

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PET
AUTOMATIZADA PARA MEJORAR EL PROCESO DE
RECICLAJE EN JAEN**

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autores : Bach. Yoner Celis Guerrero
Bach. Jhoan Yerson Coronado Fernández**




Asesor : Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon

Linea de investigación: AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

JAÉN – PERÚ, DICIEMBRE, 2025

Yoner Celis Guerrero Jhoan Yerson Coronado Ferná...

DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PET AUTOMATIZADA PARA MEJORAR EL PROCESO DE RECICLAJ...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaén

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn.oid::1:3441921917

60 páginas

Fecha de entrega

11 dic 2025, 12:35 p.m. GMT-5

9801 palabras

Fecha de descarga

11 dic 2025, 12:38 p.m. GMT-5

53.171 caracteres

Nombre del archivo

INFORME_FINAL_DE_TESIS_MAQUINA_TRITURADORA_PET.pdf

Tamaño del archivo

3.6 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Haamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería




2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad


N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN


Dr. Alexander Humán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día miércoles 17 de diciembre del 2025, siendo las 16:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Secretario : Mg. Marco Luis Pérez Silva
Vocal : Mg. Frans Fuentes Maza

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PET AUTOMATIZADA PARA MEJORAR EL PROCESO DE RECICLAJE EN JAÉN "

Presentado por los bachilleres: **Yoner Celis Guerrero y Jhoan Yerson Coronado Fernández**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.


Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

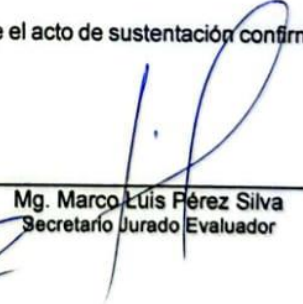
(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría


Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 16:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Presidente Jurado Evaluador


Mg. Marco Luis Pérez Silva
Secretario Jurado Evaluador


Mg. Frans Fuentes Maza
Vocal Jurado Evaluador

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, **Yoner Celis Guerrero**, egresado de la carrera Profesional de ingeniería mecánica y eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **60334180**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Diseño de máquina trituradora de plástico pet automatizada para mejorar el proceso de reciclaje en Jaén”.

Asesorado por **Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon**.

El mismo que presento bajo la modalidad de bachiller para optar; el Título Profesional/Grado Académico de ingeniería mecánica y eléctrica.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, día, mes y año.



Yoner Celis Guerrero

DNI: 60334180



“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, **Jhoan Yerson Coronado Fernández**, egresado de la carrera Profesional de ingeniería mecánica y eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **70795930**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Diseño de máquina trituradora de plástico pet automatizada para mejorar el proceso de reciclaje en Jaén”.

Asesorado por **Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon**.

El mismo que presento bajo la modalidad de bachiller para optar; el Título Profesional/Grado Académico de ingeniería mecánica y eléctrica.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, día, mes y año.



Jhoan Yerson Coronado Fernández

70795930



ÍNDICE

ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
RESUMEN	5
ABSTRAC.....	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
II. MATERIAL Y MÉTODOS	11
2.1. Tipo de investigación.....	11
2.2. Técnica: Observación.....	11
2.3. Procedimiento	11
III. RESULTADOS.....	14
3.1 Seleccionar la tecnología de trituración en plásticos PET	14
3.2 Diseñar la máquina trituradora de plástico PET automatizada.....	15
3.2.1. Cálculo de dimensionamiento cuchillas de la trituradora	15
3.2.2. Selección del sistema de transmisión.....	19
3.2.3. Cálculo de dimensionamiento del eje.....	19
3.2.4. Cálculo de dimensionamiento del piñón	21
3.2.4. Selección de la potencia del motor	22
3.2.5. Diseño 3D de la máquina trituradora.....	25
3.2.6. Diseño del circuito de fuerza y mando	32
3.3 Simular la máquina trituradora de plástico PET automatizada.....	35
3.4 Evaluación de la funcionalidad de la máquina	40
IV. DISCUSIÓN	42
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
AGRADECIMIENTO	47
DEDICATORIA	48
ANEXOS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo.....	13
Figura 2. PET de 650 ml.....	16
Figura 3. Tolva superior de forma tronco pirámide.....	25
Figura 4. Mesa de soporte de la maquina.....	25
Figura 5. Caja sistema de trituración.....	26
Figura 6. Disco cuchilla de cuatro dientes.....	27
Figura 7. Eje del sistema de trituración.....	27
Figura 8. Tolva superior.....	28
Figura 9. Motorreductor modelo ZDF3 - 1500.....	29
Figura 10. Engranaje recto 5M 32T 20PA.....	29
Figura 11. Piñón del motorreductor.....	30
Figura 12. Máquina trituradora de plástico PET en 3D.....	31
Figura 13. Circuito de fuerza.....	32
Figura 14. PLC Modulo Lógico.....	33
Figura 15. Sensor detección de presencia de material en la tolva.....	34
Figura 16. Diagrama de mando programa Logo SoftComfort.....	35
Figura 17. Análisis de tensiones cuchilla de cuatro dientes.....	36
Figura 18. Análisis de tensiones eje del sistema de trituración.....	37
Figura 19. Análisis de desplazamiento cuchilla de cuatro dientes.....	37
Figura 20. Análisis de desplazamiento eje del sistema de trituración.....	38
Figura 21. Factor de seguridad cuchilla de cuatro dientes.....	39
Figura 22. Factor de seguridad eje del sistema de trituración.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las máquinas trituradora de plástico.....	14
Tabla 2. Características principales de botella PET de 650 ml.....	16

RESUMEN

La contaminación por plásticos y el limitado aprovechamiento de residuos PET representan un problema ambiental crítico que también impacta en las provincias, como Jaén, donde el reciclaje se realiza de forma manual y con baja eficiencia. En este contexto, el proyecto desarrolla el diseño de una máquina trituradora de plástico PET automatizada, orientada a mejorar el proceso de reciclaje local mediante una solución de baja potencia y factible de fabricar en talleres locales. La máquina se basa en un triturador de doble eje con discos cuchilla de cuatro dientes en acero AISI 1045, montados sobre ejes de acero aleado y soportados en una caja de trituración y mesa en acero ASTM A36. A partir de las propiedades mecánicas del PET y la selección de triturado para una botella de 650 ml, se obtuvo una fuerza de corte de 3,2 kN y un par en el eje triturador de 248 N·m, que definieron el dimensionamiento de cuchillas, ejes y el sistema de transmisión piñón - engranaje (5M– 15T / 5M–32T), accionado por un motorreductor hipoidal ZDF3 de 1,5 kW a 75 RPM. El uso del sensor, como elemento de detección, permitió una señal directa y confiable al módulo LOGO. El volumen útil de la tolva de 0,123 m³ permite alimentar 96 botellas por carga y una capacidad teórica de 44 botellas/min, validada estructuralmente mediante análisis estático con factores de seguridad considerados para la operación óptima de la máquina trituradora.

Palabras clave: Trituración de plástico PET, diseño de máquina, reciclaje automatizado, análisis estático estructural

ABSTRAC

Plastic pollution and the limited use of PET waste represent a critical environmental problem that also impacts provinces such as Jaén, where recycling is carried out manually and with low efficiency. In this context, the project is developing the design of an automated PET plastic shredder, aimed at improving the local recycling process through a low-power solution that can be manufactured in local workshops. The machine is based on a double-shaft shredder with four-tooth blade discs made of AISI 1045 steel, mounted on alloy steel shafts and supported by a shredding box and table made of ASTM A36 steel. Based on the mechanical properties of PET and the shredding selection for a 650 ml bottle, a cutting force of 3.2 kN and a torque on the shredding shaft of 248 N·m were obtained, which defined the dimensions of the blades, shafts, and the pinion-gear transmission system (5M–15T / 5M–32T), driven by a gear motor. m, which defined the dimensions of the blades, shafts, and the pinion-gear transmission system (5M–15T / 5M–32T), driven by a 1.5 kW ZDF3 hypoid gear motor at 75 RPM. The use of the sensor as a detection element provided a direct and reliable signal to the LOGO module. The useful volume of the hopper of 0.123 m³ allows 96 bottles to be fed per load and a theoretical capacity of 44 bottles/min, structurally validated by static analysis with safety factors considered for the optimal operation of the shredder machine.

Keywords: PET plastic shredding, machine design, automated recycling, structural static analysis

I. INTRODUCCIÓN

El uso masivo de plásticos, en especial del tereftalato de polietileno (PET), ha generado un serio problema ambiental debido a la acumulación descontrolada de residuos. Este material, ampliamente utilizado en envases y botellas, constituye una gran parte de los desechos urbanos, lo que hace cada vez más difícil su manejo y reciclaje. Cuando estos residuos no se gestionan adecuadamente, no solo afectan la estética y limpieza de nuestras ciudades, sino que también impactan gravemente los ecosistemas terrestres y acuáticos, dañando la fauna y la flora. De acuerdo con Saquina (2024), el PET representa un desafío en el reciclaje debido a su volumen y peso, lo que hace urgente la implementación de procesos más eficientes para su aprovechamiento.

Las trituradoras de PET convencionales enfrentan diversos problemas, como el alto consumo de energía, el desgaste prematuro de sus componentes y la producción de partículas irregulares. Estas deficiencias no solo incrementan los costos operativos, sino que también dificultan la viabilidad del reciclaje, especialmente para pequeñas y medianas plantas de procesamiento. Investigaciones recientes han explorado nuevos enfoques para diseñar máquinas trituradoras automatizadas, destacando la importancia de optimizar su funcionamiento para mejorar la eficiencia del proceso de trituración según Hernández (2017).

