variedad de productos derivados, cada uno con sus propias aplicaciones y características específicas. Aquí se presentan algunos de los productos más comunes relacionados con el cacao:

- **Chocolate:** El chocolate es el producto más conocido y ampliamente consumido derivado del cacao, que es elaborado en diversas formas, incluyendo chocolate negro, chocolate con leche y chocolate blanco. Además, el chocolate puede contener ingredientes adicionales como nueces, frutas, especias y otros sabores.
- **Manteca de cacao:** La manteca de cacao es la grasa extraída de las semillas de cacao y se utiliza en la fabricación de productos de chocolate, productos de confitería y productos de cuidado de la piel, como lociones y bálsamos labiales.
- **Cacao en polvo:** El cacao en polvo se obtiene al prensar la grasa de los nibs de cacao y luego moliendo el sólido restante. Se utiliza para hacer bebidas de cacao, productos de panadería y repostería, y como ingrediente en productos culinarios.
- **Nibs de cacao:** Los nibs de cacao son fragmentos de cacao sin cáscara ni grasa. Se utilizan como ingredientes en productos de confitería, cereales, yogur y como coberturas en postres y helados.
- **Cacao en pasta o masa de cacao:** La pasta de cacao es el resultado de moler los nibs de cacao. Se utiliza en la elaboración de chocolate y se mezcla con otros ingredientes como azúcar, leche en polvo y emulsionantes para crear la masa de chocolate.
- **Productos de cacao para bebidas calientes:** Estos productos incluyen mezclas de cacao en polvo, como el cacao en polvo para chocolate caliente. También se utilizan para hacer bebidas de cacao, que pueden ser simples o enriquecidas con sabores como vainilla o canela.

- Productos de repostería y panadería: El cacao en polvo y los nibs de cacao se utilizan en una variedad de productos de repostería y panadería, como pasteles, brownies, galletas, muffins y panes de cacao.
- Cacao aromatizado: El cacao en polvo puede ser aromatizado con ingredientes como vainilla, canela, chile y otros sabores para dar lugar a cacao en polvo aromatizado. Este tipo de cacao se utiliza en recetas específicas y bebidas de cacao.
- Cremas de cacao: Las cremas de cacao son productos untables que combinan cacao con ingredientes como azúcar y aceite de palma. Son populares como adiciones a tostadas y crepes, y se utilizan en la elaboración de postres y pasteles.
- Trufas de chocolate: Las trufas de chocolate son pequeñas bolas o conos de chocolate suave y cremoso, a menudo aromatizadas o cubiertas con cacao en polvo, nueces o frutas secas.
- Productos de cacao Funcionales: En los últimos años, ha habido un crecimiento en la producción de productos de cacao que se promocionan por sus beneficios para la salud, como el chocolate negro rico en cacao, que se considera una fuente de antioxidantes (Andino Payero, 2017).

1.8.4 Chocolate

El chocolate es uno de los productos más apreciados y consumidos en todo el mundo, derivado del cacao. Existen diferentes tipos y variedades de chocolate, cada uno con características específicas en términos de sabor, textura y uso. Aquí se detallan algunas de las variedades más comunes de chocolate:

1. Chocolate negro (chocolate amargo): El chocolate negro contiene una alta proporción de sólidos de cacao y un menor contenido de azúcar en comparación con otras variedades de chocolate. Puede variar en intensidad, desde el chocolate negro suave hasta el chocolate negro extra amargo. El chocolate negro es conocido por su sabor profundo y rico y a

menudo se aprecia por su complejidad de sabores. Se utiliza en tabletas de chocolate, para cocinar, en repostería y como cobertura para postres.

2. Chocolate con leche: El chocolate con leche contiene leche en polvo, además de sólidos de cacao y azúcar. Es más suave y dulce en comparación con el chocolate negro, lo que lo hace popular entre un público más amplio. El chocolate con leche es ampliamente utilizado en tabletas de chocolate, en productos de confitería, en huevos de Pascua y en postres.
3. Chocolate blanco: El chocolate blanco no contiene sólidos de cacao, pero está hecho principalmente de manteca de cacao, azúcar y leche en polvo. Tiene un sabor más suave y cremoso y es utilizado en repostería y en la elaboración de productos de confitería. A menudo se mezcla con sabores como vainilla y frutas secas.
4. Chocolate Ruby: El chocolate Ruby es una variedad relativamente nueva que se obtiene de granos de cacao Ruby, que tienen un color naturalmente rosado. Este chocolate tiene un sabor afrutado y ligeramente ácido, sin la adición de sabores artificiales.
5. Chocolate para cocinar y cobertura: Además de las tabletas de chocolate, existen variedades de chocolate específicamente diseñadas para cocinar y cobertura. Estos chocolates suelen contener una mayor proporción de manteca de cacao para facilitar su derretimiento y aplicación en diversas preparaciones culinarias.
6. Chocolate para bebidas calientes: El cacao en polvo es un ingrediente clave en la preparación de bebidas calientes de chocolate, que puede ser endulzado o no y puede contener sabores adicionales como canela o vainilla.
7. Chocolate de origen único: Algunos fabricantes producen chocolate de origen único, lo que significa que proviene de un solo lugar o región de cultivo de cacao. Estos chocolates a menudo destacan los sabores únicos y las características del cacao de esa región específica.

8. Chocolate Funcional: En los últimos años, ha habido un aumento en la producción de chocolate que se promociona por sus beneficios para la salud. El chocolate negro, en particular, se ha asociado con antioxidantes y se ha promovido como una opción más saludable.
9. El chocolate es un alimento versátil que se consume en numerosas formas, desde tabletas sólidas hasta productos de confitería, bebidas calientes y postres. La variedad de sabores y usos del chocolate lo hace apreciado en todo el mundo, y es un ingrediente esencial en muchas cocinas y tradiciones culinarias (Valenzuela B., 2017).

1.8.5 Tecnología

La tecnología ha revolucionado por completo la industria del cacao y el chocolate, desempeñando un papel esencial en todas las etapas de la cadena de producción. Desde la recolección de los granos de cacao en las plantaciones hasta la elaboración de los productos finales que disfrutamos, la tecnología ha impulsado avances significativos. En la etapa de procesamiento, la maquinaria moderna, como las máquinas de fermentación controlada, secadoras de cacao y tostadoras de alta precisión, ha permitido un procesamiento más eficiente, garantizando la calidad del cacao. La automatización y el control de calidad son fundamentales para mantener la consistencia y la excelencia del producto, con sistemas de control que supervisan y ajustan los parámetros críticos, como temperatura y humedad, en tiempo real.

La tecnología también ha transformado la fase de conchado, donde la pasta de cacao se mezcla y calienta para refinarla. Las máquinas de conchado modernas permiten un control preciso de la temperatura y el tiempo, lo que influye directamente en la textura y el sabor distintivos del chocolate. Además, en la etapa de moldeo y enfriamiento, la tecnología automatizada crea productos de chocolate con formas y tamaños consistentes, asegurando su presentación visual y su calidad.

En el proceso de empaque, tecnologías avanzadas como el envasado al vacío y el envasado con atmósfera modificada prolongan la vida útil del chocolate, manteniendo su frescura. Además, la gestión de la cadena de suministro se ha beneficiado enormemente de la tecnología, permitiendo la trazabilidad completa de los granos de cacao desde el productor hasta el consumidor final, lo que es esencial para garantizar la calidad y la sostenibilidad.

El marketing y la comunicación con los consumidores también han sido transformados por la tecnología digital. Las redes sociales, las tiendas en línea y las aplicaciones móviles se han convertido en herramientas comunes para promocionar productos de chocolate y llegar a una audiencia global.

Las investigaciones, el desarrollo de nuevos productos y las nuevas formulaciones de chocolate, se han visto impulsados por la tecnología, utilizando herramientas de laboratorio y análisis avanzados. Y en el frente de la sostenibilidad, los procesos se emplean para monitorear y mejorar las prácticas agrícolas sostenibles y para evaluar los impactos ambientales de la producción de cacao (Ramírez, 202).

1.8.6 Valor agregado

El valor agregado en la industria del cacao y el chocolate es fundamental para diferenciar los productos, aumentar la calidad y satisfacer las demandas de los consumidores. Este valor adicional puede manifestarse de diversas formas, y su incorporación es esencial para elevar la calidad y el atractivo de los productos de cacao en el mercado.

Una estrategia común para agregar valor es la selección de granos de cacao de alta calidad. La elección de granos premium, preferiblemente de origen único o con perfiles de sabor únicos, es una manera de garantizar que los productos de cacao tengan características distintivas y atraigan a consumidores que buscan experiencias de chocolate excepcionales. La procedencia de los granos de cacao, conocida como "chocolate de origen", permite a los

consumidores conocer el lugar de cultivo de los granos y les brinda una sensación de autenticidad y trazabilidad que agrega un valor significativo.

Otra forma de agregar valor es a través de la producción de chocolate orgánico. Los productos de cacao orgánico cumplen con rigurosos estándares de cultivo y procesamiento respetuosos con el medio ambiente. Esto incluye prácticas agrícolas sostenibles y la ausencia de pesticidas o fertilizantes químicos, lo que no solo satisface la creciente demanda de productos más saludables y sostenibles, sino que también agrega un valor ético al producto.

En la misma línea de la ética, la producción de chocolate de comercio justo es una estrategia que agrega valor al garantizar condiciones de trabajo justas y salarios dignos para los agricultores de cacao. Los consumidores están dispuestos a pagar más por productos que promueven la justicia social y la sostenibilidad, lo que les brinda una sensación de contribución a causas importantes.

El chocolate artesanal es otra forma de agregar valor. La producción artesanal se centra en métodos tradicionales y cuidadosos, a menudo utilizando ingredientes de alta calidad y técnicas de producción especializadas. Esto crea un valor adicional en términos de autenticidad y sabor, atrayendo a consumidores que buscan experiencias únicas.

La innovación en sabores y formas es otra estrategia que agrega valor. La introducción de sabores inusuales, como chocolate con especias, chocolate con infusión de té o productos con formas creativas, puede diferenciar un producto y atraer a un público más amplio.

Además, el empaque juega un papel importante en la percepción del valor. Un empaque atractivo y premium que refleja la calidad y la historia detrás del producto puede aportar valor al captar la atención y el interés de los consumidores.

En la actualidad, la personalización es una tendencia en alza en la industria del chocolate. La posibilidad de ofrecer productos personalizados, como tabletas de chocolate con el nombre del

consumidor o mensajes personalizados, agrega un valor significativo al proporcionar una experiencia individualizada.

Finalmente, la incorporación de ingredientes funcionales, como antioxidantes, frutas secas o ingredientes nutricionales, puede agregar valor al chocolate, ya que los consumidores buscan productos que ofrezcan beneficios adicionales para la salud (Parra, 2019).

Capítulo 2

2.1 Consideraciones Mecánicas

En el proceso de concepción de una máquina de molienda de cacao dirigida a pequeños productores rurales en la provincia del Guayas, las consideraciones mecánicas se tornan elementales para forjar un dispositivo eficiente, robusto y sostenible. La selección detallista de materiales adquiere un rol preeminente en este contexto. Es esencial optar por materiales que no solo posean robustez y durabilidad, sino que además sean capaces de resistir las tensiones y desgastes intrínsecos al proceso de molienda del cacao. La literatura especializada en diseño de maquinaria aporta una base sólida para comprender los principios detrás de esta elección, asegurando la idoneidad de los materiales en condiciones específicas de operación (Anchundia, 2018).

En el ámbito del diseño estructural, la robustez y la capacidad para gestionar cargas y vibraciones surgen como factores cruciales que determinan la eficacia a largo plazo del equipo. La aplicación de teorías de diseño estructural sólidas, respaldadas por la experiencia en ingeniería mecánica, constituye una garantía para la creación de una máquina resistente y duradera, capaz de soportar las condiciones de trabajo rigurosas en entornos rurales. La integridad estructural, por ende, se convierte en una piedra angular para el rendimiento y la vida útil de la maquinaria.

La ergonomía, como tercer elemento fundamental, se erige como una dimensión esencial para asegurar la usabilidad y eficacia de la máquina, especialmente en comunidades donde la variabilidad de experiencia técnica es una constante. La incorporación de principios ergonómicos en el diseño garantiza que la máquina sea fácilmente operada y mantenida por pequeños productores rurales, mejorando así su aceptación y utilidad en el entorno rural específico. Este enfoque, centrado en el usuario, no solo contribuye a la eficiencia de la operación, sino que también facilita la incorporación de la maquinaria en la rutina diaria de los agricultores.

Finalmente, la consideración de aspectos logísticos, como la accesibilidad a piezas de repuestos y la simplicidad en los procedimientos de limpieza, adquiere una relevancia crucial. La disponibilidad de repuestos y la facilidad de mantenimiento emergen como elementos que inciden directamente en la sostenibilidad a largo plazo de la maquinaria en comunidades rurales. Integrar estos aspectos en el diseño asegura que la máquina no solo sea eficiente en términos de rendimiento, sino también práctica y fácil de mantener, lo que es esencial para maximizar su utilidad y durabilidad en el contexto específico de los pequeños productores rurales (BELLOVÍ & CALLEJA, 2018).

