

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Rediseño de una máquina peletizadora del laboratorio del  
Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) para  
pruebas con biomasa

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

David Andrés Benítez Peralta

Moisés David Calderón Espinoza

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, Fernando y Patricia, por siempre estar presentes y atentos conmigo. A mis hermanos: Aaron, Viviana y Fernando; quienes continuamente confiaron en mí. A mi abuelos, Pedro y Fanny, por el afecto que me han brindado desde pequeño. A Nadia, a quien le debo todo el amor y apoyo que me ha proporcionado.

**Moisés Calderón**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a Dios, por darme fuerzas y sabiduría en todo momento.

A mis padres, Manuel Benitez y Dalinda Peralta quienes me han alentado a cumplir mis metas y educado con mucho amor y respeto.

A mi abuela Dalinda Calle, quien me ha cuidado con mucho cariño desde pequeño.

A Valeria, quien me ha brindado su apoyo incondicional y compañía a lo largo de mi vida universitaria.

**David Benítez**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por permitirme lograr este objetivo tan anhelado. A mis padres, que con sus esfuerzos y sacrificios me posibilitaron la formación académica y profesional. A mi compañero David Benítez, por su aporte y constancia, A nuestro tutor, PhD. Juan Peralta, por sus enseñanzas y tiempo brindado para culminar el presente proyecto.

**Moisés Calderón**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por cuidarme y acompañarme en todo momento de mi vida. A mis padres, hermanos y abuelos, por su amor incondicional e influencia en mi formación académica y profesional. A mi compañero Moisés Calderón, por su apoyo en la realización de este trabajo. Al PhD. Juan Peralta, por ser un gran tutor y guiarnos en el desarrollo del proyecto.

**David Benítez**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Moisés David Calderón Espinoza* y *David Andrés Benítez Peralta* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Moisés Calderón



David Benítez

## EVALUADORES

---

**Emérita Delgado Plaza, PhD.**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Juan Peralta Jaramillo, PhD.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS), perteneciente a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, se realizan investigaciones de tecnologías sostenibles que tengan un impacto ambiental y socioeconómico en la comunidad. Uno de los equipos utilizados para realizar pruebas con biomasa en forma de pellets es la peletizadora. La máquina se encuentra inoperativa lo cual detiene con los estudios de pellets de biomasa en su aplicación como biocombustible. El adecuado funcionamiento del equipo permite el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Por lo que el presente proyecto plantea rediseñar una máquina peletizadora en el laboratorio del CDTS para pruebas con biomasa. Se propuso la construcción del equipo considerando un nuevo diseño en la matriz y reemplazando los elementos que presentan fallas mecánicas. El equipo cuenta con planos nuevos de ensamblaje desarrollados en Inventor. Se realizó la construcción del equipo donde se contempló una matriz de menor altura al original y la fabricación de un nuevo eje del sistema de transmisión principal y el eje que soporta las dos muelas de compactación. El material utilizado para las piezas del equipo es el acero estructural ASTM A36 debido a su disponibilidad y bajo costo en el mercado. Con la peletizadora construida se podrán elaborar pellets bajo los criterios de la normativa europea CEN/TC 335. El equipo cuenta con parámetros operacionales como la temperatura del sistema, separación entre muela y matriz, y la cantidad de ingreso de producto que fluctúan acorde a las propiedades de la materia prima utilizada.

**Palabras Clave:** Peletizadora, biomasa, rediseñar, parámetros operacionales, matriz.

## **ABSTRACT**

*At the Center for Sustainable Technological Development (CDTS), belonging to the Escuela Superior Politécnica del Litoral, research is carried out on sustainable technologies that have an environmental and socioeconomic impact on the community. One of the equipment used to carry out tests with biomass in the form of pellets is the pelletizer. The machine is inoperative, which stops the studies of biomass pellets in their application as biofuel. The proper functioning of the equipment allows access to affordable, safe, sustainable, and modern energy. Therefore, this project proposes to redesign a pelletizing machine in the CDTS laboratory for tests with biomass. The construction of the equipment will be determined considering a new design in the plate and replacing the elements that present mechanical failures. The machine has new drawings of assemblies that were developed in Inventor. The construction of the equipment was carried out where a pellet press die of less height than the original was contemplated and the manufacture of a new axis of the main transmission system and the axis that supports the two-press roller. The material used for the pieces of the equipment is structural steel ASTM A36 due to its availability and low cost in the market. With the built pelletizer, pellets are produced that comply with the European CEN/TC 335 standard. The equipment has operational parameters such as system temperature, separation between roller and the die, and the amount of product input that fluctuate according to the properties of the raw material used.*

**Keywords:** *Pelletizer, biomass, redesign, operational parameters, pellet press die.*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES .....	7
RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE PLANOS .....	XI
CAPÍTULO 1 .....	12
1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.1 Descripción del problema .....	12
1.2 Justificación del problema.....	12
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo General .....	13
1.3.2 Objetivos Específicos .....	13
1.4 Marco teórico .....	14
1.4.1 Biomasa .....	15
1.4.2 Pellets .....	16
CAPÍTULO 2 .....	21
2. METODOLOGÍA .....	21
2.1 Diagrama de flujo del proyecto .....	21
2.2 Requerimientos del cliente.....	23

2.3	Normas de calidad para fabricación de pellets .....	23
2.4	Identificación de los componentes y sistemas .....	26
2.4.1	Sistema de alimentación .....	26
2.4.2	Sistema de compresión .....	26
2.4.3	Sistema de potencia .....	28
2.4.4	Sistema de corte .....	28
2.5	Valoración del estado de los componentes y sistemas. ....	29
2.5.1	Sistema alimentador .....	29
2.5.2	Sistema de prensado .....	30
2.5.3	Sistema de potencia .....	33
2.5.4	Sistema de corte .....	34
2.6	Matriz de decisión .....	35
2.6.1	Sistema alimentador .....	35
2.6.2	Sistema de prensado .....	36
2.6.3	Sistema de potencia .....	36
2.6.4	Sistema de corte .....	36
2.6.5	Sistema de calentamiento .....	36
2.7	Diseño de forma .....	37
2.8	Ecuaciones fundamentales .....	38
2.8.1	Sistema alimentador .....	38
2.8.2	Dimensiones del pellet .....	38
2.8.3	Sistema de prensado .....	39
2.9	Simulación .....	42
2.9.1	INVENTOR PROFESSIONAL 2022 .....	42
CAPÍTULO 3 .....		43
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	43

3.1	Resultados.....	43
3.1.1	Diseño CAD .....	45
3.1.2	Piezas modificadas .....	48
3.1.3	Reensamble .....	50
3.1.4	Pruebas realizadas con el equipo .....	51
3.2	Análisis de costos .....	55
3.2.1	Costo para funcionamiento del equipo .....	55
3.2.2	Costo de alternativas seleccionadas .....	56
3.3	Análisis de resultados.....	57
3.3.1	Mecanizado y ensamble de piezas .....	57
3.3.2	Pruebas con biomasa.....	58
CAPÍTULO 4.....		60
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	60
4.1	Conclusiones .....	60
4.2	Recomendaciones .....	60

## BIBLIOGRAFÍA

## APÉNDICES

APÉNDICE A

APÉNDICE B

APÉNDICE C

APÉNDICE D

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CAD	Diseño asistido por computadora

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
mm	Milímetros
cm	Centímetros
kg	Kilogramos
g	Gramos
Pa	Pascales
MPa	Mega pascales
N	Newton
°	Grados (Ángulos)
°C	Grados Celcius
HP	Caballos de fuerza

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ciclo de la biomasa.....	15
Figura 1.2 Peletizadora tipo matriz de anillo .....	18
Figura 1.3 Peletizadora tipo matriz plana.....	19
Figura 2.1 Diagrama de flujo del proyecto .....	22
Figura 2.2 Especificaciones técnicas de pellet bajo la norma CEN/TC 335.....	25
Figura 2.3. Diagrama de flujo del equipo .....	26
Figura 2.4 Muelas (Rodillos) .....	27
Figura 2.5 Matriz (Plato) .....	27
Figura 2.6 Sistema de corte (Cuchilla).....	29
Figura 2.7 Olla de equipo. Material: Lata 0.5mm espesor .....	30
Figura 2.8 Vista superior de Muelas y eje de soporte.....	31
Figura 2.9 Perforaciones y avellanado en matriz .....	32
Figura 2.10 Sistema Muelas-Matriz. Estado inicial de equipo.....	33
Figura 2.11 Conexión Motor – Reductor .....	34
Figura 2.12 Forma y acabado superficial de cuchilla .....	35
Figura 2.13 Diseño CAD 3D de sistema de prensado .....	37
Figura 2.14 Comprensión de materia prima en orificios.....	39
Figura 2.15 Compactación y extrusión de la biomasa en los orificios de la matriz ....	41
Figura 2.16 Logo Autodesk Inventor .....	42
Figura 3.1 Peletizadora - Perspectiva isométrica.....	46
Figura 3.2 Peletizadora - Vista frontal con corte .....	46
Figura 3.3 Vista explosionada de ensamble .....	47
Figura 3.4 Eje nuevo y muelas.....	49
Figura 3.5 Matriz refrentada.....	50
Figura 3.6 Ensamble de equipo con tolva cilíndrica provisional.....	51
Figura 3.7 Proceso de compresión de biomasa.....	52
Figura 3.8 Cámara termográfica enfocando biomasa durante operación .....	53
Figura 3.9 Extrusión de pellets a la salida de la matriz .....	54
Figura 3.10 Pellets obtenidos .....	54

Figura 4.1 Cotas de motor ABB 5HP .....	67
Figura 4.2 Medidas para motor ABB 5HP .....	67
Figura 4.3 Datos técnicos para motor ABB 5HP .....	68
Figura 4.4 Vistas paramétricas de reductor .....	68
Figura 4.5 Datos técnicos de reductor Bonfiglioli .....	69
Figura 4.6 Ingreso de materia en equipo .....	70
Figura 4.7 Retiro de material residual .....	70
Figura 4.8 Pellets obtenidos post-producción .....	71
Figura 4.9 Lijado y limpieza de superficie .....	71
Figura 4.10 Pintado con anticorrosivo color negro .....	72
Figura 4.11 Extracción de eje de muelas .....	72
Figura 4.12 Extracción de matriz y eje principal.....	73
Figura 4.13 Fabricación de eje principal según muestra.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Requerimientos del cliente.....	23
Tabla 2.2 Equipos empleados para sistema de potencia.....	28
Tabla 2.3 Matriz decisión para sistema alimentador .....	35
Tabla 2.4 Matriz de decisión para sistema de prensado.....	36
Tabla 2.5 Matriz de decisión para sistema de calentamiento .....	37
Tabla 3.1 Lista de partes de peletizadora .....	47
Tabla 3.2 Operaciones realizadas según pieza .....	48
Tabla 3.3 Pruebas del equipo con diferentes muestras de biomasa.....	55
Tabla 3.4 Costo de rediseño e imprevistos.....	56
Tabla 3.5 Costos de soluciones planteadas .....	57

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Matriz
PLANO 2	Muela
PLANO 3	Eje principal
PLANO 4	Eje muelas
PLANO 5	Soporte y bocín
PLANO 6	Cilindro y tolva
PLANO 7	Peletizadora despiece

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

En el Ecuador las calderas son ampliamente empleados en industrias para la generación de vapor o calor. Estos equipos emplean como combustible el diésel industrial o GLP, cuyos precios suelen variar según las políticas económicas aprobadas por los gobiernos de turno. Así mismo, el impacto ambiental generado por la quema de combustibles fósiles contribuyendo a la degradación de los ecosistemas y además aportando gases de efecto invernadero

Dentro de este contexto, la biomasa es una alternativa viable como combustible limpio por el aprovechamiento de materiales orgánicos residuales, impactando positivamente en el ambiente al manejar una economía circular. Esto genera una reducción en la huella de carbono.

Dentro de las opciones de producción de biocombustible como sustituto de combustibles convencionales se encuentran los pellets. Estos tienen una gran ventaja comercial en el mercado por su facilidad de almacenamiento, poder calorífico y durabilidad. Por tales razones se considera como un insumo energético importante que puede contribuir a la transición energética en el marco del desarrollo sostenible. Sin embargo, el proceso de elaboración requiere diferentes equipos que deben cumplir requisitos de operación acorde al tipo de biomasa. En la práctica a nivel nacional no existe suficientes tecnologías locales que permitan evaluar sus propiedades o características energéticas previo a su comercialización, por medio de pruebas experimentales de producción empleando diferentes tipos y porcentaje de biomasa.

### 1.2 Justificación del problema

La operatividad de la peletizadora permitirá continuar con los estudios de los pellets en su aplicación como un biocombustible. Esto garantiza el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna cumpliendo con uno de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU.

El Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) es una unidad de investigación que considera aspectos ambientales y socioeconómicos para el desarrollo de tecnologías sostenibles aplicadas a la comunidad.

En la actualidad el laboratorio del CDTS cuenta con una máquina para la fabricación de pellets (peletizadora) de biomasa, la cual se encuentra inhabilitada por fallas de diseño. Esto genera un atraso en la investigación para la valoración energética de la biomasa. Por esta razón, se propone el rediseño de esta máquina para habilitar los ensayos de combustión. Esto implica las modificaciones necesarias en sus componentes mecánicos para asegurar el correcto funcionamiento con una producción continua de 3 Kg/h.

Por otra parte, el rediseño del equipo requiere un sistema de alimentación de biomasa que cumpla con las normas de seguridad adecuadas para salvaguardar al personal en su operación. Además de necesitar componentes de un peso ligero con la finalidad de reducir los riesgos ergonómicos al trasladar el equipo.

Con estos antecedentes, se plantea el diseño de un equipo a escala laboratorio de peletizado de biomasa que permita la producción pellets de diferentes fuentes de biomasa para una posterior valoración de sus características energéticas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Rediseñar una máquina peletizadora en el laboratorio del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable para pruebas con biomasa.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Establecer parámetros funcionales para la evaluación operacional del sistema en conjunto.
- Realizar las simulaciones computacionales para la evaluación teórica del funcionamiento rodillo - plato.

- Diseñar la camisa térmica para el calentamiento óptimo del pellet.
- Producir pellets de igual longitud y diámetro transversal para pruebas de combustión.

#### **1.4 Marco teórico**

El uso de energías renovables en el mundo está incrementando y su mayor fuente es la bioenergía que representa un 14% y el 2% en su producción global. Se pronostica que se triplique el uso de la biomasa para el año 2035 debido a que el mayor consumidor son los países en vías de desarrollo, que buscan implementar nuevas tecnologías para un mayor aprovechamiento de la biomasa. (Oliveira, 2017)

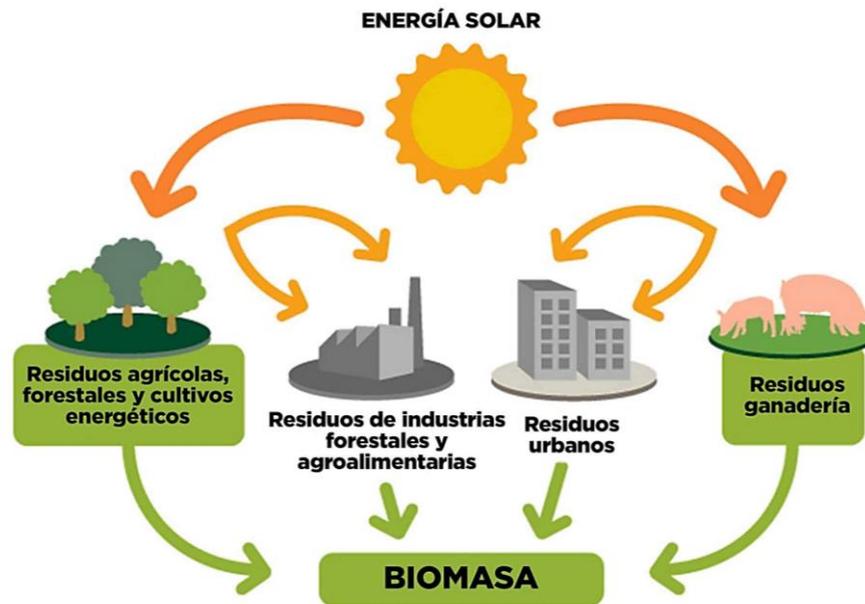
En Latinoamérica aún se desconoce el potencial de crecimiento enorme que tiene la biomasa como consumo de energía renovable. En la región la generación de energía a base de biomasa solo represento el 4% en el 2014 pero países como Brasil impulsan su producción, cuentan con la mayor cantidad de plantas de energía renovable en la región. (Matos, 2020)

En el Ecuador se generan diferentes residuos de biomasa proveniente de los sectores agrícolas, forestales y pecuarios. El aprovechamiento de este recurso depende de la cantidad de materia orgánica disponible, la identificación de las ubicaciones de estos recursos y calidad de la biomasa. (ESIN CONSULTORA S.A., 2014)

A pesar de la disponibilidad de la materia prima para la producción de bioenergía todavía se requieren programas para promover el aprovechamiento de la biomasa en el Ecuador. Instituciones como el Ministerio de Energía y Recursos no Renovable con el soporte del Ministerio de Ambiente y Agua, Ministerio de Agricultura y Ganadería, han establecidos objetivos en junio del 2020 para el desarrollo de la bioenergía en el país, los cuales, buscan promover el aprovechamiento de los residuos orgánicos de las zonas agrícolas, industriales y urbanos. También proponen la construcción de un programa nacional de bioenergía con los sectores privados, públicos y académicos, que considera el desarrollo

sostenible y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. (MAATE, 2020)

### 1.4.1 Biomasa



**Figura 1.1 Ciclo de la biomasa**

Fuente: (Bioenergética Pirenaica, 2018)

Biomasa es toda la materia orgánica proveniente de árboles, plantas y heces de animal que puede ser utilizado como fuente de energía renovable. Cuando su obtención es directamente de la naturaleza y sin intervención humana alguna entonces es de origen biomasa. Adicional existe la de obtención de manera residual donde proviene de la agricultura, aserraderos, ganaderías o de la industria alimenticio (Biomass Users Network BUN-CA, 2002)

La biomasa se considera renovable debido a que pertenece al ciclo repetitivo de la naturaleza. Se inicia con la luz solar captada por los árboles y plantas para realizar fotosíntesis, donde utilizan dióxido de carbono de la atmosfera y la transforman en oxígeno. Luego la obtención de la biomasa se puede dar de forma natural o residual. En los procesos de combustión de la materia prima se libera dióxido de carbono necesario para que las plantas comiencen nuevamente el

ciclo. Es esencial la producción de biomasa para mantener el equilibrio ecológico, preservar y enriquecer la biodiversidad y la tierra.