La implementación de una trituradora de PET con un diseño semiautomatizado podría cambiar significativamente la manera en que se gestiona este tipo de residuos. Reducir el consumo de energía, agilizar la operación y minimizar los riesgos laborales asociados con la manipulación manual del material permitiría un proceso más seguro y eficiente. Estudios recientes han demostrado que la incorporación de tecnología automatizada en el reciclaje de plásticos no solo incrementa la productividad, sino que también hace que el proceso sea más sostenible, impulsando la transición hacia un modelo de economía circular más efectivo según Taco (2021). Entonces se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo el diseño de una máquina trituradora de plástico PET automatizada mejorara el proceso de reciclaje en Jaén?

Según Gómez y Pulluquitin (2021), “Diseño y construcción de una máquina trituradora automática de plásticos PET con capacidad de 15 KG”, su objetivo fue llevar a cabo una investigación en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador), donde diseñaron y desarrollaron una máquina trituradora de plástico PET con un sistema de encendido y apagado automático. Gracias a esta innovación, lograron reducir la intervención manual y mejorar la eficiencia del proceso de trituración, alcanzando una capacidad de procesamiento de 15 kg por hora. Su estudio demostró que la incorporación de sistemas de automatización básica no solo optimiza el tiempo de operación, sino que también mejora la calidad del triturado, haciendo que el reciclaje de PET sea más productivo y eficiente.

Nauga y Sumba (2023), “Automatización e integración de una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial”, en su proyecto de titulación en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, llevaron a cabo la automatización e integración de una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial. Su trabajo consistió en modernizar una trituradora antigua incorporando sensores, un PLC Siemens S7-1200, un variador de frecuencia y una interfaz HMI, lo que permitió supervisar y controlar el proceso de trituración en tiempo real. Gracias a esta actualización, se logró optimizar la eficiencia operativa, reducir la intervención manual y mejorar la seguridad del operario. Los resultados demostraron que la automatización de las máquinas trituradoras no solo aumenta significativamente la productividad en el reciclaje de plástico, sino que también mejora el control de calidad y reduce los tiempos muertos, haciendo el proceso más eficiente y seguro.

Miranda (2024), “diseño una máquina trituradora de botellas de plástico PET de baja producción con el propósito de reducir la contaminación ambiental en el distrito de Pillco Marca, Huánuco”. Su investigación se enfocó en desarrollar y simular un equipo capaz de triturar hasta 2,400 botellas en una jornada de ocho horas, con un ciclo de 6 minutos por cada 30 botellas. Más allá de su funcionalidad técnica, el proyecto buscó facilitar el reaprovechamiento de residuos plásticos y fomentar la educación ambiental en la comunidad. Aunque el diseño estaba orientado a una escala pequeña y no incluía sistemas avanzados de automatización, los resultados evidenciaron la viabilidad técnica y

operativa de este tipo de soluciones para mejorar la gestión de residuos sólidos y promover el reciclaje en contextos locales.

La justificación integra un enfoque multidimensional que comprende los ámbitos tecnológico, económico y ambiental.

- Aspecto ambiental

El uso masivo de envases de plástico PET ha generado una acumulación preocupante de residuos que afecta gravemente al medio ambiente. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2023), cada año se producen más de 430 millones de toneladas de plástico en el mundo y cerca de dos tercios terminan como desechos poco después de su uso. Muchos de estos residuos no se gestionan adecuadamente, lo que provoca su contaminación y pone en riesgo la biodiversidad. En este contexto, el reciclaje del PET se vuelve fundamental para reducir el impacto ambiental y fomentar una gestión más sostenible de los desechos. Sin embargo, para que este proceso sea eficiente, es necesario optimizar la primera fase del reciclaje: la trituración. Por ello, el diseño de una trituradora automatizada de plástico PET se plantea como una alternativa tecnológica que incrementará la eficiencia de la etapa de pretratamiento de residuos, al estandarizar el tamaño de partícula y facilitar su transporte y almacenamiento, fortaleciendo así los flujos de reciclaje dentro de un modelo de economía circular.

- Aspecto tecnológico

La trituración es una etapa clave en el reciclaje del plástico PET, ya que permite reducir su tamaño para que sea más fácil de manejar, almacenar y reutilizar. Contar con una máquina trituradora semiautomatizada no solo agiliza este proceso, sino que también aumenta la productividad al mantener un funcionamiento estable y continuo con menor intervención del operario. Esto significa que se puede procesar una mayor cantidad de material en menos tiempo, optimizando el rendimiento del equipo. De acuerdo con Gómez y Pulluquitin, (2021), un diseño mejorado en este tipo de máquinas puede incrementar la productividad hasta en un 40% en comparación con los sistemas manuales, ya que reduce los tiempos improductivos y mejora el control del proceso de trituración. Por ello, el desarrollo de una máquina semiautomatizada no solo facilita el reciclaje del

PET, sino que también contribuye a un mejor aprovechamiento del material procesado, impulsando la eficiencia en su reutilización.

- Aspecto económico

El diseño semiautomatizado de una máquina trituradora de plástico PET ofrece una solución rentable para las pequeñas y medianas empresas dedicadas al reciclaje, ya que permite procesar un mayor volumen de material en menos tiempo y con menor dependencia de la mano de obra. Según Oceana (2024), en el Perú se generan aproximadamente 1.2 millones de toneladas de residuos plásticos cada año, pero solo el 10% llega a ser reciclado. Asimismo, la Asociación de Recicladores de Perú (2025) indica que el PET reciclado tiene un valor comercial que varía entre S/ 0.70 y S/ 2.60 por kilogramo, según su estado y calidad, lo que lo convierte en una oportunidad de negocio atractiva. La incorporación de una trituradora semiautomatizada no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los costos de energía y mantenimiento, aumentando la rentabilidad del reciclaje y fortaleciendo el modelo de economía circular en el país.

El propósito principal del estudio fue diseñar una máquina trituradora de plástico pet automatizada para mejorar el proceso de reciclaje en Jaén. En función de ello, se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Seleccionar la tecnología de trituración en plásticos PET.
- Diseñar la máquina trituradora de plástico PET automatizada.
- Simular la máquina trituradora de plástico PET automatizada.
- Evaluar la funcionalidad de la maquina

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación

Investigación aplicada de carácter tecnológico con enfoque cuantitativo, diseño no experimental y nivel descriptivo - explicativo. Se clasifica como aplicada porque parte de un problema real (baja eficiencia del reciclaje de botellas PET en Jaén) y orienta todo el trabajo al desarrollo de una solución concreta: el diseño integral de una máquina trituradora. Es tecnológica/proyectiva porque, a partir de criterios de ingeniería mecánica y eléctrica, se realiza el dimensionamiento de cuchillas y ejes, selección de engranajes y motorreductor, cálculo de capacidad de la tolva y análisis estático mediante simulación CAE. Su enfoque es cuantitativo porque emplea modelos matemáticos. Luego, el diseño es no experimental porque no se manipulan variables en grupos de comparación, sino que se modela una única propuesta de solución, describiendo sus componentes y explicando las relaciones entre los parámetros de diseño y el desempeño esperado de la máquina.

2.2. Técnica: Observación

En el proyecto se utilizó principalmente la técnica documental - bibliográfica y de análisis - simulación de ingeniería.

La técnica documental - bibliográfica se empleó para recopilar normas, catálogos de fabricantes (motores, motoredutores, engranajes, rodamientos), propiedades de materiales (ASTM A36, AISI 1045, PET) y antecedentes de máquinas trituradoras de PET.

La técnica de análisis y simulación de ingeniería se aplicó para el desarrollo del diseño mediante modelos matemáticos (cálculo de esfuerzos, par, potencia, capacidad de tolva) y simulaciones estáticas con SolidWorks Simulation, que permitieron evaluar tensiones, desplazamientos y factores de seguridad de los componentes críticos.

2.3. Procedimiento

2.3.1. Recolección de información y requisitos

Se revisaron catálogos y antecedentes de trituradoras de PET para definir material, capacidad requerida, condiciones de operación y parámetros de diseño.

2.3.2. Cálculos de diseño preliminar

Se dimensionaron cuchillas, ejes y engranajes (fuerza de corte, pares, potencias, diámetros y factores de seguridad) y se seleccionó el motoreductor ZDF3-1500 y el volumen de la tolva.

2.3.3. Modelado CAD y análisis estático

Se modelaron los componentes en SolidWorks y se realizaron análisis estáticos de tensiones, desplazamientos y factor de seguridad para los elementos críticos, ajustando geometría cuando fue necesario.

