

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Elaboración de una máquina peletizadora de escala laboratorio de matriz
rotatoria

INGE - 2410

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros en Mecánica

Presentado por:

Josué Efraín Chilán Villafuerte

Joseph Johan Pazmiño Moreira

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

A mis padres, Carlos Chilán y Dalila Villafuerte, y a mis queridos hermanos, les dedico con profunda gratitud mi tesis de grado. Su amor incondicional, apoyo incesante y constante motivación han sido el motor que impulsó cada paso de este viaje académico. Este logro es tanto suyo como mío, y celebro con ustedes cada victoria alcanzada.

Con cariño y eterno agradecimiento,
Josué Chilán

Dedicatoria

A mi padre Tayron Pazmiño y mi madre Lliseli Moreira, les dedico mi tesis de grado como un testimonio de mi eterna gratitud por su inquebrantable apoyo, amor y estímulo. Vuestra presencia ha sido mi mayor fortaleza y motivación durante este desafiante viaje académico. Cada logro alcanzado es también vuestro, y celebro con alegría cada paso dado en este camino compartido. ¡Gracias por ser mi inspiración constante y por creer en mí siempre!

Joseph Pazmiño

Agradecimientos

Agradezco de todo corazón a Dios por darme fuerzas en los momentos difíciles y por ser mi guía constante. A mis amigos de carrera, quienes no solo compartieron conocimientos, sino también risas y momentos inolvidables, les agradezco por su compañerismo y apoyo. A mis amigos que fueron mi roca en los días difíciles, gracias por estar siempre ahí para levantarme. Su contribución a mi formación ha sido invaluable y siempre será recordada con gratitud.

Con sincero aprecio,

Josué Chilán

Agradecimientos

Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza y la sabiduría que me han permitido alcanzar este logro; a mis padres, cuyo apoyo incondicional fue fundamental en mi trayectoria universitaria. Por último, a mi querido amigo George Jaramillo, por su constante aliento y motivación para seguir adelante en mis estudios.

Joseph Pazmiño

Declaración Expresa

Nosotros Josue Efraín Chilán Villafuerte y Joseph Johan Pazmiño Moreira acordamos y reconocemos 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/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra 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, 06 de febrero del 2024.



Josué Efraín Chilán
Villafuerte



Joseph Johan Pazmiño
Moreira

Evaluadores

Emérita Delgado Plaza, PhD

Profesor de Materia

Tutor de proyecto

Ernesto Martínez Lozano, MSc

Tutor de proyecto

Resumen

El propósito de este proyecto es desarrollar una máquina pelletizadora a escala de laboratorio con matriz rotatoria, enfocada en investigar biocombustibles sólidos a partir de residuos agroindustriales en Ecuador. Con 18.2 millones de toneladas de biomasa anuales, siendo 4 millones solo en la provincia de Guayas, este proyecto aborda la utilización de estos residuos para producir biocombustible sólido.

La construcción de la máquina se centró en los requerimientos del cliente y se aplicó conceptos de ingeniería para seleccionar el sistema de transmisión de potencia más adecuado y dimensionar sus componentes. El resultado principal fue la creación de una máquina pelletizadora funcional. Se llevó a cabo un análisis estructural y transiente de la matriz de extrusión para comprender cómo la temperatura afecta este componente de la máquina. Además, se realizó un análisis de costos. La máquina construida garantiza un margen de seguridad amplio, asegurando su integridad mecánica y cumpliendo con los parámetros de temperatura para obtener pellets de calidad. Con un bajo costo de producción, esta iniciativa se presenta como una solución viable para pequeños productores en Ecuador.

Palabras clave: Biocombustibles sólidos, análisis estructural, matriz de extrusión rotatoria, máquina pelletizadora, pellet.

Abstract

The purpose of this project is to develop a laboratory-scale pelletizing machine with a rotary die, focusing on researching solid biofuels from agro-industrial waste in Ecuador. With 18.2 million tons of biomass annually, including 4 million in the Guayas province alone, this project addresses the utilization of these residues to produce solid biofuel.

The machine construction focused on customer requirements, applying engineering concepts to select the most suitable power transmission system and size its components. The main outcome was the creation of a functional pelletizing machine. A structural and transient analysis of the extrusion die was conducted to understand how temperature affects this machine component. Additionally, a cost analysis was performed. The constructed machine ensures a wide safety margin, ensuring its mechanical integrity and meeting temperature parameters for quality pellet production. With low production costs, this initiative presents itself as a viable solution for small producers in Ecuador.

Keywords: Solid biofuels, structural analysis, rotary extrusion die, pelletizing machine, pellet.

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Simbología.....	VII
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema.....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Marco teórico.....	4
1.5.1 Importancia del pelletizado.....	4
1.5.2 Tipos de máquinas pelletizadoras.....	5
1.6 Ventajas y desventajas de las máquinas peletizadoras.....	11
1.7 Materiales construcción de la matriz y los rodillos de las peletizadoras.....	11
Capítulo 2.....	13
2.1 Metodología.....	14
2.1.1 Métodos.....	14
2.2 Proceso de diseño.....	15
2.3 Requerimientos del usuario.....	16
2.4 Valoración de las partes de la pelletizadora.....	17
2.4.1 Alternativas de solución.....	19
2.5 Matriz de decisión.....	22
2.5.1 Tabal de Factor de Influencia.....	22
2.5.2 Tabla de Calificación.....	23

2.5.3 Matriz de decisión	23
2.6 Diseño de forma	25
2.7 Ecuaciones Fundamentales del Diseño mecánico	26
2.7.1 Sistema de alimentación.....	26
2.7.2 Diseño del sistema de compresión	29
2.7.3 Diseño del sistema de rodillos.....	32
2.7.4 Transmisión de Potencia	34
Capítulo 3.....	36
3.1 Introducción al análisis y discusión de resultados	37
3.2 Resultados	37
3.2.1 Sistema de alimentación.....	37
3.2.2 Altura de la tolva.....	37
3.2.3 Volumen del pellet	37
3.2.4 Relación de compresión	38
3.2.5 Densidad del pellet.....	38
3.2.6 Volumen Especifico del pellet	38
3.2.7 Flujo volumétrico.....	38
3.2.8 Deformación de extrusión	38
3.2.9 Presión de compactación.....	38
3.2.10 Fuerza de compactación.....	39
3.2.11 Presión en orificio de la matriz	39
3.2.12 Presión en las paredes del orificio de la matriz.....	39
3.2.13 Dimensión de rodillos de compactación	39
3.2.14 Fuerza de fricción en el interior de los orificios de la matriz.....	39
3.2.15 Fuerza de fricción sobre la matriz.....	40
3.2.16 Semejanza de desplazamiento.....	40
3.2.17 Perímetro del rodillo	40

3.2.18 Relación de perímetros.....	40
3.2.19 Velocidad de giro de rodillo.....	40
3.2.20 Velocidad tangencial del rodillo	40
3.2.21 Análisis del eje principal.....	41
3.2.23 Potencia del motor.....	43
3.2.24 Par de torsión producido por el motor eléctrico.....	44
3.2.25 Diámetro del eje	44
3.3 Determinación del alcance	46
3.4 Análisis estático del sistema de transmisión	46
3.5 Simulación de temperatura en estado transiente en matriz extrusora	47
3.5 Análisis estático de la mesa de la pelletizadora	48
3.6 Equipo construido	50
3.7 Introducción al análisis de costo.....	50
3.8 Costo total de la pelletizadora	51
3.8.1 Costo total de la máquina.....	51
3.8.2 Costo de mano de Obra.....	52
3.8.3 Costo de consumibles.....	52
3.8.4 Costo Total.....	53
3.9 Costo parcial de la pelletizadora.....	53
3.9.1 Costo total de la máquina.....	53
3.9.2 Costo de mano de Obra.....	54
3.9.3 Costo de consumibles.....	54
3.9.4 Costo Total.....	55
Capítulo 4.....	57
4.1 Conclusiones y recomendaciones	58
4.1.1 Conclusiones.....	58
4.1.2 Recomendaciones	59

Referencias.....	60
Apéndice A	63
Anexo.....	69
Planos.....	81

Simbología

V_{Tolva}	Volumen de tolva
$\rho_{aserrín}$	Densidad del aserrín
$m_{produccion}$	Masa de producción
h_{Tolva}	Altura de la tolva
R_{Tolva}	Radio mayor de la tolva
r_{Tolva}	Radio menor de la tolva
V_{pellet}	Volumen del pellet
r_{pellet}	Radio del pellet
l_{pellet}	Longitud del pellet
R_c	Relación de compresión
d_{pellet}	Diámetro del pellet
e_{matriz}	Espesor de la matriz
ρ_{pellet}	Densidad del pellet
V_e	Volumen específico
Q	Flujo volumétrico
C	Carga o flujo másico
ϵ_x	Deformación de extrusión
P_r	Presión de compactación
\bar{Y}_f	Esfuerzo de fluencia del aserrín
F_c	Fuerza de compactación
A_{orif}	Área del cilindro
d_{pellet}	Diámetro del pellet
\bar{Y}_{as}	Modulo de elasticidad
h_f	Altura final después de pasar el rodillo
P_0	Presión en las paredes del orificio de la matriz
P_f	Diámetro del pellet
d_{pellet}	Presión en orificio de la matriz
h_f	Altura final de material compactado
μ	Coefficiente de fricción de madera sobre acero
F_R	Fuerza de fricción en el interior del orificio
n	Velocidad del eje principal

P_{ro}	Perimetro donde hacen con tacto el centro de los rodillos
R	Radio de desplazamiento
P_r	Perimetro de rodillo
R_r	Radio de rodillo
R_p	Relacion de perimetros
V_{rod}	Velocidad lineal del rodillo
ω_r	Velocidad de giro de rodillo
M_T	Momento torso
D_e	Diámetro minimo del eje
K_t	Factor de concentración de esfuerzo
M	Momento Flector máximo
S_e	Resistenci a la fatiga modificada del material
T	Par de torción
S_y	Resistencia a la fluencia del acero
k_a	factor de modificación de la condición superficial
k_b	factor de modificación de tamaño
k_c	factor de modificacion de carga
k_d	factor de modificación de la temperatura
k_e	factor de modificación de confiabilidad
S'_e	límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria
S_e	límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de la máquina en la geometrña y condición de uso

Índice de figuras

Figura 1 Proceso de la materia prima para el pelletizado	5
Figura 2 Partes de pelletizadora de matriz anular	6
Figura 3 Partes de la peletizadora matriz rotatoria	8
Figura 4 Partes de una pelletizadora de rodillos giratorios.....	10
Figura 5 Diagrama de flujo del proceso de diseño de la pelletizadora	16
Figura 6 Trasmisión de potencia directa.....	19
Figura 7 Trasmisión de potencia con acople flexible	20
Figura 8 Trasmisión de potencia con polea y banda.....	21
Figura 9 Diseño de forma de la pelletizadora de escala laboratorio	26
Figura 10 Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión de potencia	41
Figura 11 Diagrama cortante del eje de transmisión de potencia	42
Figura 12 Diagrama de momento flector del eje de transmisión de potencia.....	42
Figura 13 Deflexión del eje de transmisión	43
Figura 14 Análisis de tensión del sistema de transmisión	47
Figura 15 Simulación transiente de la matriz extrusora.....	48
Figura 16 Análisis estático de mesa de la pelletizadora	49
Figura 17 Máquina pelletizadora construida.....	50
Figura 1 Apéndice A Propiedades de los aceros.....	64
Figura 2 Apéndice A Tabla de constantes para ángulo de avellanado	64
Figura 3 Apéndice A Factores a y b según el acabado superficial	65
Figura 4 Apéndice A Fórmulas para el factor de modificación de tamaño	65
Figura 5 Apéndice A Factor de carga	66
Figura 6 Apéndice A Factor de modificación de la temperatura	66
Figura 7 Apéndice A Factores de confiabilidad	67
Figura 8 Apéndice A Gráfica para valor de la constante K_{ts}	67
Figura 9 Apéndice A Gráfica para valor de la constante K_t	68
Figura 10 Apéndice Chaveteros según el diámetro del eje basados DIN 6885	68

Índice de tablas

Tabla 1 Ventajas y desventajas de cada tipo de matriz en el pelletizado	11
Tabla 2 Ventajas y desventaja de los materiales utilizados para la matriz	12
Tabla 3 Valoración de los elementos provistos por el CDTS.	18
Tabla 4 Factores de influencia a considerar para la elaboración de la pelletizadora	22
Tabla 5 Tabla de ponderaciones	23
Tabla 6 Matriz de decisión para factores de influencia	24
Tabla 7 Matriz de decisión para seleccionar el sistema de transmisión	25
Tabla 8 Resultados Principales de los cálculos teóricos de la maquina	45
Tabla 9 Especificaciones de la pelletizadora	46
Tabla 10 Resumen de resultados del análisis estático del sistema de transmisión	46
Tabla 11 Costo de materiales de Pelletizadora actual.....	51
Tabla 12 Costo mano de Obra actual.....	52
Tabla 13 Costo por consumibles.....	52
Tabla 14 Costo total de la maquina actual	53
Tabla 15 Costo de materiales de Pelletizadora	53
Tabla 16 Costo mano de obra	54
Tabla 17 Costo por consumibles utilizados	54
Tabla 18 Costo total de la máquina.....	55

Índice de planos

PLANO 1 Cilindro Superior	82
PLANO 2 Cilindro Inferior.....	83
PLANO 3 Matriz giratoria	84
PLANO 4 Rodillos.....	85
PLANO 5 Sujetador de rodillos	86
PLANO 6 Tolva de alimentación.....	87

PLANO 7 Colector de Pellets	88
PLANO 8 Estructura de mesa	89
PLANO 9 Explotado de pelletizadora.....	90

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

El presente trabajo se enfoca en el rediseño y ensamblaje de una máquina pelletizadora de matriz rotatoria a escala de laboratorio. Esta máquina tiene como propósito la producción de pellets destinado al trabajo de investigaciones en el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción de ESPOL. Conforme se avanza en el contenido se observará información que contribuye a la comprensión del proceso y aplicación del pelletizado, promoviendo soluciones sostenibles y eficientes para la industria moderna.

En el proceso de pelletizado la capacidad de ajustar y medir con precisión los parámetros operativos son esenciales para los procesos específicos en diferentes industrias las cuales se requiere la producción de pellets compactos y homogéneos como lo son: la industria alimentaria, farmacéutica y hasta su aplicación en energía renovable donde se busca la mejora de la eficiencia energética y la reducción de residuos. En este contexto, se busca encontrar la mezcla adecuada de diferentes residuos agroindustriales que proporcionen un elevado poder calorífico, lo que permitiría su utilización como combustible en máquinas donde se requiera calor, como calderas y secadoras, lo que tendría un impacto positivo en la gestión de residuos y en la eficiencia energética.

1.2 Descripción del problema

En el CDTS se llevan a cabo investigaciones enfocadas en la reutilización de biomasa con el propósito de producir biocombustible sólido. Este proceso incluye análisis de parámetros clave, como la humedad, el poder calorífico y el tiempo de ignición. Para llevar a cabo estos análisis, se fabrican pellets con un diámetro de 6mm y una longitud de 40mm.

El CDTS ha adquirido algunas partes de una pelletizadora de capacidad de 1 kilogramo por hora, en particular, la matriz de la pelletizadora. Sin embargo, se requiere un

rediseño integral de todos los componentes y del sistema de transmisión de potencia. Un objetivo del rediseño es garantizar que el equipo de laboratorio funcione de manera óptima para continuar la investigación de diversos materiales de biomasa y, como resultado, obtener un biocombustible sólido de mayor poder calorífico.

1.3 Justificación del problema

La razón fundamental detrás del rediseño de la pelletizadora radica en su capacidad para generar un impacto significativo para el aprovechamiento de residuos agrícolas de los cultivos de arroz, cacao, caña de azúcar, banano, palma africana, maíz y plátano que constituyen al 18.2 millones de toneladas de hectáreas de residuos agroindustriales que se producen en Ecuador anualmente. En la provincia de Guayas se genera 4 millones de toneladas de residuos agrícolas y 20 mil toneladas de residuos forestales (Instituto Nacional de Preinversión, 2014). En los cultivos transitorios se empleó la quema en aproximadamente el 74.4% de la superficie generando gases de efecto invernadero como metano y óxido nitroso (INEC, 2022), ya sea como forma de preparar el suelo, controlar malezas o eliminar residuos de cosecha. El aporte de este proyecto de rediseño es contribuir en la investigación para transformar estos residuos en biocombustibles sólidos y así los residuos agroindustriales sean una fuente de energía en el país.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Rediseñar una pelletizadora con matriz rotatoria utilizando conceptos de ingeniería mecánica para uso en laboratorio.

1.4.2 Objetivos específicos

Realizar cálculo y dimensión del eje de transmisión para el funcionamiento óptimo de la máquina a través del método analítico el cual se considera factores como la resistencia a la fatiga, torsión y flexión máximas.

Seleccionar el sistema de transmisión de potencia para la máquina pelletizadora empleando la norma estándar del pellet.

Realizar el ensamble de la máquina y pruebas de funcionamiento del equipo.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Importancia del pelletizado

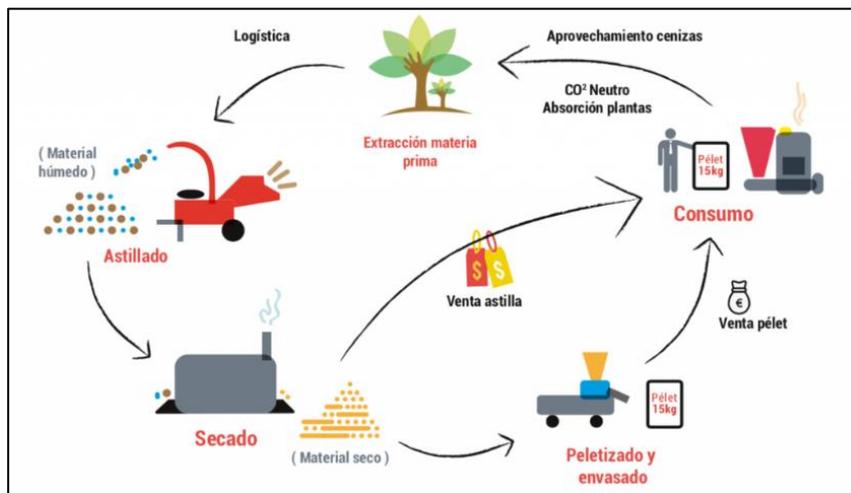
La distribución de biomasa en forma de pellets presenta ventajas en comparación con la distribución de astillas de madera y desechos agroindustriales. Uno de los factores que hacen que los pellets sean una opción más favorable es la densidad. Los pellets son más densos y compactos en comparación con las astillas, lo que significa que se requiere menos espacio de almacenamiento y menos volumen de carga durante el transporte. Esta mayor densidad facilita el embalaje y el transporte de grandes cantidades de pellets en un solo envío, haciéndolo más eficiente y reduciendo los costos logísticos (Pellet Fuels Institute, s/f).

Por otro lado, el pelletizado permite la obtención de mezclas más homogéneas en diversas aplicaciones industriales. Debido a su uniformidad en tamaño y composición, los pellets permiten una distribución más precisa y controlada de materiales en los procesos de fabricación, especialmente en sectores como la química y la farmacéutica. Al ser productos estandarizados, los pellets garantizan una consistencia en las propiedades físicas y químicas, lo que conduce a una mezcla más uniforme y repetible. Esto es fundamental para lograr la calidad y la consistencia del producto final, reduciendo la variabilidad en la producción y minimizando los residuos (Tumuluru, Wright, Hess, & Kenney, 2011; Buchely & Colorado, 2016).

La pelletización de residuos de diversos materiales juega un papel fundamental en el mejor aprovechamiento de estos recursos, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y económica (Hong-Xing, Feng-Shan, Amutenya, Jin-Liang, & Yi, 2022). Al transformar estos residuos en pellets compactos se crea la oportunidad del reciclaje y la recuperación de recursos (figura 1). Los pellets de residuos pueden utilizarse como combustible para la generación de energía, lo que impulsa la economía circular y promueve una gestión eficiente de los recursos.