De acuerdo con la información descrita anteriormente (Cap. 1) los tipos de molino de acuerdo con su función y propiedades, fueron analizados bajo la herramienta de la matriz de decisión, misma que nos permitirá bajo nuestro conocimiento ingenieril e investigación de la literatura definir cuál es la mejor opción bajo diferentes criterios de diseño.

2.1.1 Matriz de Decisión

		Criterios de diseño					Total
		Costo de diseño	Seguridad del diseño	Facilidad de mantenimiento	Amigable con el medio ambiente	Eficiencia	
Alternativas de solución (Diseño de Molienda)		20%	20%	20%	10%	30%	100%
1	Diseño de cuchillas y tornillo.	6	6	5	7	8	6,40
	Calificación	1,20	1,20	1,00	0,70	2,40	

2	Diseño de Bandas, Polea, Tornillo con Corona.	8	8	8	7	9	8,00
	Calificación	1,60	1,60	1,60	0,70	2,70	
3	Diseño de Molino de Martillos.	6	7	7	7	8	7,00
	Calificación	1,20	1,40	1,40	0,70	2,40	

Tabla 1. Matriz de Decisión

El diseño de cuchillas y tornillo se caracteriza por ser una alternativa de costos moderados, obteniendo una calificación de 6 en este aspecto. Este resultado sugiere que la fabricación y materiales asociados a este diseño pueden ser más asequibles en comparación con las otras alternativas. No obstante, su calificación en seguridad, facilidad de mantenimiento y amigabilidad con el medio ambiente es más modesta, indicando que puede existir espacio para mejoras en estos aspectos. La eficiencia, por otro lado, destaca con una calificación de 2.40, señalando que este diseño es eficaz en términos de velocidad y capacidad de molienda.

La opción de diseño de bandas, polea, tornillo con corona emerge como la alternativa más completa en la matriz, ya que obtiene calificaciones máximas en costo, seguridad y facilidad de mantenimiento, indicando que, a pesar de su probable mayor inversión inicial, este diseño se destaca en términos de seguridad operacional y facilidad para llevar a cabo mantenimientos regulares. Asimismo, su eficiencia sobresale con una calificación de 2.70, indicando un rendimiento excepcional en el proceso de molienda. Este diseño se presenta como una opción integral y eficiente, equilibrando diversos factores críticos.

La alternativa de diseño de molino de martillos presenta un perfil equilibrado, el cual obtuvo calificaciones moderadas en cuanto al costo, seguridad, facilidad de mantenimiento y eficiencia. Su calificación más baja se registra en amigabilidad con el medio ambiente, sugiriendo oportunidades de mejora en este aspecto. Aunque no sobresale en ningún criterio específico, su eficiencia de 2.40 indica que este diseño es capaz de proporcionar una molienda efectiva. Es una opción sólida para aplicaciones donde se valora un equilibrio entre costo y rendimiento.

En términos de costos, el diseño de bandas, polea, tornillo con corona puede requerir una inversión inicial mayor, pero su eficiencia y calificaciones en seguridad y mantenimiento lo colocan como la opción más completa y eficiente. El diseño de cuchillas y tornillo, aunque eficiente, requiere mejoras en seguridad y amigabilidad con el medio ambiente. Para el molino de martillos, por su parte, destaca por su equilibrio, siendo una opción viable para aquellos que buscan rendimiento balanceado sin comprometer aspectos críticos

2.2 Diseño del sistema de alimentación

En el desarrollo del diseño del sistema de alimentación para la máquina de molienda de cacao destinada a pequeños productores rurales en la provincia del Guayas, es crucial abordar con minuciosidad cada aspecto para asegurar un funcionamiento eficiente y práctico. El sistema de alimentación no solo influye en la productividad de la máquina, sino que también impacta en su facilidad de uso y mantenimiento.

Una consideración primordial es la selección del mecanismo de alimentación. La elección entre sistemas automáticos y manuales debe basarse en la capacidad técnica de los usuarios finales, en este caso, los pequeños productores rurales. Un diseño que permita una carga fácil y segura del cacao optimizará la eficiencia operativa y facilitará la integración de

la máquina en las prácticas diarias de los agricultores. (Rosales, Leverone, & Leverone, 2019).

La capacidad de adaptación del sistema de alimentación a diferentes tipos y tamaños de granos de cacao es otro aspecto crucial. Un diseño versátil que pueda procesar varias variedades de granos asegurará la utilidad de la máquina en diversos contextos de producción. La facilidad de ajuste y la capacidad para manejar variaciones en el tamaño y la textura del cacao son factores determinantes para la eficiencia del sistema de alimentación.

La implementación de tecnologías que minimicen el consumo energético, como sensores de carga o sistemas de alimentación de velocidad variable, no solo reducirá los costos operativos, sino que también mejorará la sostenibilidad del sistema, un aspecto relevante en entornos rurales.

La seguridad durante la operación es un criterio ineludible en el diseño del sistema de alimentación. La incorporación de mecanismos de detección de obstrucciones o de emergencia garantizará la protección tanto de la máquina como de los operadores. Integrar estas características de seguridad contribuirá a la aceptación y confianza en el uso de la máquina por parte de los pequeños productores (CEPAL, 2022).

2.3 Diseño de la cámara de Molienda

El diseño de la cámara de molienda es una fase crítica que determina directamente la eficiencia y calidad del proceso de molienda del cacao. Consideraciones fundamentales deben guiar este diseño para garantizar un rendimiento óptimo y adaptabilidad a las condiciones específicas de los usuarios finales.

La geometría de la cámara de molienda es un factor esencial. Un diseño que optimice la distribución y flujo de los granos de cacao asegurará una molienda uniforme y eficiente. La literatura especializada sobre la producción de cacao citado al final de párrafo, como en

procesos de molienda ofrece perspectivas valiosas sobre perfiles geométricos que promueven una distribución homogénea de partículas, garantizando así la calidad del producto final. La elección de los materiales para la cámara de molienda es igualmente crucial. La resistencia al desgaste y la corrosión son factores a considerar, ya que la cámara estará expuesta a condiciones rigurosas durante el proceso de molienda. La incorporación de materiales de alta durabilidad contribuirá a la longevidad y eficiencia del sistema (Guilcapi, 2018).

2.3.1 Velocidad de disco del molino

Para determinar la velocidad del disco del molino se considera la rotación bajo una velocidad crítica, tomando como referencia la siguiente expresión:

$$W_c = \frac{4,43}{\sqrt{D}} \quad (2.1)$$

Donde:

W_c Es la velocidad crítica en rad/s

D Es el diámetro interno del molino en m

2.3.2 Torque del disco

Así mismo para determinar el torque de giro mismo que alimentado por la banda y el motor establece un esfuerzo adicional con los granos de cacao, este cálculo se lo determina bajo la siguiente expresión:

$$T = \frac{\mu * \pi^2 * n * R^4 * g}{60 e \sin \beta} \quad (2.2)$$

T es el torque del disco en Nm.

μ Viscosidad del chocolate 0.5740 kg/ms.

n Velocidad en r.p.m.

R Radio del disco en metros.

g gravedad 9.81 m/s².

e es el espacio entre los discos en metros.

β ángulo de conicidad de los discos en grados.

La capacidad de ajuste de la cámara de molienda es otra característica significativa.

La posibilidad de modificar la finura de la molienda de acuerdo con las preferencias y requerimientos específicos de los productores proporcionará flexibilidad y versatilidad a la máquina. La implementación de sistemas de regulación accesibles y precisos facilitará la adaptación a diferentes tipos de granos de cacao y condiciones de producción.

La eficiencia energética debería estar en el núcleo del diseño de la cámara de molienda que va de la mano con la potencia del motor misma que trabaja bajo la velocidad angular del molino bajo un determinado torque para el funcionamiento correcto definido por la siguiente ecuación:

$$P_{req} = TW_g \quad (2.3)$$

Donde:

P_{req} es la potencia requerida en Watts.

T es el torque necesario para girar el disco motriz en Nm.

W_g es la velocidad angular de trabajo en rad/s.

La potencia real del motor se determina tomando en cuenta una eficiencia del mecanismo de transmisión del 80%.

$$P = \frac{P_{req}}{\eta} \quad (2.4)$$

Donde:

P es la potencia en Watts.

η es la eficiencia del mecanismo de transmisión 80%.

Además de los aspectos técnicos fundamentales, es crucial considerar la facilidad de mantenimiento en el diseño de la cámara de molienda. Un acceso conveniente a las partes

internas para limpieza y posibles reparaciones es esencial, especialmente en entornos donde los recursos y la experiencia técnica pueden ser limitados. La simplicidad en el desmontaje y montaje de la cámara facilitará la tarea de los usuarios finales, optimizando así la durabilidad y disponibilidad operativa de la máquina en el contexto rural.

Asimismo, la modularidad puede ser una característica valiosa en el diseño de la cámara de molienda. La capacidad de desmontar componentes específicos para su reemplazo o actualización facilitaría la adaptación a cambios en los requisitos de producción o avances tecnológicos futuros. Este enfoque modular no solo mejora la versatilidad de la máquina, sino que también prolonga su vida útil al permitir actualizaciones incrementales sin necesidad de reemplazar la unidad completa.

El diseño de la cámara de molienda debería contemplar la posibilidad de ajustes para diferentes niveles de humedad o variaciones en la calidad de los granos de cacao. Esto asegurará un rendimiento consistente y eficaz, incluso en condiciones variables, maximizando así la utilidad de la máquina en entornos rurales con características específicas (Montilla, 2019).

2.4 Elección del eje

En el proceso de diseño de la máquina, la elección adecuada del eje se convierte en un componente vital para garantizar la eficiencia, durabilidad y confiabilidad del equipo. Esta etapa del diseño involucra consideraciones técnicas específicas que impactan directamente en el rendimiento y la longevidad de la maquinaria.

La selección del eje, la elección del material y el diseño estructural impacta directamente en la resistencia y estabilidad del sistema. Los materiales de alta resistencia, como aleaciones de acero tratado térmicamente, son comúnmente utilizados para asegurar la

integridad estructural de los ejes. La geometría y el diseño de los ejes también deben considerarse para minimizar la deformación y vibraciones durante la operación, contribuyendo así a un funcionamiento más suave y eficiente de la máquina.

2.4.1 Diámetro mínimo del eje

Para el diámetro mínimo de eje se aplicó la teoría de la energía de distorsión. El diámetro mínimo de eje d_{min} está definido por la siguiente expresión

$$d_{min} = \left[\frac{32FS}{\pi S_y} * \left(M^2 + \frac{3T^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.5)$$

Donde:

d_{min} Es el diámetro mínimo del eje

Fs Es el factor de seguridad

S_y Es el esfuerzo de fluencia del material

M Es el momento máximo en Nm

T Es la torsión ejercida sobre el eje en Nm

2.4.2 Geometría del eje

El diseño preciso de la geometría del eje es crucial para garantizar el rendimiento y la durabilidad de la máquina moledora de cacao. Factores como la carga, la velocidad, la transmisión de potencia (motor) y las condiciones operativas influyen en la determinación de la geometría óptima del eje.

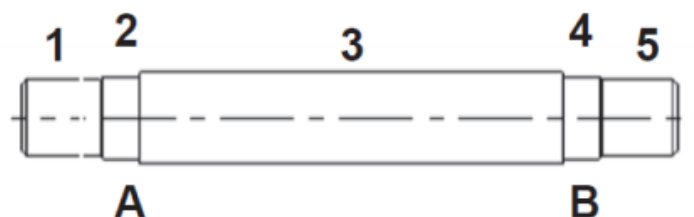


Ilustración 2. Geometría del eje

2.4.3 Factores de seguridad

El factor de seguridad real n está definido por la siguiente expresión:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}'} \quad (2.6)$$

S_y Es la Resistencia mecánica del acero.

σ_{max}' Es el esfuerzo máximo del eje.

La lubricación adecuada es otro aspecto crucial en el diseño. La elección de sistemas de lubricación eficientes, como la grasa o el aceite, y la implementación de mecanismos de monitoreo para asegurar una lubricación constante son esenciales para prevenir el desgaste prematuro y garantizar un funcionamiento sin problemas a lo largo del tiempo.

Además, la consideración de tolerancias y ajustes precisos en el diseño de rodamientos y ejes contribuye a la eficiencia general del sistema. Un diseño que minimiza la holgura y garantiza la alineación adecuada mejora la transmisión de fuerzas y reduce el desgaste, factores críticos para la operación eficiente y la vida útil prolongada de la maquinaria.