2.3.4. Diseño del sistema de accionamiento y control

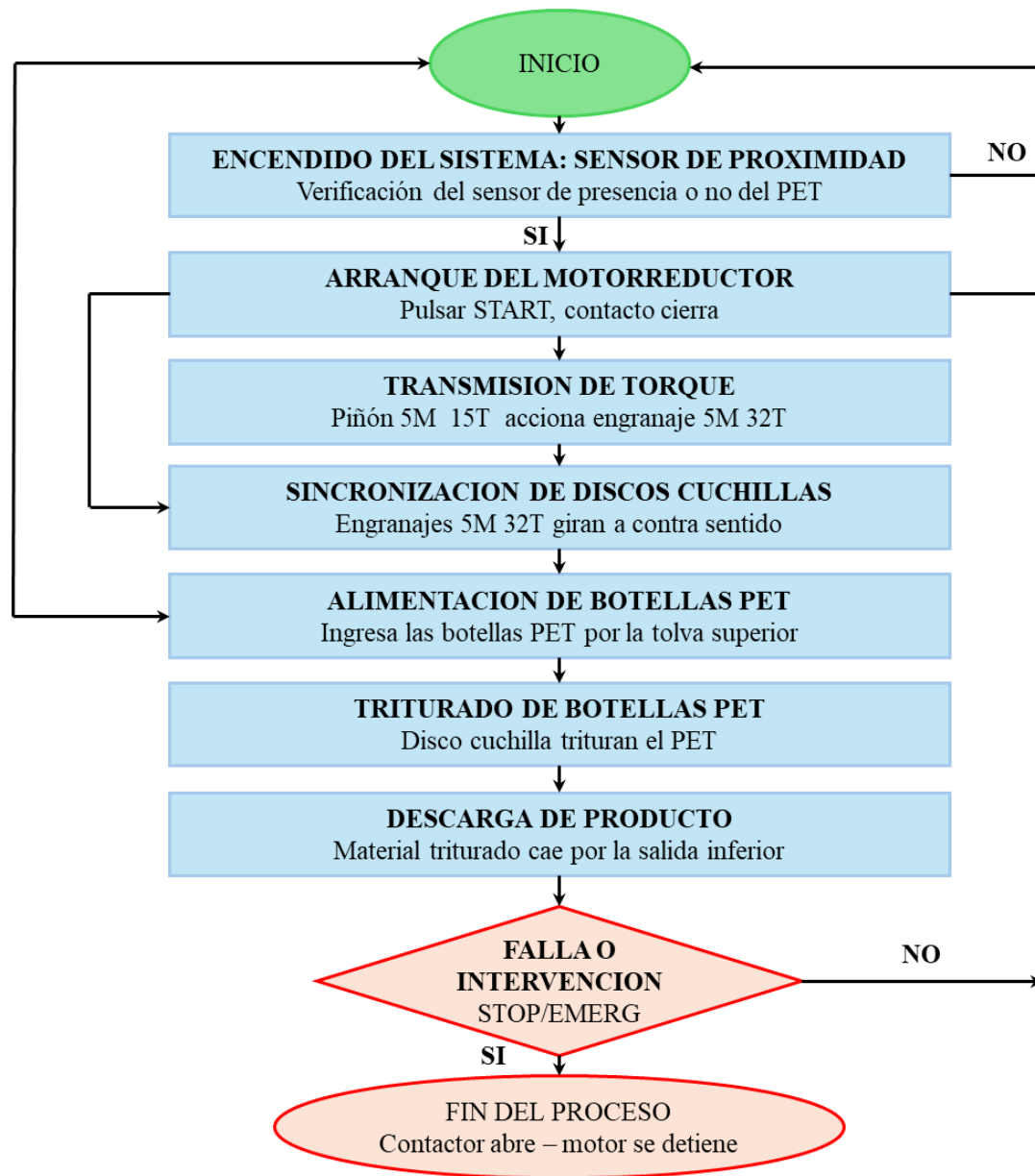
Se elaboraron los esquemas de potencia y mando del motoreductor (protecciones, contactor, pulsadores y pilotos) e integraron al modelo de la máquina.

2.3.5. Síntesis y validación del diseño

Se verificó que los esfuerzos no superen las tensiones admisibles con factores de seguridad adecuados y que la capacidad de trituración cumpla los requisitos, concluyendo sobre la viabilidad del diseño propuesto.

Figura 1

Diagrama de flujo



III. RESULTADOS

El proyecto comprendió cuatro ejes fundamentales: Seleccionar la tecnología de trituración en plásticos PET, diseñar la máquina trituradora de plástico PET automatizada, simular la máquina trituradora de plástico PET automatizada y evaluar la funcionalidad de la máquina.

3.1 Seleccionar la tecnología de trituración en plásticos PET

- Clasificación de las máquinas trituradora de plástico

Tabla 1

Clasificación de las máquinas trituradora de plástico

Criterio	Molino de cuchillas (alta velocidad)	Triturador de eje único con empujador	Triturador de doble eje con discos cuchilla (proyecto)
Principio de trabajo	Rotor con cuchillas girando rápido contra cuchillas fijas (corte + impacto).	Rotor de baja velocidad; el material es empujado por pisón hidráulico.	Dos ejes contrarrotantes con discos cuchilla dentados (corte + desgarre).
Velocidad de giro	Alta ($\approx 500\text{--}1500$ rpm).	Baja ($\approx 20\text{--}80$ rpm).	Baja ($\approx 30\text{--}40$ rpm en el eje triturador).
Potencia típica	Alta ($\geq 7,5$ kW).	Media–alta (3–15 kW).	Media–baja (en el proyecto $\approx 1,5$ kW).
Complejidad constructiva	Alta: rotor balanceado, cribas, carcasa robusta.	Alta: rotor + cámara + sistema	Media: dos ejes, discos, separadores y

Adecuación al PET 650 mL	Excelente para granulado fino, pero sobredimensionado para un prototipo local.	hidráulico de empuje. Adecuado para plantas industriales de mayor escala.	caja de trituración. Muy adecuado para pre-triturado y reciclaje local en Jaén (modelo usado).
--------------------------	--	---	--

Nota. Elaboración propia, adaptado de Candelaria y Martines (2018)

- Selección del tipo de triturador

Se optó por un triturador de doble eje con discos cuchilla porque permite trabajar a baja velocidad y alto par, reduciendo consumo energético, ruido y esfuerzos dinámicos. La alternativa consta de una configuración mecánica (dos ejes, discos cuchilla y caja de trituración), fabricable localmente en ASTM A36 y AISI 1045, sin necesidad de sistemas hidráulicos ni rotores de alta velocidad.

3.2 Diseñar la máquina trituradora de plástico PET automatizada

3.2.1. Cálculo de dimensionamiento cuchillas de la trituradora

- Características de la botella PET

En Perú, incluyendo la región Cajamarca, los formatos de botella PET más comunes para consumo personal de agua y bebidas no alcohólicas se concentran en volúmenes de 500 - 625 ml, en un contexto donde el agua embotellada y las gaseosas representan gran parte del mercado de bebidas y generan una fracción importante de residuos plásticos en los municipios de Cajamarca. Los estudios de residuos y los informes de mercado no presentan porcentajes exactos por tamaño de botella para esta región, por lo que solo es posible afirmar que Cajamarca sigue el patrón nacional de uso intensivo de envases PET personales (500 - 625 ml) y familiares (2 - 2,5 L) (RPP, 2018).

Figura 2

PET de 650 ml



Fuente. Remsa plásticos (s.f)

Para el diseño de la máquina, fue respecto a la botella PET personal de 625 ml, con las siguientes características:

Tabla 2

Características principales de botella PET de 650 ml

Descripción	Valor	Descripción	Valor
Volumen nominal	650 ml	Peso	20 g
Altura total	239 mm	Material del cuerpo	Polietileno tereftalato (PET)
Diámetro máximo	64 mm	Resistencia última de corte	40 Mpa

Fuente. Elaboración propia, adaptado de Remsa plásticos (s.f)

▪ Geometría del disco cuchilla

Para el diseño de las cuchillas de la trituradora se consideró como la botella PET de 650 ml, con diámetro de 64 mm. La distancia entre ejes, se ha considerado $a = 160mm$; dejando una luz de seguridad de $c =$

5mm entre puntas. Luego el diámetro exterior del disco cuchilla se obtuvo de:

$$a = 2r + c \quad (1)$$

$$r = \frac{a - c}{2}$$

$$2r = a - c$$

$$D = a - c$$

Reemplazando valores el diámetro exterior del disco cuchilla es $D = 155mm$

- Fuerza de corte de la botella PET

Luego se realizó la fuerza de corte en la botella en la botella:

$$F_c = \tau_u A_c \quad (2)$$

$$F_c = \tau_u \pi d_b t_b$$

$$F_c = (40 * 10^6 \frac{N}{m^2})(\pi)(0.064m)(0.0004m)$$

$$F_c = 3.2 \text{ kN}$$

Donde:

F_c : Fuerza de corte

τ_u : Resistencia última de corte

d_b : Diámetro de la botella PET

t_b : Espesor de pared de la botella PET

- Verificación del diente del disco cuchilla

Datos considerados:

Espesor de cuchilla: $t_c = 20mm = 0.02m$

Ancho de base del diente: $b = 20mm = 0.02m$

Longitud efectiva del diente (voladizo): $L = 28mm = 0.028m$

Número de dientes activos: $n_d = 4$

Fuerza por diente es:

$$F_d = \frac{F_c}{n}$$

d

(4)

$$F_d = \frac{3.2 \text{ kN}}{4}$$

$$F_d = 0.8 \text{ kN}$$

Momento flector en la base:

$$M = F_d L \quad (5)$$

$$M = (0.8 \text{ kN})(0.028 \text{ m})$$

$$M = 22.4 \text{ N.m}$$

Módulo resistente a flexión del diente, para una sección rectangular

$$W = \frac{bt_c^2}{6} \quad (6)$$

$$W = \frac{(0.02)(0.02)^2}{6}$$

$$W = 1.36 \times 10^{-6}$$

Luego con la siguiente expresión, se determinó la tensión de flexión:

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{22.4 \text{ N.m}}{1.36 \times 10^{-6}}$$

$$\sigma = 16.5 \text{ MPa}$$

Por tanto, para el disco cuchilla, se eligió material el AISI 1045 por sus características de dureza y resistencia al desgaste. La tensión admisible a flexión del material es $\sigma_{adm} = 150 \text{ MPa}$. Entonces el factor de seguridad:

$$FS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} \quad (8)$$

$$150 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{150 \text{ MPa}}{16.5 \text{ MPa}}$$

$$FS = 9.1$$

3.2.2. Selección del sistema de transmisión

Condiciones iniciales:

Distancia entre ejes: $a = 160 \text{ mm}$

Diámetro de eje: $\varnothing 65 \text{ mm}$

Transmisión de un eje al otro (típico en triturador), normalmente con relación 1:1.

Luego el cálculo se realizó a partir de la condición geométrica básica de engranajes:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2} \quad (9)$$

Donde a es la distancia entre centros, m el módulo y z_1 y z_2 el número de dientes de cada engranaje. Para una relación de transmisión 1:1 se adopta $z_1 = z_2 = z$, de modo que:

$$a = mz$$

$$z = \frac{a}{m}$$

Se seleccionó un módulo normalizado $m = 5 \text{ mm}$ adecuado para transmisiones de potencia media - alta en máquinas industriales (Niemann & Winter, 2003). Sustituyendo:

$$z = \frac{160}{5} = 32 \text{ dientes}$$

Por tanto, se definieron dos engranajes iguales de 32 dientes, módulo 5 mm, con diámetro primitivo $d = mz = 160$ y diámetro exterior aproximado $d_e = m(z + 2) \approx 170 \text{ mm}$.