Figura 1

Proceso de la materia prima para el pelletizado



Nota. La figura muestra el ciclo de los residuos forestales hasta ser convertidos en pellets o quemados directamente como astillas. Fuente: Ecofricalia (2021).

1.5.2 Tipos de máquinas pelletizadoras

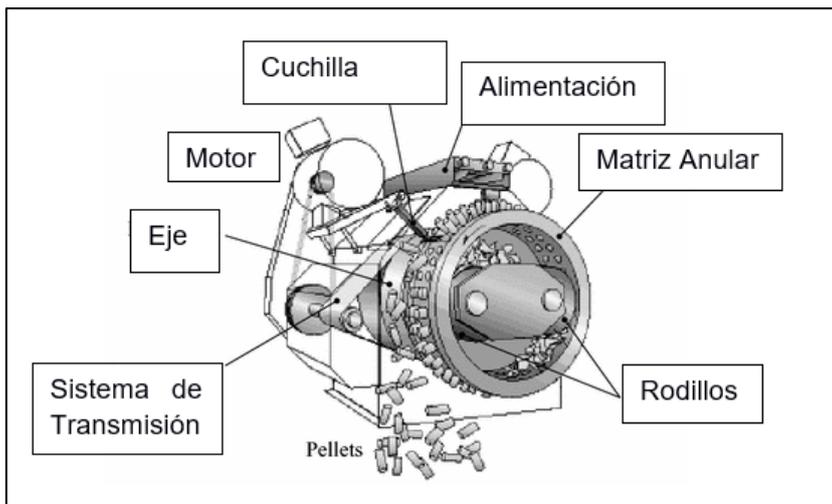
En el ámbito industrial, encontramos una amplia variedad de máquinas pelletizadoras. Estas máquinas son impulsadas por motores eléctricos o motores de combustión interna y se utilizan para la formación de pellets a partir de diversos materiales, que incluyen polímeros, madera, alimentos balanceados y otros. Sin embargo, es posible clasificar las máquinas pelletizadoras en dos categorías principales según su principio de funcionamiento: las de matriz plana y las de matriz anular (Albán & Arias, 2019).

1.5.2.1 Pelletizadora de matriz anular. Las máquinas pelletizadoras de matriz anular se caracterizan por su diseño, que incluye un cilindro hueco con perforaciones a lo largo de su cuerpo, funcionando como una cámara de aglutinado. En este proceso, la materia prima destinada a la producción de pellets es impulsada desde el interior hacia el exterior de la matriz por medio de rodillos giratorios. Este tipo de pelletizadora es especialmente adecuado para la producción a gran escala. No obstante, requiere una fuente de energía de alta potencia, por lo que se emplea principalmente en entornos industriales.

Una de las limitaciones más notables de las pelletizadoras de matriz anular es su escasa versatilidad cuando se trata de compactar mezclas de diferentes materiales. Sin embargo, su capacidad para producir grandes volúmenes de pellets con alta eficiencia la convierte en una opción valiosa en ciertas aplicaciones industriales (Albán & Arias, 2019). En la figura 2 se presentan las partes principales de una pelletizadora de matriz anular.

Figura 2

Partes de pelletizadora de matriz anular



Nota. La figura muestra las partes principales de una pelletizadora de matriz anular incluyendo su sistema de transmisión. Fuente: Buchely & Colorado (2016).

A continuación, se describen las partes de la pelletizadora de matriz anular:

- **Matriz Anular:** El componente central de la máquina, es un cilindro hueco con perforaciones a lo largo de su cuerpo. La matriz anular es donde se comprime y forma

la materia prima en pellets. La forma y el tamaño de los orificios en la matriz determinan las características de los pellets resultantes.

- Cilindros Giratorios: Estos cilindros, también conocidos como rodillos de compresión, están ubicados en el interior de la matriz anular. Giran y empujan la materia prima hacia los orificios de la matriz, lo que contribuye a la compactación y formación de los pellets.
- Sistema de Alimentación: La máquina está equipada con un sistema de alimentación que suministra la materia prima, que puede ser polvo, partículas o gránulos, hacia el interior de la matriz. Esto asegura un flujo constante de material a través del proceso de pelletización.
- Sistema de Transmisión: Incluye un motor y una serie de componentes mecánicos que son responsables de impulsar los cilindros giratorios y el sistema de alimentación. La potencia y la velocidad del motor son ajustables según las necesidades del proceso.
- Cuchilla: Justo después de que la materia prima ha pasado a través de la matriz anular y ha sido formada en pellets, la cuchilla de corte se encarga de separar los pellets en unidades individuales de la longitud deseada.

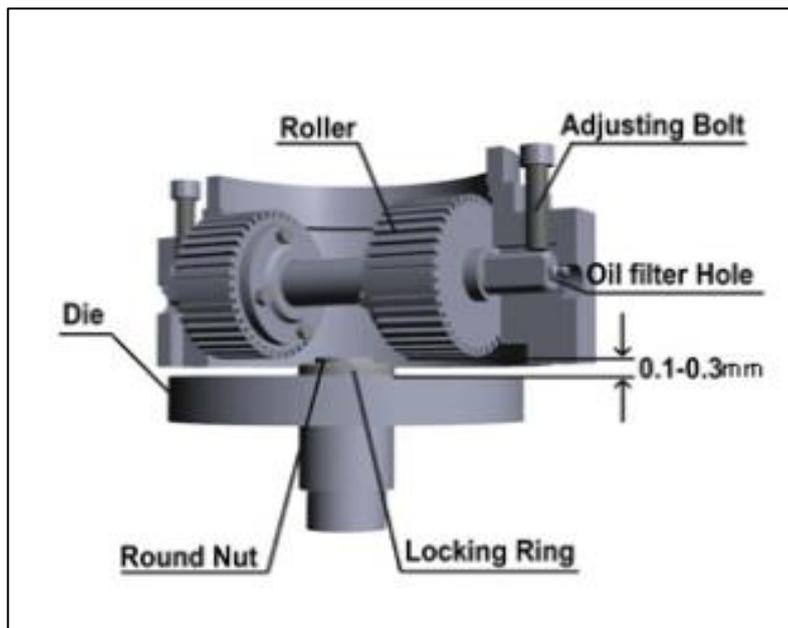
1.5.2.2 Pelletizadora de matriz plana con matriz rotatoria. La pelletizadora de matriz plana se diferencia por su configuración, que presenta una superficie plana en lugar del cilindro hueco característico de las máquinas de matriz anular. En este proceso, la materia prima destinada a la producción de pellets es alimentada en la tolva de la pelletizadora, cayendo y distribuyéndose uniformemente sobre la superficie plana de la matriz. Bajo la influencia del eje principal y el rodillo, que gira alrededor del eje principal y sobre su propio eje, la materia prima se comprime en los orificios de la matriz plana, donde adquiere su forma final y se

solidifica, emergiendo como cilindros compactos. Este diseño plano la hace especialmente adecuada para aplicaciones de menor escala y, a menudo, es una elección más eficiente en términos de consumo de energía en comparación con las máquinas de matriz anular utilizadas en entornos industriales. (Zeno Pellet Machine Supplier , 2021)

La figura 3 muestra las partes principales de una pelletizadora de matriz rotatoria.

Figura 3

Partes de la peletizadora matriz rotatoria



Nota. La figura muestra las partes principales de una pelletizadora de matriz plana con matriz rotatoria incluyendo su sistema de transmisión. Fuente: (ENERGY, 2020).

Las características del diseño de la pelletizadora de matriz plana son esenciales para su funcionamiento eficiente, para ello se considera lo siguiente:

- Diseño del Rodillo: El rodillo de la peletizadora de matriz plana se configura de manera cónica, asegurando una velocidad de rotación uniforme en ambos extremos. Este enfoque minimiza la fricción causada por la desalineación, reduciendo así el derroche de energía y aumentando la vida útil del troquel plano.

- Ajuste de Presión Central: Se emplea un dispositivo de ajuste de presión central mediante tornillo, permitiendo modificar la distancia entre el rodillo y la matriz plana según el tipo de material a procesar, garantizando un efecto de paletizado óptimo.
- Rodamientos se han mejorado para aumentar su capacidad, lo que prolonga su vida útil y reduce los costos de producción.
- Variedad de Tamaños de Orificio: La matriz plana ofrece una gama de tamaños de orificio que varían desde 2,5 mm hasta 10 mm, siendo los de 6 mm, 8 mm y 10 mm los más populares.
- Construcción Duradera: El cuerpo de la máquina está moldeado como una sola pieza y cuenta con una nervadura de refuerzo en su carcasa, otorgándole resistencia y reduciendo significativamente el riesgo de fractura.

1.5.2.3 Peletizadora de matriz plana con rodillos giratorios. De acuerdo con el principio de funcionamiento de la peletizadora y el rodillo móvil, a través de su tolva con materias primas, estas caen sobre el troquel plano y se esparcen sobre su superficie gracias a la acción del rodillo. Al iniciar el funcionamiento de la máquina de pellets, el motor eléctrico se pone en marcha y tracciona el eje principal mediante la caja de cambios. El rodillo de presión, montado en el eje principal, comienza a girar alrededor de dicho eje, mientras que los rodillos giran alrededor del eje del rodillo (Agico, 2023).

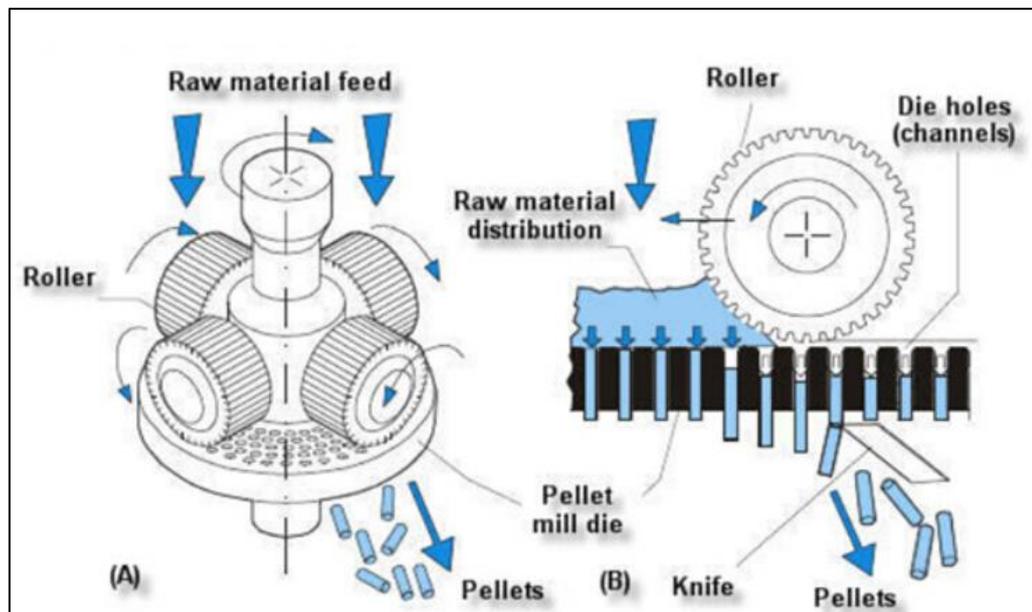
La prensa rotatoria genera una presión considerable que comprime las materias primas en los orificios del troquel plano, dando forma a los materiales en agujeros y transformándolos en cilindros sólidos durante el proceso de extrusión. Paralelamente, la intensa fricción entre el rodillo y la matriz calienta las materias primas a más de 80°C, lo que resulta en la ablandación de la lignina y las fibras, incrementando así la adherencia de los materiales. El diámetro de los gránulos se determina en función del tamaño del orificio

de la matriz plana, mientras que la longitud de los pellets se regula mediante la cuchilla situada debajo de la matriz plana.

Cuando los gránulos de biomasa emergen en forma de cilindros, la cuchilla bajo el troquel plano se encarga de cortarlos a una longitud específica, y es posible ajustar la posición de la cuchilla para variar dicha longitud. Luego de ser cortados por las cuchillas, los pellets caen sobre una bandeja diseñada para su lanzamiento. Impulsados por la fuerza centrífuga, los pellets son dirigidos a través de la salida de descarga (Gemco Energy, 2023). La figura 4 muestra el proceso de pelletizado y las partes de la pelletizadora de rodillos giratorios.

Figura 4

Partes de una pelletizadora de rodillos giratorios



Nota. La figura muestra las partes principales de una pelletizadora de matriz plana con rodillo rotatoria incluyendo su sistema de transmisión. Fuente: Matache, Alexe, Șovăială, & Olan, (2018).

1.6 Ventajas y desventajas de las máquinas peletizadoras

La Tabla 1 expone las ventajas y desventajas inherentes a cada máquina peletizadora dependiendo del tipo de matriz extrusora que emplea. Esto proporcionará pautas para determinar en qué industria o aplicación específica es más apropiado emplear cada una de estas máquinas.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de cada tipo de matriz en el pelletizado

	Ventajas	Desventajas	Fuentes
Matriz plana	<ul style="list-style-type: none"> ○ Amplias aplicaciones. ○ Bajo costo de adquisición. ○ Estructura simple. Fácil ensamble y mantenimiento. ○ Se puede tener mayor compresión. ○ Procesa materiales duros. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mayor consumo eléctrico. ○ Menor eficiencia. ○ Baja capacidad de producción. ○ Vida útil corta. Desgaste de elementos. ○ Produce alta temperatura 	(Ren, et al., 2022)
Matriz anular	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pellets de mejor calidad. ○ Poco atasco del material. ○ Mayor capacidad de producción. ○ Menor consumo de energía. Mayor eficiencia. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alto costo de adquisición. ○ Mantenimiento complejo. ○ Menor compresión. ○ No procesa materiales duros. 	(Chen, Yu, Xiangyue, Qingyu, & Kan, 2015)

1.7 Materiales construcción de la matriz y los rodillos de las peletizadoras

El material de la matriz, que se empleará en la fabricación de los pellets, debe ser capaz de resistir la abrasión y la corrosión, y permitir una producción eficiente. Para lograrlo, se tienen a disposición varias opciones, entre ellas, las más comunes son las que se muestran en la tabla 2 junto con sus ventajas y desventajas.

Tabla 2

Ventajas y desventaja de los materiales utilizados para la matriz

Aleaciones	Características	Ventajas	Desventajas
Acero al Carbono	Se puede variar su dureza con tratamientos térmicos.	Aplicando tratamiento térmico, los elementos son duraderas y económicas. Además, ofrecen una buena resistencia a la abrasión y a la fractura.	Baja resistencia a la corrosión, esto incluye deformación de los orificios de la matriz.
Acero inoxidable	Alta resistencia a la corrosión y se emplea en aplicaciones de grado alimenticio.	Los orificios de la matriz son pulidos, lo cual contribuye a incrementar la eficiencia en la producción.	Matriz de mayor espesor lo que eleva su costo
Cromo alto	Presenta alta resistencia a la corrosión y al desgaste.	Alta resistencia a la corrosión y orificios pulidos que dan mayor producción.	Costo elevado debido al alto contenido de cromo.

Nota. La tabla muestra las ventajas y desventajas de los tipos de materiales comunes utilizados para la fabricación de matriz para pelletizadoras, adaptado de Mero & Bonifaz (2017).

Capítulo 2

2.1 Metodología.

En este capítulo se presentan las herramientas fundamentales para el diseño del proyecto. Se aborda la metodología de diseño y su importancia en la consecución de un diseño de la máquina alineado con los objetivos establecidos. Desde una fase inicial subjetiva hasta la formulación de una idea respaldada por fundamentos, se describen los pasos necesarios para concretar y hacer factible la propuesta. El enfoque inicial se centra en la definición de todas las actividades requeridas para la producción del pellet. Una vez establecidos estos procesos, se avanza hacia la fase de compactación del material, considerando los parámetros que influyen en la calidad de los pellets. Estos factores son esenciales para el diseño, garantizando así que el proceso se desarrolle de manera eficiente.

2.1.1 Métodos

2.1.1.1 Método de Bibliografía. El procedimiento de recopilación de datos se emplea con el propósito de obtener referencias provenientes de normativas, literatura especializada, documentos científicos y diversas fuentes formales de información. Este enfoque tiene como finalidad contribuir a la configuración del marco teórico mediante la integración de investigaciones previamente realizadas sobre materiales y distintos tipos de máquinas peletizadoras.

2.1.1.2 Método cuantitativo. La aplicación del método cuantitativo desempeñó un papel fundamental en el desarrollo integral del proyecto, ya que fue imperativo tener en cuenta diversas variables esenciales para la fase inicial del diseño de la máquina. Este enfoque implicó la medición y cuantificación de parámetros específicos que resultaron cruciales para la formulación y planificación precisa del diseño. Al haber incorporado el análisis cuantitativo, se buscó no solo optimizar el rendimiento de la máquina, sino también

proporcionar una base sólida y objetiva para la toma de decisiones en todo el proceso de diseño ingenieril. Este método ofreció una herramienta valiosa para evaluar, analizar y fundamentar las decisiones clave que guiaron el desarrollo exitoso de la maquinaria proyectada.

2.1.1.3 Método experimental. Este método fue elegido debido a su relevancia sustancial, ya que proporcionó la base para llevar a cabo una evaluación práctica exhaustiva de la máquina en cuestión. A través de la aplicación de este enfoque, se pudo poner a prueba el rendimiento de la máquina y verificar de manera concreta cómo los valores de diseño se alineaban estrechamente con los resultados obtenidos en las pruebas iniciales. Este proceso de validación contribuyó significativamente a la confiabilidad y solidez de los datos, respaldando así la eficacia y coherencia del diseño propuesto durante las fases iniciales del proyecto.

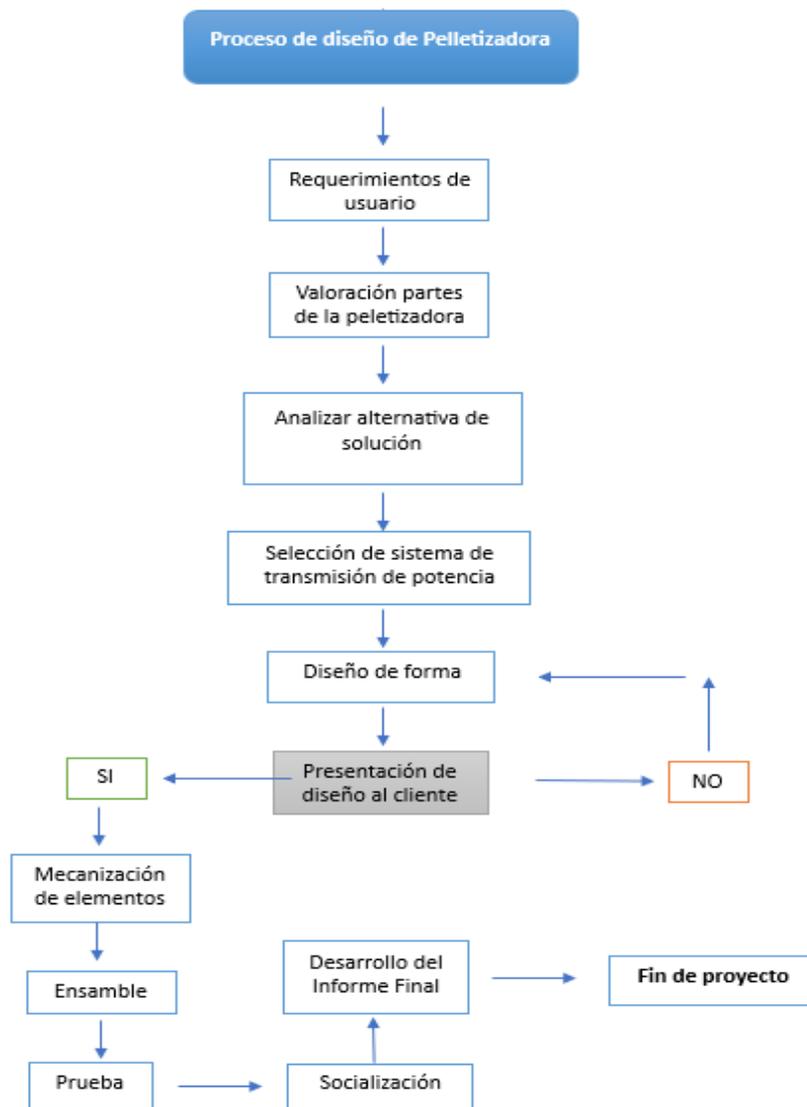
2.2 Proceso de diseño

El diseño es un componente esencial en la creación y desarrollo de productos, sistemas o soluciones eficientes y funcionales (Ambrose & Harris, 2009). Para gestionar este proceso de manera clara y organizada, se emplea un Diagrama de Flujo, una herramienta visual que permite representar gráficamente las etapas y decisiones importantes que intervinieron en el diseño de la pelletizadora.