#### 1.4.1.1 Aplicaciones de biomasa

Los dos métodos más utilizados para transformar la biomasa en energía renovable son los termoquímicos y los bioquímicos.

Los métodos termoquímicos aprovechan la materia prima de la cascara de arroz, paja, aserrín, etc. Se tienen los siguientes usos:

- **Combustión:** Se quema la biomasa a una temperatura entre 600°C y 1300°C.
- **Pirólisis:** Se obtienen hidrocarburos, óxidos de carbono, gases formados por hidrógenos, ente otros. La biomasa se descompone con el calor en un espacio sin oxígeno.
- **Gasificación:** La biomasa es calentada hasta producir elementos químicos gaseosos como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e hidrogeno (H).

Los métodos bioquímicos utilizan microorganismos para degradar las moléculas de la biomasa que tienen una alta humedad. Dentro de sus usos tenemos:

- **Fermentación alcohólica:** Se obtiene etanol por medio de la fermentación de hidratos de carburo encontrados en plantas.
- **Fermentación metánica:** Consiste en la creación del biogás a través de la digestión anaerobia de la biomasa. (Fundación Endesa, 2018)

#### 1.4.2 Pellets

Consisten en cilindros conformados por materia orgánica, compactados por una acción mecánica. Surge como alternativa sostenible, empleado como

biocombustible para sistemas de calentamiento en industrias y domicilios. Se encuentra estandarizado internacionalmente, lo que garantiza la calidad y correcto funcionamiento (Gobierno de Navarra, 2015). Entre los beneficios más relevantes tenemos:

- Elevado poder calorífico con menos ceniza durante combustión
- Comodidad para comercialización por su tamaño y forma
- Extensa preservación dada la alta densidad

#### 1.4.2.1 Proceso de manufactura

**Molino:** Etapa donde se tritura la materia prima de forma que se obtengan partículas con un tamaño no mayor a 3 mm. Dependiendo de las propiedades del material se considera el tipo y número de equipos necesarios para completar el proceso. (Ciolkosz, 2009)

**Secado:** Para definir la calidad del pellet es necesario un control de la humedad presente en la materia prima. Por esta razón se recurre a equipos de secado donde se remueve el exceso de humedad.

**Extrusión:** Se introduce la materia prima previamente tratada en una tolva de dosificación, donde finalmente recae en un reservorio donde rodillos son usados para comprimir la masa en un plato perforado. Este proceso provoca una extrusión de la masa a través de los orificios, el cual es cortado por medio de cuchillas acopladas al eje de rotación. El producto obtenido es conocido como "Pellet" y sus propiedades dependen directamente de las entradas y parámetros de trabajo.

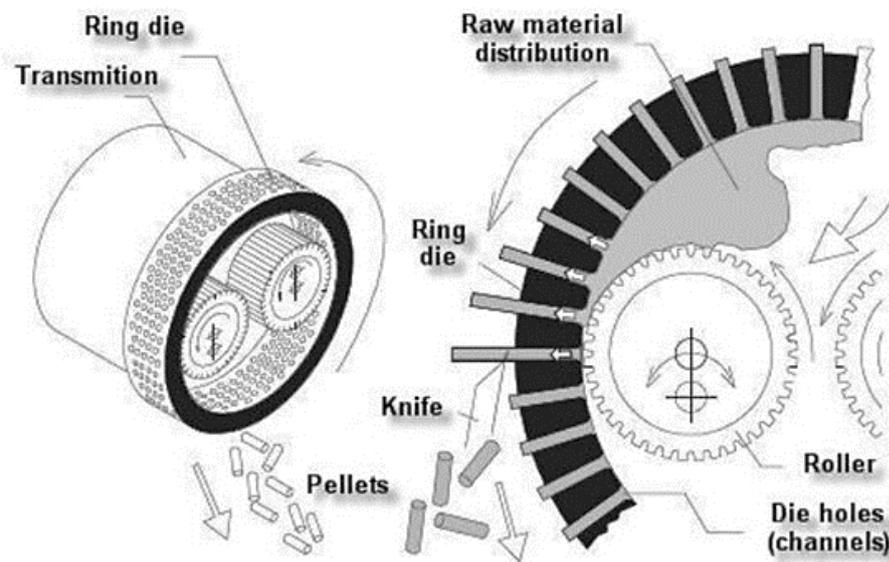
**Enfriamiento:** Al salir del equipo de extrusión el pellet se encuentra a una temperatura elevada (al menos 100°C) y a una textura blanda, por lo que es necesario el reposo para reducir su temperatura. La humedad final no debe ser mayor al 8%.

**Envasado:** Su presentación depende de las especificaciones del cliente-consumidor. En su etiquetado debe detallar: tipo de materia prima, dimensiones, poder calorífico, entre otros parámetros importantes para su comercialización.

#### 1.4.2.2 Tipos de peletizadoras

Se denomina “peletizadora” al equipo responsable de la fabricación de los pellets. (Anyang Gemco Energy Machinery Co.,Ltd, 2022)

**Peletizadora matriz de anillo:** Consta de un anillo perforado en sus paredes, con espesor definido. La materia prima ingresa desde el centro de la matriz, siendo expulsada hacia afuera por medio de los rodillos de compresión. La matriz está colocada verticalmente y gira a una velocidad determinada por las fuerzas motrices.

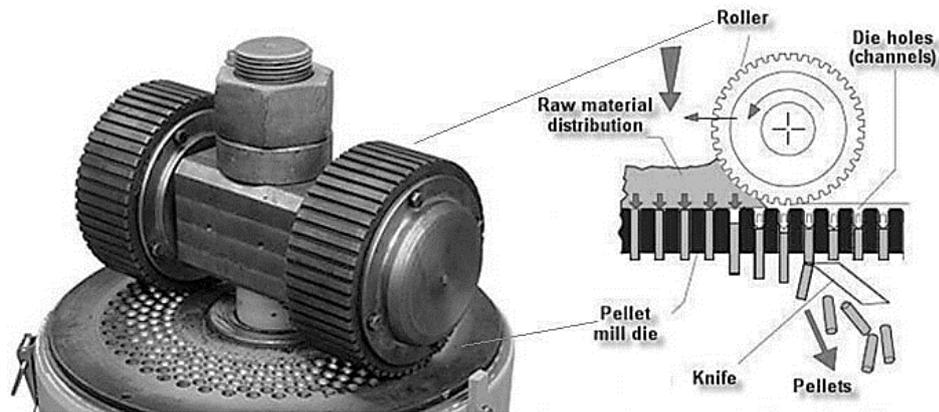


**Figura 1.2 Peletizadora tipo matriz de anillo**

Fuente: (Anyang Gemco Energy Machinery Co.,Ltd, 2022)

**Peletizadora de matriz plana:** Conformado por un disco perforado, con espesor definido, colocado horizontalmente como base de rodillos que permiten la compresión del material colocado desde arriba. En este caso los rodillos

impulsan el movimiento por medio de la fuente. Consta de cuchillas que determinan la longitud del pellet.



**Figura 1.3 Peletizadora tipo matriz plana**

Fuente: (Gemco Energy, 2022)

#### 1.4.2.3 Propiedades de pellets

De acuerdo con (Pellet Fuels Institute, 2011) para un pellet estándar se requiere un diámetro transversal de 5.84 a 7.25 mm, una longitud máxima de 38 mm, una humedad no mayor al 10% y una densidad entre 38 a 46 lb/ft<sup>3</sup>. Se consideran además las siguientes propiedades:

- **Índice de durabilidad (PDI):** Resistencia a fracturas o grietas en la estructura del pellet ante el transporte y manejo.  $PDI \geq 95\%$ .
- **Finura:** Porcentaje de material que atraviesa un tamiz de 1/8 de pulgada. Es requerido un máximo de 1% en la puerta del molino.

#### 1.4.2.4 Parámetros durante paletización

Es imprescindible el control parámetros durante la manufactura de la materia prima para la obtención de pellets de buena calidad. Entre ellos tenemos la velocidad de giro de los rodillos y composición de la biomasa ingresada en el equipo. Así mismo tenemos:

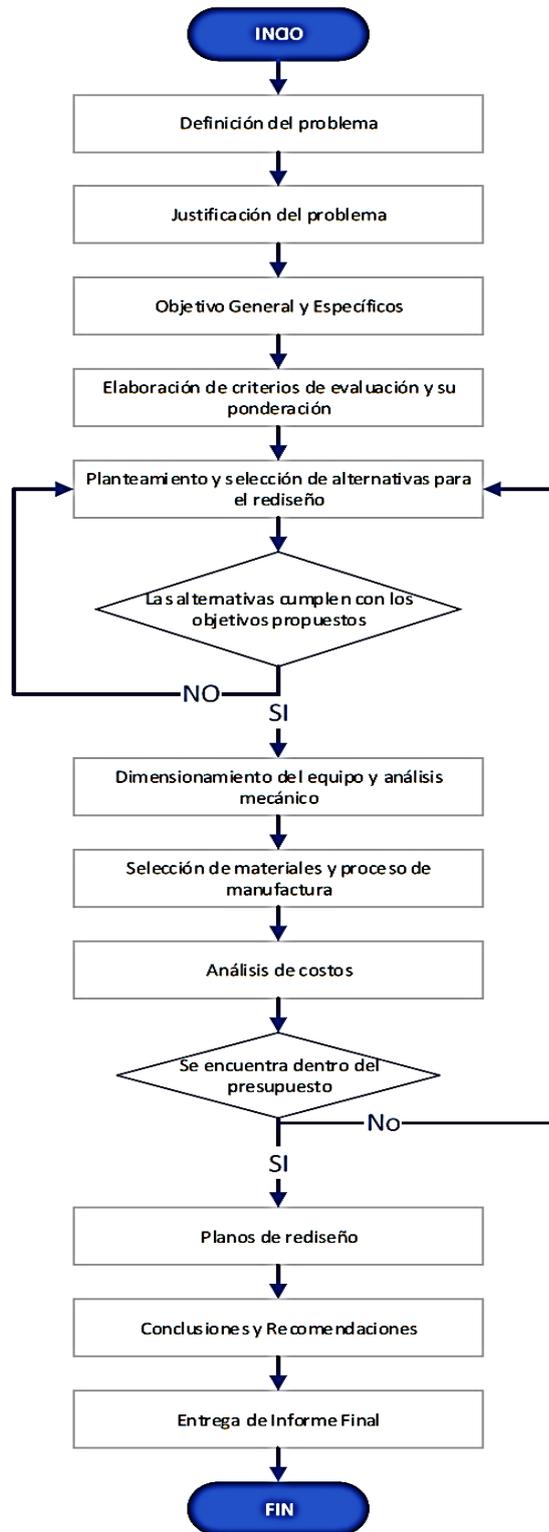
- **Temperatura de trabajo:** Adicional al precalentamiento de la materia prima, se sugiere el calentamiento del equipo durante la producción de pellets. Esto por el ablandamiento de los polímeros de biomasa a una temperatura elevada (80 a 100°C), provocando una unión eficaz de las partículas. (Pradhan, Mahajani, & Arora, 2018)
- **Dimensión de la matriz:** En el diseño de la matriz es necesaria la correcta selección del diámetro en los orificios de la placa o anillo. Se establece que la relación longitud-diámetro ( $l/d$ ) es directamente proporcional al índice de durabilidad. Por lo que se tiene que validar que la calidad del pellet sea la requerida sin provocar obstrucciones en los canales.
- **Abertura entre rodillo y matriz:** Define la presión ejercida sobre la materia prima, por consiguiente, mantiene una estrecha relación con la durabilidad del pellet. Relevante para el diseño para evitar obstrucciones o producción ineficiente.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Diagrama de flujo del proyecto

El flujograma de la metodología de diseño de la Figura 2.1 inicia con la definición de la problemática que debe estar justificada para luego dar apertura a la elaboración de los objetivos generales y específicos. En consecuencia, se elabora los criterios de evaluación para la ponderación de las alternativas de rediseño del equipo, a través de una matriz de decisión. Luego de la selección de aquellas opciones que cumplen con los requerimientos se procede a dimensionar las nuevas piezas que se ocuparan en el rediseño. Se definen los materiales y el proceso de manufactura de cada elemento para posteriormente realizar los análisis de costos que corresponde al rediseño de la máquina peletizadora. Si los costos totales son menores al presupuesto establecido entonces se procede con la elaboración de los planos de rediseño, sino se seleccionan nuevas alternativas para el rediseño del equipo. Finalmente se realizan las conclusiones y recomendaciones pertinentes al proyecto.



**Figura 2.1 Diagrama de flujo del proyecto**

Fuente: Autores

## 2.2 Requerimientos del cliente

En base a las necesidades del cliente, se definen criterios con su respectiva ponderación:

**Tabla 2.1 Requerimientos del cliente**

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Descripción</b>
Capacidad de producción	0.25	Cantidad [kg] de pellets por hora de trabajo
Costo de construcción y mantenimiento	0.20	Costo de material, mecanización, ensamble. Facilidad de limpieza y mantenimiento
Dimensión e integridad del pellet	0.15	Características físicas del pellet producido se encuentra dentro de norma
Seguridad del equipo	0.15	Adecuaciones necesarias en el equipo para asegurar la integridad del usuario
Calentamiento del sistema	0.10	Control de temperatura dentro del equipo
Granulometría de la biomasa	0.10	Estado de la biomasa al ingresar en el equipo
Nivel de ruido	0.05	Sonido percibido por el oído humano. Posee un límite máximo permisible.

Fuente: Autores

## 2.3 Normas de calidad para fabricación de pellets

Con el fin de asegurar la calidad de los pellets posterior a su fabricación se establecen normas con especificaciones técnicas para cada una de sus propiedades físicas y químicas. Se definen límites permitidos según el origen de la materia prima. En caso de envasado y distribución se requiere la información detallada en la etiqueta, de las características que posee el producto final.

El desarrollo de las normativas de pellets empezó en 1994 en Suecia, país pionero en la producción de pellets. Este país elaboró la norma SS 187120 donde

especifican tres categorías de calidad de pellets en base a parámetros físicos, mecánicos y químicos considerados. Posteriormente el comité europeo de estandarización (CEN) crea el Comité Técnico 335 (CEN/TC 335) con el propósito de la elaboración de una normativa que incluya todas las formas de biocombustibles en Europa. El resultado de la estandarización de las especificaciones técnicas para los biocombustibles sólidos como los pellets y las briquetas es lo que se aprecia en la Figura 2.2 a continuación. (García-Maraver & Carpio, 2015)

Parameter	Classification
Size (diameter and length) (mm)	D06: $D \leq 6 \pm 0.5$ and $L \leq 5D$ D08: $D \leq 8 \pm 0.5$ and $L \leq 4D$ D10: $D \leq 10 \pm 0.5$ and $L \leq 4D$ D12: $D \leq 12 \pm 1.0$ and $L \leq 4D$ D25: $D \leq 25 \pm 1.0$ and $L \leq 4D$
Moisture content (%)	M10: $\leq 10\%$ M15: $\leq 15\%$ M20: $\leq 20\%$
Ash content (%)	A0.7: $\leq 0.7\%$ A1.5: $\leq 1.5\%$ A3.0: $\leq 3\%$ A6.0: $\leq 6\%$ A6.0+: $> 6\%$
N (%)	N0.3: $\leq 0.3\%$ N0.5: $\leq 0.5\%$ N1.0: $\leq 1\%$ N3.0: $\leq 3\%$ N3.0+: $> 3\%$
S (%)	N0.05: $\leq 0.05\%$ N0.08: $\leq 0.08\%$ N0.1: $\leq 0.1\%$ N0.2+: $> 0.2\%$
Cl (%)	CL0.03: $\leq 0.03$ CL0.07: $\leq 0.07$ CL0.1: $\leq 0.1$ CL0.1+: $> 0.1$
Durability*	DU97.5: $\geq 97.5$ DU95.0: $\geq 95$ DU90: $\geq 90$
Fines content (% < 3.15 mm)	F1.0: $\leq 1\%$ F2.0: $\leq 2\%$ F2.0+: $> 2\%$
Bulk density ( $\text{kg/m}^3$ )	Recommended value should be included by manufacturer
Heating value (kcal/kg)	Recommended value should be included by manufacturer
Additives	Binding materials and ash inhibitory should be included in the label

\*Durability is defined in terms of percentage of whole pellets after testing.