3.2.3. Cálculo de dimensionamiento del eje

Para el eje, se eligió material el AISI 1045 por sus características de dureza y resistencia al desgaste. La tensión admisible a flexión del material es $\sigma_{adm} = 150 \text{ MPa}$. Se consideró un esfuerzo cortante admisible conservador: $\tau_{adm} = 40 \text{ MPa} = 40 \text{ N/mm}^2$.

- Par máximo en el eje

Conociendo el radio de la cuchilla de $r_c = 77.5mm$, el torsor máximo es:

$$T = F_c r_c \quad (10)$$

$$T = (3.2 \text{ kN})(0.0775m)$$

$$T = (3.2 \text{ kN})(0.0775m)$$

$$\mathbf{T = 248 \text{ N.m}}$$

- Momento polar de inercia

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad (11)$$

- Esfuerzo cortante máximo

$$Tr \quad (12)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{Tr}{J}$$

Sustituyendo $r = d/2$ y J , se tiene:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Condición de diseño:

$$\tau_{m\acute{a}x} \leq \tau_{adm} \rightarrow \frac{16T}{\pi d^3} \leq \tau_{adm}$$

Despejando el diámetro mínimo:

$$d^3 = \frac{16T}{\pi \tau_{adm}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi \tau_{adm}}}$$

Luego reemplazando los vales se tiene.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16(2.48 \times 10^5)}{\pi 40}}$$

$$d = 31.6mm \approx 32mm$$

El diámetro calculado para el eje por torsión es de 32 mm

3.2.4. Cálculo de dimensionamiento del piñón

- Datos conocidos

Engranaje del eje triturador

Módulo: $m = 5mm$

Número de dientes: $z_2 = 32$

Ángulo de presión: 20°

Diámetro primitivo: $d_2 = 160mm$

Distancia asumida entre el eje del motorreductor y el eje del engranaje de 32 dientes: $a = 116.5mm$

- Cálculo del número de dientes del piñón

Para un par de engranajes cilíndricos externos, ubicados en los ejes de la maquina trituradora, se requiere diseñar el piñón del eje del unido al motorreductor, que debe ser también módulo 5 y 20° para engranar correctamente.

Para un par de engranajes cilíndricos externos:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2} \quad (13)$$

Despejando se tiene:

$$z_1 = \frac{2a}{m} - z_2$$

Reemplazando valores:

$$z_1 = \frac{2(116.5)}{5} - 32$$

$$z_1 = \frac{2(116.5)}{5} - 32$$

$$z_1 = 14.6 \text{ dientes}$$

El resultado, en la práctica se selecciona el número de dientes normalizado más cercano. Luego el piñón seleccionado es:

Módulo: $m = 5mm$

Número de dientes: $z_1 = 15$

Ángulo de presión: 20°

Diámetro alojamiento del eje: $\varnothing 25mm$

Diámetro primitivo: $d_1 = mz_1 = (5)(15) = 75mm$

La nueva distancia entre el eje del motorreductor y el eje del engranaje de 32 dientes es (Anexo 2)

$$a = \frac{75 + 160}{2} = 117.5mm$$

3.2.4. Selección de la potencia del motor

- La relación de transmisión del eje motor - eje triturador es:

$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad (14)$$

$$i = \frac{32}{15} \approx 2.13$$

Conociendo el par en el eje triturador de $T = 248 N.m$, calculado a partir de la fuerza de corte de la botella PET.

Entonces el par en el eje del motorreductor es:

$$T_{motor} = \frac{T}{i} \quad (15)$$
$$248 N.m$$

$$T = \frac{248}{2.13}$$

$$T = 116 N.m$$

- Selección de la potencia del motorreductor

Para una velocidad de salida del motorreductor, se tomó como referencia la tabla de relaciones de reducción y velocidades del motorreductor hipoidal serie ZDF3 del fabricante Zhongda Leader, donde para una potencia de 200 W y una relación de reducción $i = 20:1$ se presenta una velocidad de eje de salida de $n_s = 75 RPM$ (Zhongda

Leader, s. f.)

La potencia mecánica requerida en el eje del motorreductor se calcula con:

$$P_a = \frac{T_{motor} n_s}{9550} \quad (16)$$

Reemplazando valores se tiene:

$$P_a = \frac{(116)(75)}{9550}$$

$$P_a = 0.91 \text{ kW}$$

Luego se consideró un rendimiento global del motorreductor de $\eta \approx 0.9 - 0.95$ y un factor de servicio de $K_s = 1.2$ para hallar sobrecargas durante la trituración, la potencia nominal mínima del motor fue:

$$P_{min} = \frac{P_a K_s}{\eta} \quad (16)$$

$$P_{min} = \frac{(0.91)(1.2)}{0.9}$$

$$P_{min} = 1.2 \text{ kW}$$

La familia de motorreductores hipoidales ZDF3/ZSF3, presenta potencias normalizadas de 0,1; 0,2; 0,4; 0,75; 1,5 y 2,2 kW, con relaciones de reducción típicas entre 5:1 y 240:1 y valores de par de hasta 2 800 $N \cdot m$. Dado que $P_{min} = 1.2 \text{ kW}$, se seleccionó un motoreductor hipoidal de la serie ZDF3/ZSF3, modelo ZDF3 1500 W con relación de reducción próxima a 20:1), cuya velocidad de salida es de 75 rpm (Anexo 1) y cuyo par nominal en el eje de salida es del orden de:

$$T_{ZDF3-1500} = \frac{P_N 9550}{n_s}$$

$$T_{ZDF3-1500} = \frac{(1.5)(9550)}{75}$$

$$T_{\text{ZDF3-1500}} = 191 \text{ N.m}$$

Valor claramente superior al par requerido $T = 116 \text{ N. m}$, proporcionando un coeficiente de seguridad en par aproximado de:

$$FS_T = \frac{T_{ZDF3-1500}}{T} \quad (17)$$

$$191$$

$$FS_T = \frac{191}{116}$$

$$FS_T = 1.6$$

- Volumen útil de la tolva superior

Para estimar el volumen útil de la tolva superior se consideró como un tronco de pirámide cuadrada, como se muestra en la figura.

Consideraciones de dimensionamiento:

$$\text{Lado superior: } a_1 = 750\text{mm} = 0.75\text{m}$$

$$\text{Lado inferior interior: } a_2 = 4200\text{mm} = 0.42\text{m}$$

$$\text{Altura de la tolva: } h = 350\text{mm} = 0.35\text{m}$$

El volumen de un tronco de pirámide cuadrada es:

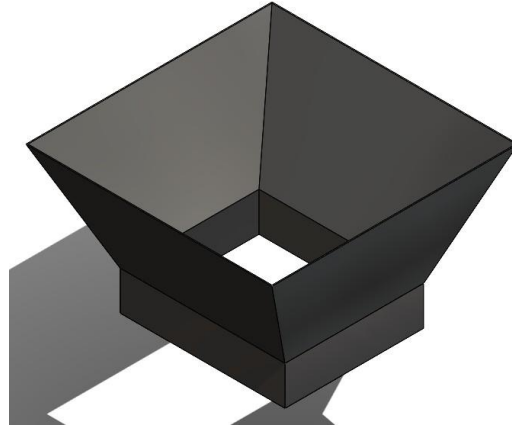
$$V = \frac{h}{3} (a_1^2 + a_1 a_2 + a_2^2) \quad (18)$$

$$V = \frac{0.35}{3} (0.75^2 + 0.75 \times 0.47 + 0.47^2)$$

$$V = 0.123 \text{ m}^3 \approx 123 \text{ L}$$

Figura 3

Tolva superior de forma tronco pirámide



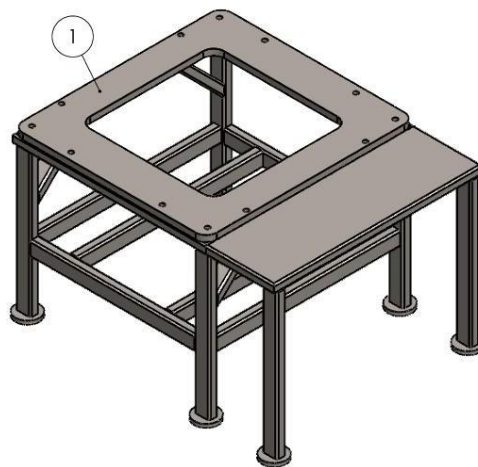
3.2.5. Diseño 3D de la máquina trituradora

- Mesa de soporte ASTM A36

Estructura portante fabricada en acero al carbono ASTM A36, conformada por perfiles soldados que proporcionan rigidez global al sistema y garantizan la correcta transmisión de cargas estáticas y dinámicas hacia el piso, además de definir la altura de trabajo y servir de base de fijación para la caja del sistema de trituración, el motorreductor y la caja de control.

Figura 4

Mesa de soporte de la maquina

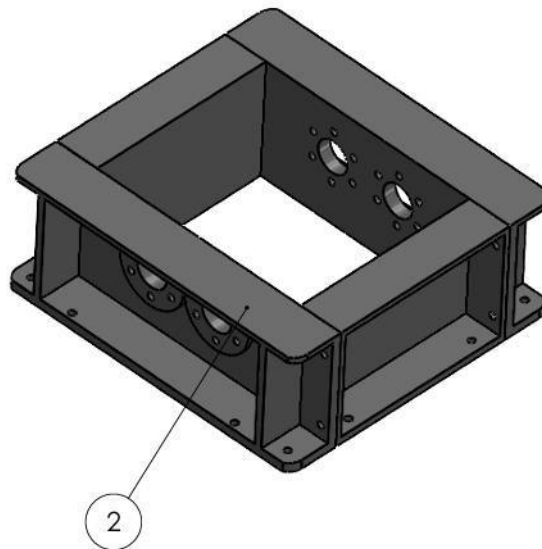


- Caja sistema de trituración

Carcasa metálica de material ASTM A709, que aloja los ejes trituradores, rodamientos cónicos y discos cuchilla; su función es contener el proceso de corte, soportar los esfuerzos de reacción generados por el contacto cuchilla - PET y proporcionar superficies de montaje para las tapas de eje, espaciadores y la tolva superior, asegurando el alineamiento entre los ejes.