Este proceso se inicia con la identificación de los requerimientos del usuario y a medida que se avanza en el diagrama de flujo, cada paso se presenta de manera secuencial, mostrando las conexiones lógicas entre las diferentes fases del diseño (Figura 5). No solo proporciona una visión general del proceso, sino que las bifurcaciones y decisiones críticas permitieron iterar hasta encontrar la solución más óptima del caso.

Figura 5

Diagrama de flujo del proceso de diseño de la pelletizadora



Nota. El diagrama muestra cada una de las fases del proceso de diseño donde se incluyen iteraciones que permite al diseñador mejorar su propuesta de acuerdo con los requerimientos del cliente.

2.3 Requerimientos del usuario

En el ámbito del desarrollo de productos, sistemas o servicios los requerimientos del usuario son fundamentales. Estos requerimientos representan las necesidades, expectativas y funcionalidades específicas que el CDTS esperaba que la pelletizadora de escala laboratorio cumpliera. Por esto la correcta identificación y análisis de estos requisitos fueron esenciales

para garantizar que el resultado final satisfaga las expectativas y se ajustara a las necesidades del usuario. A continuación, se describen los principales requerimientos que fueron declarados para la pelletizadora.

- I. Capacidad de producción:** la capacidad de producción mínima que la pelletizadora debía tener es de 1kg/h. Esto es a partir de que la maquina alcance sus condiciones óptimas para la producción de pellets de calidad.
- II. Seguridad:** la maquina debe contar con los sistemas mecánicos y eléctricos que sean seguros para manipular. Esto incluye protecciones en las partes mecánicas para evitar atrapamientos y aislamiento de la parte eléctrica para evitar el contacto directo con el operador.
- III. Ergonomía:** La Pelletizadora debe tener su tolva o sistema de alimentación a una altura adecuada para que el operador alimente la maquina sin esfuerzos innecesarios que puedan causar fatiga o daños en el individuo a largo plazo. Así mismo contar con un sistema de recolección de pellets que sea efectivo para evitar trabajo extra por parte del operador.
- IV. Limpieza:** Se requiere que la pelletizadora tenga un fácil ensamble y desensamble de sus elementos, esto con el fin de facilitar la limpieza de sus componentes cuando ya termina su uso.
- V. Capacidad de compactación:** La máquina debe poder comprimir de forma adecuada la materia prima para que se produzcan pellets que no se desmoronen con su manipulación

2.4 Valoración de las partes de la pelletizadora

En el presente apartado, se procedió a evaluar minuciosamente los componentes proporcionados por el cliente, con el propósito de obtener una comprensión detallada de las piezas disponibles y, al mismo tiempo, identificar aquellas que faltaban para llevar a cabo el

ensamblaje completo de la pelletizadora (Tabla 3). Este análisis constituye una fase esencial en el proceso de diseño, permitiendo visualizar de manera integral la configuración que tenía la maquina y lo que permitió el enfoque en las áreas que requerían atención y complementación para garantizar su funcionamiento óptimo.

Tabla 3

Valoración de los elementos provistos por el CDTS.

Elemento	Estado	Foto
Rodillos de compresión	Elemento nuevo y en buen estado. El material utilizado para su construcción es acero aleado.	
Matriz de extrusión	Elemento nuevo y en buen estado. consta de un chavetero en su parte central debido a que pertenece a un sistema de matriz móvil.	
Camisa de pelletizadora	Su parte interior ha sido mecanizada, pero tiene un mal acabado. Tiene los cortes y agujeros principales para el funcionamiento de la máquina. Se debe realizar un mecanizado para ajustar medidas para que el sistema funcione.	

Nota. La tabla muestra las partes preexistentes de la pelletizadora, así como una breve descripción de los aspectos más importantes de la valoración de cada parte.

2.4.1 Alternativas de solución

En esta sección, se desarrollaron tres propuestas de sistemas de transmisión con el fin de elegir cuál de ellas resulta más idónea para una correcta transmisión de potencia y a la vez lograr que el montaje y desmontaje no presente complicaciones para el operario. El análisis y la comparación de estas alternativas ofrecen una base sólida para la toma de decisiones informada en la selección del sistema de transmisión más adecuado para la pelletizadora en cuestión.

En este caso la transmisión se logra de manera directa desde la salida del reductor hasta el eje principal de la pelletizadora. Esta conexión se realiza mediante un eje hueco que incorpora un chavetero, el cual desempeña un papel crucial al permitir la transmisión efectiva de potencia (Figura 6). La implementación de este diseño tiene como resultado una simplificación significativa del sistema, ya que el eje que soporta la matriz descansa directamente sobre el reductor, eliminando la necesidad de colocar rodamientos intermedios en el eje. Esta simplificación no solo reduce la complejidad del sistema, sino que también disminuye la cantidad de componentes involucrados.

Figura 6

Trasmisión de potencia directa



Nota. Trasmisión de potencia directa desde el reductor del motor hacia el eje principal de la pelletizadora. Utiliza eje sólido con chavetero para transmitir la potencia.

Cabe destacar que este sistema de transmisión presenta una característica notable: la pérdida de potencia es mínima debido a su naturaleza directa. Al eliminar elementos intermedios, como rodamientos adicionales, se reduce la fricción y, por lo tanto, se optimiza la eficiencia de la transmisión de potencia

2.4.1.2 Transmisión de potencia con acoplamiento flexible (matrimonio). Este sistema de transmisión de potencia se basa en la implementación de un acople flexible. Este tipo de acople flexible proporciona una conexión rápida y eficiente entre ambas partes del sistema, permitiendo un acoplamiento ágil del motor con el eje de la pelletizadora, lo que es beneficioso en términos de mantenimiento y operatividad (Figura 7). Para este sistema se debe integrar un rodamiento en el eje. Este rodamiento desempeña un papel crucial al mantener el eje en su posición incluso cuando el motor ha sido retirado. Esto asegura una alineación precisa y evita posibles desplazamientos o desalineaciones que podrían afectar el funcionamiento del sistema.

Figura 7

Transmisión de potencia con acople flexible



Nota. Su elemento de transmisión es un acople flexible o matrimonio que permite la unión rápida entre el reductor del motor y el eje principal de la pelletizadora.

No obstante, es importante tener en cuenta que, a pesar de las ventajas mencionadas, este sistema presenta una desventaja notable que está dada por la pérdida de potencia por el acople y el rodamiento. La flexibilidad necesaria para facilitar el acoplamiento también introduce una cantidad de elasticidad en el sistema, lo que resulta en una disipación de energía durante la transmisión de potencia. Este fenómeno es esencial considerarlo en el diseño global del sistema, ya que las pérdidas de potencia pueden afectar la eficiencia general y, en consecuencia, la productividad del proceso de pelletización.

2.4.1.3 Transmisión por polea. Este sistema de transmisión utiliza el principio de poleas para lograr la reducción de velocidad y el consecuente incremento del torque en comparación con los dos métodos previamente mencionados. La idea central de este enfoque radica en la utilización de poleas de diferentes tamaños, conectadas por una correa, para ajustar la relación de velocidad entre el motor y el eje principal de la pelletizadora (Figura 8). Esta configuración proporciona flexibilidad en la adaptación de la velocidad de entrada a las necesidades específicas del proceso, permitiendo una operación más versátil.

Figura 8

Transmisión de potencia con polea y banda



Nota. La figura muestra la transmisión por polea y banda. Este sistema permite reducir velocidades de giro a conveniencia.

Sin embargo, a pesar de sus ventajas en términos de ajuste de velocidad y aumento de torque, este sistema presenta desafíos propios. Una desventaja significativa es la creación de una fuerza perpendicular al eje en la parte baja, generada por el tensado inicial de la correa. Esta fuerza lateral puede introducir efectos no deseados en la alineación del sistema. Otro aspecto para considerar es la complejidad inherente a este sistema. La presencia de múltiples elementos, como poleas, correas y tensores, aumenta la complejidad de diseño e instalación.

2.5 Matriz de decisión

2.5.1 Tabla de Factor de Influencia

En el proceso de selección de la propuesta, se detallaron cada uno de los criterios evaluados. Cada criterio desempeñó un papel fundamental en la elección final. A continuación, en la tabla 4 se exponen con claridad cada uno de estos criterios, proporcionando una visión completa del proceso de toma de decisiones y su importancia en la selección de la propuesta más adecuada.

Tabla 4

Factores de influencia a considerar para la elaboración de la pelletizadora

Factor de influencia	Descripción
Costo de operación	Costo de mecanización y fabricación de los componentes tales como eje motriz, cilindro superior, base, tolva y cuchilla.
Vida útil	Vida útil de los componentes: matriz extrusora, rodillos, eje y rodamientos.
Capacidad de producción	Cumpla con producción mínima de 1 kilogramo por hora.
Seguridad	Seguridad para operador que evite aplastamiento, enredamiento y riesgos eléctricos.
Ergonomía	Altura de máquina para estatura promedio del operario.
Limpieza	Facilidad de limpieza después de cada uso.

2.5.2 Tabla de Calificación

Para establecer la importancia relativa o peso de cada criterio se utilizó valores del 1 al 3, la suma de los pesos de cada criterio debe sumar 1. La tabla 5 muestra las ponderaciones de diseño establecidas.

Tabla 5

Tabla de ponderaciones

Rango	1-3
Calificación	1: Menos importante 2: Medianamente Importante 3: Más importante

Nota. La tabla muestra las calificaciones para la valoración de los factores de influencia

2.5.3 Matriz de decisión

En el proceso de selección del sistema de transmisión de la pelletizadora, resulta fundamental contar con una metodología estructurada para evaluar las distintas opciones disponibles. La matriz de decisión se planteó como un recurso estratégico para dicho propósito, facilitando un análisis sistemático y comparativo de las alternativas pertinentes. Al aplicar esta matriz, nuestro objetivo fue proporcionar una guía metódica que permitiera a los usuarios identificar la opción más alineada con sus requerimientos operativos. Este enfoque buscó maximizar la eficiencia, productividad y seguridad en el entorno de trabajo.

2.5.3.1 Relevancia de los factores de influencia. La matriz de decisión para la elección de una pelletizadora consideró cinco criterios esenciales: vida útil, capacidad de producción, seguridad, ergonomía y limpieza. Esta herramienta buscó determinar cuál de estos criterios tenía mayor relevancia en el diseño de la máquina. Al analizar las opciones disponibles en función de estos factores, la matriz facilitó la toma de decisión para seleccionar el sistema de transmisión de potencia más adecuado (Tabla 6).

Tabla 6*Matriz de decisión para factores de influencia*

	Costo de operación	Vida útil	Capacidad de producción	Seguridad	Ergonomía	Limpieza	Calificación	Peso
Costo de operación	-	1	2	1	2	3	9	0.15
Vida útil	2	-	2	1	2	3	10	0.16
Capacidad de producción	2	1	-	2	3	3	11	0.18
Seguridad	3	2	3	-	2	3	13	0.21
Ergonomía	3	2	2	2	-	2	11	0.18
Limpieza	3	1	1	1	2	-	8	0.13
Total							62	1

La elección se fundamentó en los factores de influencia, conforme a la matriz de decisión. Esta elección se sustentó en la evaluación detallada de los distintos factores que incidieron en la toma de decisiones del diseño, asegurando que la alternativa seleccionada fuera la más congruente y acorde con los objetivos y criterios del proyecto.

2.5.3.2 Matriz de decisión para seleccionar el mecanismo de transmisión de potencia. La matriz de decisión presentada evaluó diversas opciones de transmisión de potencia, como la directa, con acoplamiento flexible (matrimonio) y por polea, considerando criterios clave como vida útil, capacidad de producción, seguridad, ergonomía y limpieza. A través de esta, se obtuvo una guía estratégica para la mejor selección, facilitando la comparación sistemática de opciones en base a necesidades operativas, productividad y seguridad como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7*Matriz de decisión para seleccionar el sistema de transmisión*

	Vida útil	Capacidad de producción	Seguridad	Ergonomía	Limpieza	Calificación	Peso
Transmisión directa	2	3	3	3	3	14	0.42
Transmisión con acoplamiento flexible (matrimonio)	2	3	2	2	2	11	0.33
Transmisión por polea	1	2	2	2	1	8	0.24
Total						33	1

La elección recayó en la primera alternativa, caracterizada por la implementación de una transmisión directa de potencia, conforme a la matriz de decisión previamente establecida. Este enfoque implicó la selección de un mecanismo de transmisión que permitía una conexión directa y eficiente entre las fuentes de potencia y la matriz, de acuerdo con los criterios y consideraciones detallados en la toma de decisiones del diseño. La decisión de adoptar esta alternativa se sustentó en la evaluación de sus ventajas.

2.6 Diseño de forma

El diseño de la forma de la pelletizadora que utiliza matriz plana rotatoria se presenta en la figura 9, detallando cada uno de sus componentes principales en el pasado. Estos elementos fueron sometidos a un proceso de dimensionamiento y selección, ajustándolos según los resultados obtenidos.

puedan ser extruidos por los rodillos, y que los residuos o material particulado no pueda salir con facilidad.

$$V_{Tolva} = \frac{m_{produccion}}{\rho_{aserrin}} \quad (2.1)$$

Donde:

V_{Tolva} : Volumen de tolva (m^3)

$\rho_{aserrin}$: Densidad del aserrín ($\frac{kg}{m^3}$)

$m_{produccion}$: Masa de producción (kg)

Altura de la tolva

Una vez que se conoció la densidad del producto y la capacidad requerida para producir el alimento balanceado, se procedió a calcular el volumen del pellet con la siguiente ecuación en el pasado.

$$h_{Tolva} = \frac{V_{Tolva}}{\frac{1}{3}\pi(R_{Tolva}^2 + r_{Tolva}^2 + R_{Tolva} \cdot r_{Tolva})} \quad (2.2)$$

Donde:

h_{Tolva} : Altura de la tolva (m)

V_{Tolva} : Volumen de tolva (m^3)

R_{Tolva} : Radio mayor de la tolva (m)

r_{Tolva} : Radio menor de la tolva (m)

Volumen del pellet

Siguiendo la normativa europea, se seleccionó un diámetro de 6 [mm] con una longitud de 40 [mm].

$$V_{\text{pellet}} = \pi \cdot r_{\text{pellet}}^2 \cdot l_{\text{pellet}} \quad (2.3)$$

Donde:

V_{pellet} : Volumen del pellet (mm^3)

r_{pellet} : Radio del pellet (mm)

l_{pellet} : Longitud del pellet (mm)

Relación de compresión

Se refiere a relación que existe entre el largo del pellet y su diámetro. Este factor indica cuanto se comprime el material. (Arpi & Calderon, 2010)

$$R_c = \frac{e_{\text{matriz}}}{d_{\text{pellet}}} \quad (2.4)$$

Donde:

R_c : Relación de compresión

d_{pellet} : Diámetro del pellet (mm)

e_{matriz} : Espesor de la matriz (mm)

Densidad del pellet

La densidad del aserrín se establece en 300 kg/m³, proporcionando información relevante sobre la masa por unidad de volumen de este material triturado.

$$\rho_{\text{pellet}} = \rho_{\text{aserrin}} R_c \quad (2.5)$$

Donde:

ρ_{pellet} : Densidad del pellet $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

Volumen Especifico

$$V_e = \frac{1}{\rho_{pellet}} \quad (2.6)$$

Donde:

V_e : Volumen específico $\left(\frac{m^3}{kg}\right)$

Flujo volumétrico

El flujo volumétrico se refiere a la cantidad de material que fluye a través de la tolva por una unidad de tiempo. Es decir que estaría relacionado con la cantidad de pellets producidos.

$$Q = C V_e \quad (2.7)$$

Donde:

Q : Flujo volumétrico $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

C : Carga o flujo másico $\left(\frac{kg}{h}\right)$

V_e : Volumen específico $\left(\frac{m^3}{kg}\right)$

2.7.2 Diseño del sistema de compresión

Deformación de extrusión

Se seleccionan los valores $a=0.9$ y $b=1.5$, específicamente ajustados para biomasa, en conjunto con un ángulo de avellanado de 60. (Groover, 2007)

$$\varepsilon_x = a + b \ln(R_c) \quad (2.8)$$

Donde:

ε_x : Deformación de extrusión

Presión de compactación

La compactación de pellets es un proceso fundamental en la producción de biomasa y otros materiales granulados. Este procedimiento implica la aplicación controlada de presión sobre partículas de materia prima para formar pellets. (Groover, 2007)

$$P_r = \bar{Y}_{as} \varepsilon_x \quad (2.9)$$

Donde:

P_r : *Presión de compactación (MPa)*

\bar{Y}_f : *Esfuerzo de fluencia del aserrín (MPa)*

Fuerza de compactación

La fuerza de compactación es un factor esencial en el proceso de formación de pellets, desempeñando un papel determinante en la calidad y las propiedades finales de estos comprimidos. Este concepto se refiere a la presión ejercida sobre los materiales de partida durante el proceso de compactación. (Groover, 2007)

$$F_c = P_r A_{orif} \quad (2.10)$$

Donde:

P_r : *Presión de compactación (N)*

F_c = *Fuerza de compactación (MPa)*

A_{orif} = *Área del cilindro (m²)*

Presión en orificio de la matriz

La altura final se sitúa en el rango de 0.1 a 0.3 mm, y en esta instancia específica, se opta por utilizar una altura de 0.3mm. (GUERRA LUDEÑA, 2013)

$$P_f = \bar{Y}_{as} \frac{2h_f}{d_{pellet}} \quad (2.11)$$

Donde:

d_{pellet} : *Diámetro del pellet (mm)*

P_f = *Presión en orificio de la matriz (MPa)*

\bar{Y}_{as} = Modulo de elasticidad (MPa)

h_f = Altura final después de pasar el rodillo (mm)

Presión en las paredes del orificio de la matriz

El material se introduce en el orificio para su extrusión mediante una fuerza, se genera una presión en las paredes debido a la fricción entre los dos materiales. Esta presión puede calcularse utilizando la siguiente ecuación. (GUERRA LUDEÑA, 2013)

$$P_0 = \frac{P_f d_{pellet}}{4 \mu h_f} \quad (2.12)$$

Donde:

P_0 = Presión en las paredes del orificio de la matriz. (MPa)

P_f = Diámetro del pellet (mm)

d_{pellet} = Presión en orificio de la matriz (MPa)

h_f = Altura final de material compactado (m)

μ = Coeficiente de fricción de madera sobre acero

Fuerza de fricción en el interior del orificio

Al introducir la materia prima en los orificios de paletización, se genera una fuerza de fricción. Esta fuerza debe ser suficiente para compactar el material, pero al mismo tiempo, menor que la fuerza ejercida por los rodillos para permitir que el material salga de la matriz.