**Figura 2.2 Especificaciones técnicas de pellet bajo la norma CEN/TC 335**

Fuente: (Garcia-Maraver & Carpio, 2015)

## 2.4 Identificación de los componentes y sistemas

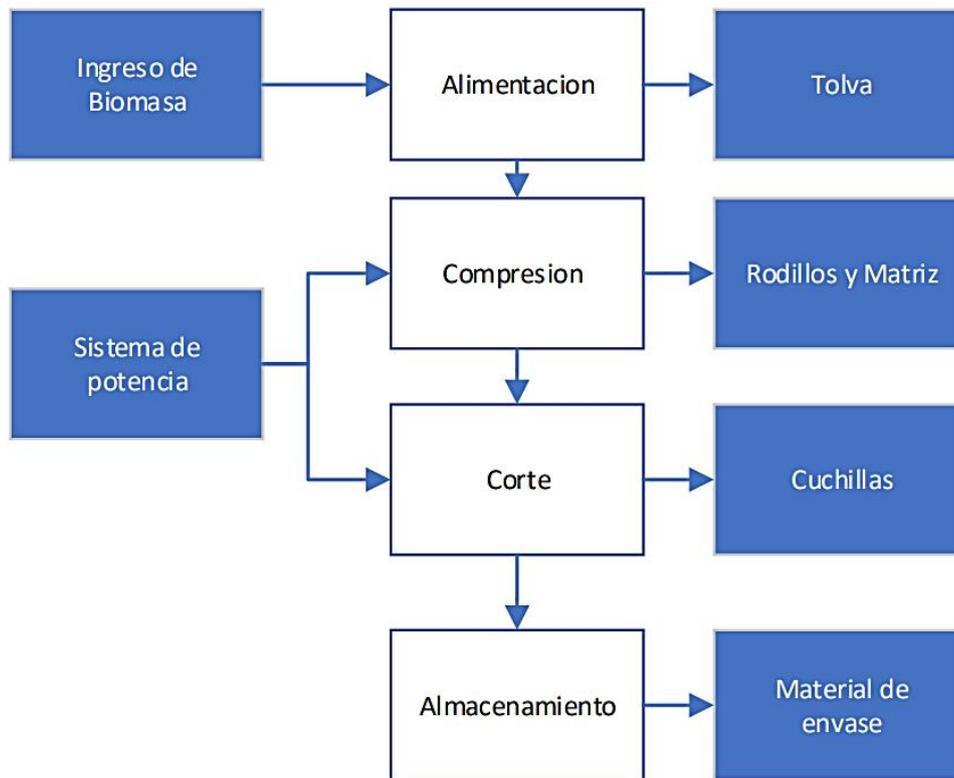


Figura 2.3. Diagrama de flujo del equipo

Fuente: Autores

### 2.4.1 Sistema de alimentación

Etapa inicial donde se ingresa de manera manual la materia prima (biomasa) que desea ser procesada. Generalmente poseen una capacidad suficiente para la producción estimada.

### 2.4.2 Sistema de compresión

- **Muelas:** Rodillos de acero al carbono con canales en V en la superficie radial, acoplado al eje principal de transmisión que permite la rotación en la matriz.



**Figura 2.4 Muelas (Rodillos)**

Fuente: Autores

- **Matriz:** Disco de acero al carbono con espesor definido y perforaciones en su sección plana que permite el ingreso y salida de la materia prima. Su objetivo es de definir el diámetro del pellet.



**Figura 2.5 Matriz (Plato)**

Fuente: Autores

### 2.4.3 Sistema de potencia

Se emplea un motor eléctrico de 5HP y reductor ortogonal para obtener la velocidad deseada. El eje es el encargado de la rotación de las muelas y cuchilla. No se considera la modificación de este sistema para el rediseño. A continuación se presenta la ficha técnica de motor eléctrico, así como el detallado y vistas de modelado de reductor se adjuntan en el Apéndice. Se detalla a continuación identificación de los equipos:

**Tabla 2.2 Equipos empleados para sistema de potencia**

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Tipo</b>
Motor Eléctrico 5HP	ABB Motors	3GQA112301-ADAX	M2QA Jaula de ardilla
Reductor Ortogonal	Bonfiglioli	W 86 U 30 P100 B5 B3	Tornillo sin fin

Fuente: Autores

### 2.4.4 Sistema de corte

El equipo cuenta con una platina rolada y sujeta en el eje principal que permite el corte a través de la rotación. La distancia entre el ingreso de materia prima en la matriz y contacto con la cuchilla define la longitud del pellet.



**Figura 2.6 Sistema de corte (Cuchilla)**

Fuente: Autores

## **2.5 Valoración del estado de los componentes y sistemas.**

Luego de la revisión de la maquina peletizadora se identificaron los elementos que generan fallas e impiden el cumplimiento de los criterios de evaluación establecidos. La metodología de la valoración se aplica mediante la inspección visual y manipulación del equipo. Es necesario el despiece de los componentes para obtener la mayor información posible.

### **2.5.1 Sistema alimentador**

La tolva del sistema alimentador está fabricada a base de una lámina metálica en forma de cilindro hueco. Se ajusta de manera deficiente a la periferia de la matriz dado que no existe una unión soldada o empernada que permita la fijación. Además, su forma no permite controlar el flujo másico de la biomasa entrante al sistema. Así mismo, su altura es insuficiente ya que queda al ras con el extremo superior de la muela.



**Figura 2.7 Olla de equipo. Material: Lata 0.5mm espesor**

Fuente: Autores

### **2.5.2 Sistema de prensado**

- Las dos muelas de prensado tienen una capa de óxido debido a la constante exposición al oxígeno presente en el ambiente y la falta de mantenimiento. Existe una acumulación de biomasa solidificada en el mecanismo de acople de las muelas al eje principal. Este material acumulado impide el correcto giro y traslación de las muelas en el plato. Adicional, el eje que soporta las muelas se encuentra torcido. Esto genera la oscilación de las ruedas durante el funcionamiento. Por último, no se cuenta con un material de sacrificio entre el soporte de las muelas y el eje de transmisión, por tal motivo ambos ejes se adhieren y dificultan el retiro de la pieza en caso de mantenimiento o limpieza.



**Figura 2.8 Vista superior de Muelas y eje de soporte**

Fuente: Autores

- La matriz posee una capa de óxido cobre toda la superficie. Las perforaciones en el plano son de 6mm diámetro y muchos de estos orificios se encuentran rellenos de biomasa solidificada. Dado al ancho espesor de la matriz (38mm), la transferencia de calor por conducción en el elemento es baja. Esta variable afecta el tiempo de preparación de la máquina para la producción de pellets en las condiciones de temperatura requerida. La altura del avellanado es excesiva (7mm) en todas las perforaciones y con un ángulo de inclinación  $\geq 45^\circ$  que aloja el material, causando obstrucciones.



**Figura 2.9 Perforaciones y avellanado en matriz**

Fuente: Autores

No existe una abertura entre las muelas y matriz, lo que genera la obstrucción del material en las ranuras de la matriz y ocasiona paras durante el proceso.

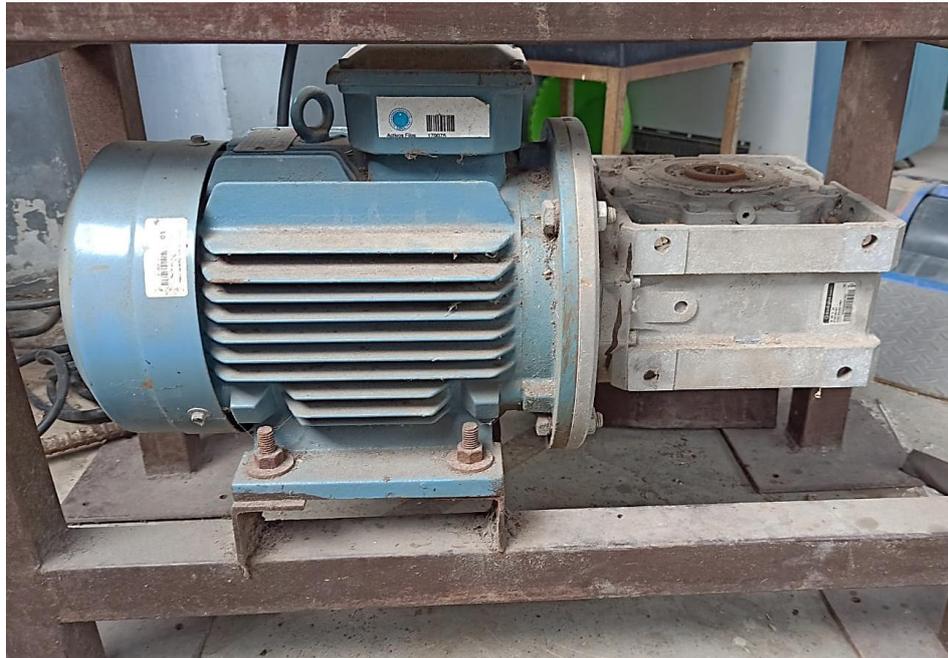


**Figura 2.10 Sistema Muelas-Matriz. Estado inicial de equipo.**

Fuente: Autores

### **2.5.3 Sistema de potencia**

El motor no presenta deterioro y no existen fallas durante la operación. De la misma forma, la caja reductora está en buenas condiciones. No existe registro y control de la lubricación de los mecanismos de transmisión debido al uso inactivo de la máquina.



**Figura 2.11 Conexión Motor – Reductor**

Fuente: Autores

#### **2.5.4 Sistema de corte**

El elemento no se encuentra alineado perpendicularmente al eje principal por lo que requiere ligeros ajustes. Adicional, durante la operación no se obtienen pellets con una altura constante , por lo que se podría inferir en la necesidad de agregar otra cuchilla.



**Figura 2.12 Forma y acabado superficial de cuchilla**

Fuente: Autores

## 2.6 Matriz de decisión

Para cada una de las matrices de decisión se evalúa cada factor con un puntaje del 1 al 5, siendo el 5 el más alto. El peso se lo define en orden descendente de izquierda a derecha según la importancia o necesidad del factor planteado.

### 2.6.1 Sistema alimentador

Se plantea el uso de una tolva con tres formas posibles: Cilíndrica, Cúbica y Cónica. Para todas las alternativas el material elegido para la construcción es acero inoxidable por su acabado superficial y propiedades anticorrosivas.

**Tabla 2.3 Matriz decisión para sistema alimentador**

	Ingreso de materia prima (Peso: 5)	Complejidad de fabricación (Peso: 4)	Limpieza (Peso: 3)	Puntuación
Cilíndrica	3	5	4	47
Cúbica	3	4	2	37
Cónica	5	3	5	52

Fuente: Autores

En base al puntaje de la matriz se elige la construcción de una tolva cónica.

### 2.6.2 Sistema de prensado

Se plantean a continuación las dos maneras de maquinar las piezas para obtener las dimensiones deseadas: Torno/fresa Convencional y CNC.

**Tabla 2.4 Matriz de decisión para sistema de prensado**

	Costo (Peso: 5)	Precisión (Peso: 4)	Acabado (Peso: 3)	Puntuación
Torno y Fresa Convencional	5	4	4	53
Torno y Fresa CNC	3	5	5	50

Fuente: Autores

En base al puntaje obtenido se procede a maquinar las piezas en un taller con torno y fresa convencionales.

### 2.6.3 Sistema de potencia

Para el presente proyecto no se plantea el rediseño del sistema de potencia, dado que los equipos empleados se encuentran en óptimas condiciones.

### 2.6.4 Sistema de corte

Dadas las condiciones en la que se encuentra la cuchilla se procede al mantenimiento del sistema de corte. Únicamente se realizará un tratamiento superficial a la pieza para retirar el óxido.

### 2.6.5 Sistema de calentamiento

Se plantea el uso de tres diferentes sistemas que permitan el calentamiento de la matriz previo y durante la producción de pellets: Calentamiento por resistencia tipo

banda aislada con mica, Calentamiento por inducción con bobina, Calentamiento por camisa agua con resistencia eléctrica.

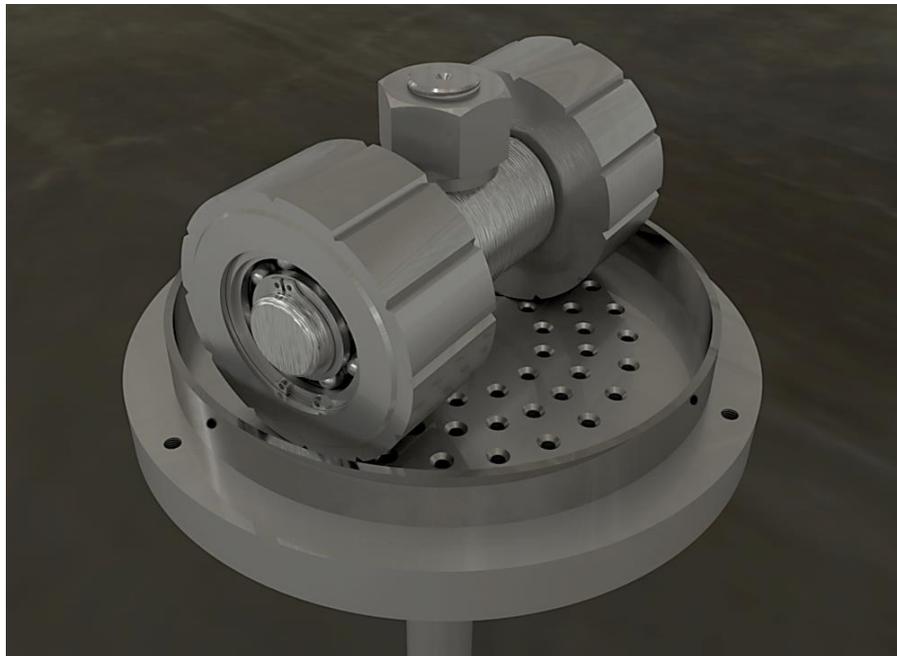
**Tabla 2.5 Matriz de decisión para sistema de calentamiento**

	Eficiencia (Peso: 5)	Costo (Peso: 4)	Compatibilidad (Peso: 3)	Puntuación
Mica	5	3	5	52
Bobinas	4	4	4	48
Camisa de agua	3	3	1	30

Fuente: Autores

En base al puntaje de la matriz se opta por el calentamiento por medio de una resistencia de banda aislada con mica.

## 2.7 Diseño de forma



**Figura 2.13 Diseño CAD 3D de sistema de prensado**

Fuente: Autores

## 2.8 Ecuaciones fundamentales

### 2.8.1 Sistema alimentador

#### Volumen de la tolva

Para el sistema de alimentación del equipo, se empleará una tolva para permitir el ingreso de la biomasa triturada y evitar que el material sea eyectado al exterior. La tolva que se utilizará tiene forma cónica y el volumen de biomasa que puede ingresar al sistema de alimentación se calcula con la ecuación 2.1. (Norton, 2011)

$$V_{tolva} = \pi * r_{interno} * h_{cilindro} + \frac{h_{cono} * \pi}{3} (r_{sup}^2 + r_{inf}^2 + r_{sup} r_{inf}) \quad (2.1)$$

### 2.8.2 Dimensiones del pellet

#### Longitud del pellet

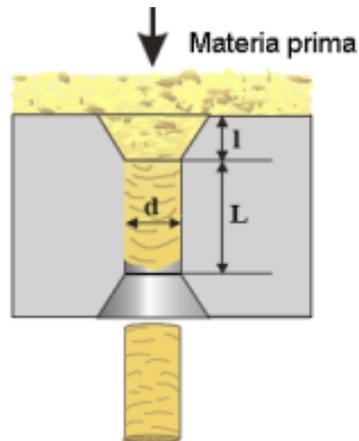
La norma europea CEN/TS 14961 clasifica los biocombustibles solidos en las especificaciones y propiedades para los pellets según su tamaño. Para un pellet de diámetro menor o igual 6 mm se calcula su longitud con la ecuación 2.2. (Antolín, 2006)

$$L_{pellet} \leq 5 * D_{pellet} \quad (2.2)$$

#### Razón de compresión del pellet

La relación de compresión ( $R_{comp}$ ) de la matriz es un indicador importante para la calidad del pellet. Si se trabaja con valores de compresión muy elevados entonces el tiempo de fabricación de pellets es más largo, la densidad de las partículas incrementa, la extrusión se hace más difícil y la matriz tiene que ser más gruesa. La materia prima utilizada es la madera dura que requiere de relación de compresión de 1:4.5, es decir  $R_{comp} = 4.5$ . La relación de compresión del pellet se calcula en base a las dimensiones del orificio de la matriz, tal como se muestra en la Figura 2.15 y se puede calcular con la ecuación 2.3. (YULONG Machine Co., 2022)

$$R_{comp} = \frac{L_{orificios} + 2L_{avellanado}}{D_{orificios}} \quad (2.3)$$



**Figura 2.14 Compresión de materia prima en orificios**

Fuente: (Arpi & Calderón, 2010)

El avellanado de los orificios de la matriz es de tipo cónico y van en todos los agujeros para facilitar el ingreso del material. La conicidad empleada es de 55 – 60 ° y no debe de ser tan profundo dado que existe un riesgo de atascamiento de la materia y obstruyen la producción de pellets.