Figura 5

Caja sistema de trituración

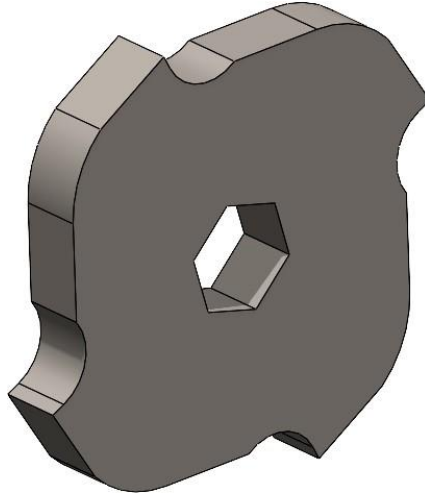


- Disco cuchilla de cuatro dientes

Elemento de corte ubicado sobre los ejes trituradores, con geometría cortante de cuatro puntas y orificio central de acople; constituido por AISI 1045, se diseñó para resistir esfuerzos de flexión y corte durante la trituración de botellas PET de 650 ml, y generar la fragmentación del material mediante acción combinada de cizallamiento y desgarre, manteniendo un espaciado por los separadores.

Figura 6

Disco cuchilla de cuatro dientes

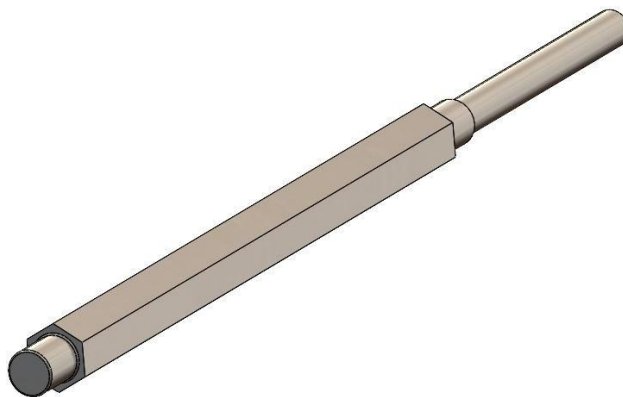


- **Eje del sistema de trituración**

Componente que transmite el par torsor desde el tren de engranajes recto al conjunto de discos cuchilla; trabaja sometido a torsión y flexión debido a las fuerzas de corte, por lo que se dimensiono en acero AISI 1045, con diámetro de 20mm, suficiente para garantizar una tensión considerada y un factor de seguridad confiable frente a fatiga.

Figura 7

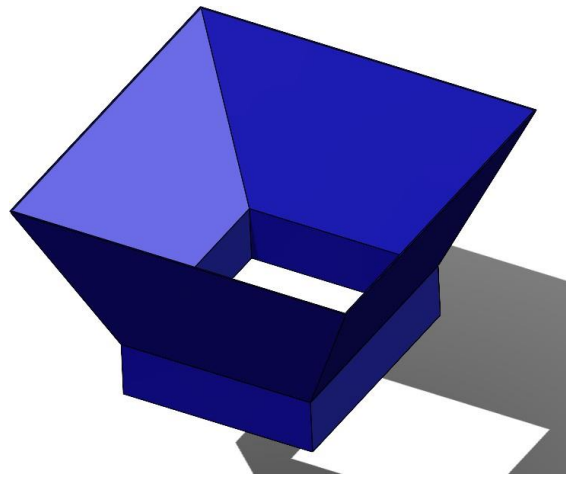
Eje del sistema de trituración



- **Tolva superior**
La tolva superior de alimentación está constituida por una estructura tipo tronco de pirámide cuadrada, fabricada íntegramente en chapa de acero al carbono ASTM A36 de 1.5 mm de espesor, plegada y soldada perimetralmente para garantizar rigidez y estanqueidad frente a impactos y vibraciones propias del proceso de trituración. Sus dimensiones (boca superior de 750 × 750 mm, boca inferior de 120 × 120 mm altura aproximada de 470 mm) le confieren un volumen útil del orden de 0,051 m³ (≈ 51 L), suficiente para acumular y dosificar varias botellas PET de 650 mL antes de su ingreso al sistema de corte. Además de recibir y guiar el material hacia la zona activa de los discos cuchilla, la tolva actúa como barrera de protección física al impedir la proyección de fragmentos hacia el exterior y limitar el acceso directo del operario a los elementos en movimiento.

Figura 8

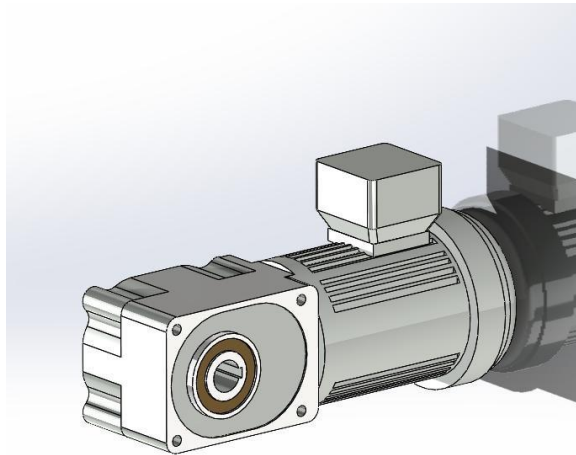
Tolva superior



- **Motoreductor modelo ZDF3-1500**
Unidad de accionamiento formada por un motor asincrónico trifásico de 1,5 kW acoplado a un reductor hipoidal serie ZDF3, con una velocidad de 75RPM, entrega un par elevado y baja velocidad en el eje de salida; proporciona el movimiento principal al sistema de trituración y se acopla al eje principal mediante el piñón y un acople por cuña.

Figura 9

Motorreductor modelo ZDF3 - 1500

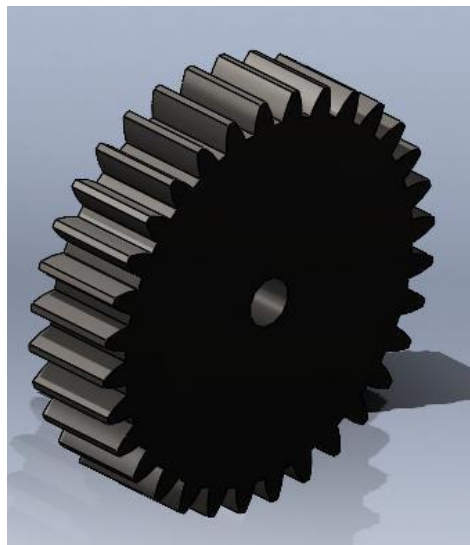


- Engranaje recto 5M 32T 20PA 40FW

Engranaje cilíndrico de dientes rectos, módulo 5 mm, 32 dientes y ángulo de presión de 20°, montado en el eje triturador; forma parte del tren de transmisión externo, recibiendo el movimiento del piñón montado al motorreductor y transmitiendo el par hacia los ejes hexagonales de los discos cuchillas.

Figura 10

Engranaje recto 5M 32T 20PA

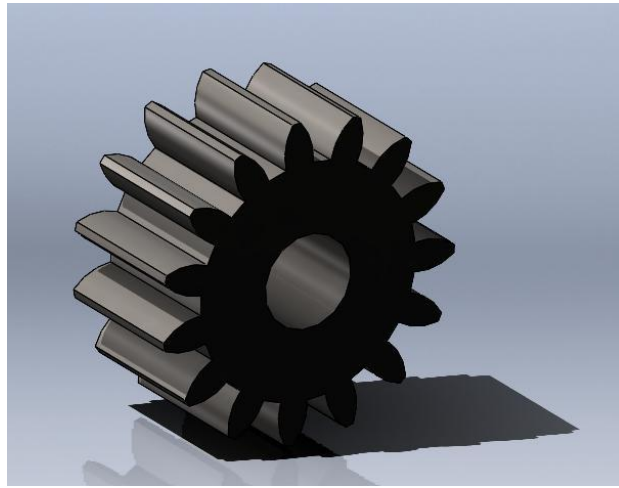


- Piñón

Piñón de acero de módulo 5 mm y 15 dientes, acoplado al eje del motorreductor mediante chaveta (cuña); engrana con el engranaje recto de 32 dientes para formado una caja reductora de relación $i \approx 2.13$, multiplicando el par disponible en el eje triturador y permitiendo adecuar la velocidad de corte a los requerimientos del proceso de trituración de PET.

Figura 11

Piñón del motorreductor



- Ensamble en 3D de la maquina

La máquina trituradora de plástico PET está conformada por una mesa de soporte, la caja del sistema de trituración con dos ejes portacuchillas, la tolva superior de alimentación, el motoreductor ZDF3-1500 y la caja de control eléctrico.