La magnitud de esta fuerza se calcula con la siguiente ecuación. (Groover, 2007)

$$F_R = \mu P_0 d_{pellet} e_{matriz} \quad (2.13)$$

Donde:

F_R = Fuerza de fricción en el interior del orificio

μ = Coeficiente de fricción de madera sobre acero

P_0 = Presión en las paredes del orificio de la matriz. (MPa)

d_{pellet} = Diámetro del pellet (mm)

e_{matriz} : Espesor de la matriz (mm)

2.7.3 Diseño del sistema de rodillos

Análisis de rodillos de compresión

Para el estudio de los rodillos de compresión, era esencial conocer la velocidad de giro del eje principal. En el caso de la máquina en cuestión, se estableció una velocidad de giro de 170 rpm, siendo este dato relevante para el análisis en la disciplina de ingeniería mecánica.

Donde. (Machinery, 2013)

n : velocidad del eje principal (rpm)

$$n = 170 \text{ rpm}$$

$$\omega = 17.8 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Dimensión del rodillo de compactación

$$r_{rodillo} = 0.039[m]$$

$$D_{rodillo} = 0.078[m] = 7.8 [cm]$$

Perímetro de desplazamiento

Se realizó el cálculo del perímetro de desplazamiento para determinar la velocidad lineal de la matriz en el perímetro de desplazamiento de los rodillos de compresión.

(Hibbeler, 2011)

Semejanza de perímetro

La relación de perímetro da el factor que permite obtener la velocidad en los rodillos, que puede aumentar o disminuir dependiendo de cual perímetro se quiera encontrar la velocidad. Esta dada en la siguiente ecuación. (Chicaiza & Moreno, 2023)

$$P_o = 2\pi \cdot R_o \tag{2.14}$$

$$P_r = 2\pi \cdot R_r \tag{2.15}$$

$$R_p = \frac{P_o}{P_r} \quad (2.16)$$

Donde:

P_o : *perimetro donde hacen con tacto el centro de los rodillos (m)*

R : *Radio de desplazamiento (m)*

P_r : *perimetro de rodillo (m)*

R_r : *radio de rodillo (m)*

R_p : *relacion de perimetros*

Velocidad de giro de rodillo

La velocidad de rotación de los rodillos en la matriz de extrusión es otro parámetro esencial para calcular la potencia requerida por la máquina. Esta velocidad se determina mediante la siguiente ecuación. (Chicaiza & Moreno, 2023)

$$\omega_r = R_p \cdot n \quad (2.17)$$

Donde:

ω_r : *Velocidad de giro de rodillo (rpm)*

R_p : *Relacion de perimetros*

n : *Velocidad del eje principal (rpm)*

Velocidad tangencial de rodillo

$$V_{rod} = \omega_{rod} \cdot R_{rod} \quad (2.18)$$

Donde:

V_{rod} : *Velocidad lineal del rodillo $\left(\frac{m}{s}\right)$*

ω_r : *Velocidad de giro de rodillo (rpm)*

$R_{rod} = \text{Radio del rodillo (m)}$

2.7.4 Transmisión de Potencia

Potencia del motor

Para calcular la potencia que el motor debe tener y ser trasferida a la matriz extrusora se utiliza la siguiente ecuación (Chicaiza & Moreno, 2023). Para esta ecuación se calculó previamente el momento flector y momento torsor al que está expuesto el eje de transmisión de potencia.

$$P = M_T \cdot n \quad (2.19)$$

Donde:

M_T : Momento torsor (Nm)

n : Velocidad del eje principal (rpm)

Diámetro del eje

Para determinar el diámetro del eje principal implica calcular los momentos máximos torsionales y flectores. La Teoría de la máxima tensión de corte (Criterio de Coulomb-Tresca) proporciona una fórmula para calcular el diámetro del eje. (NORTON, 2013)

$$D_e = \left[\frac{32 \cdot N}{\pi} \cdot \sqrt{\left[\frac{K_t \cdot M}{S_e} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.20)$$

Donde:

D_e : Diámetro mínimo del eje (m)

K_t : Factor de concentración de esfuerzo

M : Momento Flector máximo(N)

S_e : Resistenci a la fatiga modificada del material (MPa)

T : Par de torción (Nm)

S_y : Resistencia a la fluencia del acero (MPa)

Para calcular el valor de la resistencia a la fatiga modificada, emplearemos la siguiente ecuación

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \quad (2.21)$$

Donde:

k_a : factor de modificación de la condición superficial

k_b : factor de modificación de tamaño

k_c : factor de modificación de carga

k_d : factor de modificación de la temperatura

k_e : factor de modificación de confiabilidad

S'_e : límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

S_e : límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de la máquina en la geometría y condición de uso

Capítulo 3

3.1 Introducción al análisis y discusión de resultados

En el siguiente apartado se presentan los resultados teóricos obtenidos de los cálculos realizados para la máquina pelletizadora. Además, se presentan simulaciones y análisis que permiten una visión más amplia de lo que sucede en los elementos críticos de la máquina. Del mismo modo se muestran los resultados en imágenes de la máquina construida.

3.2 Resultados

El caudal másico es de 10 kg/h pero la alimentación del material se la realiza de forma continua y no toda a la vez, por lo que se utiliza la masa consumida en 6 minutos, la cual es 1 kg. Esto con el fin de no obtener una tolva de dimensiones moderadas. Se utiliza una densidad del aserrín de 300 kg/m³. (Pineda-Pineda, et al., 2012)

3.2.1 Sistema de alimentación

$$V_{Tolva} = \frac{m_{produccion}}{\rho_{aserrin}} = \frac{1 \text{ [kg]}}{300 \frac{\text{[kg]}}{\text{[m}^3\text{]}}} = 3.3 * 10^{-3} \text{ [m}^3\text{]}$$

3.2.2 Altura de la tolva

Se definió el radio mayor de la tolva de 0.09m y el radio menor de 0.061m.

$$h_{Tolva} = \frac{V_{Tolva}}{\frac{1}{3}\pi(R_{Tolva}^2 + r_{Tolva}^2 + R_{Tolva} \cdot r_{Tolva})}$$

$$h_{Tolva} = \frac{3.3*10^{-3} \text{ [m}^3\text{]}}{\frac{1}{3}\pi((0.090 \text{ [m]})^2 + ((0.061 \text{ [m]})^2 + (0.090 \text{ [m]} \cdot 0.061 \text{ [m]}))} = 0.18 \text{ [m]}$$

3.2.3 Volumen del pellet

$$V_{pellet} = \pi \cdot r_{pellet}^2 \cdot l_{pellet} = (\pi)(3 \text{ [mm]})^2(40 \text{ [mm]}) = 1130.97 \text{ [mm}^3\text{]}$$

3.2.4 Relación de compresión

El espesor de la matriz es de 23mm.

$$R_c = \frac{e_{matriz}}{d_{pellet}} = \frac{23[mm]}{6[mm]} = 3.83$$

3.2.5 Densidad del pellet

Las dimensiones del pellet son 6mm de diámetro y 40mm largo.

$$\rho_{pellet} = \rho_{aserrin} R_c = 300 \left[\frac{kg}{m^3} \right] (3.83) = 1149 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

3.2.6 Volumen Especifico del pellet

$$V_e = \frac{1}{\rho_{pellet}} = \frac{1}{1149 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = 8.7 * 10^{-4} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

3.2.7 Flujo volumétrico

$$Q = C V_e = \left(10 \left[\frac{kg}{h} \right] \right) \left(8.7 * 10^{-4} \left[\frac{m^3}{kg} \right] \right) = 0.0087 \left[\frac{m^3}{h} \right] = 2.42 * 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

3.2.8 Deformación de extrusión

Con $a = 0.9$ y $b = 1.5$ para pellets de biomasa. (Angel, 2019)

$$\varepsilon_x = a + b \ln(R_c)$$

$$\varepsilon_x = 0.9 + 1.5 \ln(3.83) = 2.9$$

3.2.9 Presión de compactación

El esfuerzo de fluencia para el aserrín usado es $\bar{Y}_{as} = 10[MPa]$. (Mohd Firdaus, Haliza, Hazizan Md, Zainal Arifin, & N.Z., 2015)

$$P_r = \bar{Y}_{as} \varepsilon_x = (10[MPa])(2.9) = 29[MPa]$$

3.2.10 Fuerza de compactación

$$F_c = P_r A_{orif} = (29[MPa])(\pi)(0.003[m])^2$$

$$F_c = 819.95 [N]$$

3.2.11 Presión en orificio de la matriz

$$P_f = \bar{Y}_{as} \frac{2h_f}{d_p} = (10[MPa]) \left(\frac{2(0.0003)}{0.006} \right) = 1 [MPa]$$

3.2.12 Presión en las paredes del orificio de la matriz

$$P_0 = \frac{P_f d_{pellet}}{4 \mu h_f} = \frac{(1[MPa])(0.006[m])}{4(5.65)(0.0003[m])} = 9.1[MPa]$$

3.2.13 Dimensión de rodillos de compactación

Dimensiones obtenidas de la medición de los rodillos de compactación proporcionados por el cliente.

$$r_{rodillo} = 0.039[m]$$

$$D_{rodillo} = 0.078[m] = 7.8 [cm]$$

3.2.14 Fuerza de fricción en el interior de los orificios de la matriz

$$F_R = \mu P_0 d_{pellet} e_{matriz} = (0.65)(9.1[MPa])(0.006[m])(0.023[m]) = 690.7[N]$$

$$690.7[N] < 819.95 [N]$$

Para que el pellet sea extruido se debe cumplir que $F_R < F_c$ es decir, la fuerza de compresión debe vencer a la fuerza de fricción. Dado que se cumple esta condición, el pellet sale de la matriz sin problema.

3.2.15 Fuerza de fricción sobre la matriz

El coeficiente de fricción entre el aserrín y el acero usado es de $\mu = 0.65$. (Perez Castro, Arroyavel, & Acevedo, 2010)

$$F_{Rm} = \mu F_c = (0.65)(819.95 [N]) = 532.97[N]$$

3.2.16 Semejanza de desplazamiento

El radio de desplazamiento R_{despl} es el que va desde el centro del eje al centro del rodillo de compactación.

$$P_{despl} = 2\pi \cdot R_{despl} = 2\pi \cdot 0.045[m] = 0.286 [m]$$

3.2.17 Perímetro del rodillo

$$P_{rod} = 2\pi \cdot R_{rod} = 2\pi \cdot 0.039[m] = 0.245[m]$$

3.2.18 Relación de perímetros

$$R_p = \frac{P_{despl}}{P_{rod}} = \frac{0.286[m]}{0.245[m]} = 1.17$$

3.2.19 Velocidad de giro de rodillo

La velocidad angular de la matriz extrusora es de $n = 170 [RPM]$.

$$N_{rod} = R_p \cdot n = 1.17 \cdot 170 = 198.9 [rpm]$$

$$w_{rod} = \frac{198.9 \cdot 2\pi}{60 s} = 20.82 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

3.2.20 Velocidad tangencial del rodillo

$$V_{rod} = w_{rod} \cdot R_{rod} = 20.82 \left[\frac{rad}{s} \right] \cdot 0.039 [m] = 0.81 \left[\frac{m}{s} \right]$$

3.2.21 Análisis del eje principal

$$M_f = F_c \cdot R_{despl}$$

$$M_f = 819.95 [N] \cdot 0.035 [m]$$

$$M_f = 28.69 [Nm]$$

$$\sum M = 0$$

$$M_{Tmax} = F_{Rm} X + F_{Rm} X$$

$$M_T = 2F_{Rm} R_{despl}$$

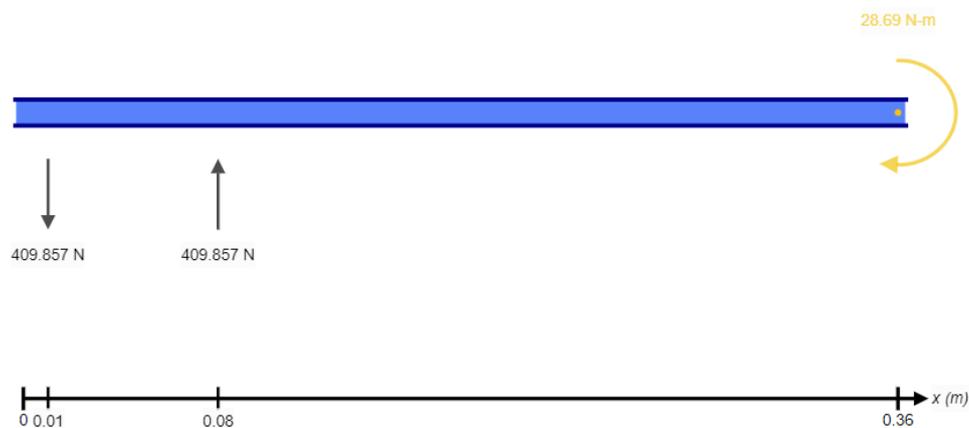
$$M_T = (2)(532.97[N])(0.035)$$

$$M_T = 37.31 [Nm]$$

Para analizar de mejor manera el eje principal de transmisión se realizó el diagrama de cuerpo libre que se muestra en la figura 10. En este diagrama se puede observar las fuerzas y momentos puntuales que actúan sobre el eje.

Figura 10

Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión de potencia

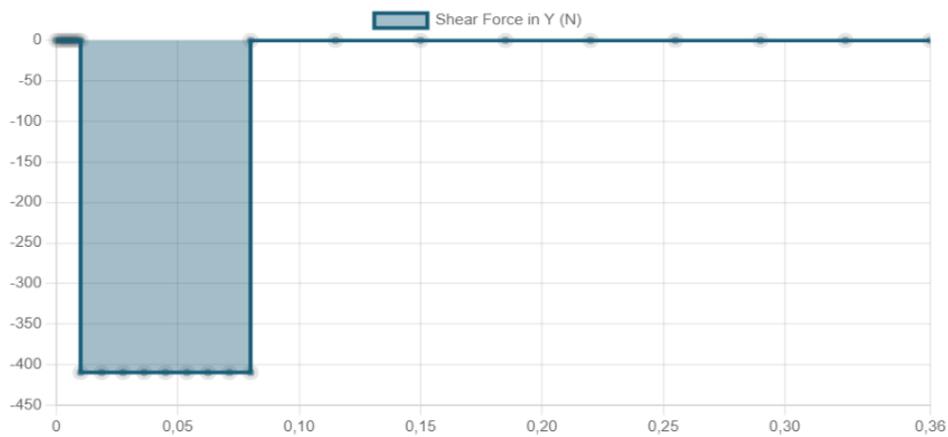


La figura 11 muestra diagrama cortante del eje donde se observa cual es la fuerza cortante en cada punto a lo largo del eje. La mayor fuerza cortante que experimenta en eje es de $409.86 [N]$ y esta ubicada entre los soportes del eje. Mientras que en lo que resta del eje no existen fuerzas cortantes.

Figura 11

Diagrama cortante del eje de transmisión de potencia

Shear Force Diagram ☒



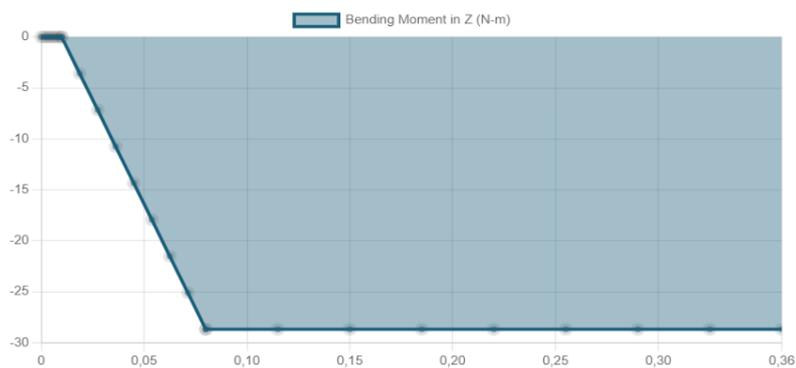
El diagrama de momento flector de la figura 12 muestra como varia el momento a lo largo del eje. Se observa que a partir del primer soporte colocado a $1[cm]$ el momento

Figura 12

Diagrama de momento flector del eje de transmisión de potencia

Bending Moment Diagram ☒

Reverse BMD Sign Convention

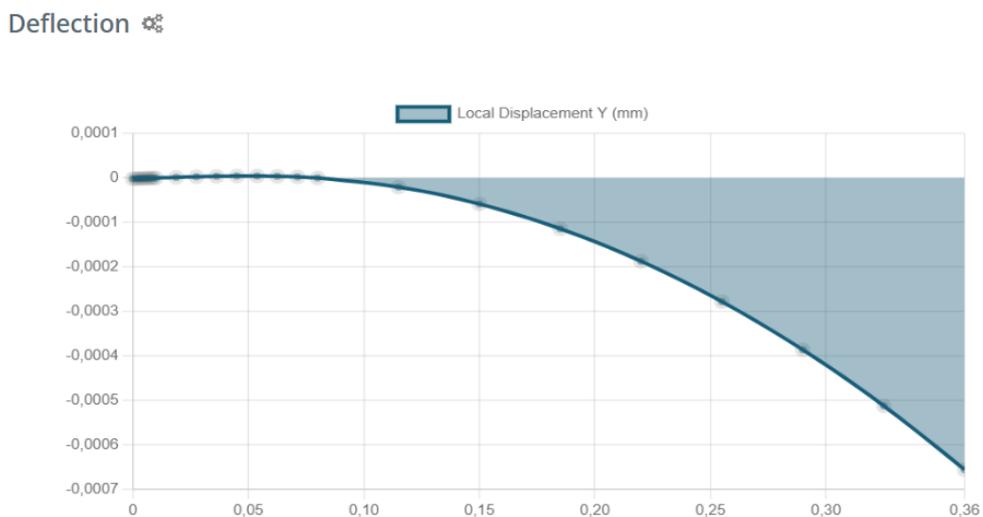


comienza a crecer y después del segundo soporte el momento flector se mantiene constante con un valor de $28.69[Nm]$.

La deflexión que sufre el eje se observa en la figura 13 siendo la máxima $0.001 [mm]$. Se observa que esta deflexión crece a medida que se aleja del soporte, lo que indica que se cumple la regla de la palanca.

Figura 13

Deflexión del eje de transmisión



3.2.23 Potencia del motor

$$P = M_T \cdot n$$

$$P = 37.31 [Nm] * 17.8 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$P = 664.12 [W]$$

$$P = 0.89 [HP]$$

Con factor de seguridad 1.1

$$P = 0.98 [HP]$$

3.2.24 Par de torsión producido por el motor eléctrico

El motor para usar en la maquina pelletizadora tiene una potencia de 1 HP y una velocidad angular a la salida de la caja reductora de 170 RPM.

$$T = \frac{63000(P_m)}{n} = \frac{63000(1[HP])}{170[RPM]} = 370.6[lb\ in] = 42.1 [N\ m]$$

3.2.25 Diámetro del eje

Propiedades para acero AISI SAE 1045 (Budynas & Nisbett, 2008). El cálculo de los factores para la resistencia a la fatiga modificada se encuentre en anexo A.

$$S_y = 530[MPa]$$

$$S_{ut} = 630[MPa]$$

$$S'_e = 0.5 S_{ut} = 0.5(630[MPa]) = 315[MPa]$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$$

$$S_e = (0.82)(1)(0.85)(1.020)(0.814)(315[MPa]) = 182.29[MPa]$$

Para este cálculo se utiliza un factor de concentrador de esfuerzo $K_t = 1.4$ correspondiente al cambio de sección, detalle en apéndice A. Se utiliza el momento torsor mayor en el sistema, que es el del motor eléctrico. Además, se utiliza un factor de seguridad de 3 para sobredimensionar el eje de transmisión y así garantizar su funcionamiento sin que ocurra falla en dicho elemento.

$$D_e = \left[\frac{32 \cdot N}{\pi} \cdot \sqrt{\left[\frac{K_t \cdot M}{S_e} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_e = \left[\frac{32 \cdot 3}{\pi} \cdot \sqrt{\left[\frac{1.4 \cdot 28.69 [Nm]}{182.29 [MPa]} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{42.1 [Nm]}{530 [MPa]} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 19.2 [mm]$$

Los resultados principales de los cálculos teóricos se encuentran en la tabla 8 donde se destaca que la potencia del motor requerida para que la máquina pelletizadora funciones es de **1 [HP]**. El diámetro mínimo que debe de tener el eje de transmisión es de **19.2 [mm]** el cual tiene un factor de seguridad de 3 y considerando el acero AISI SAE 1045.