### **Volumen de la biomasa para la producción de cada pellet**

$$V_{biomasa} = V_{pellet} * R_{comp} \quad (2.4)$$

Fuente: (Arpi & Calderón, 2010)

### **Densidad del pellet de biomasa**

$$\rho_{pellet} = \rho_{biomasa} * R_{comp} \quad (2.5)$$

Fuente: (Mero & Bonifaz, 2017)

## **2.8.3 Sistema de prensado**

### **Presión de las muelas para la compactación de la biomasa**

En el sistema de extrusión las muelas comprimen la biomasa dentro los orificios de la matriz. Este proceso genera fuerzas internas que dependerán de las propiedades de la materia prima con la que se trabaje. Las ecuaciones a continuación consideran la compresión de la biomasa en el instante que las muelas estén sobre los orificios de la matriz.

La presión de las muelas para la compactación de la biomasa ( $P_{muelas}$ ) depende del esfuerzo de fluencia de la materia ( $\bar{Y}_f$ ) y la deformación de la extrusión ( $\varepsilon_x$ ), tal como se indica en la ecuación 2.6. (Groover, 1997)

$$P_{muelas} = \bar{Y}_f * \varepsilon_x \quad (2.6)$$

La deformación de la extrusión es un valor adimensional que considera el ángulo del avellanado y la relación de compresión de la matriz.

$$\varepsilon_x = a + b * \ln(R_c) \quad (2.7)$$

Fuente: (Groover, 1997)

Donde a y b son constantes empíricas relacionadas a un ángulo de avellanado dado.

### **Fuerza de compactación de las muelas**

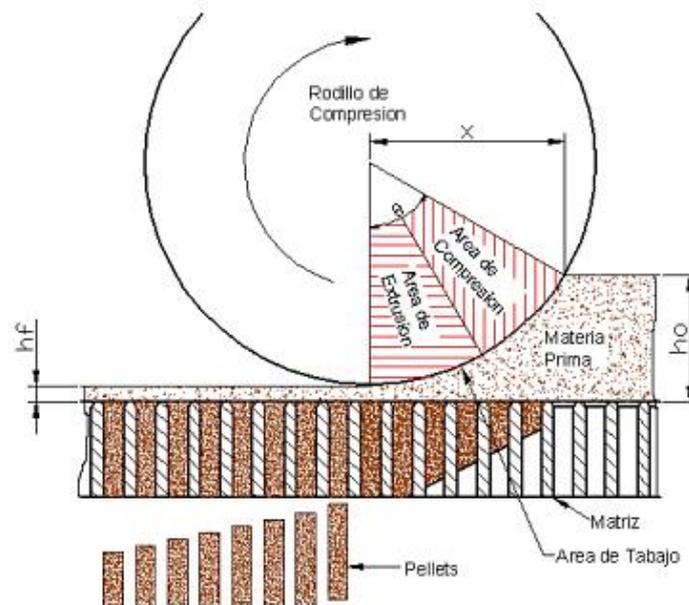
La fuerza de compactación del rodillo ( $K$ ) se obtiene del área del orificio ( $A_{orificio}$ ) y la presión de compactación ( $P_{muelas}$ ).

$$K = P_{muelas} * A_{orificio} \quad (2.8)$$

Fuente: (Groover, 1997)

### **Presión de biomasa sobre las muelas**

En la Figura 2.16 se aprecia que la biomasa tiene una altura ( $h_o$ ) antes de estar en contacto con las muelas en el área de compactación. Luego de la compactación se da la extrusión de la materia prima donde la altura de la biomasa sobre la matriz se reduce a ( $h_f$ ).



**Figura 2.15 Compactación y extrusión de la biomasa en los orificios de la matriz**

Fuente: (Guerra, 2013)

El contacto de la biomasa con los orificios de la matriz ocasiona una fuerza de fricción contraria a la producida por las muelas, por lo tanto, los rodillos deben ejercer una presión adicional ( $P_f$ ) para superar la fricción.

$$P_f = \bar{Y}_f * \frac{2h_f}{D_{orificios}} \quad (2.9)$$

Fuente: (Ramos, 2019)

### **Presión sobre las paredes de los orificios**

En el interior de los orificios de la matriz existe una presión ( $P_o$ ) sobre las paredes internas que es perpendicular a la superficie y originada por la biomasa extruida.

$$P_o = P_f * \frac{D_{orificios}}{4 * \mu * h_f} \quad (2.10)$$

Fuente: (Arpi & Calderón, 2010)

En la ecuación 2.10, la variable  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre la biomasa y el acero.

### **Fuerza de fricción del pellet sobre las paredes del agujero**

La compactación de la biomasa se da en los orificios de la matriz, por medio de la fuerza de fricción en las paredes que va en dirección opuesta al movimiento de la materia prima. La fuerza ( $F_r$ ) debe de ser de menor magnitud que la fuerza de compactación (K) para que no haya taponamiento en los orificios de la matriz.

$$F_r = \mu * P_o * D_{orificios} * L_{orificios} \quad (2.11)$$

Fuente: (Arpi & Calderón, 2010)

## 2.9 Simulación

### 2.9.1 INVENTOR PROFESSIONAL 2022

Software CAD (Diseño asistido por computadora, por sus siglas en inglés) producido por la empresa Autodesk. Ofrece herramientas para el modelado paramétrico en 3D, simulación y render. Para el presente proyecto se empleará la licencia estudiantil otorgada por ESPOL.



Figura 2.16 Logo Autodesk Inventor

Fuente: (Creative Tools, 2022)

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Colocar una abreve introducción

### 3.1 Resultados

Se han considerado las siguientes dimensiones:

$$r_{interno} = 0.254 \text{ m}$$

$$h_{cilindro} = 0.202 \text{ m}$$

$$h_{cono} = 0.20 \text{ m}$$

$$r_{sup} = 0.350 \text{ m}$$

$$r_{inf} = 0.210 \text{ m}$$

$$D_{pellet} = 0.006 \text{ m}$$

$$L_{orificios} = 0.020 \text{ m}$$

$$l_{avellanado} = 0.002 \text{ m}$$

$$\bar{Y}_f = 60 \text{ MPa}$$

$$A_{orificio} = 2.827 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$h_f = 0.001 \text{ m}$$

$$\mu = 0.7$$

El coeficiente de fricción estático ( $\mu$ ) entre el acero y la madera es 0.7.

#### Sistema alimentador

Mediante la ecuación 2.1 se calculó que el volumen de la tolva que indica la máxima cantidad de biomasa que se puede ingresar al sistema en un instante dado.

$$V_{tolva} = \pi * 0.254 * 0.202 + \frac{0.20 * \pi}{3} (0.350^2 + 0.210^2 + 0.350 * 0.210)$$
$$V_{tolva} = 0.211 \text{ m}^3$$

#### Dimensiones del pellet

La longitud promedio del pellet producido es de 28mm, por lo tanto, según la ecuación 2.2 se cumple la relación definida por la norma europea:

$$L_{\text{pellet}} \leq 5 * 6\text{mm}$$

$$28\text{ mm} \leq 30\text{mm}$$

Por otra parte, la razón de compresión ( $R_{\text{comp}}$ ) que se obtiene en el plato considerando las dimensiones de los orificios es de 4. Se utilizó la ecuación 2.3 para el cálculo.

### **Sistema de prensado**

Considerando para la ecuación 2.7 los valores empíricos de  $a=0.9$  y  $b=1.5$  para un ángulo de avellanado de  $60^\circ$ , se calculó la deformación de extrusión del sistema:

$$\varepsilon_x = 0.9 + 1.5 * \ln(4)$$

$$\varepsilon_x = 2.979$$

La presión de las muelas ejercidas para la compactación de la biomasa es la siguiente, de acuerdo con la ecuación 2.6.

$$P_{\text{muelas}} = \bar{Y}_f * \varepsilon_x$$

$$P_{\text{muelas}} = 60 * 3.21$$

$$P_{\text{muelas}} = 178.766\text{ MPa}$$

Con el área del orificio ( $A_{\text{orificio}}$ ) de  $2.827 \times 10^{-5}\text{ m}^2$  se logra una fuerza de compactación del rodillo (K) de 5005.462 N sobre la biomasa ubicada en la superficie del plato metálico.

De acuerdo con la ecuación 2.9, la presión de la biomasa sobre las muelas en el proceso de extrusión es de:

$$P_f = \bar{Y}_f * \frac{2h_f}{D_{\text{orificios}}}$$

$$P_f = 60 * \frac{2(0.001)}{0.006}$$

$$P_f = 20\text{ MPa}$$

Mediante el análisis de las fuerzas producidas dentro de los orificios del plato, se calcula con la ecuación 2.10 que la presión ejercida en las paredes del agujero es:

$$P_o = P_f * \frac{D_{orificios}}{4 * \mu * h_f}$$

$$P_o = 20 * \frac{0.006}{4 * 0.7 * 0.001}$$

$$P_o = 42.857 MPa$$

El taponamiento en el sistema no se da si la fuerza de compactación (K) es mayor que la fuerza de fricción del pellet-orificio (Fr) calculada a continuación:

$$F_r = \mu * P_o * D_{orificios} * L_{orificios}$$

$$F_r = 0.7 * 42.857 * 0.006 * 0.020$$

$$F_r = 3599.99 N$$

Entonces:

$$F_r < K$$

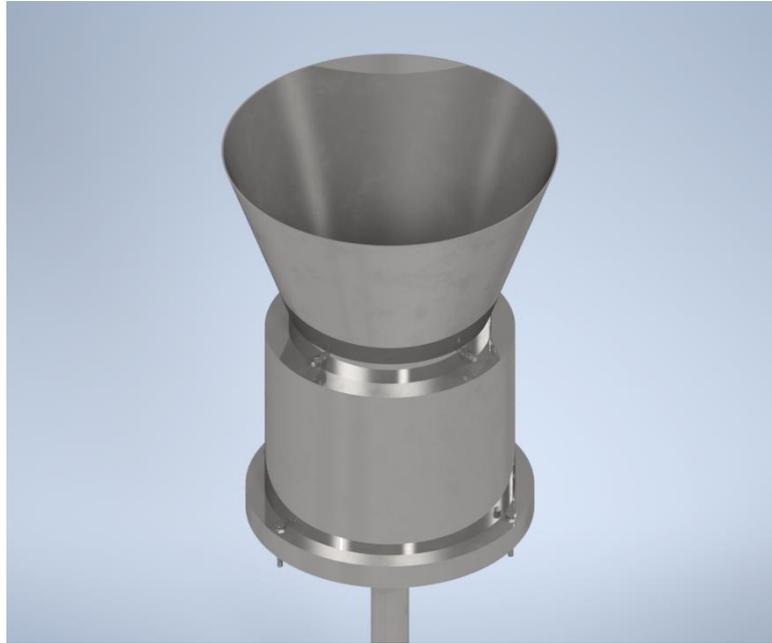
$$3599.99 N < 5005.462 N$$

Se cumple que la fuerza de compactación es mayor, por lo tanto, no existe un taponamiento en el sistema de extrusión.

### 3.1.1 Diseño CAD

En cuanto a la simulación, se creó un archivo para cada pieza que conforma el equipo y posterior se ensambló insertando elementos estándar de la biblioteca del centro de contenido como son los rodamientos, pernos, tuercas y anillos de presión. Así mismo, se acotó cada pieza empleando el archivo de dibujo con su respectiva vista isométrica.

De igual forma, se dimensionó la alternativa seleccionada para el recipiente y tolva. Se definió usar la plancha de acero galvanizado de 2mm espesor como material para la fabricación, por su precio y propiedades mecánicas.

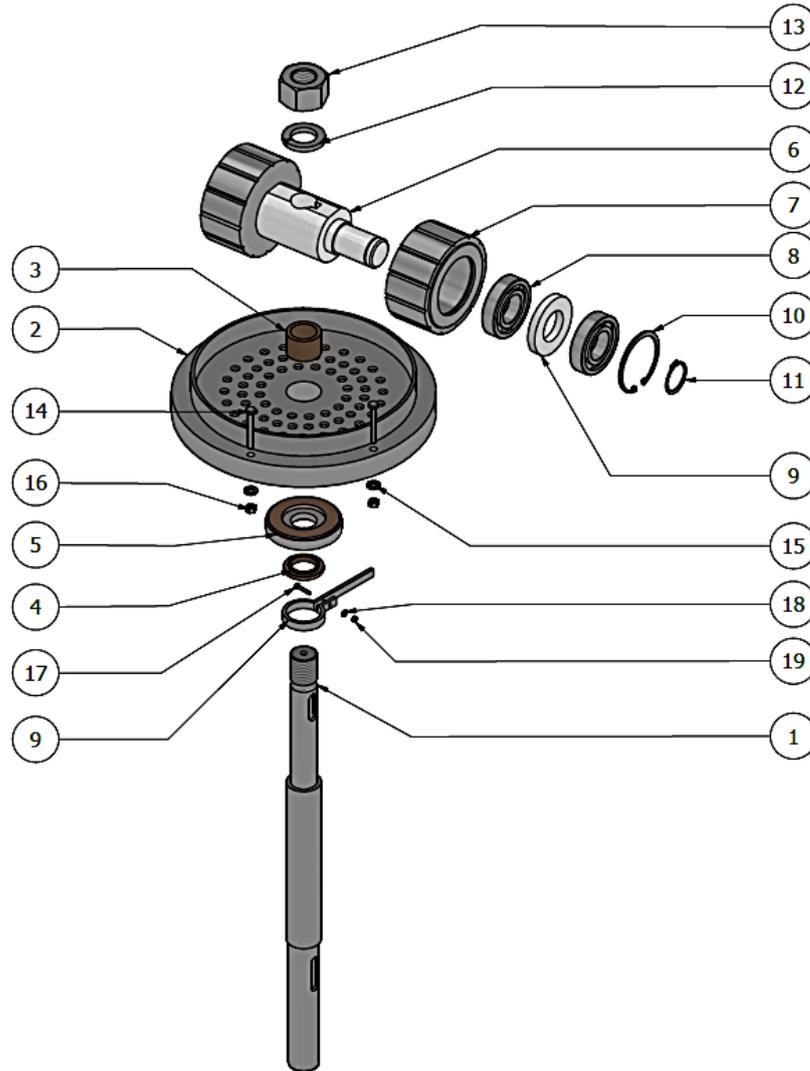


**Figura 3.1 Peletizadora - Perspectiva isométrica**



**Figura 3.2 Peletizadora - Vista frontal con corte**

El despiece del equipo y lista de elementos son detallados en la figura 3.3 y tabla 3.1 respectivamente. Se evidencia en la sección posterior que los elementos descritos fueron los empleados para las pruebas realizadas.



**Figura 3.3 Vista explosionada de ensamble**

**Tabla 3.1 Lista de partes de peletizadora**

Item	Cant.	Detalle
1	1	Eje principal
2	1	Matriz
3	1	Bocín Matriz
4	1	Bocín Soporte
5	1	Soporte
6	1	Eje Muelas
7	2	Muela

8	4	Rodamiento 6207-2RS1
9	2	Anillo plano 9.5mm espesor
10	2	Anillo de retención interno ANSI 3BMI-70
11	2	Anillo de retención externo ANSI 3AMI-35
12	1	Anillo de presión AS 1968 30
13	1	Tuerca AS 1252 - M30
14	4	Perno AS 1110 - M6 x 50
15	4	Anillo de presión AS 1968 - 1976 - 8
16	4	Tuerca ANSI B18.2.4.2M - M6x1
17	1	Perno AS 1110 - M6x25
18	1	Anillo de presión AS 1968 7
19	1	Tuerca ANSI M6x0.5

### 3.1.2 Piezas modificadas

Las dimensiones de ciertas piezas fueron modificadas por medio de operaciones de torneado y fresado. Adicionalmente, se fabricaron elementos nuevos, indispensables para el correcto funcionamiento del equipo, como lo son: Cuña y bocín.