2.5 Diseño de la estructura

En el diseño de la estructura para la máquina de molienda de cacao destinada a pequeños productores rurales en la provincia del Guayas, se vislumbra una intersección crítica entre funcionalidad y estética. La estructura, como columna vertebral del dispositivo, exige un análisis minucioso de las cargas y tensiones a las que estará sometida durante el proceso de molienda. La selección juiciosa de materiales robustos y técnicas de ingeniería estructural precisa es imperativa para asegurar la resistencia y durabilidad necesarias en entornos agrícolas rigurosos.

Considerando cargas críticas y factores de seguridad se tiene las siguientes ecuaciones ideales para el cálculo de estas:

2.5.1 Pandeo de columna

Para analizar el pandeo de las columnas de nuestro soporte o mesa de carga se considera la carga crítica que está definida como:

$$P_{cr} = n_d P \quad (2.7)$$

Donde:

P_{cr} es la carga crítica en N.

P es la carga admisible en N.

n_d es el factor de diseño

El material de dicha estructura puede fallar debido a múltiples cargas, es por ello que se define la siguiente ecuación:

$$P_{cr} = \frac{C\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.8)$$

Donde:

C es la condición de extremos.

E es el módulo de Young del material en Pa.

I es el momento de inercia en kg m^2

L es la longitud de la columna en m

Una estructura diseñada con un enfoque modular ofrece la versatilidad necesaria para adaptarse a diversas configuraciones o cambios en los requisitos de producción. Esta flexibilidad no solo anticipa posibles actualizaciones futuras, sino que también facilita la personalización del equipo según las necesidades específicas de los pequeños productores, promoviendo así una solución más integral y adaptable.

2.5.2 Esfuerzo crítico para columnas

El esfuerzo crítico para las columnas se define como:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \quad (2.9)$$

Donde:

σ_{cr} es el esfuerzo crítico en N/m²

A es el área de la sección transversal del perfil en m²

La seguridad, inherente al diseño de la estructura, debe abordarse de manera integral. Incorporar mecanismos de protección para los operadores y sistemas de parada de emergencia son elementos cruciales para garantizar un entorno de trabajo seguro. La aplicación de normas y directrices de seguridad en el diseño contribuye a la prevención de riesgos y al cumplimiento de estándares de calidad (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020).

2.6 Diseño de molienda

El cacao es un cultivo importante en la provincia del Guayas, Ecuador. Sin embargo, los pequeños productores rurales que cultivan cacao enfrentan desafíos para procesar su cosecha. Las máquinas de molienda de cacao comerciales son costosas y difíciles de mantener para los pequeños productores. Por lo tanto, es necesario desarrollar una máquina de molienda de cacao que sea asequible y fácil de usar para los pequeños productores rurales.

El diseño de la máquina de molienda de cacao debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Costo: La máquina debe ser asequible para los pequeños productores.
- Facilidad de uso: La máquina debe ser fácil de usar y mantener para los pequeños productores.

- Productividad: La máquina debe ser capaz de procesar una cantidad significativa de cacao en un período de tiempo razonable.
- Eficiencia: La máquina debe ser eficiente en el uso de energía y recursos.

El diseño propuesto para la máquina de molienda de cacao consta de los siguientes componentes principales:

- Un sistema de alimentación: El sistema de alimentación donde se ubican los granos de cacao para su proceso.
- Un sistema de molienda: El sistema de molienda rompe los granos de cacao en una pasta.

El sistema de alimentación consiste en un tornillo sinfín que alimenta los granos de cacao a la máquina. El sistema de molienda consiste en un conjunto de corona dentada que trituran los granos de cacao. La máquina de molienda de cacao se opera mediante un motor eléctrico. El motor eléctrico acciona el tornillo sinfín y la corona dentada.

El desarrollo de una máquina de molienda de cacao asequible y fácil de usar para los pequeños productores rurales sería una contribución importante al desarrollo de la industria del cacao en la provincia del Guayas (Vera, 2016).

2.7 Selección de materiales

Diseñar una máquina de molienda de cacao es un desafío que implica una cuidadosa consideración en la elección de materiales. En primer lugar, la seguridad alimentaria es primordial, y los materiales seleccionados deben cumplir con estándares estrictos en términos de higiene y seguridad, ya que la maquinaria estará en contacto directo con alimentos. En este contexto, el acero inoxidable destaca como una elección excelente debido a su resistencia a la corrosión y su facilidad para mantenerse limpio, garantizando la pureza del cacao procesado.

Además de la seguridad, la durabilidad y resistencia mecánica son aspectos cruciales. Componentes esenciales como los discos de molienda y las cuchillas deben fabricarse con materiales capaces de soportar cargas repetitivas y la abrasión constante sin comprometer su rendimiento con el tiempo. Aquí, aleaciones de alta resistencia y cerámicas técnicas se perfilan como opciones viables, asegurando no solo una larga vida útil, sino también una molienda consistente y eficiente (AGELL, 2015).

La conductividad térmica de los materiales también es una consideración clave para evitar problemas de sobrecalentamiento durante el proceso de molienda. Materiales que disipen eficientemente el calor garantizan un rendimiento constante y evitan impactos negativos en la calidad del cacao. En este contexto, aleaciones con buenas propiedades de disipación térmica pueden ser fundamentales para mantener la temperatura bajo control durante la operación.

La facilidad de manufactura y el costo de los materiales son factores prácticos que también desempeñan un papel esencial en la selección. Encontrar un equilibrio entre la calidad de los materiales y su accesibilidad económica es crucial para la viabilidad del proyecto. La optimización de los procesos de producción y la elección de materiales que permitan una fabricación eficiente son consideraciones estratégicas para garantizar que la máquina de molienda de cacao sea tanto efectiva como económicamente sostenible. En resumen, la selección de materiales abarca una gama compleja de consideraciones, desde la seguridad alimentaria hasta la durabilidad y las propiedades térmicas, todas fundamentales para el éxito del diseño de la maquinaria (Camisón & Cruz, 2016).

2.8 Diseño de bandas y poleas

Diseñar un sistema de bandas y poleas para la molienda de cacao implica una cuidadosa consideración de varios factores clave. En primer lugar, es esencial determinar la

potencia requerida para la operación del molino, información que puede obtenerse de las especificaciones proporcionadas por el fabricante. Además, es crucial establecer la velocidad de operación deseada, un parámetro que influirá en la selección de las poleas y las bandas.

Una vez conocidos estos requisitos iniciales, el siguiente paso implica calcular la relación de transmisión necesaria para adaptar la velocidad del motor al molino. Posteriormente, se utilizan estos valores para determinar el diámetro de las poleas mediante una fórmula básica que relaciona la relación de transmisión con los diámetros de los extremos de las poleas.

Con la relación de transmisión establecida y los diámetros de las poleas definidos, se procede a la selección de las bandas. Es esencial elegir bandas que sean capaces de manejar la potencia y la velocidad del sistema, para lo cual se consultan las tablas de capacidad de carga y velocidad proporcionadas por los fabricantes de bandas.

2.8.1 Sistema de transmisión banda – polea

En primer lugar, se considera la velocidad de sincronismo misma que tiene relación directa con la frecuencia del motor al girar, esta se representa como:

$$n_v = \frac{60f_m}{n_{pp}} \quad (2.10)$$

Donde:

n_v Velocidad de sincronismo rpm.

f_m es la frecuencia de arreglo en el variador hz.

n_{pp} es el número par de polos.

2.8.2 Relación de potencias y torque

Se tiene la siguiente expresión que busca relacionar tanto el torque motriz como la potencia:

$$P_f = P_i \left(\frac{n_f}{n_i} \right)^3 \quad (2.11)$$

$$T_f = \frac{7162 * P_f}{n_f} \quad (2.12)$$

Donde:

T_f Torque final, es el torque en la salida del sistema.

P_f Potencia final, es la potencia en la salida del sistema.

P_i Potencia inicial, es la potencia en la entrada del sistema.

n_f Velocidad final, es la velocidad en la salida del sistema.

n_i Velocidad inicial, es la velocidad en la entrada del sistema

En todo el proceso de diseño, es fundamental verificar la compatibilidad entre las poleas seleccionadas y las bandas, garantizando que estén diseñadas para soportar la carga y la velocidad requeridas.

2.8.3 Velocidad requerida

Utilizando la ecuación de velocidad motriz y conductora tenemos:

$$Ir = \frac{W_m}{W_c} \quad (2.13)$$

Donde:

Ir es la relación de velocidad.

W_m es la velocidad angular del motor en rpm.

W_c es la velocidad angular del eje en rpm.

2.8.4 Potencia del diseño

Para la potencia del diseño se considera la siguiente ecuación:

$$P_d = PC_2 \quad (2.14)$$

Donde:

P_d es la Potencia de diseño.

P es la Tasa de potencia del motor.

C_2 es el Factor de servicio

2.8.5 Distancia entre centros

Distancia entre centros considerando máxima como mínima:

$$CC_p\text{mín} = 0,70(D + d) \quad (2.15)$$

$$CC_p\text{máx} = 2 (D + d) \quad (2.16)$$

$CC_p\text{mín}$ es la distancia mínima entre centros en mm.

$CC_p\text{máx}$ es la distancia máxima entre centros en mm.

2.8.6 Longitud de banda

Para la longitud de banda se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L_d = 2CC_p + 1,57(D + d) + \frac{(D - d)}{4CC_p} \quad (2.17)$$

L_d Longitud de la banda en mm.

CC_p Distancia preliminar elegida entre centros dado el rango en mm

2.8.7 Potencia nominal

La potencia nominal de la correa se refiere a la cantidad de potencia que la correa puede transmitir de manera efectiva en condiciones normales de funcionamiento. En el contexto de sistemas de transmisión de potencia, la potencia nominal de la correa es una especificación importante que indica la capacidad de la correa para transferir energía de manera eficiente sin exceder sus límites de diseño.

$$P_r = P_b * C_1 * C_3 \quad (2.18)$$

$$P_b = f1 + f2 \quad (2.19)$$

Donde:

P_r Potencia nominal de la banda en kW.

P_b Potencia básica nominal en kW.

C_1 Factor de corrección de la longitud de la banda.

C_3 Factor de corrección de arco de contacto.

f_1 y f_2 Factores de potencia básica y relacionada a la velocidad en kW

2.8.8 Número de bandas

El "número de bandas" se refiere a la cantidad de correas o cintas que se utilizan en una configuración específica de transmisión de potencia, como en un sistema de poleas y correas. Este parámetro es esencial para determinar la distribución y la carga entre las correas, ya que un mayor número de bandas puede proporcionar una distribución más equitativa de la carga y, por lo tanto, mejorar la eficiencia y la vida útil del sistema

$$N = \frac{P_d}{P_r} \quad (2.20)$$

Donde:

P_r Potencia nominal de la banda en kW.

P_d Potencia de diseño en kW

2.9 Consideraciones Ergonómicas en el diseño

Las consideraciones ergonómicas desempeñan un papel crucial en el diseño de una máquina de molienda de cacao, ya que afectan directamente a la comodidad y seguridad de quienes operan la maquinaria. Un diseño ergonómico no solo mejora la eficiencia laboral, sino que también contribuye a la salud y bienestar de los operadores.

En primer lugar, es esencial considerar la altura y disposición de los controles y componentes de la máquina. Ajustar la altura de las interfaces de usuario y ubicar los

controles de manera accesible evita la fatiga y reduce el riesgo de lesiones musculoesqueléticas en los operadores. Además, se debe tener en cuenta la visibilidad de los procesos de molienda para asegurar un monitoreo efectivo sin comprometer la postura del usuario.

La inclusión de superficies antideslizantes y mangos ergonómicos en la maquinaria contribuye a una operación segura y cómoda. Esto es especialmente relevante dado que el proceso de molienda puede generar vibraciones y movimientos bruscos. La reducción de estos impactos mediante el diseño de mangos ergonómicos ayuda a minimizar el estrés físico en los operadores y mejora la estabilidad durante la operación.

La facilidad de acceso para el mantenimiento también es una consideración ergonómica importante. El diseño de componentes que se pueden desmontar fácilmente y la disposición de puntos de acceso bien ubicados facilitan las tareas de mantenimiento, reduciendo el tiempo y esfuerzo requerido para realizar reparaciones o limpieza. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) , 2016).

Asimismo, se deben considerar las condiciones ambientales en las que la máquina será utilizada. El diseño de sistemas de ventilación efectivos y la implementación de medidas para controlar el ruido contribuyen al confort y seguridad de los operadores.

2.10 Optimización de la eficiencia del diseño

La optimización de la eficiencia en el diseño de una máquina de molienda de cacao destinada a pequeños productores rurales en la provincia del Guayas involucra una serie de consideraciones cruciales que se derivan de la información disponible. Examinando detenidamente este proceso, se pueden identificar diversos aspectos clave que contribuyen al mejoramiento integral de la maquinaria, garantizando su eficacia y relevancia para las comunidades agrícolas locales.