Tabla 8

Resultados Principales de los cálculos teóricos de la máquina

	Magnitud	Unidades
Volumen de tolva V_{Tolva}	$3.3 * 10^{-3}$	m^3
Altura de tolva h_{Tolva}	0.18	m
Volumen del pellet V_{pellet}	$1.13 * 10^{-6}$	m^3
Densidad de pellet ρ_{pellet}	1149	$\frac{kg}{m^3}$
Flujo volumétrico Q	$2.42 * 10^{-6}$	$\frac{m^3}{s}$
Fuerza de compactación F_c	819.95	N
Fuerza de fricción en orificio F_R	690.7	N
Fuerza de fricción en la superficie de la matriz F_{Rm}	532.97	N
Velocidad angular de la matriz n	17.8	$\frac{rad}{s}$
Velocidad angular de los rodillos w_{rod}	20.82	$\frac{rad}{s}$
Momento flector en el eje M_f	28.69	Nm
Momento torsor en el eje M_T	37.31	Nm

Potencia de motor requerida <i>Pot</i>	0.98	HP
Diámetro mínimo de eje D_e	19.2	mm

3.3 Determinación del alcance

Basados en la información recopilada en el segundo capítulo, donde se detallan los requisitos establecidos por el cliente, se destacan variables críticas que serán el enfoque principal del rendimiento de la máquina peletizadora. Como respuesta a esto se consiguieron las siguientes dimensiones y peso de la máquina, lo que la hace práctica (Tabla 9).

Tabla 9

Especificaciones de la peletizadora

Especificaciones	Datos	unidades
Capacidad	10	Kg/h
Dimensiones	1.05x 0.28 x 0.53	m
Peso	40	kg

Nota. La tabla contiene las especificaciones generales de la máquina peletizadora.

3.4 Análisis estático del sistema de transmisión

Se realizó el análisis estático del sistema de transmisión usando el software inventor. Se observa en la figura 14 la fuerza y torsión a la que estará sometido el eje de transmisión. El esfuerzo al que estará sometido la parte más crítica del sistema son 5 MPa. Además, se observa la deflexión que puede tener el eje debido a la fuerza de compresión, la deflexión máxima es muy pequeña y no se puede percibir, por esto la simulación arroja que el sistema tiene un factor de seguridad de 15. El resumen de los resultados se muestra a detalle en la tabla 10.

Figura 14

Análisis de tensión del sistema de transmisión

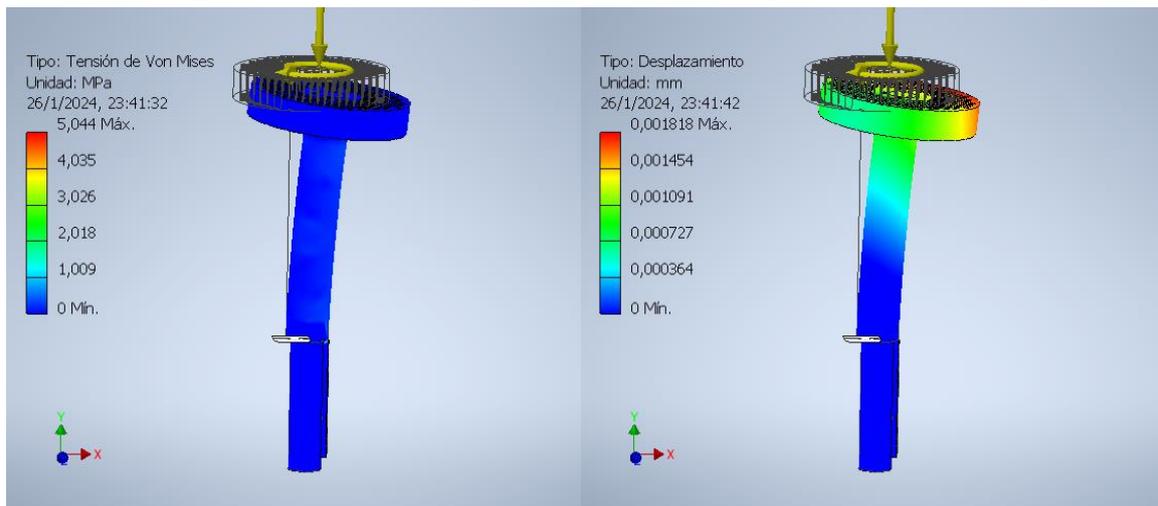


Tabla 10

Resumen de resultados del análisis estático del sistema de transmisión

Nombre	Mínimo	Máximo
Masa	3,5 kg	
Esfuerzo de fluencia AISI 1045	530 MPa	
Tensión de Von Mises	0,00000000910345 MPa	5,04382 MPa
Primera tensión principal	-0,264628 MPa	4,00056 MPa
Tercera tensión principal	-4,09751 MPa	0,362197 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,00181772 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su

3.5 Simulación de temperatura en estado transiente en matriz extrusora

Basándonos en la información recopilada en el primer capítulo, se destacan variables críticas como la temperatura que serán el enfoque principal del rendimiento de la máquina peletizadora. La simulación de temperatura en estado transiente realizado con ANSYS es esencial para evaluar el comportamiento de la matriz bajo condiciones operativas reales. En este análisis, se prioriza la consideración de factores dinámicos, particularmente la

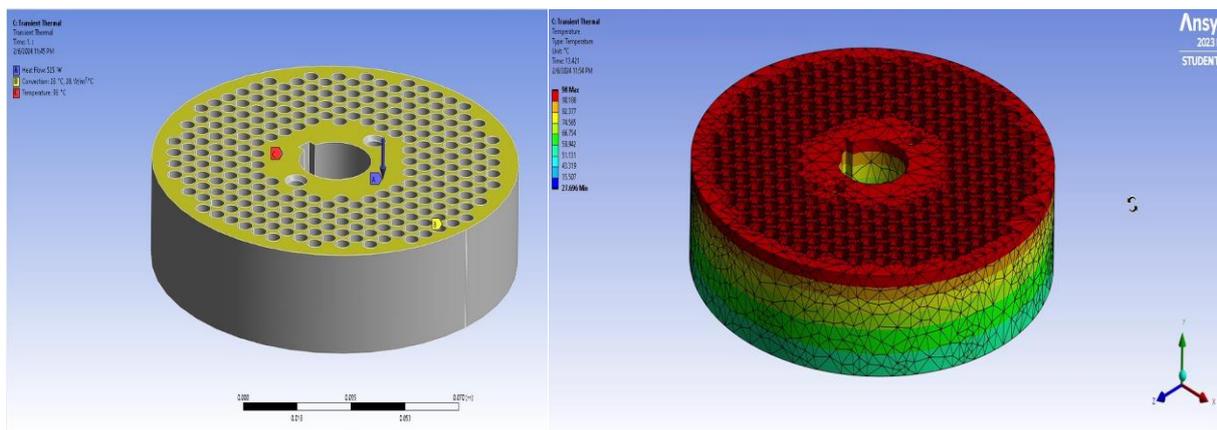
temperatura generada por la fricción entre la biomasa y la matriz, así como la fuerza de fricción ejercida por los rodillos de compactación. Estos aspectos son críticos, ya que la fricción que genera el calor puede tener un impacto significativo en el proceso de pelletización.

Esta simulación permite observar el fenómeno de transferencia de calor en la matriz extrusora en el tiempo. Aquí la conducción térmica del material es crucial.

En la figura 15, se puede apreciar que a medida que avanza el tiempo, la temperatura que al inicio solo estaba en la cara superior de la matriz luego se distribuye uniformemente en todas las direcciones de la matriz. Desde una temperatura inicial de 98°C a los 13 segundos la matriz ya tiene una temperatura promedio de 60 °C. Este fenómeno se atribuye a la alta conductividad térmica del acero aleado, la cual permite una rápida y eficiente transferencia de calor en toda la matriz. Esta homogeneidad en la distribución térmica es esencial para garantizar un proceso de pelletización consistente y eficaz.

Figura 15

Simulación transiente de la matriz extrusora



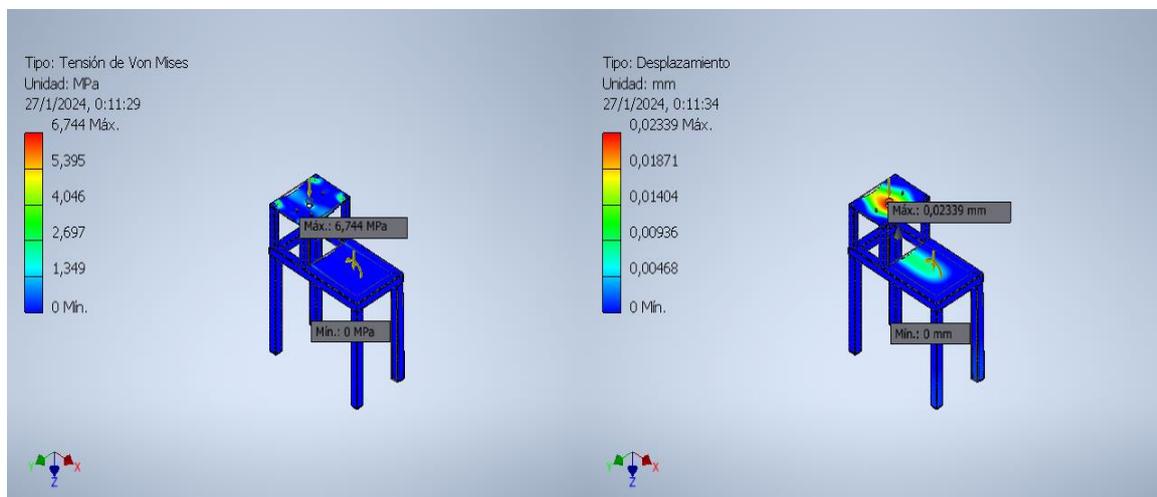
3.5 Análisis estático de la mesa de la pelletizadora

El análisis estático de la mesa es importante para garantizar la integridad estructural y como consecuencia el rendimiento seguro del equipo. Durante este análisis, se evalúa la

resistencia de la mesa frente a las fuerzas aplicadas por el peso del motorreductor y el sistema de la pelletizadora, destacando particularmente la deflexión que experimenta la estructura bajo esta carga. La deflexión es un aspecto crítico, ya que puede afectar la precisión y estabilidad de la maquinaria. Se observa en la figura 16 que la deflexión máxima que sufre la mesa debido a las cargas aplicadas se muestra de color rojo y es de 0.021 mm siendo un valor muy pequeño y casi imperceptible a simple vista, lo que demuestra que la estructura tiene una buena rigidez para soportar a la máquina con todos sus componentes.

Figura 16

Análisis estático de mesa de la pelletizadora



El factor de seguridad que corresponde al esfuerzo que la mesa puede soportar en comparación al esfuerzo que causan las cargas aplicadas, obteniendo un factor de seguridad de 15. Este valor es considerablemente elevado e indica que la estructura esta sobredimensionada y que pueden utilizarse perfiles de menor espesor para disminuir costos. Sin embargo, estos materiales fueron seleccionados debido a su facilidad de manipulación en relación con el tipo de mano de obra que iba realizar la construcción.

3.6 Equipo construido

En la figura 17, se presenta la pelletizadora construida, representando los cálculos y el diseño aplicado durante el proyecto. La máquina exhibe un sistema de ensamblaje intuitivo y eficiente, utilizando herramientas comunes que facilitan su montaje de manera accesible. Este enfoque de diseño simplificado resalta la practicidad en la operación y mantenimiento de la máquina. Además, esto agiliza el proceso de limpieza, convirtiendo lo que podría ser una tarea complicada en una tarea más sencilla

Figura 17

Máquina pelletizadora construida



3.7 Introducción al análisis de costo

En este capítulo, se realizará un análisis de los costos asociados con la construcción de la máquina pelletizadora de acuerdo con los cálculos y la selección de componentes discutidos

en el capítulo anterior, examinando detalladamente los costos de la máquina, los cuales incluyen materiales, sistema eléctrico, componentes y mano de obra directa.

Se exploran dos enfoques de cotización: el primero evaluará los costos totales de la máquina, mientras que el segundo contará con el respaldo del centro de desarrollo tecnológico sustentable (CDTS), que ha donado parte de la pelletizadora para su construcción. Este análisis brinda una visión detallada de los costos, ofreciendo perspectivas valiosas sobre las consideraciones financieras vinculadas a la implementación del proyecto.

3.8 Costo total de la pelletizadora

Se realizó un análisis de los costos individuales de cada elemento utilizado en la pelletizadora con el objetivo de calcular el gasto total para su construcción.

3.8.1 Costo total de la máquina

Tabla 11

Costo de materiales de Pelletizadora actual

Descripción	Cantidad	Valor unitario \$	Valor total \$
Sistema de Alimentación (Tolva)			
Plancha de Tool Galvanizado 2 mm	1	\$12,00	\$12,00
remaches 3/16' x 1/2' de aluminio, ala 3/8'	3	\$0,40	\$1,20
Sistema de Extrusión			
Tubo Negro 5" Ced 40 x 0,7 MTS (Diámetro Ext 5,56", Espesor 0,25", Acero A106)	1	\$60,00	\$60,00
Perfil pletina 12X3 mm 0,4 MTS (Acero ASTM A36)	1	\$8,00	\$8,00
Tornillos de cabeza hexagonal de 3/8-16 x 1-1/2 pulgadas, tuercas, arandelas planas y de bloqueo, acero inoxidable 304	3	\$1,50	\$4,50
Matriz para Peletizadoras WIE-PM-1500 y WIE-PM-500 para Wiesenfield Pellet 6 mm	1	\$120,00	\$120,00
Wiesenfield WIE-PMA-27 - Rodillo para prensas de pellets WIE-PM-1500 y WIE-PM-500 (78 x 166 mm)	1	\$160,00	\$160,00
3/8 In. X 10-1/2 In. Zinc Eye & Eye Turnbuckle	2	\$3,40	\$6,80
Sistema de Transmisión de Potencia			
Caja ortogonal FCN50I:10	1	\$126,00	\$126,00
Motor trifásico de 1 HP 220/440V	1	\$145,00	\$145,00
Tornillos de cabeza hexagonal de 3/8-16 x 1-1/2 pulgadas, tuercas, arandelas planas y de bloqueo, acero inoxidable 304	4	\$1,50	\$6,00
INDECO S.A. FREETOX N2XOH 0.6/1 kV - 3-1x Sección	3m	\$1,75	\$4,50

Eje AISI 4340 de 40 mm de diámetro x 70 mm de largo	1	\$35,00	\$35,00
Estructura			
Tubo Estructural Negro Cuadrado 40 x 40 x 2,5 mm, Acero ASTM A500	1	\$25,00	\$25,00
Lámina de acero lisa de 4' x 8' x 1/6" de espesor	1	\$15,00	\$15,00
Tornillos de cabeza hexagonal de 3/8-16 x 1-1/2 pulgadas, tuercas, arandelas planas y de bloqueo, acero inoxidable 304	4	\$2,50	\$10,00
Sistema de corte y resbaladera			
Plancha de Tool Galvanizado 2 mm de espesor (500 mm x 500 mm)	1	\$5,00	\$5,00
Sección ovalada de 125mm diámetro x 150mm de largo	1	\$3,00	\$3,00
Tuerca de mariposa M5 Tornillos de apriete a mano	5	\$0,90	\$4,50

3.8.2 Costo de mano de Obra

Tabla 12

Costo mano de obra actual

Costo mano de Obra			
Descripción	Cantidad	Valor unitario \$	Valor total \$
Construcción de Tolva	1	\$20,00	\$20,00
Construcción de sistema Extrusión	1	\$50,00	\$50,00
Maquinado de eje	1	\$30,00	\$30,00
Chaveta de eje	1	\$10,00	\$10,00
Chaveta para matriz giratoria	1	\$10,00	\$10,00
Construcción de la estructura	1	\$35,00	\$35,00
Construcción de sistema de corte y resbaladera	1	\$18,00	\$18,00
Diseño de ingeniería	1	\$150	\$150

3.8.3 Costo de consumibles

Tabla 13

Costo por consumibles

Consumible				
Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario \$	Valor total \$
Disco de desbaste de 4 1/2"	2	unidades	\$3,50	\$7,00
Disco de zirconio 4 1/2"	2	unidades	\$2,00	\$4,00
Disco de corte 4 1/2"	4	unidades	\$1,00	\$4,00
Palillos Sol. 6011	1	kilogramos	\$3,74	\$3,74
Pintura anticorrosiva	1,5	litros	\$7,00	\$7,00
Diluyente	1	litros	\$2,00	\$2,00
Masilla plástica	1/4	litros	\$3,00	\$3,00
Lija #36	2	formato	\$0,75	\$1,50
Lija #150	3	formato	\$0,90	\$2,70
Waipe	1/2	libras	\$2,00	\$2,00

3.8.4 Costo Total

Tabla 14

Costo total de la máquina actual

Valor Total de materiales	\$731,3
Valor de consumibles	\$36,94
Valor total de mano de Obra	\$323,00
Valor Total	\$1091,24

3.9 Costo parcial de la pelletizadora

Se realizó un análisis de los costos individuales de cada elemento, destacando que dichos costos se redujeron considerablemente gracias a las donaciones del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable. El objetivo principal fue calcular el gasto total para la construcción de la pelletizadora.

3.9.1 Costo total de la máquina

Tabla 15

Costo de materiales de Pelletizadora

Descripción	Cantidad	Valor unitario \$	Valor total \$
Sistema de Alimentación (Tolva)			
Plancha de Tool Galvanizado 2 mm	1	-	Reutilización
remaches 3/16' x 1/2' de aluminio, ala 3/8'	3	\$0,40	\$1,20
Sistema de Extrusión			
Tubo Negro 5" Ced 40 x 0,7 MTS (Diámetro Ext 5,56", Espesor 0,25", Acero A106)	1	-	Reutilización
Perfil pletina 12X3 mm 0,4 MTS, Acero ASTM A36	1	-	Reutilización
Tornillos de cabeza hexagonal de 3/8-16 x 1-1/2 pulgadas, tuercas, arandelas planas y de bloqueo, acero inoxidable 304	3	\$1,50	\$4,50
Matriz para Peletizadoras WIE-PM-1500 y WIE-PM-500 para Wiesenfield Pellet 6 mm	1	-	Reutilización
Wiesenfield WIE-PMA-27 - Rodillo para prensas de pellets WIE-PM-1500 y WIE-PM-500 (78 x 166 mm)	1	-	Reutilización
3/8 In. X 10-1/2 In. Zinc Eye & Eye Turnbuckle	2	\$3,40	\$6,80
Sistema de Transmisión de Potencia			
Caja ortogonal FCN50I:10	1	\$126,00	\$126,00
Motor trifásico de 1 hp 220/440v	1	\$145,00	\$145,00

Tornillos de cabeza hexagonal de 3/8-16 x 1-1/2 pulgadas, tuercas, arandelas planas y de bloqueo, acero inoxidable 304	4	\$1,50	\$6,00
INDECO S.A. FREETOX N2XOH 0.6/1 kV - 3-1x Sección	3m	\$1,75	\$4,50
Eje AISI 1045 de 40 mm de diámetro x 70 mm de largo	1	-	Reutilización
Estructura			
Tubo Estructural Negro Cuadrado 40 x 40 x 2,5 mm, Acero ASTM A500	1	\$25,00	\$25,00
Lámina de acero lisa de 4' x 8' x 1/6" de espesor	1	-	Reutilización
Tornillos de cabeza hexagonal de 3/8-16 x 1-1/2 pulgadas, tuercas, arandelas planas y de bloqueo, acero inoxidable 304	4	\$2,50	\$10,00
Sistema de corte y resbaladera			
Plancha de Tool Galvanizado 2 mm de espesor (500 mm x 500 mm)	1	-	Reutilización
Sección ovalada de 125mm diámetro x 150mm de largo	1	-	Reutilización
Tuerca de mariposa M5 Tornillos de apriete a mano	5	-	Reutilización

3.9.2 Costo de mano de Obra

Tabla 16

Costo mano de Obra

Costo mano de Obra			
Descripción	Cantidad	Valor unitario \$	Valor total \$
Construcción de Tolva	1	\$20,00	\$20,00
Construcción de sistema Extrusión	1	-	Reutilización
Maquinado de eje	1	\$30,00	\$30,00
Chaveta de eje	1	\$10,00	\$10,00
Chaveta para matriz giratoria	1	\$10,00	\$10,00
Construcción de la estructura	1	\$35,00	\$35,00
Construcción de sistema de corte y resbaladera	1	\$18,00	\$18,00
Diseño de Ingeniería	1	\$150	\$150

3.9.3 Costo de consumibles

Tabla 17

Costo por consumibles utilizados

Consumible				
Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario \$	Valor total \$
Disco de desbaste de 4 1/2'''	2	unidades	\$3,50	\$7,00
Disco de zirconio 4 1/2'''	2	unidades	\$2,00	\$4,00
Disco de corte 4 1/2''	4	unidades	\$1,00	\$4,00
Palillos Sol. 6011	1	kilogramos	\$3,74	\$3,74
Pintura anticorrosiva	1,5	litros	\$7,00	\$7,00

Diluyente	1	litros	\$2,00	\$2,00
Masilla plástica	1/4	litros	\$3,00	\$3,00
Lija #36	2	formato	\$0,75	\$1,50
Lija #150	3	formato	\$0,90	\$2,70
Waipe	1/2	libras	\$2,00	\$2,00

3.9.4 Costo Total

Tabla 18

Costo total de la máquina

Valor Total de materiales	\$336,48
Valor de consumibles	\$36,94
Valor total de mano de Obra	\$323,00
Valor Total	\$696,42

El análisis de costos revela que la inversión en materiales supera la asignada a la mano de obra, siendo el motorreductor representa aproximadamente el 50% del gasto total del equipo. La adquisición de materiales se realiza localmente, reduciendo los costos asociados a la importación y garantizando la disponibilidad de accesorios.