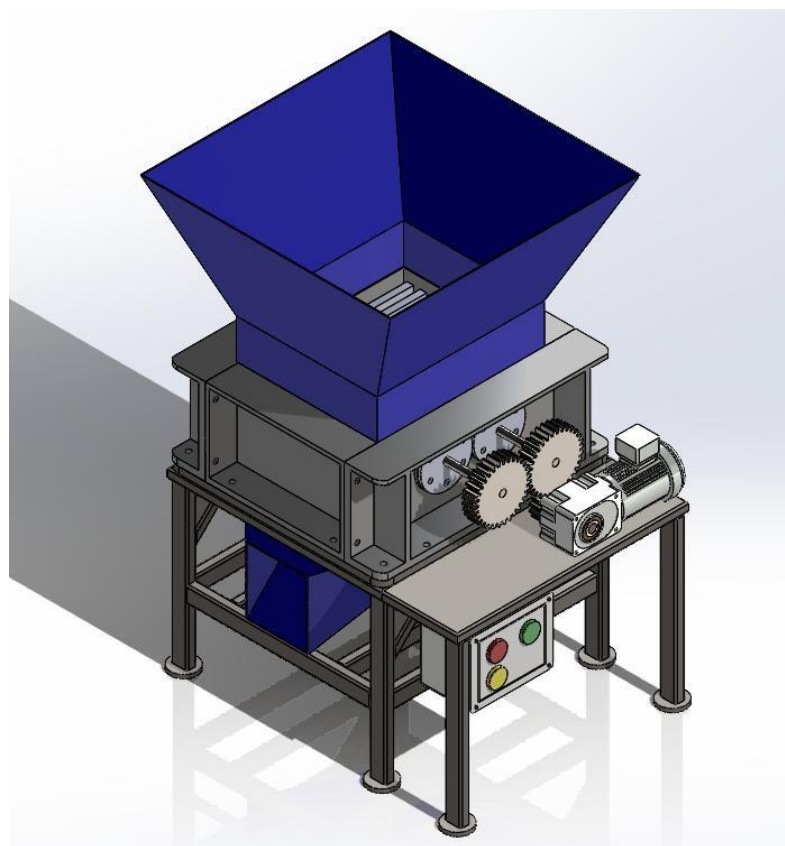
El funcionamiento inicia cuando el operador alimenta botellas PET por la tolva; estas caen por gravedad hasta los discos cuchilla de cuatro dientes montados en los ejes principales, los cuales giran en sentido contrario y Trituran el material, que finalmente se descarga por la salida inferior. El giro de los ejes se obtiene desde el motorreductor hipoidal ZDF3-1500, cuyo eje de salida mueve un piñón recto 5M 15T que engrana con el engranaje 5M 32T montado en uno de los ejes

trituradores, transmitiendo el par y reduciendo la velocidad; el segundo eje se acopla mediante el juego de engranajes internos 1:1, garantizando la sincronización de las cuchillas.

El circuito de fuerza alimenta el motorreductor trifásico desde la red a través de fusibles cerámicos y un guarda - motor que lo protege contra cortocircuitos y sobrecargas; la conexión y desconexión se realizan mediante un contactor comandado por el circuito de control, el cual incluye pulsadores de arranque (START), parada (STOP) y emergencia (EMERG), además de pilotos luminosos verde, rojo y ámbar que indican los estados de marcha, paro y emergencia. De este modo, la integración del sistema mecánico de trituración con el circuito de potencia y control permite accionar y detener la máquina de forma segura y supervisar visualmente su operación.

Figura 12

Máquina trituradora de plástico PET en 3D



3.2.6. Diseño del circuito de fuerza y mando

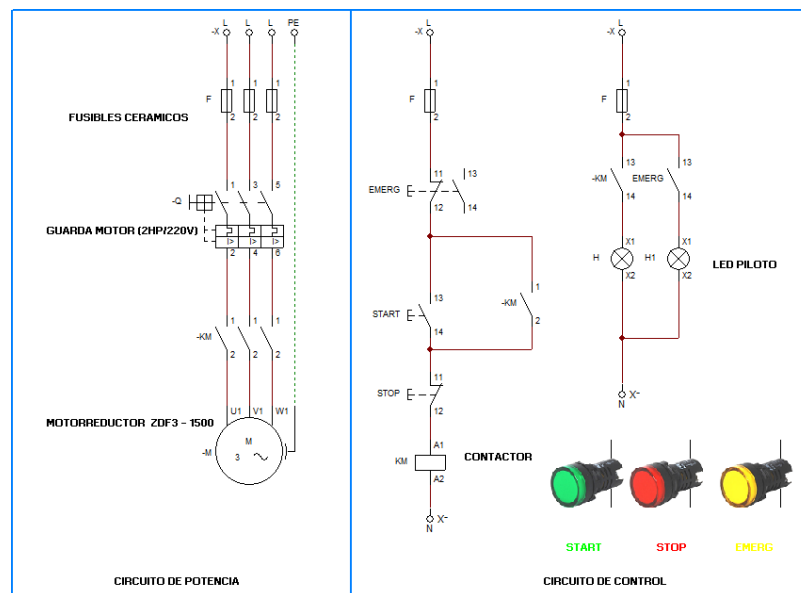
- Circuito de fuerza

El esquema eléctrico, se muestra en la figura 12, diseñado para la máquina trituradora integra un circuito de potencia y un circuito de control para el accionamiento seguro del motorreductor trifásico. En el circuito de potencia, la alimentación de red pasa primero por fusibles cerámicos y por un guardamotor termomagnético, que brindan protección contra cortocircuitos y sobrecargas, respectivamente, y luego por el contactor principal, cuyos contactos de potencia conectan o desconectan el motorreductor.

El circuito de control, alimentado a baja potencia, gobierna la bobina del contactor mediante un lazo compuesto por el contacto térmico del guardamotor, un pulsador de parada (STOP) normalmente cerrado, un pulsador de arranque (START) normalmente abierto y un contacto auxiliar de enclavamiento del propio contactor, que asegura la autorretención del mando mientras no se activen las órdenes de paro o protección. Asimismo, se incorporan lámparas piloto que señalizan los estados de marcha, paro y fallo, permitiendo una operación segura y una supervisión visual del sistema de accionamiento eléctrico del motorreductor.

Figura 13

Circuito de fuerza



- Circuito de mando

Se utilizó el módulo lógico de Siemens como unidad de control porque es un PLC compacto específicamente diseñado para aplicaciones de automatización pequeñas, con entradas y salidas digitales integradas, posibilidad de expansión, temporizadores, contadores, funciones lógicas avanzadas y comunicación Ethernet en un solo equipo, lo que permite implementar de forma sencilla y fiable las secuencias automáticas, enclavamientos de seguridad y protecciones requeridas en la máquina compactadora/trituradora de plástico PET. ¡Además, el software LOGO! Soft Comfort ofrece programación gráfica (FBD/Ladder) , facilitando el diseño, depuración y documentación del algoritmo de control.

Figura 14

PLC Modulo Lógico



Fuente. Tomado de GTRIC (2025)

Para la detección de presencia de material en la tolva se seleccionó un sensor fotoeléctrico difuso de 24 VDC con salida PNP, instalado en la parte superior, cerca de las cuchillas de corte de la tolva. ¡Este sensor enviará la señal de “material presente” al módulo lógico Siemens LOGO!, permitiendo habilitar el arranque automático del motor, gestionar la secuencia de trituración y evitar el funcionamiento en vacío del equipo.

Figura 15

Sensor detección de presencia de material en la tolva

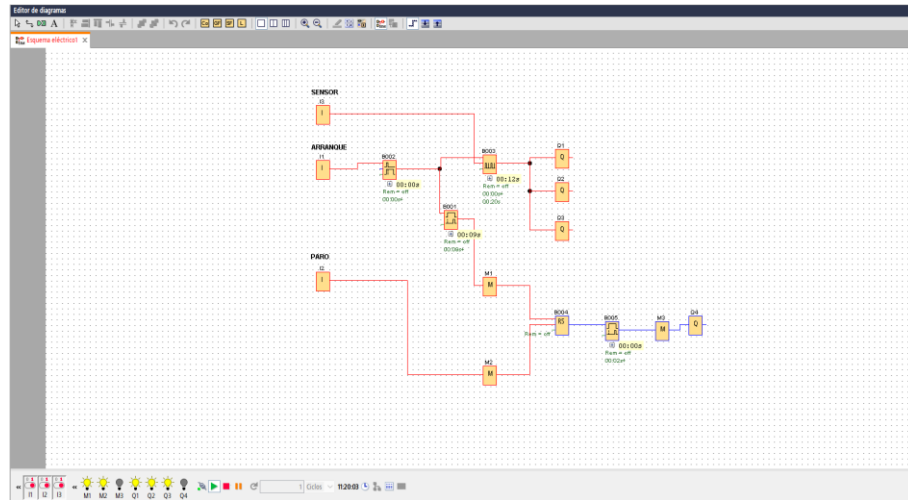


Fuente. Sensor fotoeléctrico infrarrojo difusión reflexión NPN PNP 10-30VDC, tomado de GTRIC (2025)

En el diagrama de bloques del LOGO, se muestra el control automático del motorreductor de la trituradora de PET a partir de la señal del sensor fotoeléctrico infrarrojo de difusión-reflexión (NPN/PNP, 10–30 VDC). La entrada I3 recibe la señal del sensor instalado en la tolva: cuando no hay botellas, el sensor permanece desactivado y el motor no arranca; cuando detecta la presencia de botellas PET de 650 ml, su salida se combina con la orden de arranque I1 mediante bloques lógicos y temporizadores, habilitando las salidas que accionan el motorreductor y las luces de señalización. La entrada de paro completa la lógica de detención y seguridad, evitando el funcionamiento en vacío y garantizando que la máquina solo opere cuando existe material en la tolva.