La eficiencia y la productividad se erigen como factores fundamentales en el diseño de estas máquinas. El diseño mencionado anteriormente no solo se enfocó en la mejora técnica del proceso de molienda, sino que también tuvo en cuenta el impacto directo en la economía de los agricultores. Al tecnificar la molienda, los productores pueden ofrecer productos de mayor calidad al mercado, fortaleciendo así su posición y generando un impacto positivo en sus ingresos.

En el ámbito de la selección de componentes, la importancia recae en la elección estratégica de elementos adecuados para garantizar la eficiencia operativa de la máquina. En el diseño mencionado, se optó por componentes normalizados, como poleas, bandas, motores eléctricos, variadores de frecuencia, resistencias eléctricas, chumaceras y pernos de sujeción, seleccionados a través de catálogos de distribuidores nacionales. Este enfoque contribuye a la estandarización y optimización del proceso de fabricación, asegurando la disponibilidad de componentes clave y simplificando la producción.

En lo que respecta a la energía, la fuente de alimentación del equipo de un motor trifásico es de 0,5 hp, y una resistencia eléctrica tubular de 1000 watts para eliminar el proceso de recirculación. A pesar del costo inicial elevado asociado al uso de un motor trifásico, se logra un ahorro de energía sustancial del 50% en comparación con un motor eléctrico monofásico. Esta consideración estratégica destaca la importancia de evaluar no solo los costos iniciales, sino también los beneficios a largo plazo en términos de eficiencia energética y sostenibilidad económica, consolidando así la viabilidad a largo plazo de la inversión en este tipo de maquinaria para pequeños productores (Abad, Acuña, & Naranjo, 2019).

Capítulo 3

3.1 Resultados y Análisis

3.1.1 Velocidad y Torque del disco

Para la velocidad del disco se consideró la ecuación:

$$W_c = \frac{4,43}{\sqrt{D}}$$

Donde:

$$W_c = \frac{4,43}{\sqrt{0,12[m]}} = 12,79 \frac{rad}{s}$$

$$W_c = 122 \text{ RPM}$$

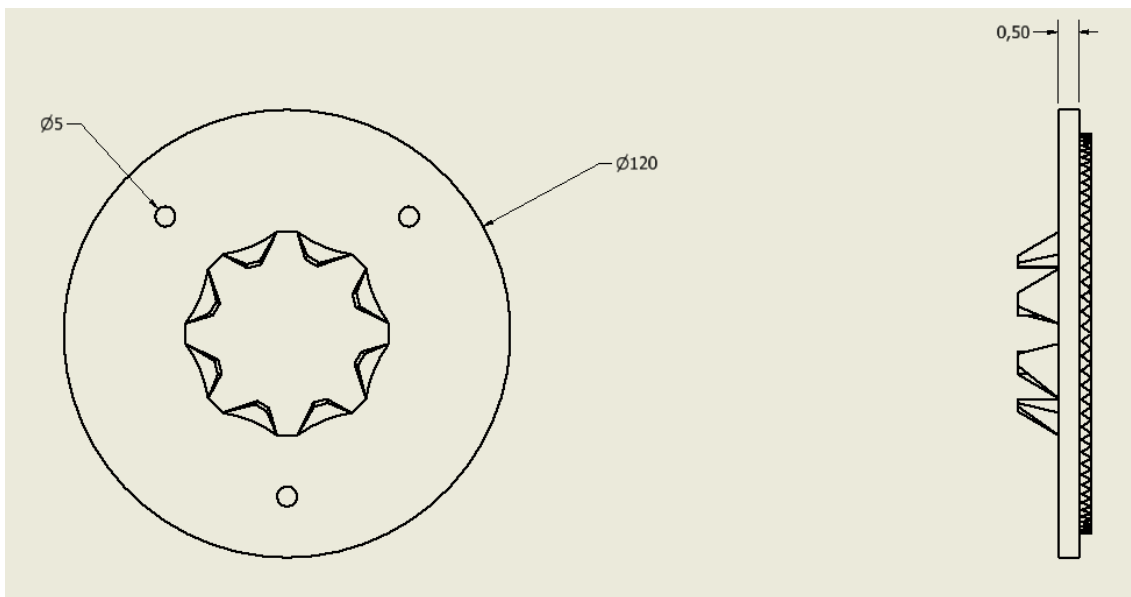


Ilustración 3. Disco del molino

3.1.2 Torque del disco

$$T = \frac{\mu * \pi^2 * n * R^4 * g}{60 e \sin \beta} \quad (2.2)$$

Donde se tienen los siguientes parámetros:

$$\mu = 0,574 \text{ kg/ms}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$e = 0,0005 \text{ m}$$

$$\beta = 90^\circ$$

$$R = 0,060$$

$$n = 122 \text{ rpm}$$

$$T = \frac{0,574 * \pi^2 * 122 * 0,060^4 * 9,81}{60 * 0,0005 * \sin 90} \quad (2.2)$$

$$T = 2,93 \text{ [Nm]}$$

$$T = 0,29 \text{ [Kgm]}$$

3.1.3 Selección del motor eléctrico

Para la selección del motor se propone un mecanismo de eficiencia suficiente para cumplir con las normas y requerimientos por parte del cliente por ello se trabaja con una eficiencia aproximadamente del 80% respecto a la transmisión para de esa manera obtener la potencia del motor real:

$$P = \frac{P_{req}}{\eta}$$

$$P = \frac{TW_g}{\eta} = \frac{2,10[\text{lb} * \text{ft}] * 122[\text{rpm}]}{0,80 * 716}$$

$$P = 0,447 \text{ hp}$$

$$P \approx 0,50 \text{ hp}$$

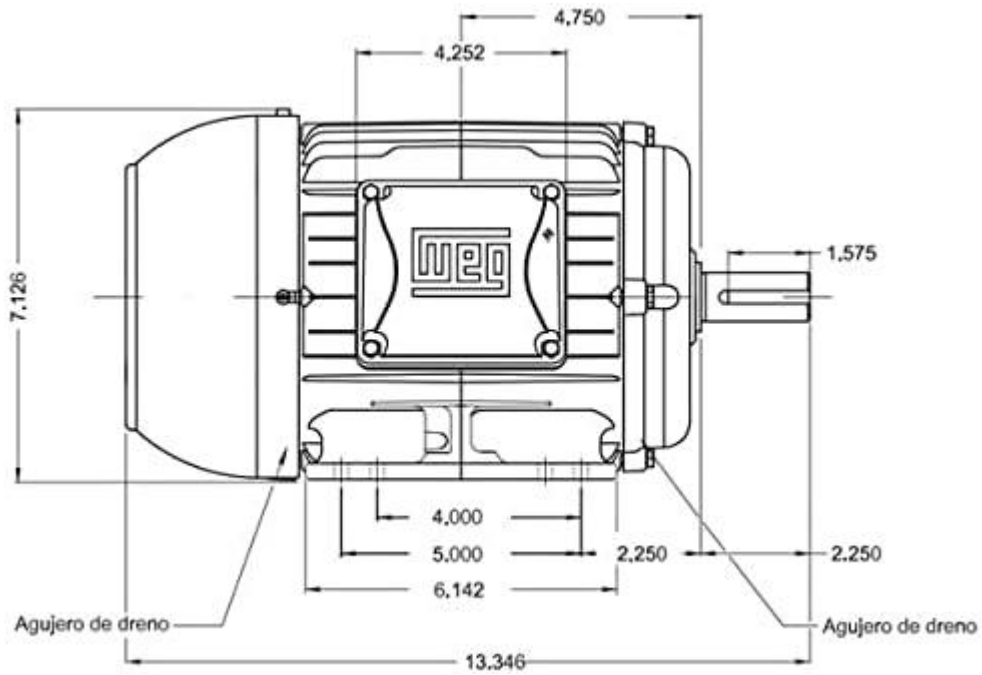


Figura 1. Dimensiones - Vista lateral

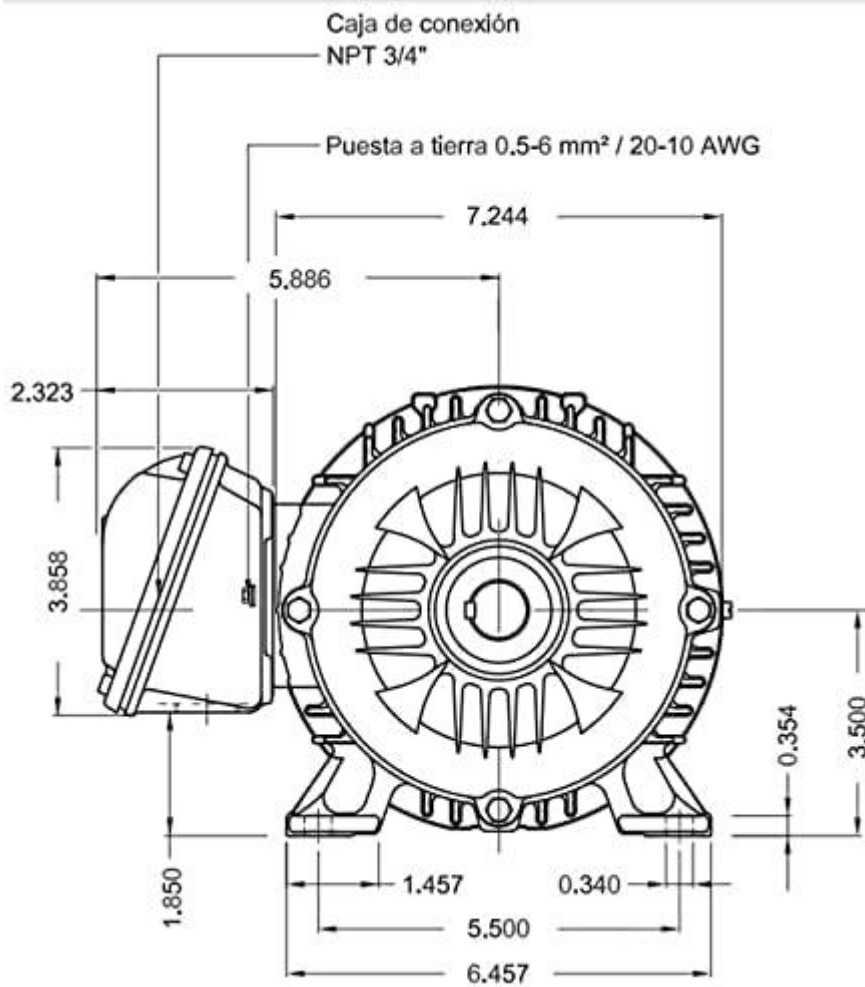


Figura 2 Dimensiones del motor

3.1.4 Sistema de transmisión banda – polea

Considerando las especificaciones del motor se conoce que trabaja con una potencia de 0,50 hp – voltaje de 120 V, revolución del motor de 1750 R.P.M considerada como frecuencia máxima entonces para conocer el resultado de transmisión utilizamos la ecuación 2.10

$$n_v = \frac{60f_m}{n_{pp}}$$

Datos: $f_m = 50$ [Hz]; $n_{pp} = 4$ polos (motor)

$$n_v = \frac{60 * 60[\text{hz}]}{4}$$

$$n_v = 900 \text{ rpm}$$

Relacionamos tanto el torque motriz como la potencia:

$$P_f = P_i \left(\frac{n_f}{n_i} \right)^3$$

$$P_f = 0,50[\text{hp}] \left(\frac{900}{1750} \right)^3$$

$$P_f = 0,10 [\text{hp}]$$

$$T_f = \frac{7162 * P_f}{n_f}$$

$$T_f = \frac{7162 * 0,10 \text{ hp}}{1750 \text{ rpm}}$$

$$T_f = 0,41 [\text{Nm}]$$

Selección de polea y buje

$W_m=1750$ rpm; $W_c=900$ rpm

$$I_r = \frac{W_m}{W_c}$$

$$Ir = \frac{1750 \text{ rpm}}{900 \text{ rpm}} = 2$$

De tal manera que la polea conducida será 2 veces mayor que la motriz, de esta manera conociendo todos estas características y propiedades se procede a seleccionar poleas conductora y conducida