**Tabla 3.2 Operaciones realizadas según pieza**

Pieza	Descripción	Operación	Máquina
Matriz	Reducir espesor de matriz	Refrentado	Torno
	Contorno de pieza para lograr concentricidad	Cilindrado	Torno
	Agujeros pasantes con chaflán en cara	Taladrado, Avellanado	Fresa
Eje principal	Fabricación de eje con diferentes secciones transversales	Cilindrado	Torno
	Rosca M30 hilo grueso en extremo.	Roscado	Torno
	Cuñero en cara de eje	Ranurado	Fresa
Muelas	Rueda hueca con agujeros con diámetro de entrada y salida diferentes	Cilindrado interior, Cilindrado exterior, Taladrado, Refrentado	Torno
	Canales tipo V en superficie	Ranurado	Fresa
	Canal para anillo de retención	Ranurado	Torno
Eje de muelas	Fabricación de eje con diferentes secciones transversales y sujeción de anillo de retención	Cilindrado, Ranurado, Taladrado	Torno
	Cuñero en orificio de eje	Ranurado	Fresa

Soporte	Fabricación de bocín de bronce tipo sombrero	Cilindrado, Refrentado	Torno
	Reducir espesor de pieza	Refrentado	Torno

Con respecto a los ejes, ambos se encontraban torcidos, por lo que se fabricaron ejes nuevos con acero tratado térmicamente y acero 705 para el principal y eje de muelas respectivamente tal como se muestra en la figura 3.4.



**Figura 3.4 Eje nuevo y muelas**

Para la matriz se refrentó ambas caras y se realizó un avellanado de 3mm profundidad con un ángulo de 60° en cada agujero. El propósito fue evitar la obstrucción de la biomasa en los orificios durante el funcionamiento del equipo. Se inserto un bocín de bronce en el eje del matiz para evitar el desgaste del plato. Estos cambios se aprecian en la figura 3.5.



**Figura 3.5 Matriz refrentada**

### **3.1.3 Reensamble**

1. Colocación del eje principal en la caja reductora del sistema de potencia.
2. Se insertó bandeja de recepción de pellets en el eje del sistema de transmisión.
3. La cuchilla de corte fue sujeta al eje principal a través perno y tuerca de seguridad.
4. Ubicación del soporte del plato, que se asentó sobre el eje en una sección con cambio de diámetro.
5. Instalación de la matriz. Se fijó a la bancada mediante pernos, anillos de presión y tuercas.
6. Se introdujeron las muelas con rodamientos en su eje de soporte, sujetadas por medio de anillos de retención.
7. Se insertó eje de muelas en eje principal, montándolo encima de la matriz.
8. Se fijó el sistema con un anillo de presión y tuerca en el eje principal.

9. Se situó la tolva cilíndrica empotrada al anillo que sobresale en la matriz. Fue fabricada con 25cm alto para su uso provisional durante las pruebas por exceso de viento.



**Figura 3.6 Ensamble de equipo con tolva cilíndrica provisional**

#### **3.1.4 Pruebas realizadas con el equipo**

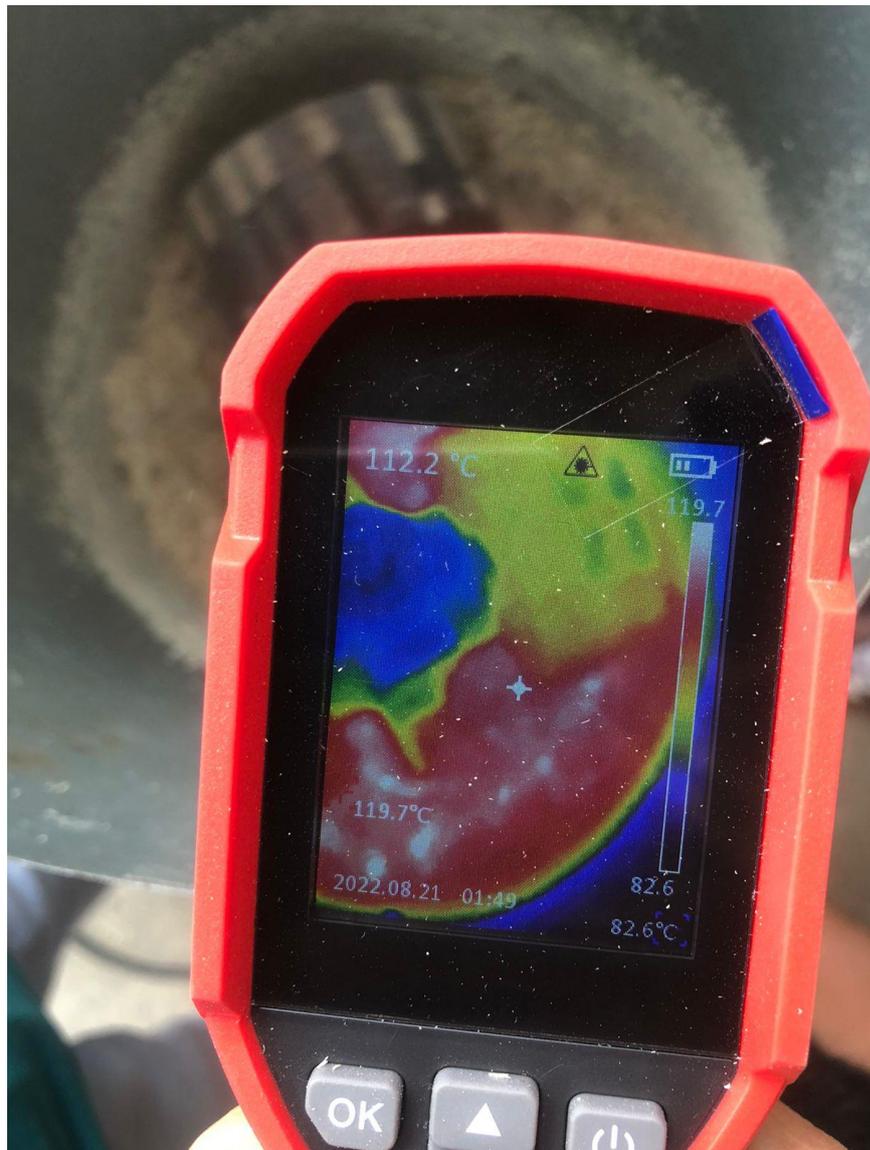
El procedimiento fue el siguiente:

Se alimentó la peletizadora con biomasa que fue añadida manualmente al sistema. Mientras se agregaba materia, las muelas compactaban la biomasa tal como se muestra en la figura 3.7.



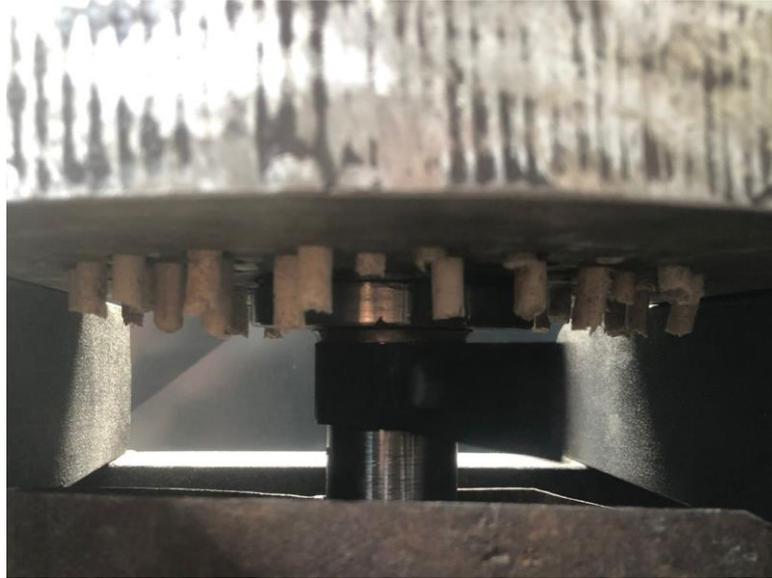
**Figura 3.7 Proceso de compresión de biomasa**

La constante fricción entre la muela, matriz y materia originó un calentamiento, que incrementó la temperatura del sistema biomasa-componentes, alcanzando los 119.7°C tal como se evidencia en la figura 3.8. Una vez alcanzada la temperatura antes mencionada se presenció vapor emergente de la tolva, producto de la humedad presente en la masa.



**Figura 3.8 Cámara termográfica enfocando biomasa durante operación**

La masa, al estar compactada y con una temperatura alta, empezó a extruirse a través de los agujeros de la matriz. La figura 3.9 muestra los primeros pellets de biomasa que salen lentamente por la parte inferior del plato.



**Figura 3.9 Extrusión de pellets a la salida de la matriz**

Una vez extruidos los pellets el sistema de corte golpeó la biomasa saliente, provocando su caída en la bandeja de almacenamiento. Las primeras muestras de pellets fabricados se observan en la figura 3.10 donde existieron variaciones de longitud en cada uno de ellos. Esto se puede corregir modificando la composición de la mezcla de biomasa ingresado en el sistema.



**Figura 3.10 Pellets obtenidos**

Por último, una vez enfriado los pellets se procedió a realizar las respectivas mediciones: Longitud, diámetro, peso. Esto para corroborar las propiedades físicas del pellet en comparación a los requerimientos internacionales.

En la tabla 3.3 se resume los resultados obtenidos en la peletizadora con las diferentes muestras utilizadas en las pruebas.

**Tabla 3.3 Pruebas del equipo con diferentes muestras de biomasa**

	<b>Muestra "A"</b>	<b>Muestra "B"</b>
<b>Composición</b>	50% madera 20% cascara cacao 10% cascarilla arroz 20% Tusa	Neem Tusa de choclo
<b>Kg de materia ingresada</b>	300 g	600 g
<b>Tiempo de producción</b>	30 min	89 min
<b>Temperatura promedio de operación</b>	50°C	119.7°C
<b>Diámetro de pellet</b>	6.5 mm	6.7 mm
<b>Longitud de pellet</b>	10 mm	28 mm

## **3.2 Análisis de costos**

### **3.2.1 Costo para funcionamiento del equipo**

Los costos considerados en el proyecto corresponden principalmente a los trabajos de mecanización de las piezas. Los valores más elevados de acuerdo con la tabla 3.4 son el refrentado de la matriz, el torneado del eje principal y la construcción de un nuevo eje de soporte de las muelas. Se utilizo para el eje principal y el eje de las muelas las medidas del diseño inicial dado que en el

rediseño del equipo se aplican los mismos esfuerzos calculados en el diseño original.

**Tabla 3.4 Costo de rediseño e imprevistos**

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
Matriz	Refrentado total de 13mm en caras	\$ 60.00
	Contorno de pieza para lograr concentricidad	\$ 10.00
	Avellanado de 2mm en orificios	\$ 15.00
	Fabricación de anillo 25mm de alto soldado a plato	\$ 10.00
	Compra de pernos, anillos de presión y tuercas para fijación con bancada	\$ 1.50
Eje principal	Construcción de eje nuevo conforme a las medidas del eje anterior	\$ 80.00
	Rosca No. 7 hilo grueso en extremo.	\$ 10.00
	Cuñero para reductor y cuñero eje de muelas	\$ 20.00
	Cilindrado y enderezado de eje antiguo	\$ 30.00
	Chaflán y re-roscado en hilo	\$ 15.00
	Compra de tuerca y anillo de presión	\$ 4.00
Eje de muelas	Construcción de eje nuevo incrementando diámetro de sección de apoyo, incluye material	\$ 70.00
	Fabricación de cuña para sujeción con eje principal	\$ 10.00
	Compra de 2 anillos de retención para eje	\$ 1.00
Torta	construcción de bocín de bronce fosfórico tipo sombrero para apoyo con eje principal	\$ 20.00
	Refrentado 1mm de cara de bronce y contorno de pieza	\$ 15.00
Cuchilla	Compra de perno, anillo de presión y tuerca de seguridad para sujeción con eje principal	\$ 1.00
Varios	Pintura en aerosol sintético para metal color verde y amarillo	\$ 10.00
	Pernos M10 con tuerca, anillo de presión y anillos planos para fijar motor con bancada	\$ 3.00
<b>Total</b>		<b>\$ 385.50</b>

### 3.2.2 Costo de alternativas seleccionadas

En la tabla 3.5 se consideran costos adicionales que mejoran la operatividad de la peletizadora. Las micas de banda son un sistema de calentamiento que se puede emplear alrededor de la tolva para lograr calentar rápidamente la biomasa

introducida a la temperatura optima. Este elemento adicional no se empleó debido a su elevado precio y porque en las pruebas realizadas se llegó a temperaturas superiores a los 90°C luego de un periodo de tiempo, por lo tanto, no fue necesario su implementación. También se incluye anillos separadores como adicionales que sirven para controlar el distanciamiento entre las muelas y la matriz, esto ayuda en aumentar o disminuir la compactación de la biomasa sobre el plato.

**Tabla 3.5 Costos de soluciones planteadas**

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
Cilindro	Plancha galvanizada de 3mm espesor rolada a 25 cm diámetro, altura de 20 cm, uniones soldadas.	\$ 50.00
Tolva	Plancha galvanizada de 2mm espesor. Formación de cono, uniones soldadas.	\$ 60.00
Mica	Resistencia de banda tipo Mica para calentamiento de cilindro.	\$ 200.00
Separador	Anillo torneado según medidas para separación de muelas con matriz.	\$ 20.00
Control	Instalación de guardamotor, contactor y panel de control	\$ 150.00
<b>Total</b>		<b>\$ 480.00</b>

### **3.3 Análisis de resultados**

#### **3.3.1 Mecanizado y ensamble de piezas**

Tal como se evidencian en los resultados se colocó un bocín en el soporte del plato dado que al momento de extraer pieza se busca evitar que se adhiera al eje principal al tratarse de materiales similares trabajando a temperaturas elevadas. Así mismo, se fabricó una cuña para sujetar el eje de las muelas y principal. Esto para que el movimiento sea simultáneo y se transmita eficientemente la potencia. También, y considerando los cálculos realizados en la sección 3.1.1, se reduce el espesor de la matriz para incrementar la transferencia de calor generada por la fricción con la biomasa, así mismo, evitar las obstrucciones provocadas por un canal de extrusión (agujero) considerablemente extenso. Para el eje de muelas se

incrementó la sección transversal central para evitar torción provocada por las cargas generadas durante compresión y retiro manual de la pieza después de la producción. Para el ensamble se procedió según el Plano 7: Despiece. Se midió con un nivel de burbuja la inclinación del plato al fijarlo a la bancada. Se colocaron anillos planos para regular el nivel y asegurar perpendicularidad entre la superficie de la matriz y eje principal. Durante el ensamble se presencia la importancia de la tolerancia y holgura que deben poseer las piezas, dado que al momento de producir estos se calientan y por ende se dilatan. Esto puede generar más fricción de la deseada y las piezas se pueden adherir unas con otras. De aquí el valor del material de sacrificio para permitir el desgaste sin que ocurra la unión de componentes.

### **3.3.2 Pruebas con biomasa**

Las pruebas del equipo se dieron con dos diferentes composiciones de biomasa. En la tabla 3.3 se tienen los datos obtenidos de la muestra "A" y muestra "B", que son un material suave y uno duro respectivamente. En el ensayo con el material suave se obtuvo pocos pellets con longitudes menor a 6.5 mm. El material ingresado tenía partículas muy pequeñas y sin humedad, esto causó que el compuesto no se compacte y que el polvo caiga sin obstrucción a través de los orificios en los primeros 20 minutos de la prueba. Luego se empezó a ver orificios con el material compactado, pero no una extrusión de estos debido a la falta de una mayor alimentación de biomasa al sistema. Los 300 gramos utilizados de la muestra "A" no fueron lo suficiente para extruir el material a través de los agujeros y también para elevar la temperatura del sistema a un valor superior a los 50°C. La generación de calor en la biomasa estaba limitada por la fricción entre la materia y las muelas, que durante el ensayo iba disminuyendo debido a la pérdida constante del material ubicado en la matriz. Este se escapaba al ambiente o se fugaba a través de los orificios del plato. Los pellets de esta prueba se obtuvieron de forma manual empujando la biomasa compactada en los orificios.



# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Los cambios planteados en el rediseño del equipo permitieron la producción de pellets considerando la reducción de humedad por medio de una mejor transferencia de calor en el proceso, además de disminuir la fricción entre la biomasa, las muelas y el plato. Finalmente se acoplaron elementos como bocines de bronce que mejoran la eficiencia de operación del equipo.
- La reducción del espesor del plato permite que el equipo transfiera calor más rápidamente al entorno evitando el sobrecalentamiento.
- La reducción del sobrecalentamiento del plato mejora el proceso de producción disminuyendo el taponamiento en los orificios por excesivo secado o pérdida total de humedad de la biomasa residual del pellet.
- Se estableció el sistema de calentamiento por mica en el equipo para alcanzar en un menor tiempo la temperatura óptima de trabajo en el sistema biomasa-componente.
- La máquina permite la elaboración de pellets que cumpla el criterio de la norma europea de biocombustibles solidos CEN/TS 14961.

### 4.2 Recomendaciones

- Fabricar anillo separador entre muelas y matriz con alturas definidas para cada tipo de biomasa. Esto para evitar la obstrucción de la matriz y mejorar la compactación del pellet.
- Insertar un mínimo de 1 kg de biomasa durante pruebas con equipo dado el consumo para la extracción del pellet en la matriz. Alimentar continuamente con masa y mantener una temperatura máxima de 80°C durante la producción.
- Realizar las pruebas en un lugar con mínimas corrientes de aire. Esto para evitar la pérdida de biomasa a la salida del equipo.