Figura 16

Diagrama de mando programa Logo SoftComfort



3.3 Simular la máquina trituradora de plástico PET automatizada

Se realizó el análisis estático de los componentes más importantes de la máquina. Se muestra las cargas sometidas para los elementos críticos de la máquina:

- Disco cuchilla de cuatro dientes
Fuerza por diente crítico: $F_d = 800N$
- Eje del sistema de trituración
Peso de una cuchilla: 2.22kg (Anexo 2). Luego, para 10 discos cuchillas y $g = 9.81m/s^2$, el peso total en el eje principal es:

$$P = 10 \times 2.22 \times 9.81 = 222 N$$

3.1. Análisis esfuerzo

- Disco cuchilla de cuatro dientes

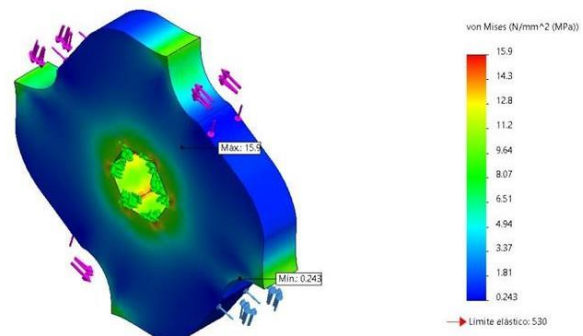
En el análisis de esfuerzos se aplicaron cuatro cargas normales de 800 N sobre las caras activas de los dientes, restringiendo completamente el alojamiento central del disco. El resultado de tensión equivalente de Von Mises mostró un valor máximo aproximado de 15,9 MPa, concentrado en la zona de la raíz de los dientes, que es el punto crítico de la geometría. Este valor es muy inferior

al límite elástico del acero AISI 1045 ($\sigma_y \approx 530$ MPa), por lo que la cuchilla trabaja holgadamente dentro del régimen elástico, sin riesgo de deformaciones permanentes.

Figura 17

Análisis de tensiones cuchilla de cuatro dientes

Nombre del modelo: Disco cuchilla de cuatro dientes
Nombre de estudio: Análisis estático 2 (Predefinido)
Tipo de resultado: Análisis estático: tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 3,643,39

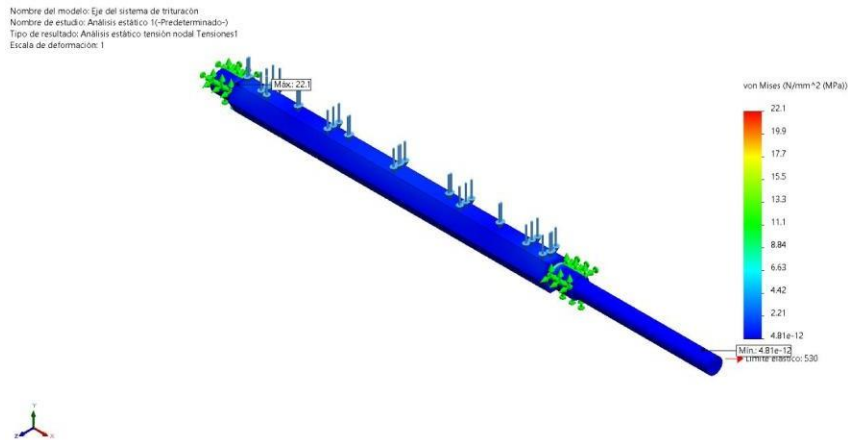


- Eje del sistema de trituración

El eje fue analizado con material AISI 1045 acero estirado en frío ($\sigma_y = 530$ MPa) bajo la acción de una fuerza normal de 222 N aplicada sobre una de sus caras y con dos zonas extremas restringidas como geometría fija. El resultado de tensión equivalente de Von Mises arrojó un valor máximo de aproximadamente 22,1 MPa, localizado en la región de transición de la geometría (cambio de sección), mientras que las tensiones mínimas son prácticamente nulas en las zonas alejadas de la carga. Este valor representa solo una fracción muy pequeña del límite elástico del material, por lo que el eje trabaja claramente en régimen elástico seguro para las condiciones de trabajo consideradas.

Figura 18

Análisis de tensiones eje del sistema de trituración



3.2. Análisis de desplazamiento

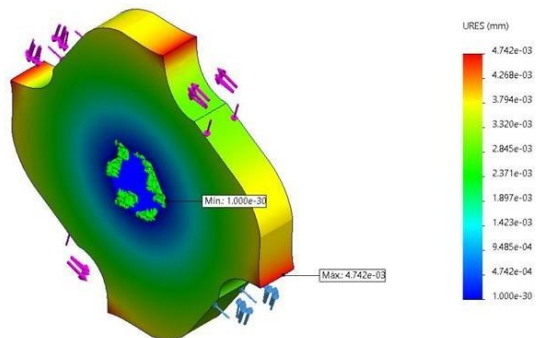
- Disco cuchilla de cuatro dientes

En el análisis de desplazamiento se evaluó la deformación del disco bajo la misma condición de carga. El desplazamiento resultante máximo fue del orden de 0.0047 mm, localizado en las puntas de los dientes. Esta magnitud es bastante pequeña frente a las dimensiones del componente, por lo que se considera que la deformación es prácticamente despreciable.

Figura 19

Análisis de desplazamiento cuchilla de cuatro dientes

Nombre del modelo: Disco cuchilla de cuatro dientes
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 3.64339



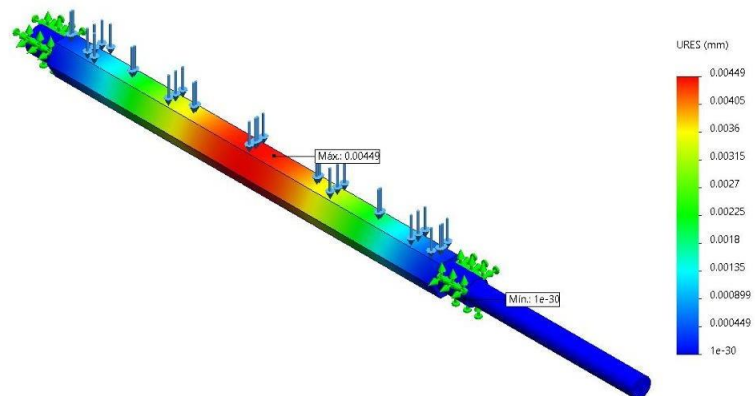
- Eje del sistema de trituración

En el análisis de desplazamientos se obtuvo un desplazamiento resultante máximo de 0,00449 mm, mientras que el mínimo es 0 mm en los puntos de sujeción. La deformación máxima se presenta en la zona próxima al punto de aplicación de la carga y a la curvatura del eje. Dado que este valor es muy pequeño frente a la longitud total del eje y a los juegos de montaje propios de los rodamientos y acoples, se concluye que la flexión originada por la carga de diseño no genera problemas de alineamiento con los componentes del sistema de trituración.

Figura 20

Análisis de desplazamiento eje del sistema de trituración

Nombre del modelo: Eje del sistema de trituración
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



3.3. Análisis de factor de seguridad

- Disco cuchilla de cuatro dientes

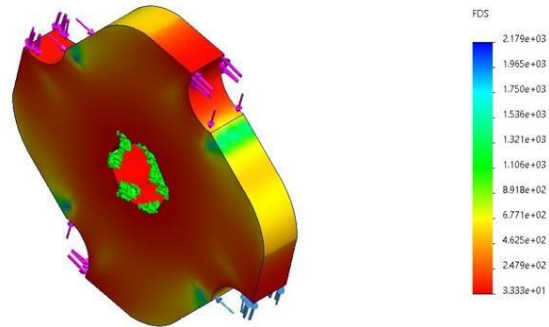
El análisis de factor de seguridad se realizó tomando como criterio de falla la tensión de Von Mises y el límite elástico del AISI 1045. El estudio mostro un FS mínimo de 33, ubicado también en la zona de la raíz de los dientes. Este valor indica un margen de seguridad muy elevado frente a la fluencia, confirmando que el dimensionamiento del disco cuchilla es

conservador y que el componente es capaz de soportar incrementos significativos de carga.

Figura 21

Factor de seguridad cuchilla de cuatro dientes

Nombre del modelo: Disco cuchilla de cuatro dientes
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 33

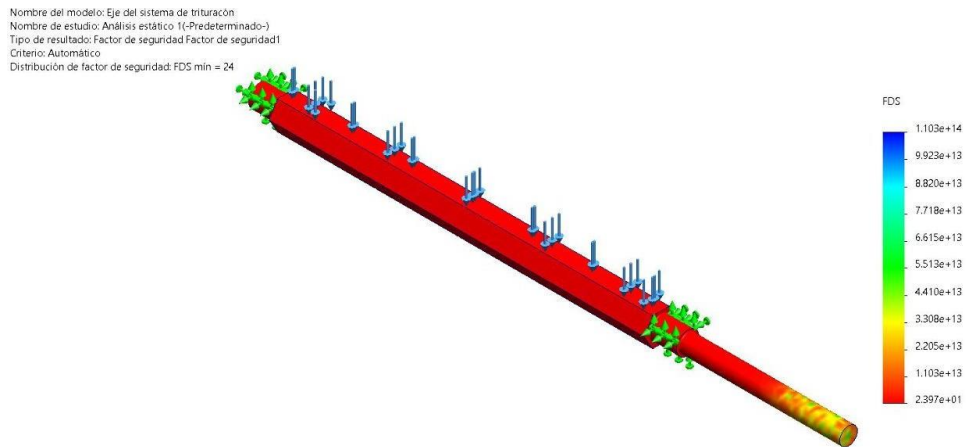


▪ Eje del sistema de trituración

El estudio de FS se realizó tomando como criterio de fallo la tensión de Von Mises frente al límite elástico del AISI 1045. El resultado muestra un factor de seguridad mínimo de 24, en la zona más solicitada del eje, mientras que en el resto del sólido los valores son muy superiores. Este margen indica que, bajo la carga estática de 222 N sometida a la pieza, el eje dispone de una capacidad resistente varias veces mayor a la requerida, lo que se afirma que el dimensionamiento es conservador y adecuado para las solicitaciones estimadas en el diseño de la máquina trituradora de plástico PET.