3.1.5 Selección de Banda y Polea

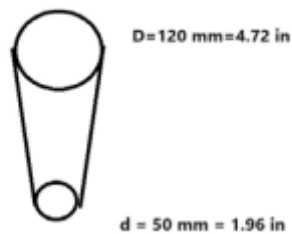


Ilustración 4. Consideraciones de selección

Considerando correa tipo V A41, donde:

$$L = 42 \text{ in}$$

$$L_c = 1.8 \text{ in}$$

$$D = 4.72 \text{ in}$$

$$d = 1.96 \text{ in}$$

$$w_D = 80 \text{ rpm}$$

$$H_{nom} = 0.50 \text{ Hp}$$

1. Longitud de paso

$$L_p = L + L_c = 43.8 \text{ in}$$

2. Distancia de centro

$$C = 0.25 * \left[\left(Lp - \frac{\pi}{2} * (D + d) \right) + \sqrt{\left(Lp - \frac{\pi}{2} * (D + d) \right)^2 - 2 * (D - d)^2} \right]$$

$$C = 16.596 \text{ in}$$

3. Velocidad de la polea motriz

$$\frac{wd}{wD} = \frac{D}{d}$$

$$wd = \frac{D}{d} * wD = 192.653 \text{ rpm}$$

4. Velocidad de la correa

$$v = \pi * \frac{9.84}{12} * 2879.268 = 7417.3 \text{ ft/min}$$

5. Angulo de convergencia

$$\theta = \pi - 2 * A_{sen} \left(\frac{D - d}{2c} \right) = 2.975 \text{ rad}$$

$$H_{tab} = 0.22 + \frac{5.01 - 4.49}{4000 - 3000} * (3883.689 - 3000) = 0.68 \text{ hp}$$

6. Coeficiente de la fricción en las correas trapecoidales es de 0.5123

$$e^{0.5123 * \theta} = 4.591$$

7. Ángulo de corrección – factor

$$\emptyset = 170.46^\circ$$

$$K1 = 0.94$$

8. Factor de corrección de la longitud de la banda

$$K2 = 0.95$$

10. Cálculo de la potencia permisible

$$Ha = K1 * K2 * Htab = 0.607 \text{ hp}$$

11. Factor de servicio

$$Ks = 1.4$$

$$nd = 1.3$$

$$Hd = Hnom * Ks * nd = 0.91 \text{ hp}$$

12. Cálculo del número de Correas trapezoidales

$$Nb = \frac{Hd}{Ha} = 1.5$$

13. Cálculo de la tensión centrífuga

$$Kc = 0.965$$

$$Fc = Kc * \left(\frac{3883.689}{1000} \right)^2 = 14.555 \text{ lbf}$$

14. Potencia transmitida

$$\Delta F = \frac{Hd}{\frac{Nb}{N * \left(\frac{d}{2} \right)}} = 101.259 \text{ lbf}$$

15. Mayor tensión

$$F1 = Fc + \frac{\Delta F * e^{0.513 * \theta}}{e^{0.5123 * \theta} - 1}$$

$$F1 = 144.01 \text{ lbf}$$

16. Tensión menor

$$F2 = F1 - \Delta F = 42.752 \text{ lbf}$$

17. Estrés inicial

$$Fi = \frac{F1 + F2}{2} - Fc = 78.826 \text{ lbf}$$

18. Factor de seguridad

$$nfs = Ha * \frac{Nb}{Hnom * Ks} = 2.601$$

19. Tensiones máximas

$$Kb = 576 \text{ lbf.in}$$

$$T1 = F1 + \frac{Kb}{d} = 437.888 \text{ lbf}$$

$$T1 = F2 + \frac{Kb}{D} = 266.044 \text{ lbf}$$

20. Número de pases

$$K = 1193$$

$$b = 10.926$$

$$Np = \left[\left(\frac{k}{94.449} \right)^{-b} + \left(\frac{k}{72.507} \right)^{-b} \right]^{-1} = 1.025 * 10^{12}$$

21. Vida útil de la correa

$$t = \frac{10^9 * Lp}{v} = 8201.547 \text{ horas}$$

3.1.6 Carga crítica para el diseño estructural

Basado en las cargas admisibles de los componentes que conforman la máquina se tiene aproximadamente:

$$P = 1200 [N]$$

Bajo los estudios y criterios ingenieriles se considera un factor de diseño 3:

$$n_d = 3$$

$$P_{cr} = n_d P = 3 * 1200 [N]$$

$$P_{cr} = 3600 [N]$$

Se evaluó una tubería estructural de geometría cuadrada, específicamente de grado A según la norma ASTM A500, para la construcción de la estructura. Al sustituir los valores, se calculó el momento de inercia, lo que facilitó la selección de las dimensiones del perfil necesario. Se tuvo en cuenta el factor de condición de extremos al analizar columnas con empotramiento libre en el diseño estructural.

$$C = 0,25$$

Para acero tenemos:

$$E = 200 * 10^9 [Pa]$$

Entonces mediante la ecuación 2.8; considerando la dimensión de la columna más larga:

$$P_{cr} = \frac{C \pi^2 EI}{L^2}$$

$$P_{cr} = \frac{0,25 \pi^2 * 200 * 10^9 [Pa] * I}{0,700^2}$$

$$3600 [N] = \frac{0,25 * \pi^2 * 200 * 10^9 [Pa] * I}{0,700^2 [m^2]}$$

$$I = 0.36 [cm^4]$$

Siendo esta la carga crítica de nuestro sistema mediante la ecuación 2.3 podemos determinar el esfuerzo crítico y conocer el mismo que se produce en la columna.

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{3600 [N]}{2,14 * 10^{-4} [m^2]}$$

$$\sigma_{cr} = 16.82 [Mpa]$$

$$\sigma_{cr} < S_y$$

$$16.82 [Mpa] < 270 [Mpa]$$

El perfil elegido satisface los criterios de diseño, ya que el esfuerzo crítico que puede soportar es inferior al esfuerzo de fluencia del material.

3.1.7 Dimensionamiento de los rodillos de trituración

Determinación del ángulo de separación

$$\cos \frac{A}{2} = \frac{D_r + D_f}{D_r + D_t}$$

Donde:

D_t : el diámetro medio de las partículas añadidas.

D_f : el diámetro medio de las partículas finales.

D_r : el diámetro de los rodillos.

Para el caso limite en que las partículas son puestas en el rodillo únicamente por acción de la fricción hacia la zona de trituración se tiene la siguiente ecuación:

$$\tan \left(\frac{A}{2} \right) = \mu$$

Donde:

μ : coeficiente de fricción entre materiales en contacto.

De la ecuación 2 se puede obtener el valor del ángulo de separación sabiendo que el coeficiente de fricción es de 0,051:

$$A = 2 * \tan^{-1} \mu$$

$$A = 2 * \tan^{-1} 0,051$$

$$A = 5,8^\circ$$

Determinación del tamaño de los rodillos

Conociendo el ángulo de separación se puede obtener el diámetro de los rodillos mediante la Ecuación 1. Sabiendo que las partículas finales van a tener un tamaño de 420μ y un diámetro medio de partículas añadidas de 620μ . Despejando la Ecuación nos queda lo siguiente:

$$D_r = \frac{D_t * \cos\left(\frac{A}{2}\right) - D_f}{1 - \cos\left(\frac{A}{2}\right)}$$

$$D_r = 155,5 \text{ mm}$$

Cálculo de la longitud de los rodillos

La capacidad volumétrica de producción de un rodillo se determina mediante la siguiente formula:

$$Q = 60 * \pi * N * D_f * D_r * L$$

Conociendo que la velocidad aproximada de rotación del es de 80 RPM y una capacidad de producción de 30 kg/hr. Se puede obtener la longitud de los rodillos de trituración:

$$L = \frac{Q}{60 * \pi * N * D_f * D_r}$$

$$L = 53,5 \text{ mm}$$

Para fines prácticos y comerciales se va a elegir una longitud de rodillo de 150 mm.

Superficie de contacto

Para determinar el área de contacto entre el cacao y los rodillos se obtiene mediante la siguiente ecuación que relaciona geoméricamente las dimensiones de los elementos.

$$l = \frac{D_r * A}{4}$$

Siendo A la separación angular de los rodillos medido en radianes. Por lo cual su valor es de 0,102 rad.

El valor de la longitud de contacto es igual a 3,965 mm

Determinación de las cargas en los rodillos

De acuerdo con investigaciones, el esfuerzo de compresión y corte promedios es de 19,6 N/mm² y 1,47 N/mm² respectivamente.

Por lo tanto, la carga distribuida aplicada en el eje es la siguiente:

Esfuerzo de compresión unitario:

$$q_c = \sigma_c * l = 77,71 \frac{N}{mm}$$

Esfuerzo de corte unitario:

$$q_\tau = \sigma_\tau * l = 5,83 \frac{N}{mm}$$

Análisis de carga

Para el análisis de carga se va a utilizar el esfuerzo de compresión unitario como una carga distribuida a lo largo de la zona de trituración. El eje que sostiene el sistema tiene una longitud total de 340 hasta luego conectarse con el sistema de transmisión de movimiento.

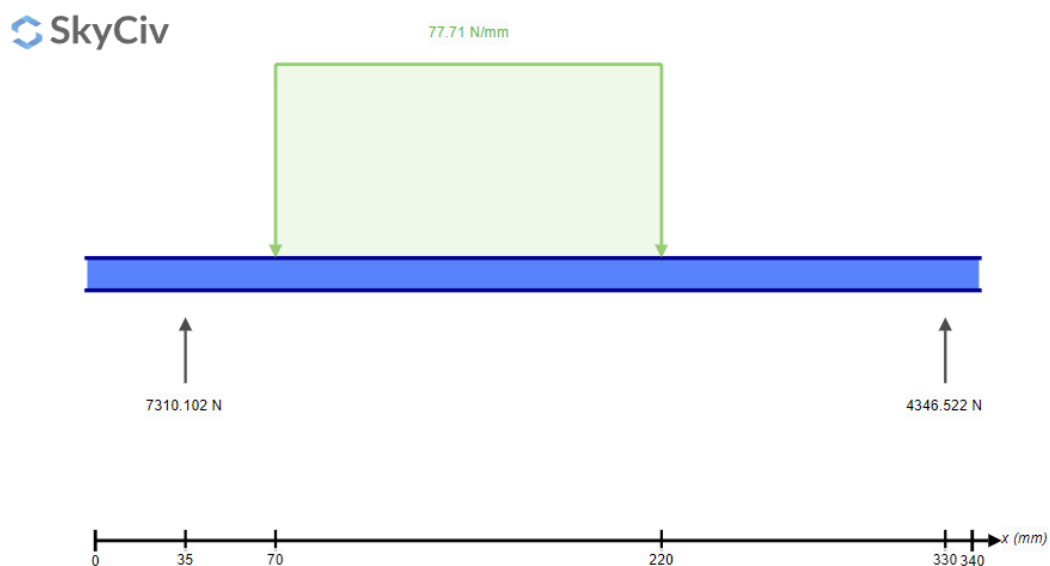


Figura 1: Distribución de cargas.

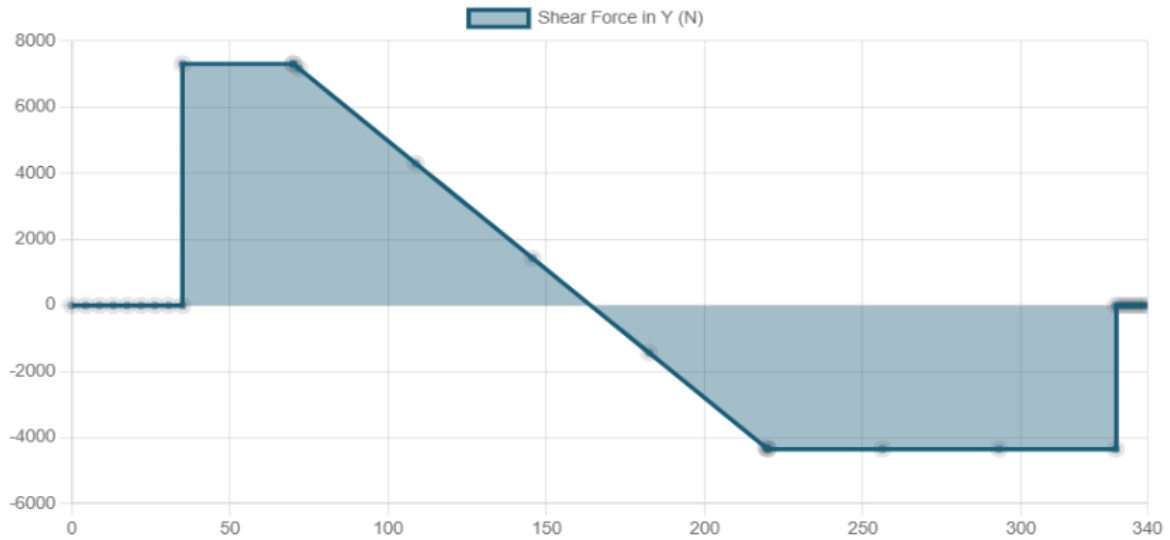


Figura 2: Diagrama de fuerza cortante.