- Incorporar un sistema de medición de temperatura por medio de una termocupla en el reservorio cilíndrico del equipo. Esto para controlar los parámetros térmicos del sistema biomasa-componentes.
- Usar mascarilla y gafas de seguridad en todo momento durante la producción.
- Fijar bancada al piso por las vibraciones generadas por los equipos de transmisión de potencia.

# BIBLIOGRAFÍA

- ABB Motors. (2022). *Motores de aplicación general en hierro fundido - Baja tensión*. Obtenido de Catalogo ABB: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105713A3906&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>
- Antolín, G. (Septiembre de 2006). *NORMALIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE LOS PELLETS*. Obtenido de [http://neobiosur.com/wp-content/uploads/2013/10/normativa\\_biocombustibles.pdf](http://neobiosur.com/wp-content/uploads/2013/10/normativa_biocombustibles.pdf)
- Anyang Gemco Energy Machinery Co.,Ltd. (Junio de 2022). *A Guide To Small Scale Pellet Mill*. Obtenido de <http://www.pelletmillequipment.com/document/Technical-Guide-on-Wood-Biomass-Pellets-Production-final.pdf>
- Arpi, J., & Calderón, C. (Febrero de 2010). "DISEÑO DE UNA MAQUINA PELLETIZADORA EN BASE A LA DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS MADEREROS DE LA CIUDAD DE CUENCA PARA SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO". Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Bioenergética Pirenaica. (2018). *Así es el ciclo de la biomasa*. Barcelona, España. Obtenido de <https://biomassenergetic.com/es/asi-es-el-ciclo-de-la-biomasa/>
- Biomass Users Network BUN-CA. (2002). *Manuales sobre Energía Renovable - Biomasa*. Costa Rica: San José. Recuperado el 10 de Junio de 2022, de [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/5EA2E564AF6F41D405257CC1005B2354/\\$FILE/Manuales\\_sobre\\_energ%C3%ADa\\_renovableBIOMASA.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/5EA2E564AF6F41D405257CC1005B2354/$FILE/Manuales_sobre_energ%C3%ADa_renovableBIOMASA.pdf)
- Bonfiglioli. (2022). Obtenido de <https://shop.bonfiglioli.com/store/bonfigliolib2c/en/product/2G28011861>
- Ciolkosz, D. (2009). Penn State College of Agricultural Sciences. *Manufacturing Fuel Pellets from Biomass*. Pennsylvania, EE. UU. Recuperado el 07 de Junio de 2022
- Creative Tools. (2022). *Autodesk - Inventor Professional 2023*. Obtenido de <https://www.creativetools.se/software/cad-software/autodesk-inventor-professional>
- Empresa Provincial de Energía de Córdoba EPEC. (2022). *Energía renovable: La Biomasa*. Obtenido de División Gestión Ambiental: <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/biomasa.pdf>

- ESIN CONSULTORA S.A. (2 de Enero de 2014). ATLAS BIONERGÉTICO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Obtenido de <https://www.ariae.org/servicio-documental/atlas-bionergetico-de-la-republica-del-ecuador>
- Fundación Endesa. (2018). *Centrales de biomasa y sus tipos*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educacion/recursos/centrales-renovables/central-de-biomasa#:~:text=Se%20utilizan%20para%20dar%20calor,industria%20o%20para%20generar%20electricidad.>
- Garcia-Maraver, A., & Carpio, M. (2015). Chapter 2. Factors Affecting Pellet Quality. Granada, España: University of Granada, Department of Civil Engineering. Obtenido de <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/9781784660628/9781784660628002FU1.pdf>
- Gemco Energy. (2022). *Inside Look on Dies for Wood Pellet Making Machine*. Recuperado el Junio de 2022, de <http://www.pelletmillsolution.com/faqs/dies-for-wood-pellet-making-machine.html>
- Gobierno de Navarra. (Febrero de 2015). III Plan Energético de Navarra horizonte 2020. *Combustibles de biomasa - Tipos y Características*. Navarra, España. Recuperado el 08 de Junio de 2022, de <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/45C7C274-B3F4-4C91-B8B9-23259B8F5B39/0/201501Combustiblesdebiomasa.pdf>
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Mecánica Moderna*. Mexico: Pearson.
- Guerra, S. (Noviembre de 2013). *Diseño y simulación de una prensa granuladora de madera automatizada de hasta 200 kg/hr para la empresa reciclajes MYS S.A. Ecuador*.
- MAATE. (20 de Junio de 2020). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-promueve-la-generacion-de-bioenergia-a-traves-del-aprovechamiento-de-residuos-organicos-e-industriales/>
- Matos, V. (14 de Agosto de 2020). *5 razones para reconsiderar la biomasa en Latinoamérica*. Obtenido de BID INVEST: <https://idbinvest.org/es/blog/energia/5-razones-para-reconsiderar-la-biomasa-en-latinoamerica>

- Mero, K., & Bonifaz, J. (2017). Diseño de un prototipo para la fabricación de pellets a partir de biomasa residual forestal. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Norton, R. L. (2011). *Diseno de Maquinas. Un enfoque integrado*. Mexico D.F.: Pearson.
- Obernberger, I., & Thek, G. (2010). *The Pellet Handbook. The production and thermal utilisation of biomass pellets*. Graz, Austria: BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH.  
Recuperado el 09 de Junio de 2022
- Oliveira, I. (2017). BELIEVE EARTH. *Por qué todo el mundo habla de biomasa*. São Paulo, Brasil. Obtenido de <https://believe.earth/es/por-que-todo-el-mundo-habla-de-biomasa/>
- Pellet Fuels Institute. (Junio de 2011). *Pellet Fuels Institute (PFI) Standard Specification for Residential/Commercial Densified Fuel*. Obtenido de <https://www.pelletheat.org/assets/docs/pfi-standard-specification-november-2011.pdf>
- Pradhan, P., Mahajani, S. M., & Arora, A. (04 de Octubre de 2018). Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review. *Fuel Processing Technology*, 181, 215-232. Recuperado el 07 de Junio de 2022, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382018314085?via%3Dihub>
- Ramos, M. (2019). Modificación de diseño de máquina peletizadora para alimentos deshidratados utilizando energías alternas. Ciudad de Mexico, Mexico.
- REN21. (2021). *Renewables 21 Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris. Recuperado el 08 de Junio de 2022, de [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf)
- Sánchez, D. (Septiembre de 2007). Agrocarburos: Oportunidad o Amenaza? *Amigos de la Tierra*, 74. Recuperado el 10 de Junio de 2022, de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_AM/AM\\_2007\\_6\\_9\\_74\\_74.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/AM_2007_6_9_74_74.pdf)
- Wright, L., Boundy, B., Perlack, B., Davis, S., & Saulsbury, B. (2006). *BIOMASS ENERGY DATA BOOK: EDITION 1*. Oak Ridge, Tennessee: US Department of Energy Publications. Recuperado el 08 de Junio de 2022, de <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=usdoepub>

YULONG Machine Co. (17 de Marzo de 2022). *Wood Pellet Mill*. Obtenido de <https://www.woodpelletmill.net/es/products-detail-417156>

# **APÉNDICES**

# APÉNDICE A

## Especificaciones técnicas de Motor eléctrico ABB 5HP

Fuente: (ABB Motors, 2022)

Motor trifásico, con patas y bridas, caja de bornes arriba

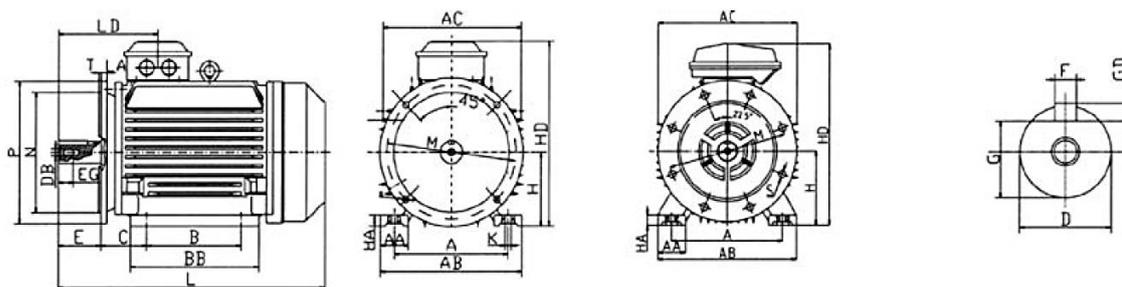


Figura 4.1 Cotas de motor ABB 5HP

Tamaño de carcasa	Polos	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	C	D	DB	E	EG	F
71M	2-6	112	30	145	145	120	90	110	45	14	M5	30	12.5	5
80M	2-8	125	35	160	165	145	100	135	50	19	M6	40	16	6
90S	2-8	140	35	175	180	150	100	140	56	24	M8	50	19	8
90L	2-8	140	35	175	180	150	125	165	56	24	M8	50	19	8
100L	2-8	160	40	200	205	175	140	180	63	28	M10	60	22	8
<b>112M</b>	<b>2-8</b>	<b>190</b>	<b>50</b>	<b>235</b>	<b>225</b>	<b>185</b>	<b>140</b>	<b>190</b>	<b>70</b>	<b>28</b>	<b>M10</b>	<b>60</b>	<b>22</b>	<b>8</b>
132S	2-8	216	55	270	265	205	140	205	89	38	M12	80	28	10
132M	2-8	216	55	270	265	205	178	240	89	38	M12	80	28	10

Tamaño de carcasa	Polos	G	GD	H	HA	HD	HF	K	L	LA	LD	M	N	P	S	T
71M	2-6	11	5	71	10	200	-	7	255	9	100	130	110	160	10	3.5
80M	2-8	15.5	6	80	12	225	170	10	285	9	116	165	130	200	12	3.5
90S	2-8	20	7	90	12	240	185	10	310	10	128	165	130	200	12	3.5
90L	2-8	20	7	90	12	240	185	10	335	10	128	165	130	200	12	3.5
100L	2-8	24	7	100	14	275	245	12	380	11	138	215	180	250	15	4
<b>112M</b>	<b>2-8</b>	<b>24</b>	<b>7</b>	<b>112</b>	<b>15</b>	<b>290</b>	<b>265</b>	<b>12</b>	<b>395</b>	<b>11</b>	<b>144</b>	<b>215</b>	<b>180</b>	<b>250</b>	<b>15</b>	<b>4</b>
132S	2-8	33	8	132	18	335	300	12	465	12	169	265	230	300	15	4
132M	4-8	33	8	132	18	335	300	12	505	12	169	265	230	300	15	4

Figura 4.2 Medidas para motor ABB 5HP

Potencia			Eficiencia [%] Factor de potencia % de la potencia nominal							In	Is	Ivacio	Tn	Ts	Tmax	Momento de inercia J=1/4GD2	Peso	Ruido		
[kW]	[HP]	Tipo	r/min	50	75	100	50	75	100	FS	[A]	In	[A]	[Nm]	Tn	Tn	Tn	[kgm2]	[kg]	[dBA]
<b>4 polos = 1800 r/min</b>			<b>440 V 60 Hz</b>																	
0,25	0,33	M2QA 71 M4A	1679	60,1	66,3	66,9	0,48	0,63	0,72	1,15	0,68	3,2	0,6	1,4	2,2	2,7	0,00053	11	46	
0,37	0,5	M2QA 71 M4A	1614	66,2	66,4	62,7	0,62	0,75	0,82	1,15	0,95	4,9	0,6	2,2	1,4	1,7	0,00053	11	46	
0,55	0,75	M2QA 71 M4B	1609	69,4	69,2	65,3	0,66	0,78	0,85	1,15	1,3	4,9	0,6	3,3	1,4	1,7	0,00068	11	48	
0,75	1	M2QA 80 M4B	1687	69,2	74,8	75,4	0,53	0,67	0,77	1,15	1,7	5,6	1,3	4,2	2,5	2,5	0,00174	17	50	
1,1	1,5	M2QA 80 M4B*	1625	74,7	74,7	70,9	0,67	0,80	0,85	1	2,4	5,6	1,3	6,6	1,6	1,6	0,00174	17	50	
1,5	2	M2QA 90 S4A*	1644	76,8	77,8	75,0	0,65	0,77	0,82	1	3,1	5,5	1,4	8,7	1,7	1,7	0,00254	21	56	
2,2	3	M2QA 100 L4A	1724	80,0	82,7	82,1	0,63	0,74	0,80	1,15	4,4	5,5	2,6	12,2	2,3	2,6	0,00679	32	57	
3	4	M2QA 100 L4B	1706	81,1	83,6	83,1	0,72	0,81	0,87	1,15	5,5	6,0	2,8	16,8	2,3	2,6	0,00862	36	57	
3,7	5	M2QA 112 M4A	1730	82,6	85,4	85,4	0,61	0,73	0,80	1,15	7,2	6,0	4,4	20,4	2,6	3,0	0,01306	45	60	
4,5	6	M2QA 112 M4A	1715	84,3	85,5	84,6	0,67	0,77	0,84	1,15	8,3	4,8	4,4	25,1	2,1	2,4	0,01306	45	60	
5,5	7,5	M2QA 112 L4A*	1720	83,5	84,5	83,5	0,71	0,80	0,84	1	10,5	7,0	5,6	35	2,2	2,2	0,01484	49	67	
7,5	10	M2QA 132 M4A	1734	86,2	87,9	88,1	0,70	0,79	0,85	1,15	13,2	5,8	5,4	41	2,4	2,6	0,03432	73	82	
9,2	12,5	M2QA 132 M4B*	1720	88,0	89,0	88,0	0,73	0,82	0,86	1	16,1	7,0	7,4	59	2,2	2,2	0,03470	75	74	
11	15	M2QA 132 M4C*	1720	83,5	84,5	83,5	0,74	0,83	0,87	1	20,2	6,5	8,8	71	2,2	2,2	0,04227	80	76	
15	20	M2QA 160 L4A	1755	89,7	91,5	91,6	0,79	0,86	0,89	1,15	23,9	5,0	8,6	81	2,4	2,6	0,09349	137	69	
18,5	25	M2QA 160 L4A*	1743	91,0	91,6	91,6	0,83	0,89	0,90	1	29,7	5,0	8,6	102	1,9	2,0	0,09349	137	69	
22	30	M2QA 180 L4A	1765	91,4	93,0	93,1	0,81	0,87	0,90	1,15	35,0	5,4	15,1	121	2,4	3,2	0,18046	186	69	
30	40	M2QA 180 L4B*	1750	89,0	90,0	90,0	0,79	0,85	0,87	1	50,1	6,5	13,7	116	2,2	2,4	0,10686	147	69	
37	50	M2QA 200 L4B*	1760	90,5	91,5	91,5	0,80	0,86	0,88	1,15	60,8	6,5	20,4	187	2,3	2,7	0,20783	200	73	
45	60	M2QA 225 M4B	1760	91,6	92,6	92,6	0,81	0,87	0,89	1,15	71,3	6,5	26	231	2,2	2,6	0,29715	277	75	
55	75	M2QA 225 M4B	1780	92,0	93,0	93,0	0,80	0,86	0,88	1,15	89,8	7,0	35	338	2,1	2,4	0,62440	351	78	
75	100	M2QA 250 M4B*	1780	93,0	94,0	94,0	0,81	0,87	0,89	1	118	7,0	45	461	2,3	2,4	0,91250	485	80	
90	125	M2QA 280 M4A	1776	92,6	94,1	94,2	0,79	0,86	0,88	1,15	146	6,4	38	500	2,3	2,9	1,35000	592	81	
110	150	M2QA 280 M4B*	1780	97,0	98,0	98,0	0,81	0,87	0,89	1	168	7,2	70	671	2,3	2,8	1,60000	679	82	
132	175	M2QA 315 S4A*	1781	94,2	95,0	95,0	0,82	0,88	0,90	1	201	6,3	47	702	1,8	2,4	2,85960	930	83	
150	200	M2QA 315 M4A*	1782	94,0	95,1	95,1	0,82	0,88	0,90	1	229	5,3	53	799	1,9	2,4	3,18480	1030	83	
190	250	M2QA 315 L4B	1780	94,4	95,3	95,3	0,83	0,89	0,91	1,15	283	6,3	56	1003	1,9	2,3	3,67850	1050	89	

Figura 4.3 Datos técnicos para motor ABB 5HP

## Especificaciones técnicas de Reductor Bonfiglioli

Fuente: (Bonfiglioli, 2022)