El motorreductor se destaca como un componente crucial al ofrecer una forma eficiente y versátil de al permitir alcanzar baja velocidad angular para el proceso. Esta elección implica no utilizar bandas y poleas, ya que la relación de velocidad necesaria es considerablemente alta.

Considerando el contexto más amplio de la construcción de pelletizadoras, es esencial tener en cuenta que los costos pueden variar significativamente según el propósito y la especificidad del diseño. Por ejemplo, en el ámbito de las máquinas destinadas a la producción de pellets para biomasa, los requisitos técnicos y de ingeniería pueden diferir en comparación con aquellas diseñadas para la fabricación de pellets solo de madera.

En el caso de las pelletizadoras de biomasa, la naturaleza y las propiedades de los materiales a procesar, como residuos agrícolas o residuos de madera, pueden influir en la

complejidad del diseño y, por ende, en los costos asociados. Además, las consideraciones medioambientales y de sostenibilidad pueden desempeñar un papel destacado, afectando la elección de materiales y componentes. Por lo tanto, en el análisis de costos para la construcción de una pelletizadora, la adaptabilidad a diferentes contextos y aplicaciones específicas también será un factor clave a considerar.

La colaboración del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) fue importante en la optimización de costos y en el fortalecimiento de la viabilidad económica del proyecto. La reutilización de componentes de la pelletizadora en el proceso de rehabilitación y puesta en marcha ha resultado en una significativa reducción de los costos asociados.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Se rediseñaron de los componentes de la pelletizadora donde se implementó un sistema de transmisión de potencia directa, lo que conllevó a una simplificación de los componentes de la máquina. Esta nueva configuración permitió un acople óptimo de los diferentes elementos, facilitando significativamente el proceso de ensamblaje. La integración de este sistema de transmisión simplificado no solo mejoró la eficiencia operativa de la máquina, sino que también optimizó los recursos necesarios para su fabricación y mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida útil.

Se abordó el diseño y cálculo del eje de transmisión para la máquina pelletizadora de escala de laboratorio, centrando su enfoque en la aplicación de un método analítico confiable. El objetivo principal fue garantizar el funcionamiento óptimo de la máquina por lo que se utilizó la ecuación ANSI B106.1M que considera cargas dinámicas, se determinó el diámetro adecuado del eje con factor de seguridad de 3 que asegura la integridad de la transmisión de potencia desde el motor eléctrico hacia la máquina. Se resalta que el material a pelletizar considerado fue el aserrín, siendo un material con mayor resistencia a la fluencia que se puede utilizar en el laboratorio del CDTS lo que asegura una adaptación adecuada a las condiciones de operación reales de la máquina, optimizando la eficiencia y durabilidad del sistema.

Se realizó el ensamble de la máquina pelletizadora y la ejecución de rigurosas pruebas de funcionamiento. El objetivo primordial de este proceso era verificar la operatividad integral de la maquinaria diseñada y garantizar la calidad óptima de los pellets generados. La máquina demostró la capacidad de alcanzar y mantener una temperatura adecuada para la formación óptima de los pellets. Este logro es crucial, ya que la temperatura es un factor crítico en el proceso de pelletización y directamente influye en la calidad del producto final.

La implementación de este prototipo en Ecuador se erige como una iniciativa viable y estratégica, considerando la ausencia de fabricación local y las limitadas opciones en el mercado orientadas a capacidades mayores. Al abordar esta carencia, el prototipo se posiciona no solo como una respuesta a una demanda latente en el ámbito local, sino también como una solución a medida para aquellos que buscan una máquina de menor escala. Este proyecto no solo proporciona una oportunidad para liderar en innovación en el sector, sino que también impulsa la eficiencia en la producción de pellets.

4.1.2 Recomendaciones

Para la futura construcción de una máquina pelletizadora, se aconseja la utilización de perfiles menos robustos en la estructura. Esta elección no solo contribuye a una disminución significativa en el peso total de la máquina, sino que también introduce consideraciones clave en términos de habilidades de soldadura. Se requiere más destreza en soldadura para asegurar la unión efectiva de estos perfiles más livianos.

Se sugiere una mejora integral en el sistema de retención del material. La rampa actual, fabricada de lata y con una inclinación de 45 grados, presenta desafíos para lograr un sello hermético con el eje, permitiendo el paso no deseado de material hacia la caja reductora.

Se aconseja iniciar el proceso de pelletización con material ligeramente menos procesado para tener un rápido aumento de temperatura al contacto con la matriz giratoria, lo que permite iniciar la producción de pellets en menos tiempo. Además, esta práctica puede facilitar la eliminación de material comprimido residual de usos anteriores.

Referencias

- Albán, E., & Arias, Á. (2019). Diseño, Construcción e Implementación de una máquina Pelletizadora de Alimentos Balanceados para el Sector Pecuario con Capacidad de 100 Kg/h. (*Tesis de grado*). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito.
- Ambrose, G., & Harris, P. (2009). *The Diagrams Book: 50 Ways to Solve Any Problem Visually*.
- Angel, R. G. (2019). Modificación de diseño de máquina pelletizadora para alimentos deshidratados utilizando energías alternas. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Obtenido de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/17070>
- Arpi, J. E., & Calderon, C. S. (2010). *Diseño de una máquina pelletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la ciudad de Cuenca para su aprovechamiento energético*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana.
- Ayala, I. (2021). Identificación de nuevas Tecnologías par la Elaboración de Pellet Destinado a la Calefacción. (*Tesis de maestria*). Universidad de Talca, Chile.
- Buchely, M. F., & Colorado, H. A. (2016). Failure Analysis of a Pellet-Mill Die. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 285-292. doi:<https://doi.org/10.1007/s11668-016-0085-2>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Chen, Z., Yu, G., Xiangyue, Y., Qingyu, W., & Kan, J. (2015). Improving the Conventional Pelletization Process to Save Energy during Biomass Densification. *Bioresources*. doi:10.15376/BIORES.10.4.6576-6585
- Chicaiza, B. S., & Moreno, G. I. (2023). *Diseño y construcción de una máquina peletizadora que elabore*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Ecofricalia. (2021). *Ecofricalia*. Recuperado el 5 de Octubre de 2023, de <https://peletizadoras.net/>
- ENERGY, G. (2020). *Flat Die Pellet Mill Design Strategies For Successful Production In Plant*. Obtenido de <https://www.gemco-energy.com/profitable-flat-die-pellet-mill-design.html>

- Groover, M. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- GUERRA LUDEÑA, S. R. (2013). *Diseño y simulación de una prensa granuladora de madera automatizada*. Ecuador: ESPE, Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Hibbeler, R. (2011). *Mecánica de Materiales*. México: Pearson.
- Hong-Xing, Z., Feng-Shan, Z., Amutenya, E. L., Jin-Liang, L., & Yi, Z. (2022). A review on the industrial solid waste application in pelletizing additives: Composition, mechanism and process characteristics. *Journal of Hazardous Materials*, 423 B. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127056>.
- INEC. (2022). *Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-agroambiental/>
- Institute, P. F. (21 de Octubre de 2023). *Benefits of Pellet*. Obtenido de <https://www.pelletheat.org/benefits-of-pellets>
- Instituto Nacional de Preinversión. (2014). ATLAS BIOENERGÉTICO DEL ECUADOR. (C. S.A., Ed.) 1, 150.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson.
- Kevin Mero, J. B. (2017). *Diseño de un prototipo para la fabricación de pellets a partir de biomasa*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).
- Machinery, E. (2013). <https://www.ep-briquette-machine.com/rotating-roller-wood-pellet-mill.html>. Obtenido de Obtenido de Rotating roller type wood.
- Matache, G., Alexe, A. M., Șovăială, G., & Olan, M. (7-9 de November de 2018). TECHNOLOGICAL STAND FOR THE DETERMINATION OF THE DIE'S GEOMETRY USED IN BIOMASS PELLET MAKING EQUIPMENT. *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics*, 8.
- Mero, K., & Bonifaz, J. (2017). Diseño de un prototipo para la fabricación de pellets a partir de biomasa residual forestal. (*Tesis de grado*). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/41581/1/D-CD88576.pdf>
- Mohd Firdaus, O., Haliza, J., Hazizan Md, A., Zainal Arifin, A., & N.Z., N. (2015). Mechanical Properties of High Density Polyethylene (HDPE)/Sawdust Composites under Wide Range of Strain Rate. *Applied Mechanics and Materials. Scientific*, 754-745, 83-88. doi:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.754-755.83>
- MOTOVARIO. (2017). *MOTOVARIO HEART OF MOTION*. Obtenido de https://my.motovario.com/uploads/pdf_static/TECHNICAL%20CATALOGUE_VS

- Mott, R. L. (2006). *Fuerzas sobre los dientes de engranes helicoidales*. En *Diseño de Elementos de*. México: Pearson Educacion.
- NORTON, R. L. (2013). *Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. MEXICO: 5.
- Perez Castro, W., Arroyavel, J., & Acevedo, S. (2010). DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN EMPLEANDO. Recuperado el 9 de enero de 2024, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4560896.pdf>
- Pineda-Pineda, J., Sánchez del Castillo, F., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., & Moreno-Pérez, E. d. (2012). Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo*, 95-111. Recuperado el 10 de enero de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2012000100007&lng=es&tlng=es
- Ren, S., Li, J., Shi, Y., Wen, B., Li, L., & Su, Z. (2022). Wear characteristics of flat die in flat die pellet mills based on *Glycyrrhiza uralensis*. *Materials research express*. *IOPSCIENCE*. doi:10.1088/2053-1591/ac7b71
- Tumuluru, J. S., Wright, C., Hess, J. R., & Kenney, K. (2011). A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels Bioproducts & biorefining*(5), 683-707. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bbb.324>
- Zeno Pellet Machine Supplier . (5 de 12 de 2021). *Design of flat die pellet mill,the expert of animal feed production*. Obtenido de <https://www.zenopelletmachine.com/flat-die-pellet-mill/>

Apéndice A

Figura 1 Apéndice A

Propiedades de los aceros

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesa- miento	Resistencia		Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
			a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)			
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Figura 2 Apéndice A

Tabla de constantes para ángulo de avellanado

Para un ángulo entre 50° y 60°		Para un ángulo entre 30° y 45°	
a	0.8 – 0.9	a	0.7 – 0.78
b	1.2 – 1.5	b	1 – 1.1

Cálculo de factores para la resistencia a la fatiga modificada

Factor de modificación de la condición superficial

Para calcular el coeficiente correctivo de superficie se puede hacer uso de graficas o de la formula empírica que se muestra a continuación. Para el eje se tiene un acabado superficial esmerilado.

$$k_a = aS_{ut}^b = 4.51(630)^{-0.265} = 0.82$$

Figura 3 Apéndice A

Factores a y b según el acabado superficial

Tabla 6-2

Parámetros del factor de modificación superficial de Marin, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Factor de modificación de tamaño

Figura 4 Apéndice A

Fórmulas para el factor de modificación de tamaño

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Eje sometido a carga axial, por lo tanto $k_b = 1$. (Budynas & Nisbett, 2008)

Factor de modificación de carga

Figura 5 Apéndice A

Factor de carga

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Por lo tanto $k_c = 0.85$

Factor de modificación de la temperatura

Para este factor de modificación de temperatura se utiliza una temperatura de 100°C ya que es la temperatura promedio del proceso de pelletización.

Figura 6 Apéndice A

Factor de modificación de la temperatura

Tabla 6-4

	Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.* (S_T = resistencia a la tensión a la temperatura de operación; S_{RT} = resistencia a la tensión a temperatura ambiente; $0.099 \leq \hat{\sigma} \leq 0.110$)	20	1.000	70	1.000
	50	1.010	100	1.008
	100	1.020	200	1.020
	150	1.025	300	1.024
	200	1.020	400	1.018
	250	1.000	500	0.995
	300	0.975	600	0.963
	350	0.943	700	0.927
	400	0.900	800	0.872
	450	0.843	900	0.797
	500	0.768	1 000	0.698
	550	0.672	1 100	0.567
	600	0.549		

*Fuente de datos: figura 2-9.

$$k_d = 1.020$$

Factor de modificación de confiabilidad

Se trabaja con una confiabilidad de 99%.

Figura 7 Apéndice A

Factores de confiabilidad

Tabla 6-5

Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_σ	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Por lo tanto $k_e = 0.814$

Figura 8 Apéndice A

Gráfica para valor de la constante K_{ts}

Figura A-15-7

Eje redondo con filete en el hombro en tensión. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = \pi d^2/4$.

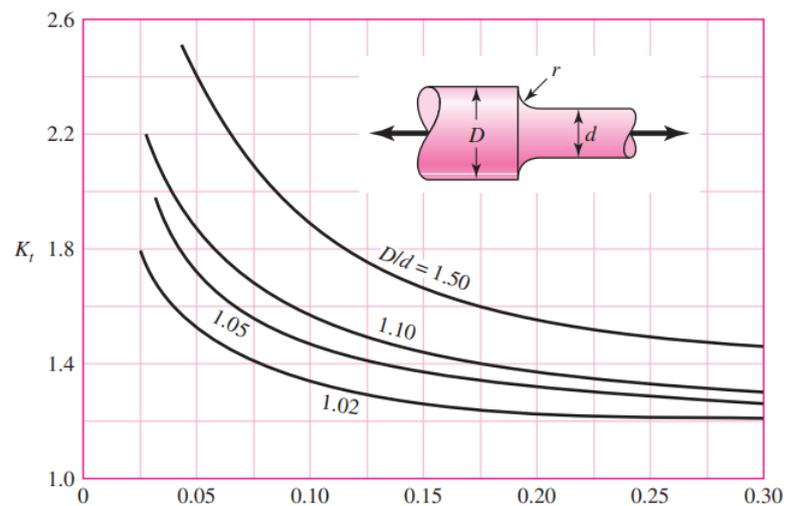
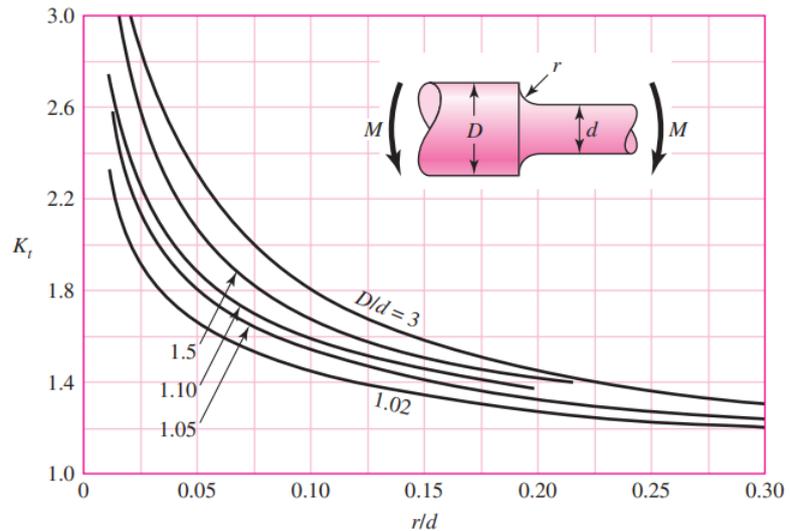


Figura 9 Apéndice A

Gráfica para valor de la constante K_t

Figura A-15-9

Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ y $I = \pi d^4/64$.



Para el eje de transmisión se asume el diámetro mayor de 32mm, el diámetro menor de 25mm dado por la salida de la caja reductora y el radio $r=2$ mm. Se obtiene que el factor $K_t=1.4$.