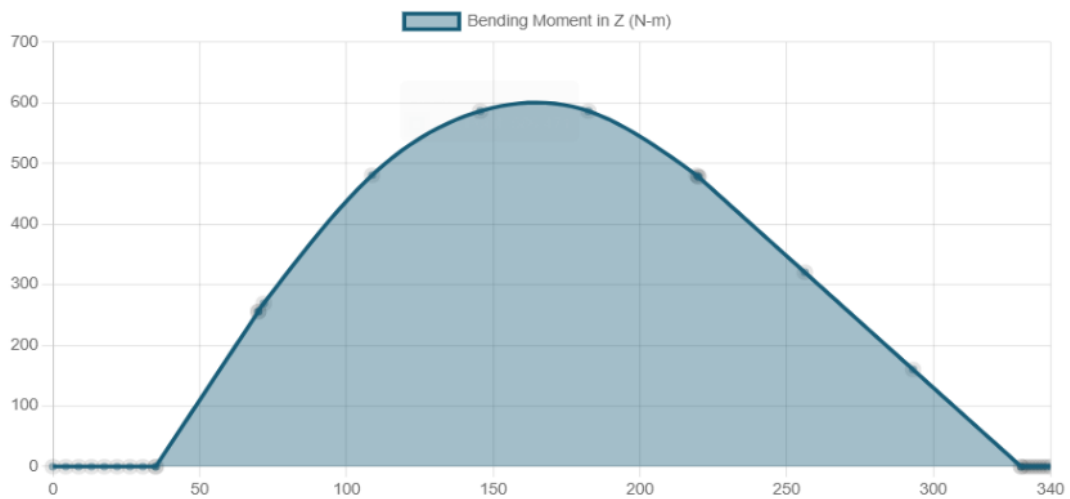


Figura 3: Diagrama de momento flector.

Obteniendo que el momento flector máximo es de 600 N*m

Cálculo de los esfuerzos máximos en el eje

El esfuerzo se calcula conociendo el diámetro de la sección donde el momento flector es máximo. Siendo su valor igual a 40 mm. Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{M_{max} * c}{I} \quad (1)$$

Siendo la inercia de una sección circular igual a:

$$I = \frac{\pi * R^4}{4} = \frac{\pi * 20^4}{4} = 125,66 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

Resolviendo la Ec. 5 obtenemos lo siguiente:

$$\sigma = \frac{600 \times 10^3 \text{ N} * \text{mm} * 20 \text{ mm}}{125,66 \times 10^3 \text{ mm}^4} = 95,49 \text{ [MPa]}$$

Al compararlo con el esfuerzo de fluencia del acero AISI 1045 cuyo valor es de:

$$S_y = 310 \text{ MPa}$$

Se obtiene un factor de seguridad de:

$$n_y = \frac{310 \text{ MPa}}{95,49 \text{ MPa}} = 3,2$$

Análisis mediante simulación

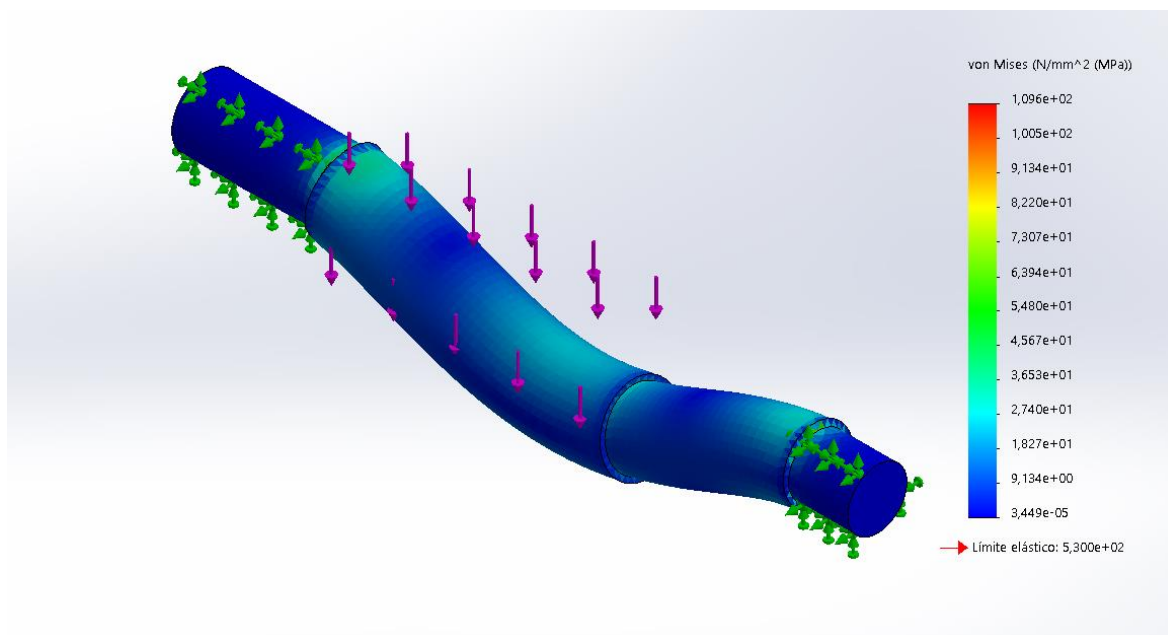


Figura 4: Simulación de eje realizada en SolidWorks

Para corroborar los resultados obtenidos se realizó una simulación en un software CAE para compararlo con los resultados teóricos. Dando como máximo valor del esfuerzo 109,6 MPa a diferencia de los 95,49 MPa obtenidos en el cálculo teórico.

$$\%error = \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} = \frac{109,6 - 95,49}{95,49} * 100\% = 14,77\%$$

3.2. Manual de mantenimiento de molienda

Manual de Mantenimiento Detallado para Molienda de Cacao Corona

Introducción

¡Bienvenido al Manual de Mantenimiento para su Molienda de Cacao Corona! Este documento está diseñado para proporcionar instrucciones detalladas y fáciles de seguir para garantizar un rendimiento óptimo de su equipo. Le animamos a seguir estas pautas para mantener su máquina en condiciones óptimas y asegurar su durabilidad.

Sección 1: Inspección General

- **1.1 Inspección Visual**

1.1.1 Realice una inspección visual completa del equipo en busca de posibles daños externos.

1.1.2 Verifique la estabilidad del equipo y ajuste los soportes si es necesario.

- **1.2 Conexiones Eléctricas**

1.2.1 Inspeccione todas las conexiones eléctricas para asegurarse de que estén seguras y sin daños.

1.2.2 Revise el cableado en busca de posibles cortocircuitos.

Sección 2: Lubricación

- **2.1 Puntos de Lubricación**

2.1.1 Mantener siempre la lubricación del equipo (grasas clase 1-4 de NLGI para eje) identificar los puntos de lubricación.

2.1.2 Aplique el lubricante recomendado en cada punto según las indicaciones del fabricante.

- **2.2 Tipo y Cantidad de Lubricante**

2.2.1 Utilice el tipo de lubricante especificado en el manual.

2.2.2 Siga las recomendaciones del fabricante para la cantidad de lubricante a aplicar.

Sección 3: Ajuste de la Banda V

- **3.1 Tensión de la Banda V**

3.1.1 Verifique la tensión de la banda V, esta tiene que estar bien ajustada.

3.1.2 Asegurándose de que esté correctamente alineada y no presente desgaste excesivo. Ajuste la tensión según sea necesario para prevenir deslizamientos y garantizar una transmisión eficiente. Inspeccione visualmente la banda en busca de grietas, cortes o signos de deterioro, reemplazándola si es necesario. Asimismo, aplique el lubricante recomendado en los puntos designados para asegurar un funcionamiento suave y reducir la fricción.

Sección 4: Limpieza

- **4.1 Superficies Externas**

4.1.1 Limpie las superficies externas con un paño suave y húmedo.

4.1.2 Evite el uso de productos químicos agresivos que puedan dañar las superficies.

- **4.2 Áreas Internas**

4.2.1 Realice limpiezas periódicas de las áreas internas, sobre todo en el mecanismo corona limpiando y lavando.

4.2.2 Retire cualquier residuo o partícula que pueda afectar el rendimiento.

Sección 5: Registro de Mantenimiento

5.1 Mantenga un registro detallado de cada mantenimiento realizado.

5.2 Incluya fechas, tareas realizadas y cualquier observación importante.

Sección 6: Problemas Comunes y Soluciones

- **6.1 Ruido Inusual**

6.1.1 Identifique la fuente del ruido.

6.1.2 Realice ajustes en la banda V o retire objetos extraños.

- **6.2 Pérdida de Potencia**

6.2.2 Verifique la conexión eléctrica y el estado de la banda V.

6.2.2 Ajuste la banda V según sea necesario.

Sección 7: Notas de Seguridad

- **7.1 Durante el Mantenimiento**

7.1.1 Apague completamente la máquina antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento.

7.1.2 Utilice equipo de protección personal, como guantes y gafas de seguridad.

- **Sección 8: Contacto de Soporte**

Para asistencia adicional, comuníquese con nuestro servicio de atención al cliente:

- Teléfono: +593 990264990
- Correo electrónico: archiqui@espol.edu.ec

3.3 Costos

Tabla 2. Costos de Construcción de Máquina de Molienda

Ítem	Descripción	Cantidad		Valor unitario	Valor total
1	Estructura/ Mesa	1	Unidades	\$ 100,00	\$ 100,00
2	Motor	1	Unidades	\$ 100,00	\$ 100,00
3	Banda Tipo V A41	1	Unidades	\$ 9,40	\$ 9,40
4	Pernos	8	Unidades	\$ 0,25	\$ 3,00
5	Dado 11 mm	1	Unidades	\$ 3,50	\$ 3,50

6	Switch On/Off	1	Unidades	\$	8,50	\$	8,50
7	Molino	1	Unidades	\$	40,00	\$	40,00
8	Eje Motriz De Transmisión	1	Unidades	\$	60,00	\$	60,00
9	Soldadura	40% costo de mesa		\$	-	\$	40,00
10	Mano de obra	50% costo de mesa		\$	-	\$	50,00
TOTAL				\$	321,65	\$	414,40

Tabla 3. Costos referentes al proyecto

Ítem	Descripción	Cantidad		Valor unitario	Valor total		
1	Planos	3	Unidades	\$	50,00	\$	150,00
2	Mantenimiento	15%	Costo de construcción de la molienda	\$	62,16	\$	62,16
3	Montaje	10%	Costo de construcción de la molienda	\$	41,44	\$	41,44
TOTAL				\$	153,60	\$	253,60

La Tabla 3 refleja de manera detallada los costos asociados a nuestro proyecto, proporcionando una visión clara de la distribución de los recursos financieros. En primer lugar, los planos, con un total de 3 unidades a \$50,00 cada uno, representan una parte esencial

de la planificación y diseño del proyecto, con un costo total de \$150,00. Estos planos desempeñan un papel crucial en la ejecución exitosa de la molienda.

En cuanto al mantenimiento y montaje, representan el 15% y 10% respectivamente del costo total de construcción de la molienda. El mantenimiento tiene un valor unitario de \$62,16 y el montaje de \$41,44 sumando un total de \$103,60. Esta distribución proporcional de los costos nos ofrece una perspectiva detallada sobre cómo se asignan los recursos financieros adicionales necesarios para asegurar el correcto funcionamiento y la instalación exitosa de nuestra molienda.

Finalmente, el costo total de costos asociados al proyecto se sitúa en \$253,60, abarcando los gastos de planos, mantenimiento y montaje. Esta información detallada nos permite tener una comprensión clara de cómo se están utilizando los recursos económicos y facilita la toma de decisiones informadas para garantizar el éxito general de nuestro proyecto.

3.3.1 Análisis de Costos

El análisis de resultados de los costos en el diseño de la máquina de molienda de cacao para pequeños productores rurales en la provincia del Guayas destaca la importancia de los precios de los componentes y la inclusión de accesorios en la planificación financiera. La tabla proporcionada revela un desglose detallado de los elementos esenciales, sus cantidades, valores unitarios y los costos totales asociados.

El precio de la estructura/mesa, establecido en \$100,00, representa una inversión inicial significativa pero fundamental para la estabilidad y funcionalidad de la máquina. La consideración del motor, con un valor de \$100,00, indica la importancia de la potencia y eficiencia en el proceso de molienda. La banda tipo V A41, a un costo de \$9,40, se revela como un componente accesible pero necesario para la operación adecuada del equipo.

La inclusión de accesorios, como los pernos, a un costo de \$3,00 los 8 pernos a utilizar, así mismo, el dado de 11mm y el switch de on/off, de \$3,50 y \$8,50 respectivamente

demuestra una atención meticulosa a los detalles y una preocupación por la calidad y durabilidad del equipo. Este enfoque en accesorios es esencial para garantizar un rendimiento óptimo y reducir posibles costos de mantenimiento a largo plazo.

El análisis de resultados también resalta el precio del molino, valuado en \$40,00, como una inversión clave en la funcionalidad central de la máquina. La soldadura y la mano de obra, estimadas respectivamente en un 40% y un 50% del costo de la mesa, añaden costos adicionales pero esenciales para la construcción y operatividad del equipo.