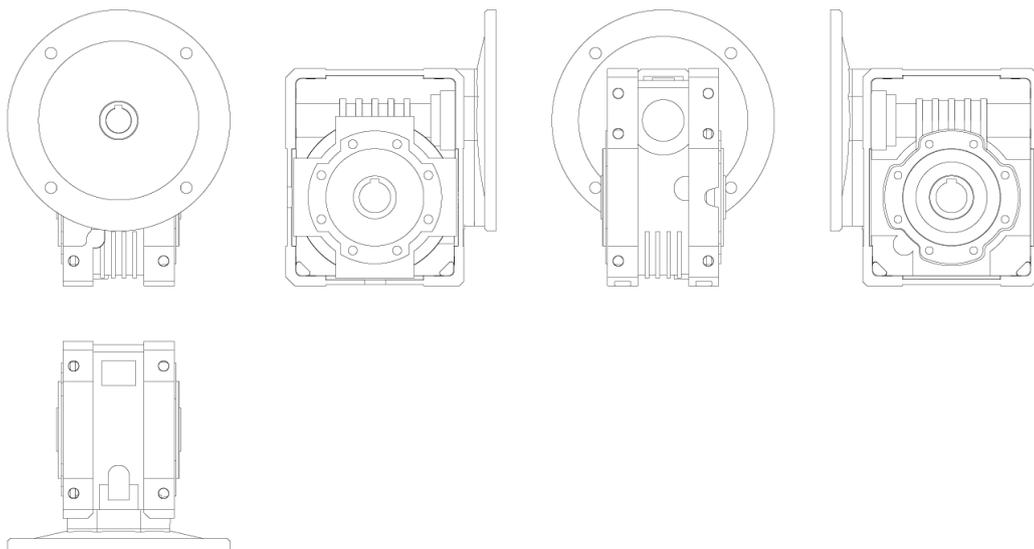


Figura 4.4 Vistas paramétricas de reductor

## ■ Technical Data

- Measurement Internat. System : METRIC
  - n1 Input Speed [min-1] : 1400
  - n2 Output Speed [min-1] : 47
  - Mn2 Output rated torque [Nm] : 370
  - Pn1 input rated power [kW] : 2.4
  - Rn1 Input perm.over. load [N] : 850
  - Rn2 Output OHL [N] : 7000
  - $\eta_d$  Dynamic efficiency [%] : 76
  - Gearbox Weight [Kg] : 13.8
  - Output Shaft Dimensions :  $\varnothing 35$  H7 mm
  - Oil Quantity [l] : 0.73
- \* Technical data depends on the input speed provided.  
The values displayed are valid for an input speed of 1400 min-1

**Figura 4.5 Datos técnicos de reductor Bonfiglioli**

Fuente: (Bonfiglioli, 2022)

## APÉNDICE B

### Evidencias

Pruebas con biomasa



**Figura 4.6 Ingreso de materia en equipo**



**Figura 4.7 Retiro de material residual**



**Figura 4.8 Pellets obtenidos post-producción**

Pintado de bancada



**Figura 4.9 Lijado y limpieza de superficie**

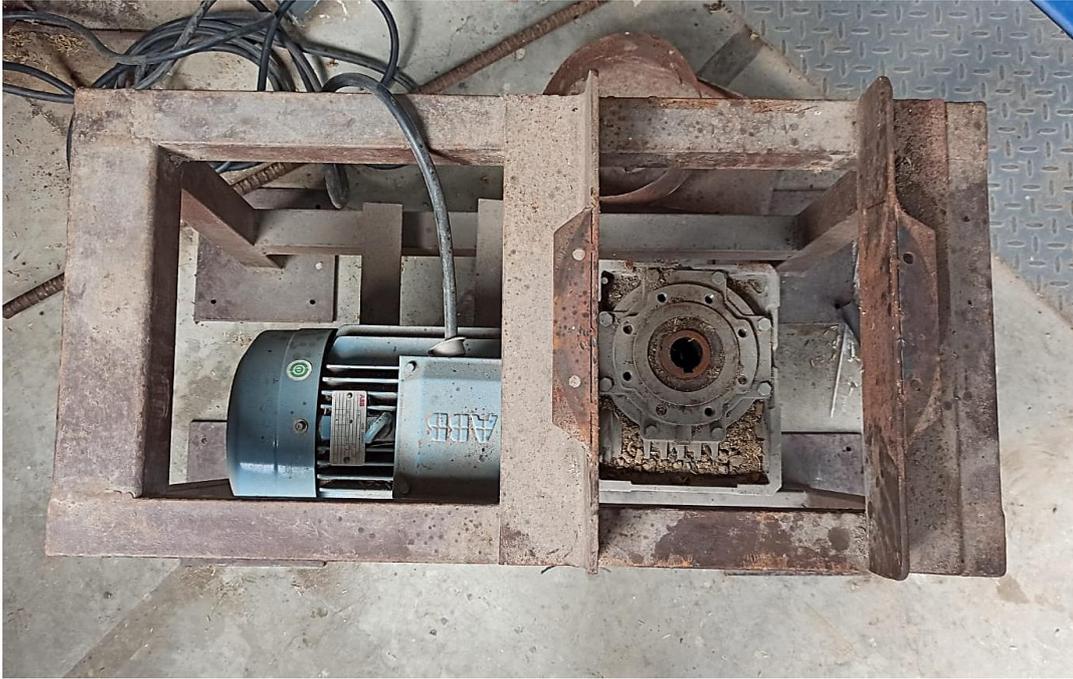


**Figura 4.10 Pintado con anticorrosivo color negro**

Desarme y mecanizado de piezas



**Figura 4.11 Extracción de eje de muelas**



**Figura 4.12 Extracción de matriz y eje principal**



**Figura 4.13 Fabricación de eje principal según muestra**

# APÉNDICE C

## Cálculos complementarios

### Volumen de la tolva

$$r_{interno} = 0.254 \text{ m}$$

$$h_{cilindro} = 0.202 \text{ m}$$

$$h_{cono} = 0.20 \text{ m}$$

$$r_{sup} = 0.350 \text{ m}$$

$$r_{inf} = 0.210 \text{ m}$$

$$V_{tolva} = \pi * 0.254 * 0.202 + \frac{0.20 * \pi}{3} (0.350^2 + 0.210^2 + 0.350 * 0.210)$$
$$V_{tolva} = 0.211 \text{ m}^2$$

### Longitud del pellet

$$D_{pellet} = 0.006 \text{ m}$$

$$L_{pellet} \leq 5 * 0.006$$

$$0.028 \text{ m} \leq 0.030 \text{ m}$$

### Relación de compresión del pellet

Tabla de Apéndice 1. Relación de compresión de distintas materias primas

Materia Prima	Relación de compresión
Eucalipto	1:3.7
Caoba	1:4.1
Madera dura	1:4.5
Pino	1:4
Álamo	1:6
Bambu (astillas)	1:4
Rastrojo de maíz	1:8
Hierba	1:10
Madera de álamo	1:6

Fuente: (Co., 2018)

Se selección la madera dura debido a que es la materia prima con la cual se realizó varias pruebas en la peletizadora.

$$D_{orificios} = 0.006 \text{ m}$$

$$L_{orificios} = 0.020 \text{ m}$$

$$l_{avellanado} = 0.002 \text{ m}$$

$$R_{comp} = \frac{0.020 + 2 * 0.002}{0.006}$$

$$R_{comp} = 4$$

Es decir,

$$R_{comp} = 1:4$$

### Volumen de la biomasa para la producción de cada pellet

$$D_{pellet} = 0.006 \text{ m}$$

$$V_{pellet} = \pi * \frac{D_{pellet}^2}{4} * L_{pellet}$$

$$V_{pellet} = \pi * \frac{0.006^2}{4} * 0.028$$

$$V_{pellet} = 7.917 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

Entonces,

$$V_{biomasa} = V_{pellet} * R_{comp}$$

$$V_{biomasa} = 7.917 * 10^{-7} * 4$$

$$V_{biomasa} = 3.167 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

### Sistema de prensado

### Presión de las muelas para la compactación de la biomasa

Tabla de Apéndice 2. Constantes empíricas

Angulo de avellanado	a	b
50°	0.8	1.2
60°	0.9	1.5

Fuente: (Mero & Bonifaz, 2017)

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= a + b * \ln(R_c) \\ \varepsilon_x &= 0.8 + 1.2 * \ln(4) \\ \varepsilon_x &= 2.979\end{aligned}$$

Para efectos de este trabajo se considera que la madera dura tiene un módulo de fluencia de 60 MPa.

$$P_{muelas} = \bar{Y}_f * \varepsilon_x$$

$$P_{muelas} = 60 * 2.979$$

$$P_{muelas} = 178.766 \text{ MPa}$$

### **Fuerza de compactación de las muelas**

$$A_{orificio} = \pi * \frac{D_{orificios}^2}{4}$$

$$A_{orificio} = \pi * \frac{0.006^2}{4}$$

$$A_{orificio} = 0.000028 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$K = P_{muelas} * A_{orificio}$$

$$K = 178.766 * 2.827 * 10^{-5}$$

$$K = 5005.462 \text{ N}$$

### **Presión de biomasa sobre las muelas**

$$h_f = 0.001 \text{ m}$$

$$P_f = \bar{Y}_f * \frac{2h_f}{D_{orificios}}$$

$$P_f = 60 * \frac{2 * 0.001}{0.006}$$

$$P_f = 20 \text{ MPa}$$

### **Presión sobre las paredes de los orificios**

$$\mu = 0.7$$

$$P_o = P_f * \frac{D_{orificios}}{4 * \mu * h_f}$$

$$P_o = 20 * \frac{0.006}{4 * 0.7 * 0.001}$$

$$P_o = 42.857 \text{ MPa}$$

### **Fuerza de fricción del pellet sobre las paredes del agujero**

$$F_r = \mu * P_o * D_{orificios} * L_{orificios}$$

$$F_r = 0.7 * 42.857 * 0.006 * 0.020$$

$$F_r = 3599.99 \text{ N}$$

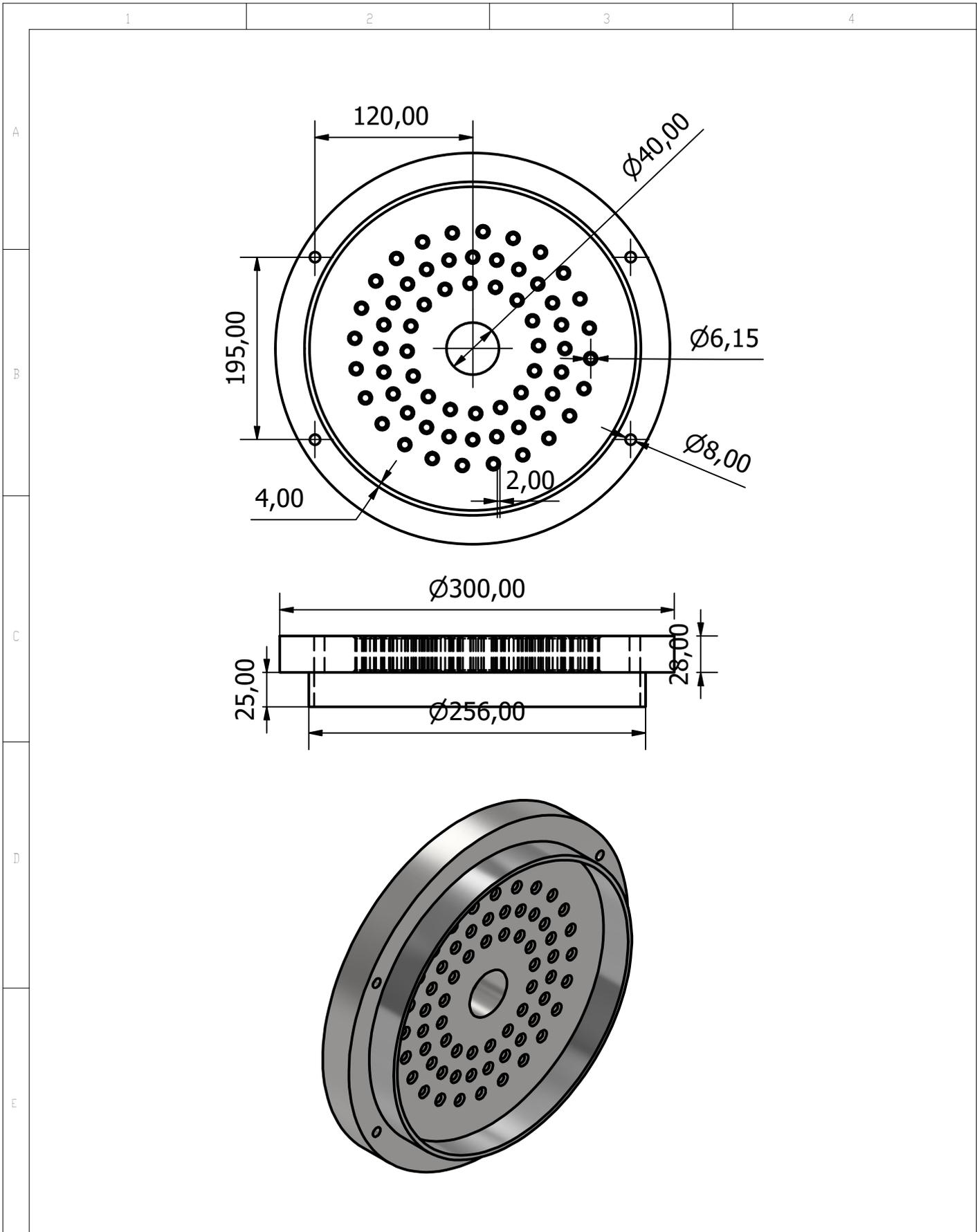
Entonces,

$$F_r < K$$

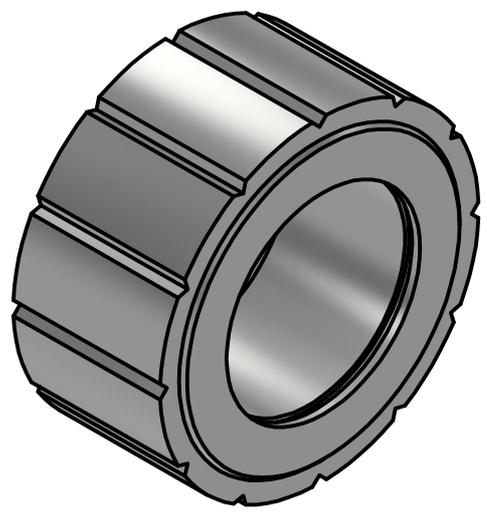
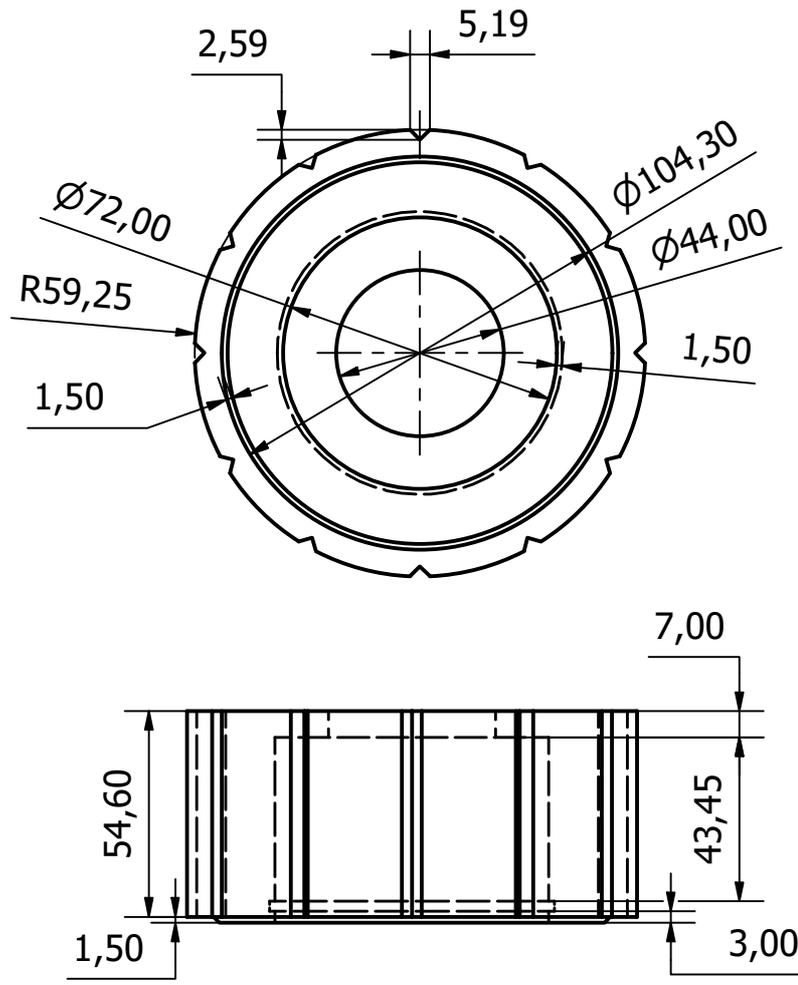
$$3599.99 \text{ N} < 5005.462 \text{ N}$$