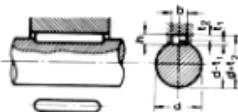
Figura 10 Apéndice

Chaveteros según el diámetro del eje basados DIN 6885

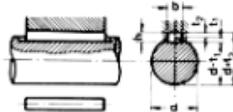


DIMENSIONES CHAVETEROS Y CHAVETAS

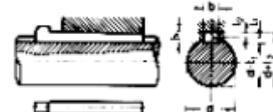
Según DIN - 6885/1 - 6886 - 6887



Chaveta paralela
S/DIN-6885/1



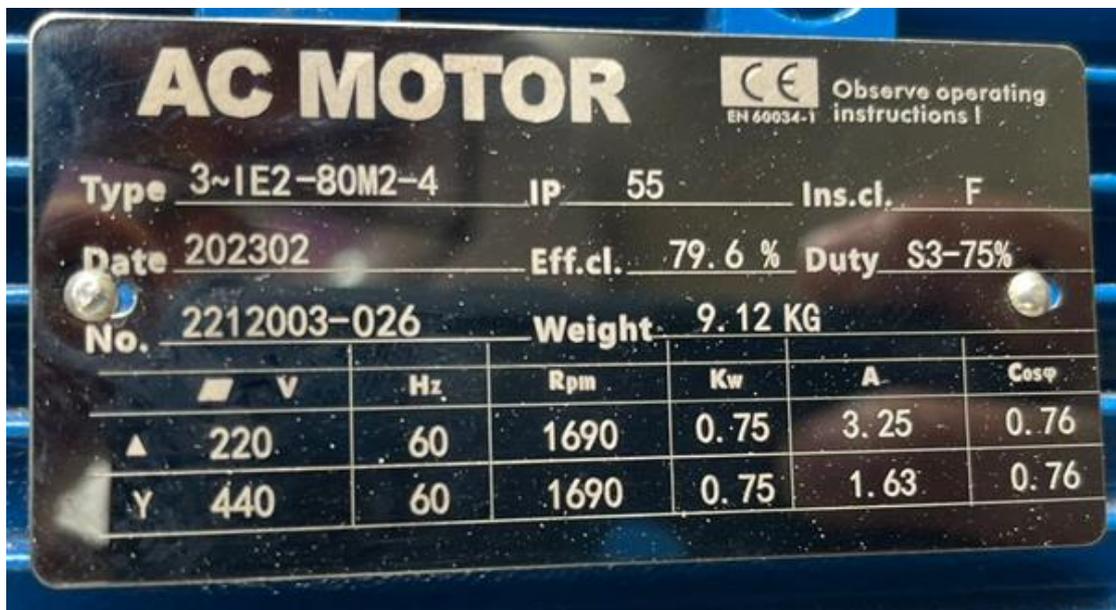
Chaveta de cuña
S/DIN-6886



Chaveta de cuña con cabeza
S/DIN-6887

Ø Eje d (mm) desde-hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887		t_1 m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde-hasta	Tol. H-7 m/m
		d + t_2 m/m	Tol. Admisible (en altura) m/m	d + t_2 m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1	3,5	+0,2	10-18	+0,018 0
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1			
30-38	10x8	d+3,4		d+2,8		4,7		30-50	+0,025 0
38-44	12x8	d+3,2		d+2,6		4,9			
44-50	14x9	d+3,6		d+2,9		5,5		50-80	+0,030 0
50-58	16x10	d+3,9		d+3,2		6,2			
58-65	18x11	d+4,3		d+3,5		6,8		80-120	+0,035 0
65-75	20x12	d+4,7		d+3,9		7,4			
75-85	22x14	d+5,6	d+4,8	8,5	120-180	+0,040			

Anexo



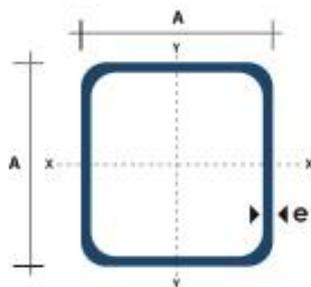
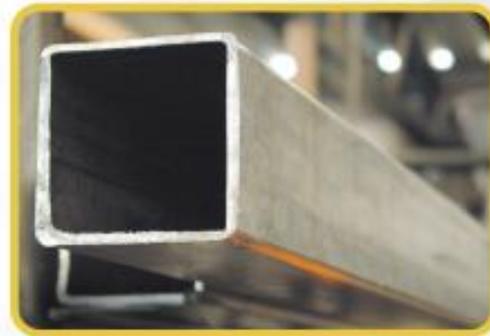
HOJA DE DATOS**Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula**

Cliente				
Línea del producto	: W22 NEMA Premium Efficiency Trifásico	Código del producto :	12860525	
		Catalog # :	00118ET3EM143TCW	
Carcasa	: 143/5TC	Tiempo de rotor bloqueado	: 32s (frío) 18s (caliente)	
Potencia	: 1 HP (0.75 kW)	Elevación de temperatura	: 80 K	
Polos	: 4	Régimen de servicio	: Cont.(S1)	
Frecuencia	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C	
Tensión nominal	: 208-230/460 V	Altitud	: 1000 m	
Corriente nominal	: 3.07-2.94/1.47 A	Grado de protección	: IP55	
Corriente de arranque	: 25.8-24.7/12.3 A	Método de refrigeración	: IC411 - TEFC	
Ip/In	: 8.4x(Cód. M)	Forma constructiva	: F-1	
Corriente en vacío	: 1.62-1.88/0.940 A	Sentido de giro ¹	: Ambos	
Rotación nominal	: 1760 rpm	Nivel de ruido ²	: 51.0 dB(A)	
Resbalamiento	: 2.22 %	Método de Arranque	: Partida directa	
Torque nominal	: 0.407 kgfm	Masa aproximada ³	: 21.5 kg	
Torque de arranque	: 320 %			
Torque máximo	: 350 %			
Clase de aislamiento	: F			
Factor de servicio	: 1.25			
Momento de inercia (J)	: 0.0049 kgm ²			
Categoría	: B			
Potencia	25%	50%	75%	100%
Rendimiento (%)	78.4	80.0	84.0	85.5
Cos ?	0.31	0.55	0.68	0.75
		Fuerzas en la fundación		
		Tracción máxima		: 33 kgf
		Compresión máxima		: 55 kgf
		<u>Delantero</u>	<u>Trasero</u>	
Tipo de cojinete	:	6205 ZZ	6204 ZZ	
Sello	:	V'Ring	V'Ring	
Intervalo de lubricación	:	-	-	
Cantidad de lubricante	:	-	-	
Tipo de lubricante	:	Mobil Polyrex EM		

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 5,00mm



Dimensiones			Area	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Area cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.26	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.81	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.28	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.81	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

www.dipacmanta.com

COMPOSICIÓN QUÍMICA (Max)

DUREZA	C	Si	Mn	Cr	Ti	B
400 HB	0.26	0.55	1.6	0.4	0.02	0.004
500 HB	0.36	0.55	1.6	0.8	0.02	0.004

PROPIEDADES MECÁNICAS (Max)

	Resistencia Mecánica	Punto de Frecuencia
DUREZA	N/mm ²	N/mm ²
400 HB	1316	1163
500 HB	1449	1449

DUREZA	ESPESTORES (mm)
400 HB	5,6,10, 12, 19, 20
500 HB	12, 25



Cable vulcanizado TTRF-70 2x16 AWG gris
Celsa 144145



FICHA TÉCNICA

Características Vulcanizado. Excelente calidad, resistencia y durabilidad. Temperatura máxima de operación: 70°C.	Garantía 2 Años
Observaciones En caso de incendio el aislante y la cubierta no es inflamable y es autoextinguible, superando la Norma IEC 60332-1-2.	Profundidad Del Producto 10000 cm
Recomendaciones De Uso Ideal para todo tipo de equipos móviles.	Altura Del Producto 0.8 cm
Modelo TTRF-70 2x16 AWG	Tipo de Producto Cable
Ancho Del Producto 0.8 cm	Sub Tipo de Producto Conductivo
Material Cobre	Color Gris
Marca Celsa	Peso Del Producto 12.8 kg
Advertencia de uso Evitar sobrepasar la temperatura máxima de trabajo.	Calibre 2X16 Awg
Longitud 100 m	Uso Para instalaciones fijas, también en aparatos o equipos sujetos a desplazamientos, arrollamientos o vibraciones.

Ficha técnica de la Pelletizadora

Equipo	Pelletizadora
Modela	Matriz Giratoria
Precio	\$ 941,24
Especificaciones Técnicas	
Potencia del Motor	1 hp (0.75 kW)
Tensión	220 -240 V
Intensidad	3.25 A
Frecuencia	60 Hz
Dimensiones	
Largo	0.53 m
Ancho	0.28 m
Altura	1.05 m
Peso	40 kg
Capacidad	
Diseño	10 kg/h
Materiales	
Estructura	ASTM A36
Eje	SAE 1045
Rodillos	SAE 4140
Matriz	SAE 4140



Manual de operación de la máquina

Es altamente recomendable revisar detenidamente el manual de instrucciones antes de poner en marcha la máquina.

1. Conectar la máquina a una fuente de alimentación monofásica de 220 V es necesario para activarla utilizando el cable de alimentación.



2. Previo al inicio de la operación de la máquina, es esencial verificar que la cámara de aglutinamiento esté desocupada y que los rodillos se encuentren en su posición exacta.



3. Después de asegurarse de estas condiciones, se activa el motor de la máquina al conectar el enchufe a la fuente de alimentación.



4. La máquina se inicia sin biomasa, con solo la matriz y rodillos en movimiento; luego, se procede a ajustar los rodillos en ambos lados hasta lograr un giro uniforme.



5. Al momento de verificar que la matriz llegue a la temperatura deseada se coloca la parte superior del cilindro y luego se coloca la tolva.



6. Una vez que los rodillos han sido ajustados, se coloca la biomasa en la tolva de alimentación. Es crucial evitar que la matriz y los rodillos estén en contacto durante periodos largos.



7. Cuando empiezan a salir los pellets se comienza a posicionar la cuchilla a la longitud deseada.



8. Una vez terminado el proceso, se apaga la maquina desconectado el cable de la fuente de alimentación.



9. Se desarmar la parte del cilindro superior con el fin de limpiar los residuos que quedan del pelletizado.



Precauciones

La cámara de aglutinamiento de la máquina puede representar un peligro de atrapamiento. Se debe evitar exponer las extremidades superiores a riesgos.



Existe la posibilidad de descarga eléctrica en el tablero de control de la máquina. Se recomienda abstenerse de abrir el tablero cuando la máquina esté energizada para evitar riesgos.

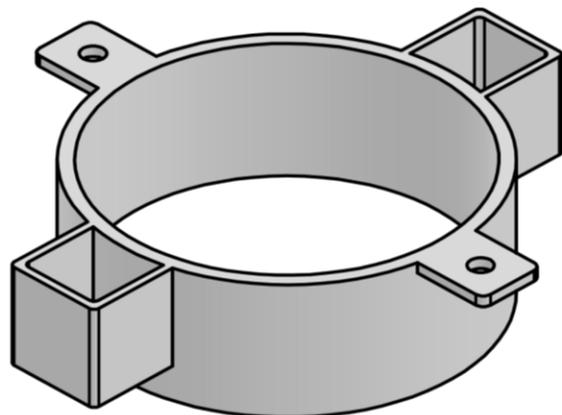
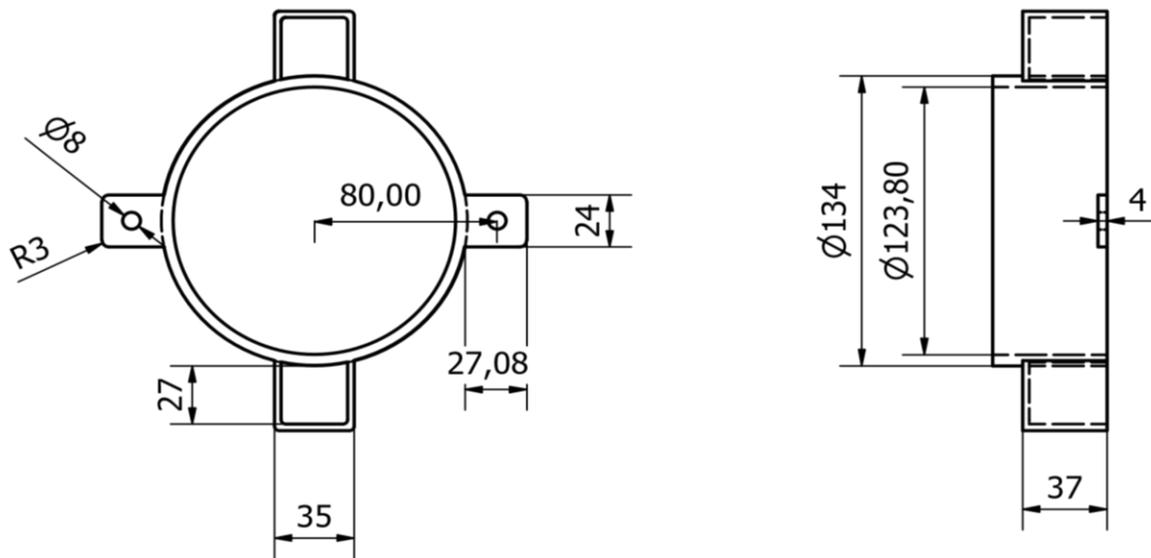




Planos

PLANO 1

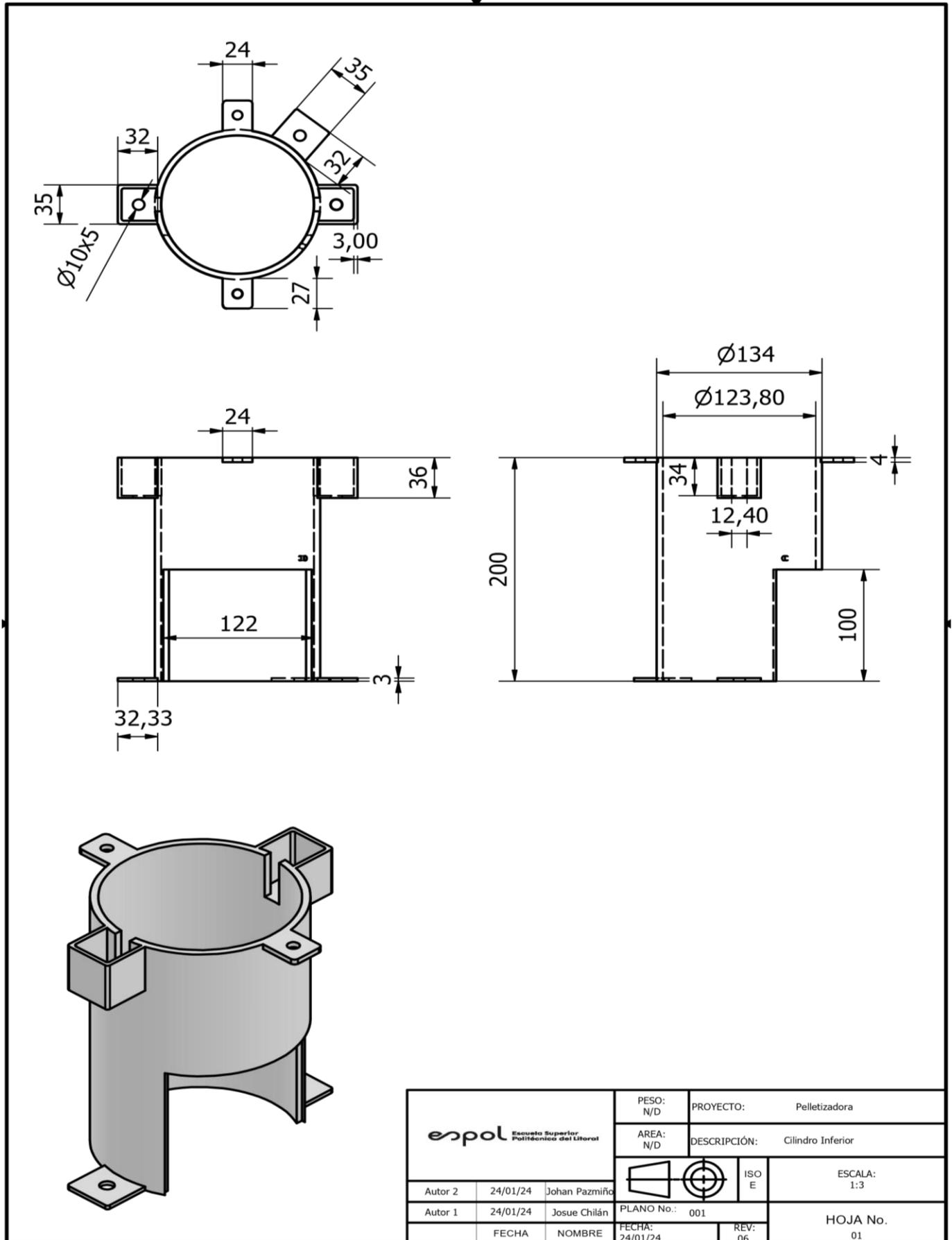
Cilindro Superior



			PESO: N/D	PROYECTO: Pelletizadora
			AREA: N/D	DESCRIPCIÓN: Cilindro Superior
Autor 2	24/01/24	Johan Pazmiño		ESCALA: 1 : 2
Autor 1	24/01/24	Josue Chilán		PLANO No.: 001
FECHA	NOMBRE	FECHA: 24/01/24	REV: 06	

PLANO 2

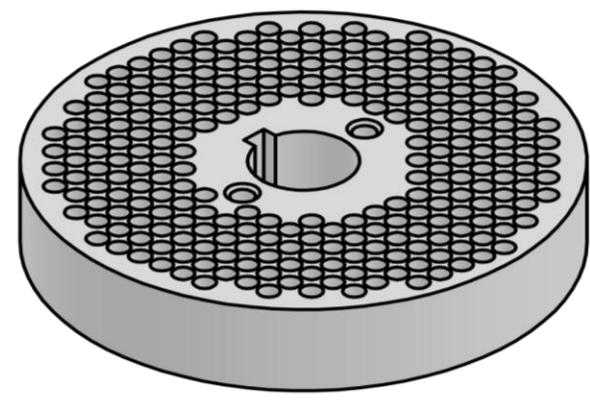
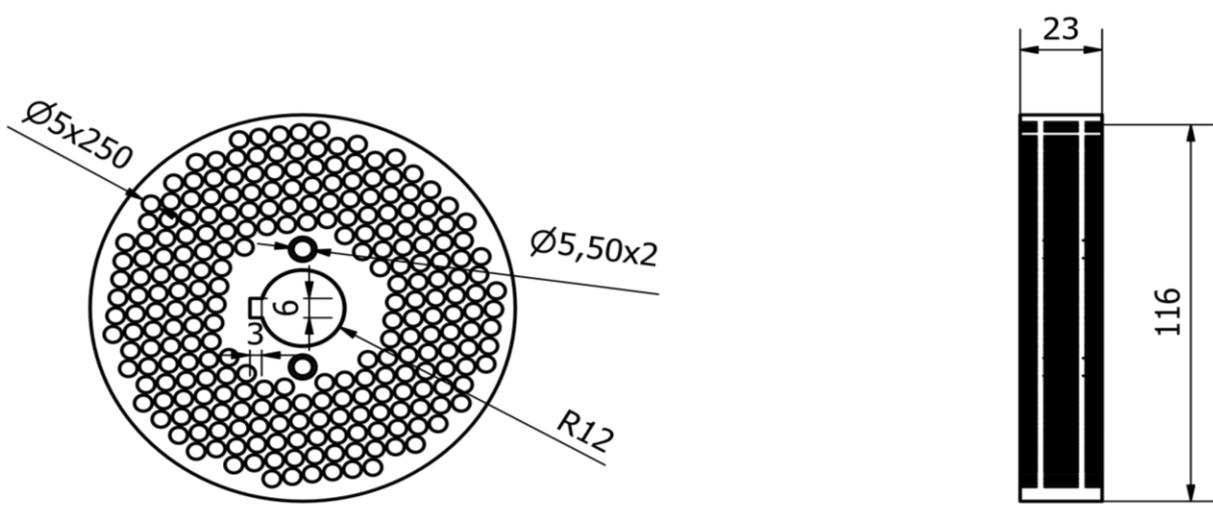
Cilindro Inferior



			PESO: N/D		PROYECTO: Pelletizadora									
			AREA: N/D		DESCRIPCIÓN: Cilindro Inferior									
<table border="1"> <tr> <td>Autor 2</td> <td>24/01/24</td> <td>Johan Pazmiño</td> <td rowspan="2"> </td> <td rowspan="2">ISO E</td> <td rowspan="2">ESCALA: 1:3</td> </tr> <tr> <td>Autor 1</td> <td>24/01/24</td> <td>Josue Chilán</td> </tr> </table>			Autor 2	24/01/24	Johan Pazmiño		ISO E	ESCALA: 1:3	Autor 1	24/01/24	Josue Chilán	PLANO No.: 001		HOJA No. 01
Autor 2	24/01/24	Johan Pazmiño		ISO E	ESCALA: 1:3									
Autor 1	24/01/24	Josue Chilán												
FECHA		NOMBRE	FECHA: 24/01/24	REV: 06										