En conjunto, el análisis destaca la necesidad de evaluar cuidadosamente los precios de los componentes y accesorios para garantizar una inversión eficiente y sostenible. La inclusión de costos asociados con la soldadura y la mano de obra refleja un enfoque realista y completo en la planificación financiera, reconociendo la importancia de estos elementos en el diseño y la construcción de la máquina de molienda de cacao. Este enfoque estratégico contribuye a la viabilidad y éxito del proyecto para los pequeños productores rurales en la provincia del Guayas.

La importancia de obtener una máquina de molienda de cacao diseñada específicamente para la población de bajos recursos radica en su potencial para impulsar el desarrollo económico y mejorar la calidad de vida de los pequeños productores rurales. Esta iniciativa no solo busca facilitar la producción de cacao, sino también crear un impacto positivo en la sostenibilidad, accesibilidad y rentabilidad de sus operaciones.

En primer lugar, la adaptación de la máquina a las limitaciones presupuestarias de los pequeños productores permite democratizar el acceso a tecnologías que, de otro modo, podrían ser inalcanzables. Al proporcionar una solución asequible, se fomenta la inclusión de estos productores en la cadena de valor del cacao, permitiéndoles competir de manera más efectiva en el mercado y mejorar sus ingresos.

La eficiencia y la productividad de la máquina diseñada para la población de bajos recursos son cruciales para maximizar el rendimiento con inversiones financieras mínimas. La incorporación de accesorios a precios accesibles y la optimización de costos, como se refleja en la tabla de análisis, contribuyen a hacer la tecnología más amigable económicamente para los pequeños agricultores.

Además, al enfocarse en la sostenibilidad, esta máquina tiene el potencial de reducir la dependencia de métodos tradicionales de procesamiento, que a menudo son menos eficientes y más laboriosos. Esto puede resultar en ahorros de tiempo y esfuerzo para los agricultores, permitiéndoles diversificar sus actividades y mejorar sus condiciones de vida.

En términos más amplios, la adopción de tecnologías diseñadas para la población de bajos recursos en el sector agrícola contribuye a cerrar la brecha tecnológica, promoviendo un desarrollo más equitativo y sostenible en las comunidades rurales.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y Recomendaciones

- En conclusión, los objetivos específicos delineados para el diseño y construcción de la máquina de molienda han sido abordados de manera integral. Se han determinado los parámetros esenciales para la maquinaria, seleccionado cuidadosamente componentes mecánicos y eléctricos, establecido rigurosas especificaciones técnicas, y elaborado un detallado manual de mantenimiento.
- Desde una perspectiva económica, se ha subrayado la importancia de la optimización del proceso de molienda no solo en términos técnicos, sino como un catalizador para el crecimiento económico de los agricultores. La cuidadosa selección de componentes normalizados y la atención al consumo de energía han sido estratégicas, demostrando una visión a largo plazo y sostenibilidad económica. La validación estructural y simulación han confirmado la solidez del diseño, proporcionando una base sólida para la integridad y seguridad estructural del equipo.
- En el ámbito del diseño ergonómico y eficiencia operativa, se destaca la importancia de considerar la salud y comodidad de los operadores al diseñar maquinaria de molienda. La adecuada altura de controles y la disposición de interfaces contribuyen a prevenir la fatiga y reducir el riesgo de lesiones. Además, la visibilidad óptima de los procesos no solo mejora el monitoreo sino también preserva la postura del usuario. La inclusión de superficies antideslizantes y ergonómicas añade un elemento de seguridad crucial, especialmente en entornos propensos a vibraciones y movimientos bruscos.
- En el ámbito de la optimización de eficiencia y viabilidad económica, se enfatiza la relevancia de la mejora técnica en el proceso de molienda, no solo desde una perspectiva técnica sino también como un impulso económico para los agricultores. La tecnificación de la molienda eleva la calidad de los productos, fortaleciendo la

posición de los productores en el mercado y generando un impacto positivo en sus ingresos. La selección estratégica de componentes normalizados contribuye a la estandarización y eficiencia del proceso de fabricación, asegurando disponibilidad y simplificando la producción.

- La selección de componentes y el manejo del consumo de energía resaltan la necesidad de considerar no solo los costos iniciales sino también los beneficios a largo plazo. La preferencia por un motor trifásico, a pesar de su costo inicial más alto, demuestra una visión a largo plazo al lograr un ahorro sustancial de energía. Este enfoque estratégico resalta la importancia de evaluar la eficiencia energética y la sostenibilidad económica para garantizar la viabilidad a largo plazo de la inversión en maquinaria.
- El análisis estructural y la simulación confirman la solidez del diseño, brindando una validación esencial de la integridad y seguridad estructural del equipo. La comparación de resultados teóricos con la simulación ofrece una confianza adicional en la robustez de la maquinaria, esencial dado el entorno de cargas asociadas con el proceso de molienda.
- En el análisis de costos, se subraya la importancia de considerar detalladamente cada elemento, desde la estructura hasta los accesorios y la mano de obra. La accesibilidad económica de la maquinaria para pequeños productores se convierte en un factor clave para su implementación exitosa, asegurando que la inversión sea eficiente y sostenible a largo plazo.
- En síntesis, el diseño de la máquina de molienda de cacao no solo aborda aspectos técnicos, sino que también integra criterios ergonómicos, económicos y estructurales. Esta iniciativa no solo busca mejorar la eficiencia productiva, sino también contribuir al desarrollo económico sostenible de las comunidades agrícolas locales, promoviendo

la inclusión y la accesibilidad a tecnologías que pueden marcar una diferencia significativa en la calidad de vida de los pequeños productores rurales.

- Establecer programas de capacitación continuos para los operadores, abordando no solo el uso seguro de la maquinaria, sino también la comprensión de las nuevas tecnologías implementadas. La formación constante garantizará que los operadores estén al tanto de las mejores prácticas, optimizando la eficiencia y minimizando el riesgo de errores operativos.
- Explorar constantemente opciones de materiales más sostenibles y resistentes para la fabricación de componentes de la máquina. La adopción de materiales eco-amigables no solo contribuirá a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede mejorar la durabilidad y eficiencia de la maquinaria, reduciendo la frecuencia de reemplazos y los costos asociados.
- Fomentar la colaboración activa con las comunidades locales para entender mejor sus necesidades y contextos específicos. La retroalimentación directa de los usuarios finales puede llevar a mejoras más personalizadas y adaptadas a las condiciones reales de trabajo. Además, la participación de la comunidad puede fortalecer la aceptación y la integración exitosa de la maquinaria en el entorno agrícola local.

Bibliografía

Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (4 de Noviembre de 2019). Obtenido de

<https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/eg/article/view/1442/1349>

AGELL, O. (10 de Mayo de 2015). Obtenido de [https://canacacao.org/wp-](https://canacacao.org/wp-content/uploads/La-seguridad-alimentario-del-chocolate.pdf)

[content/uploads/La-seguridad-alimentario-del-chocolate.pdf](https://canacacao.org/wp-content/uploads/La-seguridad-alimentario-del-chocolate.pdf)

ALULEMA, O. O. (14 de Agosto de 2018). Obtenido de

https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/18536/1/70703_1.pdf

Alvarez, M. G. (11 de Septiembre de 2014). Obtenido de

[https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9b4fad6c-b99b-4694-b4cc-](https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9b4fad6c-b99b-4694-b4cc-3c2bf124b8ff/content)

[3c2bf124b8ff/content](https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9b4fad6c-b99b-4694-b4cc-3c2bf124b8ff/content)

Anchundia, D. M. (29 de Noviembre de 2018). Obtenido de

<https://www.redalyc.org/journal/6378/637869112008/html/>

Andino Payero, S. M. (2017). Obtenido de

[https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/2752/Producci%C3%B3n%20y%](https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/2752/Producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n%20de%20productos%20derivados%20del%20cacao.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[20comercializaci%C3%B3n%20de%20productos%20derivados%20del%20cacao.pdf](https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/2752/Producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n%20de%20productos%20derivados%20del%20cacao.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[?sequence=1&isAllowed=y](https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/2752/Producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n%20de%20productos%20derivados%20del%20cacao.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Banco Central del Ecuador. (12 de Marzo de 2022). Obtenido de

[https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Administracion/EvolEconEcu_2021pers2022.](https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Administracion/EvolEconEcu_2021pers2022.pdf)

[pdf](https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Administracion/EvolEconEcu_2021pers2022.pdf)

BELLOVÍ, M. B., & CALLEJA, A. H. (12 de Marzo de 2018). Obtenido de

[https://www.insst.es/documents/94886/710902/Ergonom%C3%ADa+-+](https://www.insst.es/documents/94886/710902/Ergonom%C3%ADa+-+A%C3%B1o+2008.pdf/18f89681-e667-4d15-b7a5-82892b15e1fa)

[+A%C3%B1o+2008.pdf/18f89681-e667-4d15-b7a5-82892b15e1fa](https://www.insst.es/documents/94886/710902/Ergonom%C3%ADa+-+A%C3%B1o+2008.pdf/18f89681-e667-4d15-b7a5-82892b15e1fa)

Camisión, C., & Cruz, S. (28 de Julio de 2016). Obtenido de

<https://clea.edu.mx/biblioteca/files/original/64db843c11c52aaf913a5322feafd3d8.pdf>

CEDEÑO, R. J., & JIMÉNEZ, R. E. (12 de Junio de 2015). Obtenido de

<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/96c00eb0-4b6b-43e6-888a-131c4ec6c5c9/D-88053.pdf>

CEPAL. (10 de Agosto de 2022). Obtenido de

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/879779be-c0a0-4e11-8e08-cf80b41a4fd9/content>

Choco Museo. (2020). Obtenido de <https://www.chocomuseo.com/como-se-produce-y-transforma-el-cacao-en-chocolate/>

FONTAGRO. (10 de Enero de 2023). Obtenido de <https://webstories.fontagro.org/cacao-andino>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) . (10 de Diciembre de 2016). Obtenido de

<https://www.insst.es/documents/94886/96076/Herramientas+manuales.pdf/22e23d1f-4f32-4d29-80c5-718ad99f56e9>

Juliani, A. (21 de Enero de 2022). Obtenido de https://www.swissinfo.ch/spa/fitur-2022-ecuador_los-sabores-del-cacao-ecuatoriano-y-la-fortaleza-de-la-mujer-unidos-en-fitur/47282712

M, C. A. (2 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/288157713.pdf>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (15 de Mayo de 2020). Obtenido de

<https://www.agricultura.gob.ec/productores-cacaoteros-del-guayas-se-asocian-y-obtienen-mejores-precios-por-su-produccion/>

- Moré, E., Fanlo, M., Melero, R., & Cristóbal, R. (2 de Agosto de 2015). Obtenido de <https://apsb.ctfc.cat/docs/GUIA%20PAM-CASTELLAfinal.pdf>
- Moyota, J. A. (20 de Junio de 2016). Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23699/1/tesis%20001%20Ingenier%20C3%ADa%20Agropecuaria%20-%20Alberto%20Salazar-%20cd%20001.pdf>
- Parra, M. J. (14 de Junio de 2019). Obtenido de <https://perfectdailygrind.com/es/2019/06/14/chocolate-artesanal-como-se-compara-con-el-cafe-especial/>
- Ramírez, G. (28 de Mayo de 202). Obtenido de <https://www.wekookmarketing.com/como-chocolate-convertido-elemento-estrategico-marketing/>
- Rosales, V. Q., Leverone, R. B., & Leverone, M. B. (9 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5732/573263330009/html/>
- Sandoval, E. Y., & Merchán, P. J. (4 de Mayo de 2020). Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5600/560063241002/html/>
- Subgerencia de Análisis de Productos y Servicios. (11 de Junio de 2023). Obtenido de <https://cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2023/fichas-sectoriales-2-trimestre/Ficha-Sectorial-Cacao.pdf>
- Valbuena, M. Á. (1 de Junio de 2017). Obtenido de <https://vivaelcacao.com/manteca-de-cacao-el-ingrediente-secreto/>
- Valenzuela B., A. (2017). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/469/46934302.pdf>
- Vassallo, M. (3 de Junio de 2015).

Vega, M. E. (11 de Julio de 2017). Obtenido de

<https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/7434/1/UDLA-EC-TLG-2017-50.pdf>

Vera, D. E. (12 de Diciembre de 2016). Obtenido de

http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-1114_RodriguezVeraDE.pdf

Apéndices

Apéndice a

Tabla A. 1 Especificaciones del motor WEG 0.5 Hp

Marca	WEG
Referencia	PG.50183AQA - 15246142
Potencia	0.5 Hp
Velocidad	1800 rpm
Voltaje	220/440 Voltios
Corriente nominal	1,78/0,89 amperios
Factor de servicio	1,5
Eficiencia	78,2%
Carcasa	Aluminio - 71

Tabla A. 2. Factor de seguridad

Types of driven machine	Type of prime mover					
	Soft starts. Electric motors: AC—star delta start, DC—shunt wound. IC engines with four or more cylinders. Prime movers fitted with centrifugal clutches, dry or fluid couplings, or electronic soft start drives.			Heavy starts. Electric motors: AC—star delta start, DC—shunt wound. IC engines with fewer than four cylinders. Prime movers not fitted with soft start drives.		
	Duty (hours per day)					
	<10	10–16	>16	<10	10–16	>16
Light duty, e.g. agitators (uniform density), blowers, exhausters, and fans (up to 7.5 kW), centrifugal compressors, rotodynamic pumps, uniformly loaded belt conveyors.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Medium duty, e.g. agitators (variable density), blowers, exhausters, and fans (over 7.5 kW), rotary compressors and pumps (other than centrifugal), nonuniformly loaded conveyors, generators, machine tools, printing machinery, and sawmill machinery.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Heavy duty, e.g. brick machinery, bucket elevators, reciprocating compressors and pumps, heavy-duty conveyors, hoists, pulverizers, punches, presses, quarry plant, and textile machinery.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Extra heavy duty, e.g. crushers.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Source: After Fenner Power Transmission UK.