# **APÉNDICE D**

PLANOS MECÁNICOS

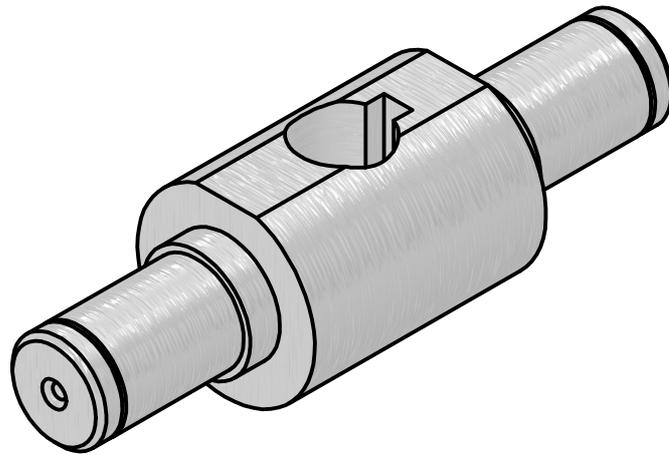
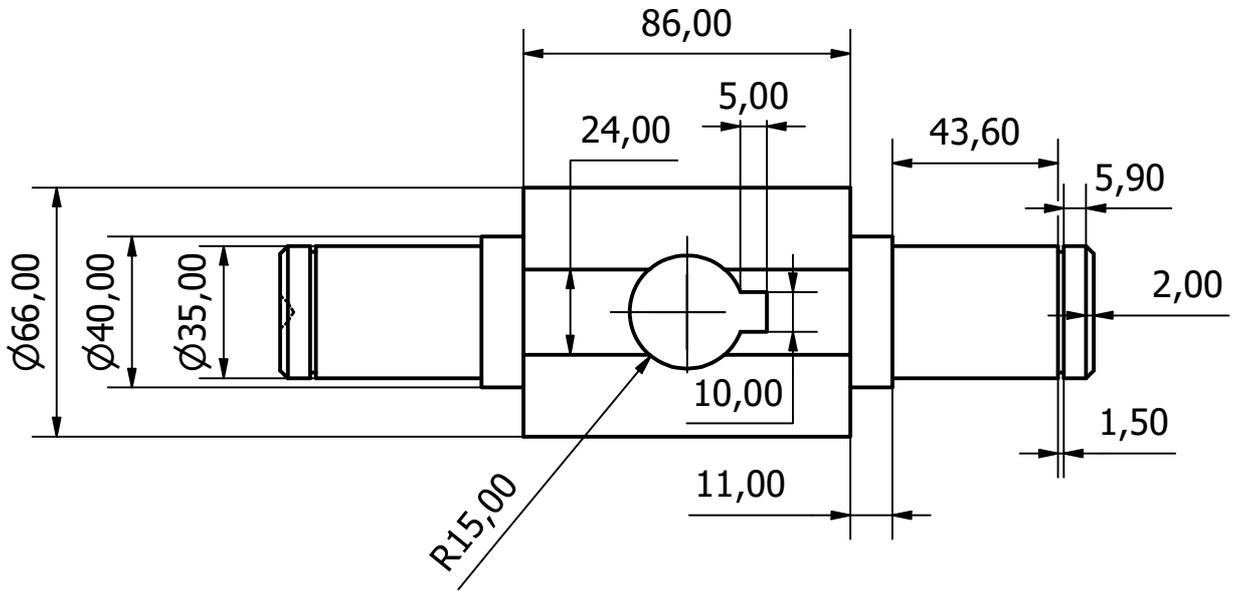


				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02	PESO	MATERIALES Acero al carbono		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN Matriz	ESCALA 1 : 4	
				DIB.	20/ago/2022			Calderon & Benitez
				REV.				
				APROB.				
						NÚMERO DEL DIBUJO 1/7		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:		

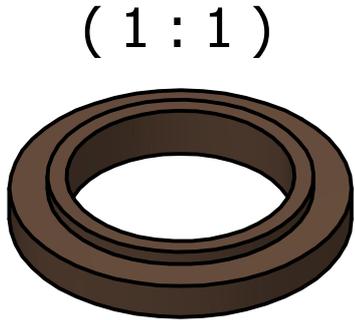
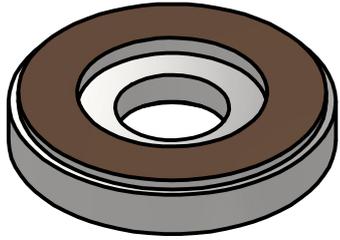
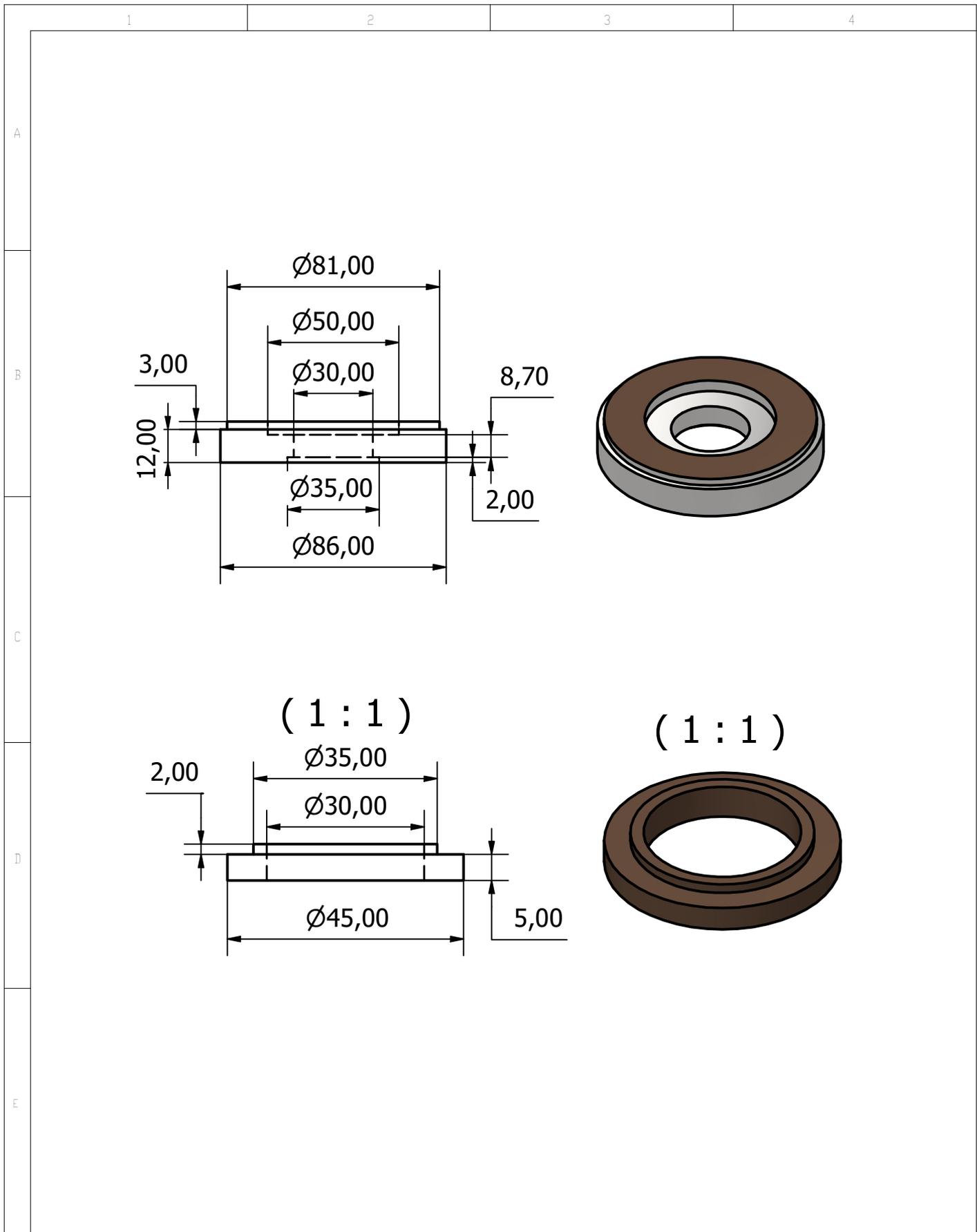


				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: - LINEAL: H9/k9 - ANGULAR: 0.05	PESO	MATERIALES  Acero al carbono		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN  Muela	ESCALA  1 : 2	
				DIB.	20/ago/2022			Calderon & Benitez
				REV.				
				APROB.				
						NÚMERO DEL DIBUJO  2/7		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:		

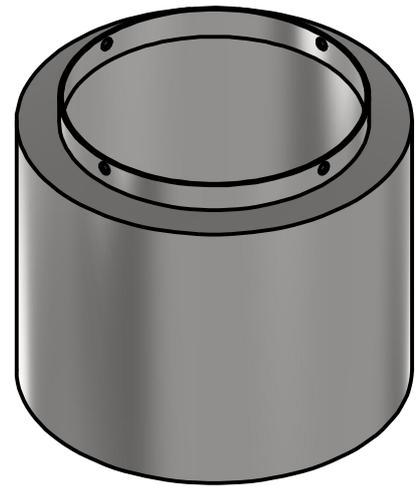
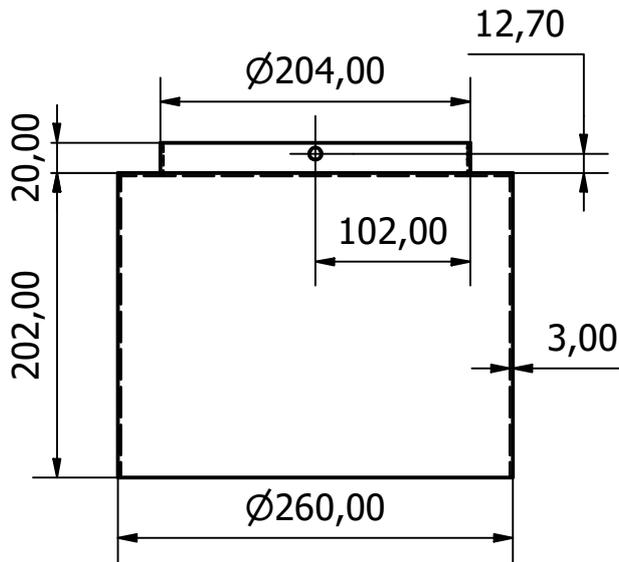
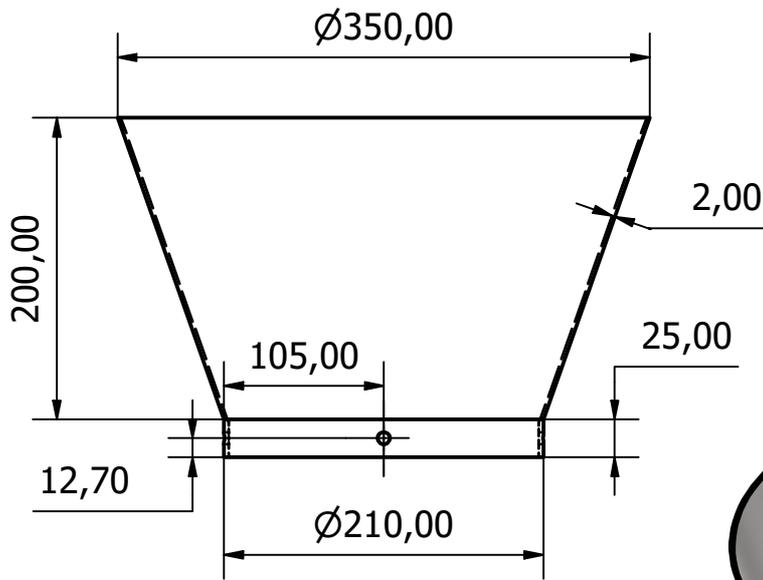




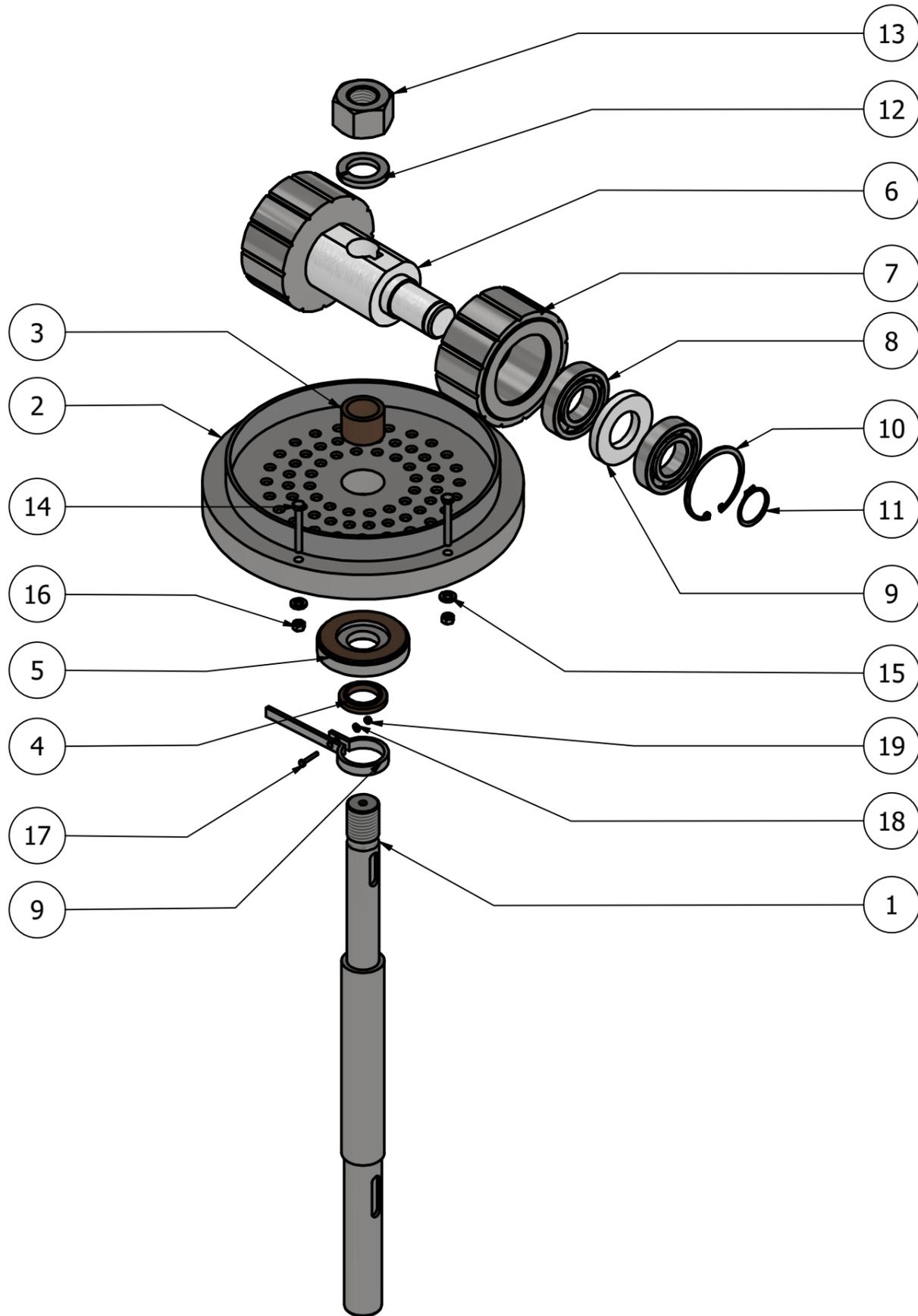
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: - LINEAL: 0,02 - ANGULAR: 0,02	PESO	MATERIALES  Acero 705		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN  EJE MUELAS	ESCALA  1 : 2	
				DIB.	20/ago/2022			Calderon & Benitez
				REV.				
				APROB.				
						NÚMERO DEL DIBUJO  4/7		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:		



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: - LINEAL: 0.02 - ANGULAR: 0.02	PESO	MATERIALES  Acero al carbono / Bronce	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN  Soporte y Bocin	ESCALA  1 : 2
				DIB.	20/ago/2022 Calderon & Benitez		
				REV.			
				APROB.		NÚMERO DEL DIBUJO  5/7	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02	PESO	MATERIALES  Acero Galvanizado			
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN		ESCALA	
				DIB.	20/ago/2022	Calderon & Benitez	CILINDRO Y TOLVA		1 : 5
				REV.					
				APROB.					
							NÚMERO DEL DIBUJO		6/7
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUYE A:		



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Eje principal
2	1	Matriz
3	1	Bocín Matriz
4	1	Bocín Soporte
5	1	Soporte
6	1	Eje Muelas
7	2	Muela
8	4	Rodamiento 6207-2RS1
9	2	Anillo plano 9.5mm espesor
10	2	Anillo de retención interno ANSI 3BMI-70
11	2	Anillo de retención externo ANSI 3AMI-35
12	1	Anillo de presión AS 1968 30
13	1	Tuerca AS 1252 - M30
14	4	Perno AS 1110 - M6 x 50
15	4	Anillo de presión AS 1968 - 1976 - 8
16	4	Tuerca ANSI B18.2.4.2M - M6x1
17	1	Perno AS 1110 - M6x25
18	1	Anillo de presión AS 1968 7
19	1	Tuerca ANSI M6x0.5

TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE ENTENDEN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: 10 TOLERANCIAS: LINEAL: H7 ANGULAR: G1				PESO	MATERIALES
FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN		ESCALA	
DIB. 20/ago/2023	Calderon & Benitez	PELETIZADORA DESPIECE		1 : 5	
REV.		NÚMERO DEL DIBUJO			
APROB.		7/7			
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUYE A:	