PLANO 3

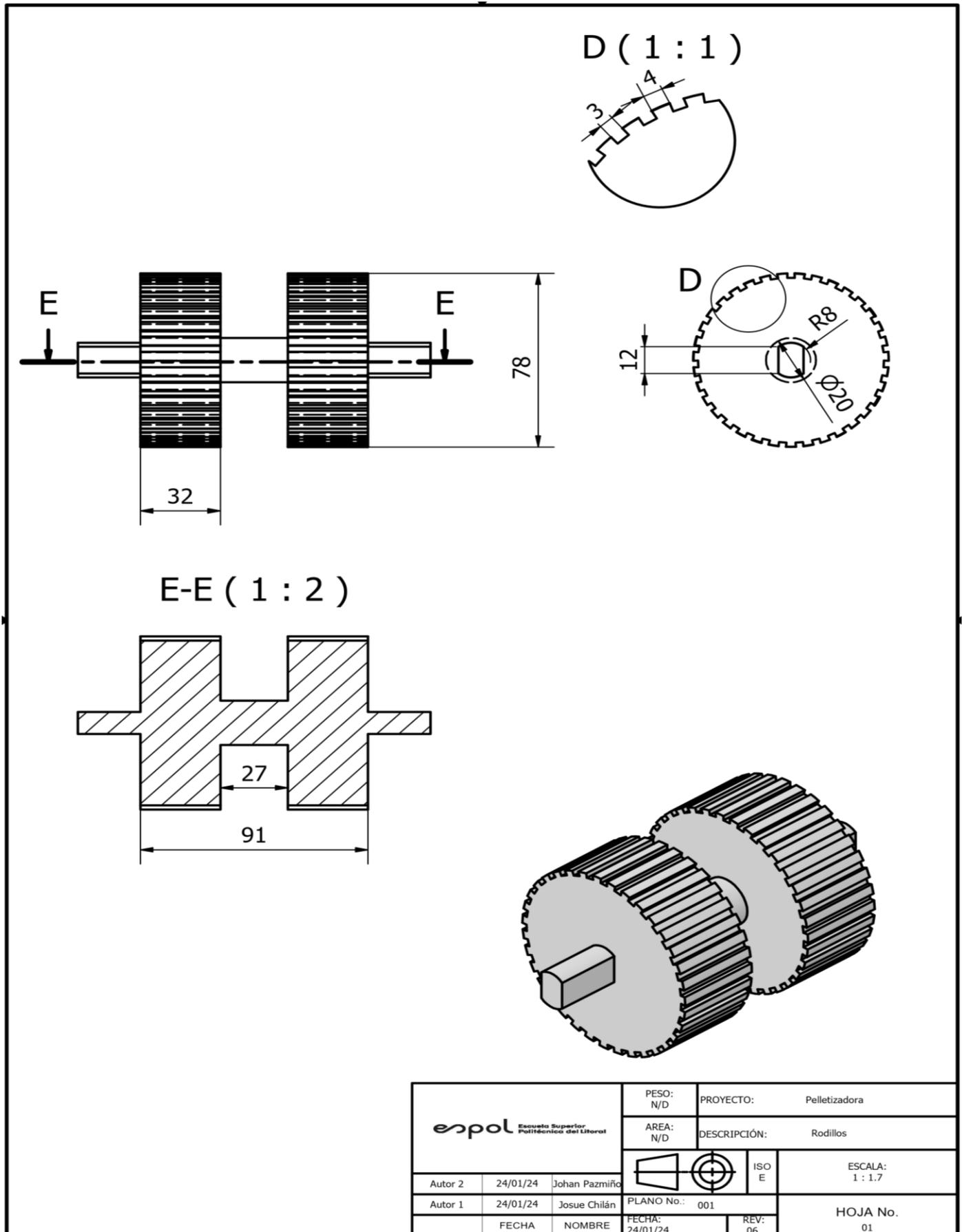
Matriz giratoria



			PESO: 0,134 kg	PROYECTO: Pelletizadora
			AREA: 111821,116 mm ²	DESCRIPCIÓN: Matriz
Autor 2	24/01/24	Johan Pazmiño		ESCALA: 1:1.5
Autor 1	24/01/24	Josue Chilán		
	FECHA	NOMBRE	PLANO No.: 001	HOJA No. 01
			FECHA: 24/01/24	REV: 06

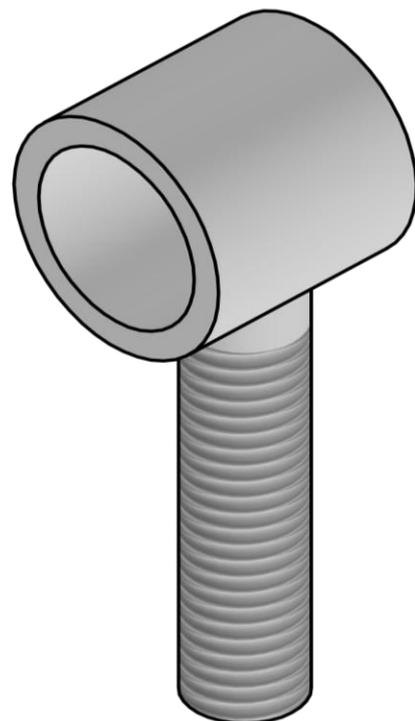
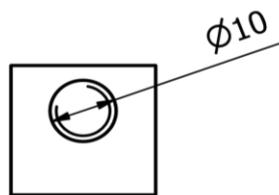
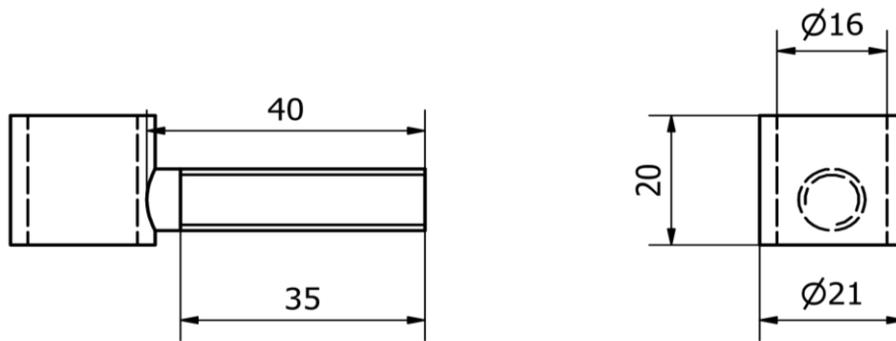
PLANO 4

Rodillos



PLANO 5

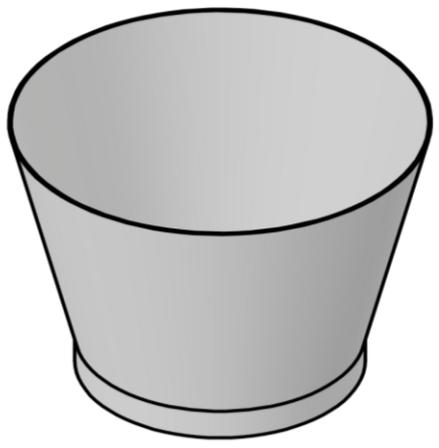
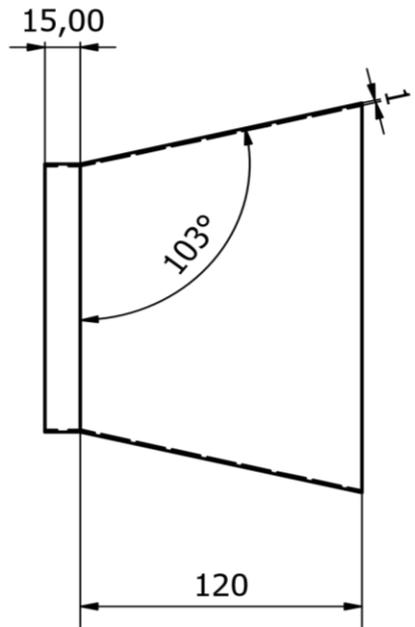
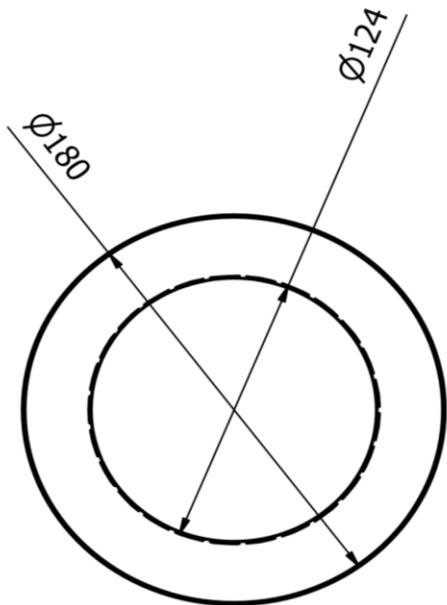
Sujetador de rodillos



			PESO: N/D	PROYECTO:	Pelletizadora
			AREA: N/D	DESCRIPCIÓN:	Sujetador de rodillo
Autor 2	24/01/24	Johan Pazmiño		ESCALA: 2:1	HOJA No. 01
Autor 1	24/01/24	Josue Chilán			
	FECHA	NOMBRE	PLANO No.:	001	
			FECHA:	24/01/24	REV: 06

PLANO 6

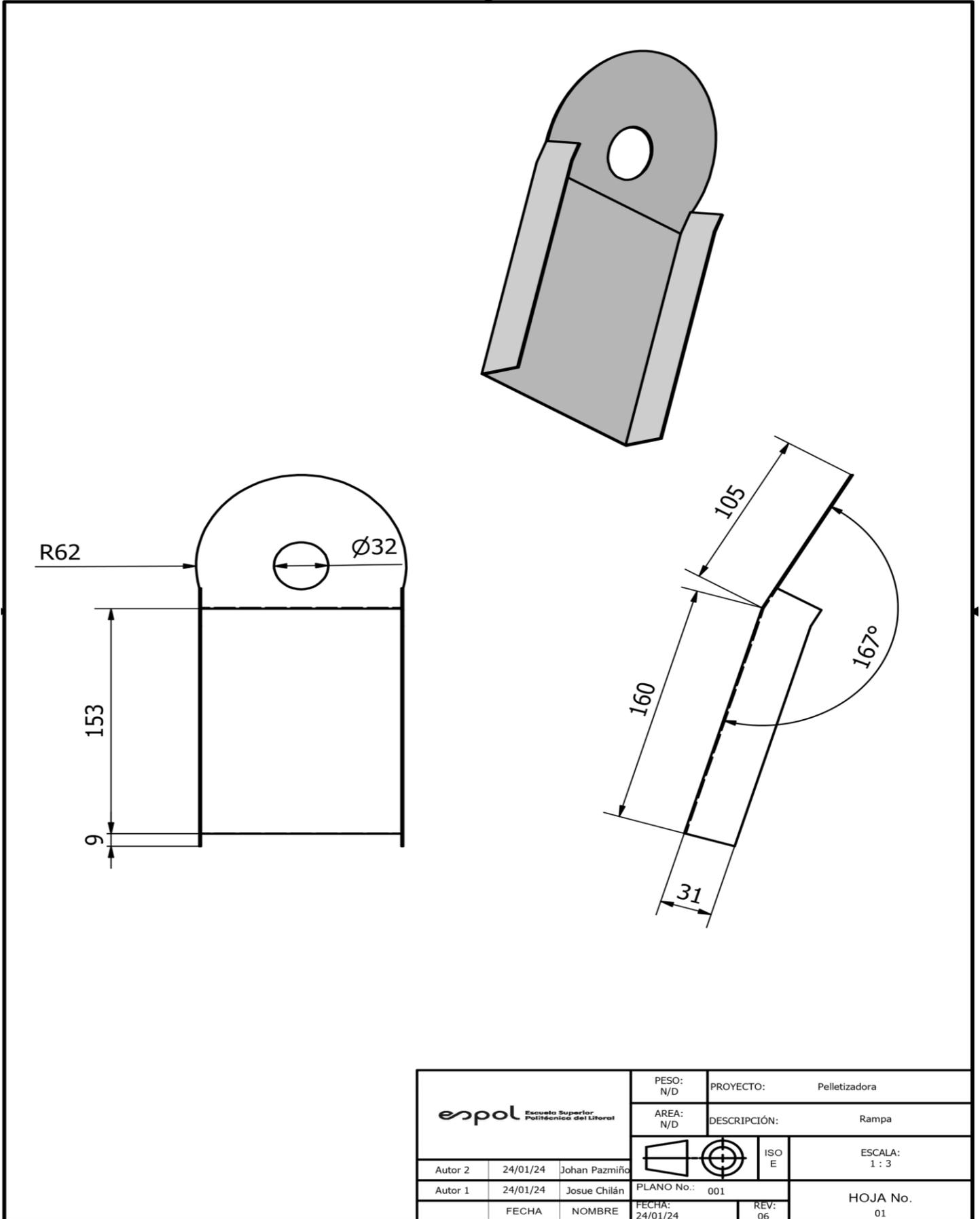
Tolva de alimentación



			PESO: N/D		PROYECTO: Pelletizadora	
			AREA: N/D		DESCRIPCIÓN: Tolva	
Autor 2 24/01/24 Johan Pazmiño				ESCALA: 1 : 3		
Autor 1 24/01/24 Josue Chilán				PLANO No.: 001		HOJA No. 01
FECHA		NOMBRE	FECHA: 24/01/24	REV: 06		

PLANO 7

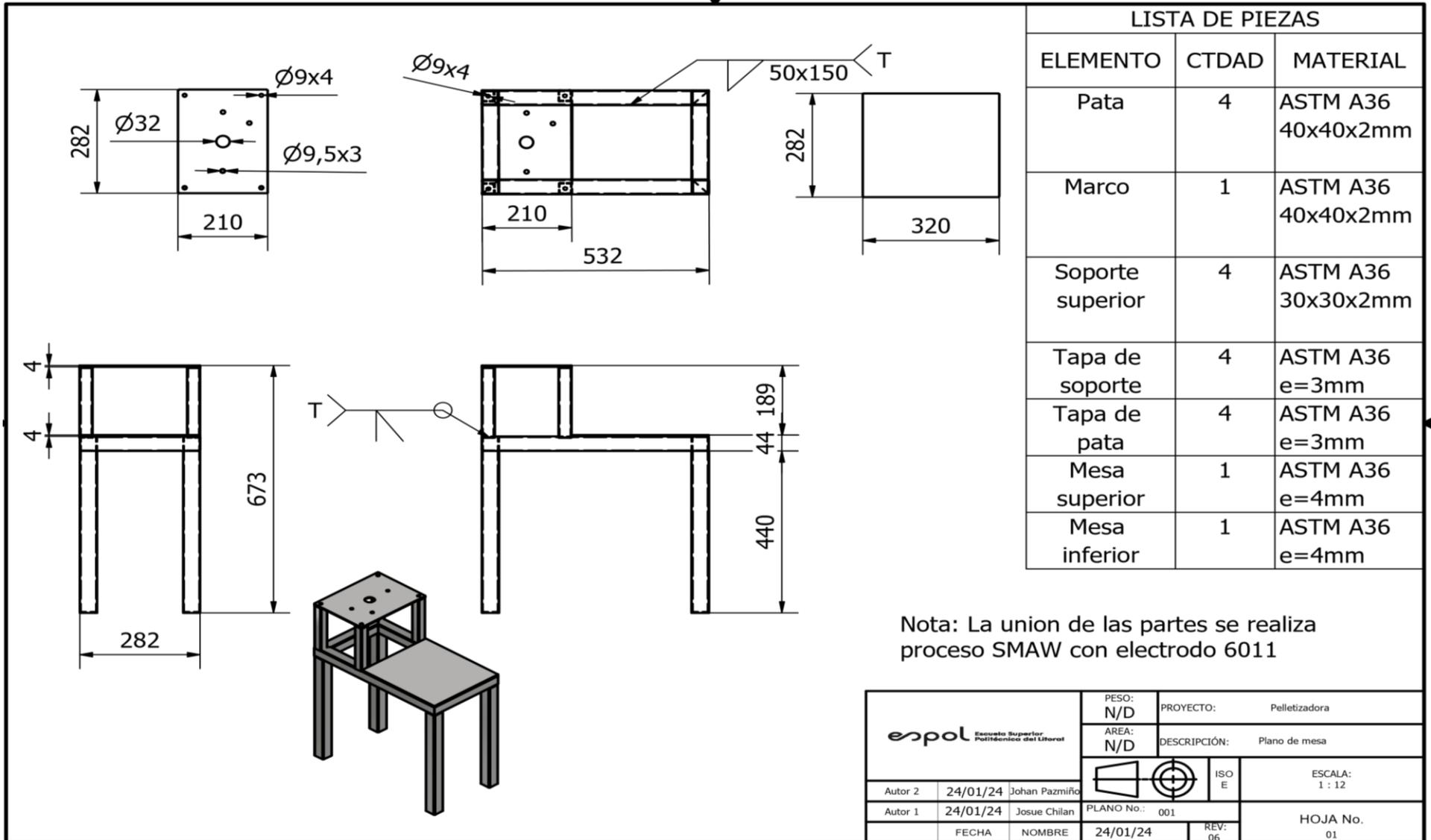
Colector de Pellets



			PESO: N/D	PROYECTO:	Pelletizadora
			AREA: N/D	DESCRIPCIÓN:	Rampa
Autor 2	24/01/24	Johan Pazmiño		ESCALA: 1 : 3	
Autor 1	24/01/24	Josue Chilán		PLANO No.:	001
FECHA:	24/01/24	NOMBRE:	REV:	06	HOJA No. 01

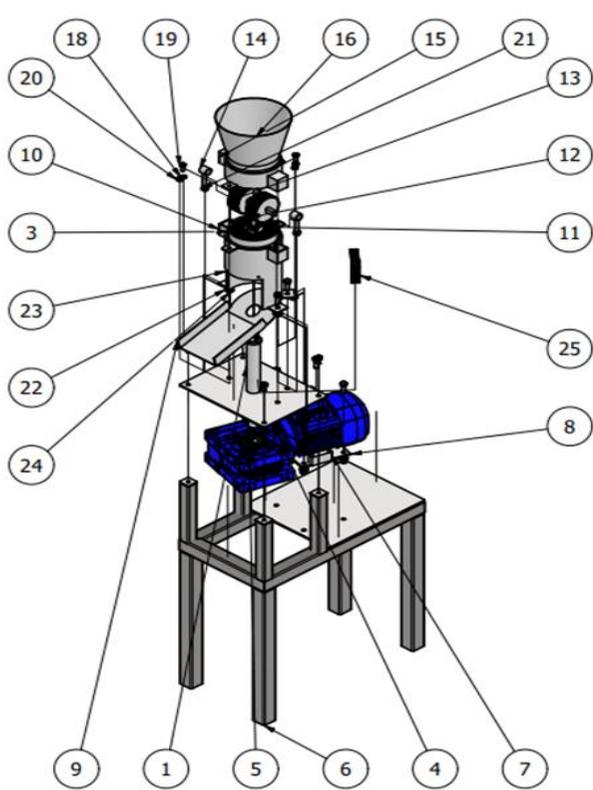
PLANO 8

Estructura de mesa



PLANO 9

Explotado de pelletizadora



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	eje pl	
2	1	BS 4235-1 - Forma B 6x6x22	Chavetas métricas y ranuras para chavetas- Chavetas paralelas y en cuña cuadrado
3	1	Matriz	
4	1	SEW W63	
5	1	SFS 2636 - B 8x7x90	Chaveta paralela
6	1	Est mesa	
7	1	soporte	
8	1	soporte2	
9	1	rampa	
10	1	cilindro	
11	1	ASTM F436 - 1/2, CW	ANSI B18.22.1 Tipo A
12	1	AS 2465 - 1/2 x 1 UNC	Tuercas, tornillos y pernos hexagonales unificados (roscas UNC y UNF)
13	1	Rodillos	
14	2	Sujetador de rodillo	
15	1	cilindro sup	
16	1	tolva	
17	1	Pieza5	
18	6	CSN 02 1741 - 8	Arandelas de presión de sección rectangular
19	6	ISO 4017 - M8 x 16	Tornillos de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
20	2	AS 1112 - M8 Tipo 5	Tuercas hexagonales ISO métricas, incluidas tuercas delgadas, tuercas ranuradas y tuercas entalladas
21	9	AS 2465 - 3/8 UNC	Tuercas, tornillos y pernos hexagonales unificados
22	7	ASTM F436 - 3/8, CW	ANSI B18.22.1 Tipo A
23	7	AS 2465 - 3/8 x 1 UNC	Tuercas, tornillos y pernos hexagonales unificados (roscas UNC y UNF)
24	7	ANSI B18.21.1 - 0,375	Arandelas de presión
25	1	cuchilla	

		PROYECTO:	Pelletizadora
		DESCRIPCIÓN:	Explotado
Autor 2: 24/01/24 Autor 1: 24/01/24	Fecha: 24/01/24 Nombre:	PLANEO No.: 001 REV:	ESCALA: 1:10 HOJA No. 01