Tabla 3. Potencias nominales de Bandas en V

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
17.0 y mayor	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7	
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 y mayor	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

Tabla 4. Factor de corrección

Factor de corrección del ángulo de contacto K_1 para transmisiones de banda plana VV* y en V	$\frac{D-d}{C}$	θ , grados	VV	K_1 Plana en V
		0.00	180	1.00
	0.10	174.3	0.99	0.76
	0.20	166.5	0.97	0.78
	0.30	162.7	0.96	0.79
	0.40	156.9	0.94	0.80
	0.50	151.0	0.93	0.81
	0.60	145.1	0.91	0.83
	0.70	139.0	0.89	0.84
	0.80	132.8	0.87	0.85
	0.90	126.5	0.85	0.85
	1.00	120.0	0.82	0.82
	1.10	113.3	0.80	0.80
	1.20	106.3	0.77	0.77
	1.30	98.9	0.73	0.73
	1.40	91.1	0.70	0.70
	1.50	82.8	0.65	0.65

*Un ajuste de curva de la columna VV en términos de θ es
 $K_1 = 0.143\,543 + 0.007\,468\theta - 0.000\,015\,052\theta^2$
 en el intervalo de $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.

Tabla 5. Factor de corrección banda

Tabla 17-14

Factor de corrección de longitud de banda K_2 *

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

*Multiplique la potencia nominal de la banda por este factor para conseguir la potencia corregida.

Tabla 6. Factor de servicio

Factores de servicio sugeridos K_S para transmisiones de banda en V

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Tabla 7. parámetros de Banda

Algunos parámetros de bandas en V*

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

*Datos cortesía de Gates Rubber Co., Denver, Colo.

Tabla 8. Parámetros Kb

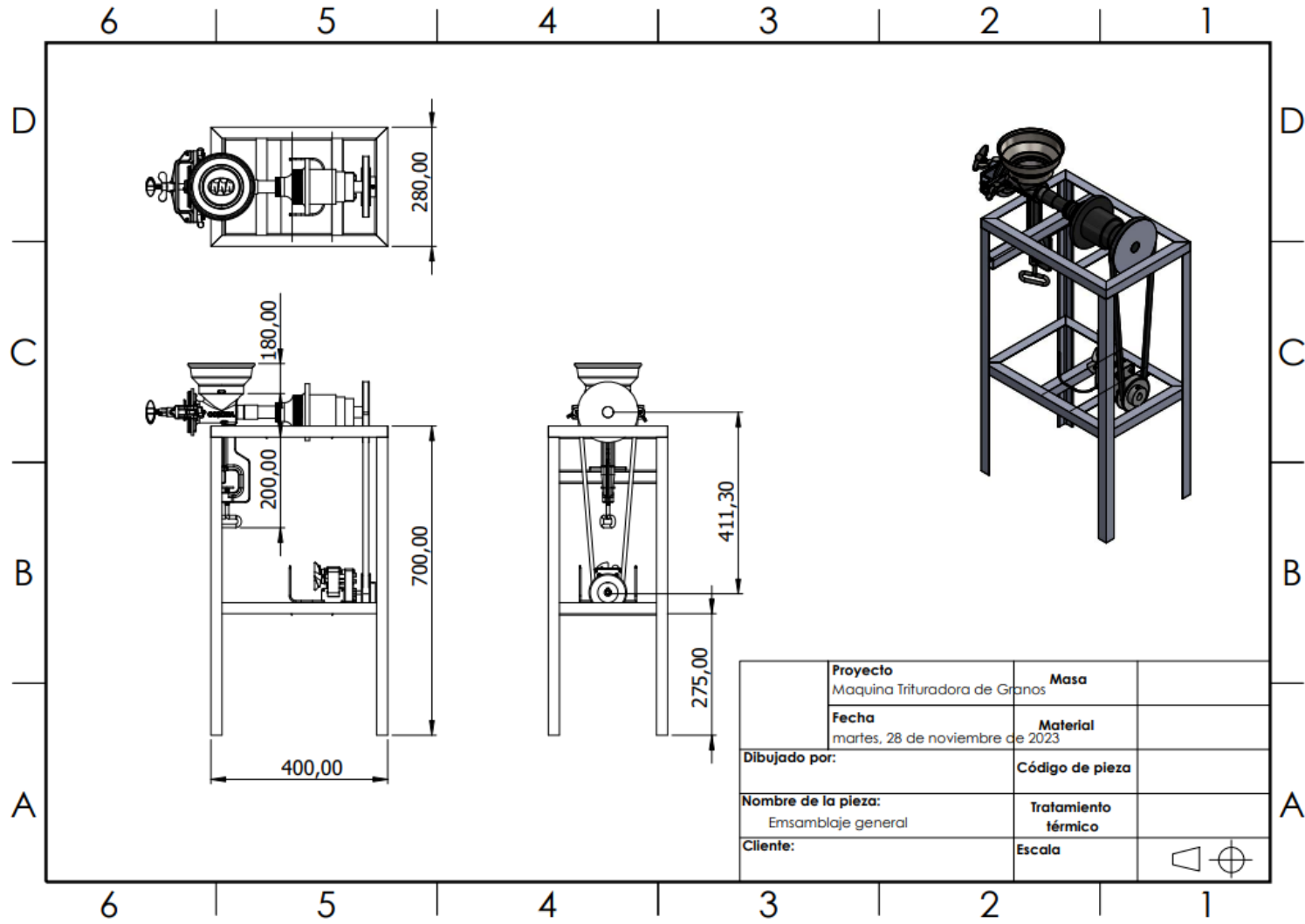
Sección de la banda	K_b
A	220
B	576
C	1 600
D	5 680
E	10 850
3V	230
5V	1 098
8V	4 830

*Datos cortesía de Gates Rubber Co., Denver, Colo.

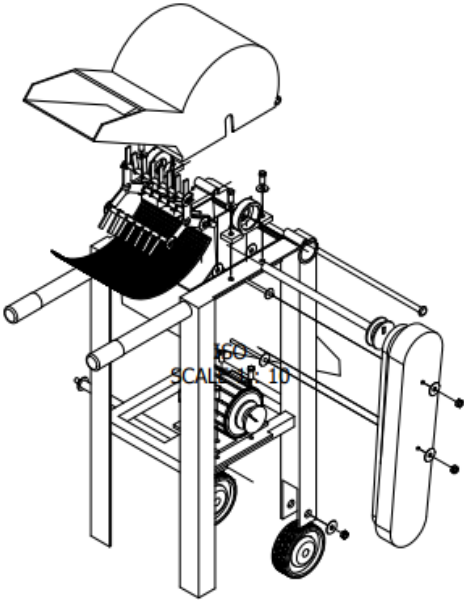
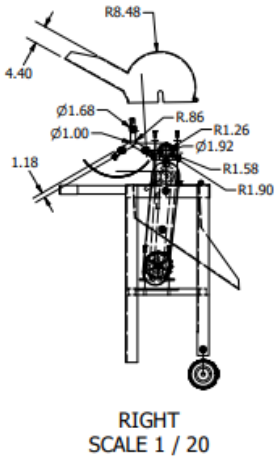
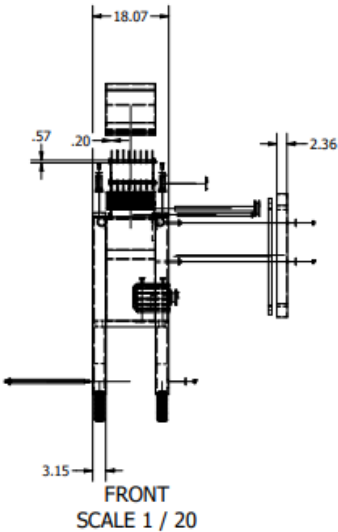
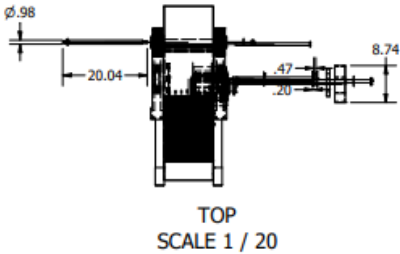
Tabla 9. Sección de banda

Sección de la banda	10^8 a 10^9 picos de fuerza		10^9 a 10^{10} picos de fuerza		Diámetro mínimo de polea, pulg
	K	b	K	b	
A	674	11.089			3.0
B	1 193	10.926			5.0
C	2 038	11.173			8.5
D	4 208	11.105			13.0
E	6 061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1 062	10.153	2.65
5V	1 654	12.593	2 394	10.283	7.1
8V	3 638	12.629	5 253	10.319	12.5

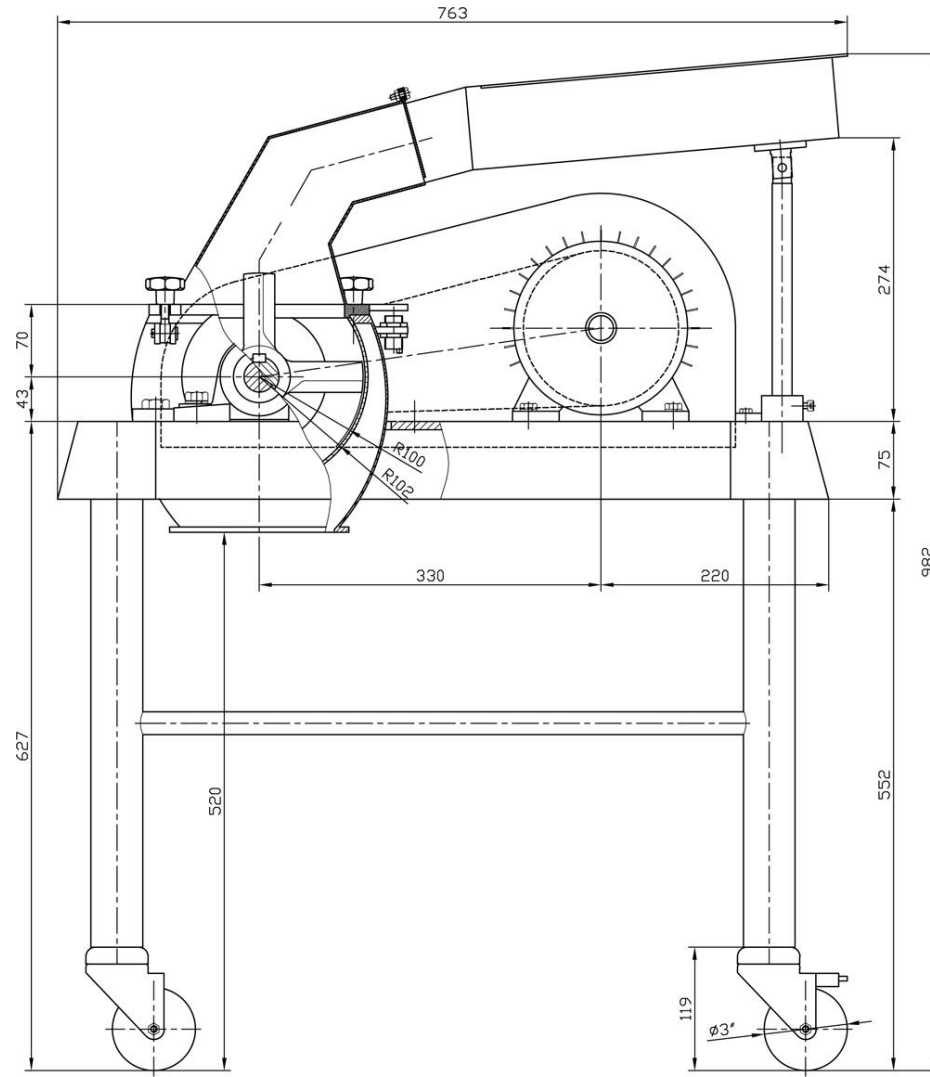
Planos 1. Molino Corona



Planos 2 - Molino Martillo



Planos 3. Molino Cuchillas



Anexos

Ilustración 5. Elaboración de molienda