Figura 22

Factor de seguridad eje del sistema de trituración



3.4 Evaluación de la funcionalidad de la máquina

Se evaluó la capacidad de trituración de la máquina

- Número de botellas PET (N_{real}) de 650 ml que caben en la tolva superior
El cálculo se realizó considerando la botella como cilindro. Conociendo los datos: Diámetro: $d = 64mm = 0.064m$; Altura: $h_b = 240mm = 0.024m$, Masa típica de una botella PET de 650 ml: $h_b = 0.022kg$, se tiene el volumen teórico de una botella:

$$0.064^2 \quad (19)$$

$$V_b = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 h_b$$

$$V_b = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \times 0.024$$

$$V_b = 7.72 \times 10^{-4} m^3$$

Pero como las botellas no se empaquetan perfectamente (hay aire entre ellas), tomamos un factor de llenado típico para materiales voluminosos: $\eta = 0.60$

$$N_{real} = \eta \frac{V_{tolva}}{V_b}$$

$$N_{real} = 0.60 \times \frac{0.123}{7.72 \times 10^{-4}}$$

$$N_{real} = 95.59 \approx 96 \text{ botellas PET}$$

La tolva puede contener 96 botellas PET de 650 ml.

- Número de botellas por minuto que se pueden triturar

Datos del motorreductor ZDF3 – 1500 W

Eje de salida del motorreductor: $\eta_s = 75RPM$

$$\text{Relación de engranajes: } i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{32}{15} = 2.13$$

La velocidad del eje triturador es:

$$\eta = \frac{\eta_s}{i} \quad (20)$$

$$\eta = \frac{15}{2.13} \approx 35 \text{ RPM}$$

Tomando como base la capacidad experimental de referencia $\dot{m}_{ref} = 0.80kg/min$ a $\eta_{ref} = 29 \text{ RPM}$ y se asume una proporcionalidad con la velocidad:

$$\dot{m} = \dot{m}_{ref} \frac{n}{\eta_{ref}}$$

$$\dot{m} = 0.8 \frac{35}{29} = 0.97kg/min$$

Luego con el valor de la masa de la botella de 750 ml, el número mínimo de botellas trituradas es:

$$N_{min} = \frac{\dot{m}}{m_b}$$

$$N_{min} = \frac{0.97}{0.022}$$

$$N_{min} = 44 \text{ botellas/min}$$

Con esta capacidad calculada, para una carga completa de la tolva superior de 96 botellas, se trituraría en: $t = \frac{96}{44} = 2.2 \text{ min}$

La máquina puede vaciar completamente la tolva en 2 minutos bajo

condiciones de trabajo nominales.

IV. DISCUSIÓN

- Se seleccionó un triturador de doble eje con discos cuchilla frente a alternativas como el molino de cuchillas de alta velocidad y el triturador de eje único con empujador, debido a que trabaja a baja velocidad y alto par, es mecánicamente más simple, requiere una potencia instalada moderada de 1,5 kW y puede ser fabricado con acero ASTM A36 y AISI 1045 en talleres locales.
- El diseño se basó en la determinación de la fuerza de corte de 3,2 kN y el peso de 222N, obtenidos a partir de del dimensionamiento. Con estos valores se definió el diámetro del disco cuchilla de 155 mm, la geometría de los dientes, el dimensionamiento del eje (diámetro teórico mínimo 32 mm, adoptando secciones mayores para aumentar la seguridad) y el sistema de transmisión mediante el piñón 5M–15T y engranaje 5M–32T. En el diagrama de bloques del LOGO, se muestra el control automático del motorreductor de la trituradora de PET a partir de la señal del sensor fotoeléctrico infrarrojo de difusión - reflexión (NPN/PNP, 10–30 VDC).
- Mediante análisis estáticos en SolidWorks, se verificó el comportamiento estructural de los componentes críticos. En el disco cuchilla de 4 dientes, de material AISI 1045, con una carga equivalente de 800 N por diente, las tensiones de Von Mises y desplazamientos obtenidos fueron muy inferiores a los límites admisibles del material.
- La funcionalidad se evaluó combinando la capacidad volumétrica de la tolva, la capacidad de procesamiento y el desempeño del sistema de accionamiento. El volumen útil de la tolva permite acumular aproximadamente 96 botellas PET de 650 ml, mientras que, a partir de una capacidad másica de referencia y de la velocidad del eje triturador de 35 RPM, se estimó una capacidad de trituración de 44 botellas/min, logrando vaciar una carga completa en unos 2 a 3 minutos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se concluye que el triturador de doble eje con discos cuchilla es la alternativa más adecuada para el reciclaje de botellas PET de 650 mL en Jaén, al combinar trabajo a baja velocidad y alto par, potencia de 1,5 kW del motorreductor, menor complejidad constructiva que otras tecnologías (molino de alta velocidad o eje único con empujador) y facilidad de fabricación con materiales disponibles localmente ASTM A36 y AISI 1045.
- El diseño obtenido, basado en una fuerza de corte de aproximadamente 3,2 kN, un par torsor de 248 N·m, y peso de cuchillas en el eje de 222N, discos cuchilla de $D = 155$ mm en AISI 1045, eje dimensionado con diámetros superiores al mínimo teórico (≥ 32 mm) y una tolva de 0,123 m³ capaz de alojar 96 botellas de 650 ml, cumple con los requisitos de resistencia, capacidad y configuración geométrica necesarios para el proceso de triturado de PET. El uso del sensor fotoeléctrico infrarrojo de difusión-reflexión NPN/PNP como elemento de detección en la tolva se concluye técnicamente adecuado, ya que permite una señal directa y confiable al módulo LOGO para habilitar el motorreductor únicamente cuando hay botellas PET presentes.
- Los análisis estáticos en SolidWorks para el disco cuchilla y el eje del sistema de trituración, confirmaron tensiones de Von Mises muy inferiores a las tensiones admisibles de los materiales y desplazamientos del orden de milésimas de milímetro, obteniéndose FS considerados; esto valida el dimensionamiento analítico y demuestra que los componentes críticos presentan un comportamiento estructural seguro bajo las cargas de diseño.
- La máquina diseñada demuestra ser funcional al permitir procesar un aproximado de 96 botellas PET de 650 ml por carga de tolva y alcanzar una capacidad estimada del orden de 44 botellas/min, accionada por un motorreductor ZDF3-1500 W a 75 RPM que entrega un par superior al requerido en el eje triturador, y por un sistema de potencia y control que garantiza un accionamiento seguro mediante protecciones, contactor y mandos START/STOP/EMERGENCIA.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda mantener la configuración de triturador de doble eje con discos cuchilla como base del diseño y, en futuras etapas, realizar la comparación teórica con datos experimentales del consumo de energía y rendimiento del sistema, para reforzar la decisión tecnológica con resultados en campo.
- Se recomienda conservar los márgenes de seguridad mecánica alcanzados en cuchillas, ejes y transmisión, y normalizar al máximo diámetros y elementos comerciales (rodamientos, engranajes, motorreductor) para facilitar el mantenimiento y posible cambio de componentes en un contexto local.
- Se recomienda ampliar los estudios numéricos hacia análisis dinámicos como factores de choque y cargas cíclicas, de manera que se pueda evaluar el comportamiento a largo plazo de los componentes críticos que operan continuamente y validar aún más la robustez de la máquina.
- Se recomienda realizar pruebas experimentales cuando el prototipo se implemente, para contrastar el volumen de trituración (botellas/min) con la capacidad real, y ajustar parámetros de operación (velocidad mediante variador de frecuencia, configuración de la tolva y protocolo de alimentación) para optimizar el desempeño global del sistema de reciclaje de PET en Jaén.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Mechanical Engineers. (1985). Design of transmission shafting (Norma ASME B106.1M-1985). ASME. <https://standards.globalspec.com/std/709086/ansi-b106-1m>
- Asociación de Recicladores de Perú. (2025). *Precio de materiales*. <https://chatarraperu.com/>
- Beer, F. P., Johnston, E. R., Mazurek, D. F., Eisenberg, E. R., & Cornwell, P. J. (2015). *Vector mechanics for engineers: Statics and dynamics* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley's mechanical engineering design* (10.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Candelaria, J., & Martínez, L. (2018). Diseño y análisis de un molino triturador para plásticos de baja densidad. *Revista Ingeniería y Región*, 16(2), 45–56.
- Gómez, E., & Pulluquitin, R. (2021). *Diseño y construcción de una máquina trituradora automática de plásticos PET con capacidad de 15 kg/h*. [Tesis de pregrado]. <https://repositorio.espech.edu.ec/handle/123456789/16043>
- GTRIC. (2025). *GTRIC CDD-11N Sensor fotoeléctrico infrarrojo difusión reflexión NPN PNP 10-30VDC interruptor de proximidad óptico 11P 40N 40P*. AliExpress. https://es.wikipedia.org/wiki/Producto_%28mercadotecnia%29
- Hernández, F. (2017). *Diseño de una trituradora de residuos sólidos tipo PET para la Fundación Alianza Forestal de Colombia E.S.P., Duitama, Boyacá*. [Tesis de pregrado]. <https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/f76cbd3a-920f-4fcb-9906-69b53c7ab859/content>
- Hibbeler, R. C. (2016). *Engineering mechanics: Statics & dynamics* (14th ed.). Pearson. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-11873-3>
- <https://latam.casadellibro.com/libro-shigley-s-mechanical-engineering-design-10th-revised-edition/9780073398204/2584564>

- Miranda, J. (2024). Diseño de máquina trituradora de botellas polietileno tereftalato de baja producción para mitigar la contaminación ambiental - distrito de Pillco Marca [Tesis de pregrado]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/10945>
- Nauga, J., & Sumba, P. (2023). Automatización e integración de una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial [Tesis de pregrado]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26047>
- Niemann, G., & Winter, H. (2003). Máquinas y mecanismos: engranajes I (Vol. 2). Springer.
- Niemann, G., & Winter, H. (2003). Maschinenelemente. Band 2: Getriebe allgemein, Zahnradgetriebe – Grundlagen, Stirnradgetriebe. Springer.
- Oceana. (2024). *Contaminación por plásticos*. <https://peru.oceana.org/campanas/contaminacion-por-plasticos/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (s. f.). *Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos>
- Radio Programas del Perú (RPP). (2018, 10 de abril). *Agua de mesa es la segunda categoría de bebidas más consumidas por peruanos*. <https://rpp.pe>
- Remsa Plásticos. (s. f.). *Botella PET 600 ml modelo genérica* [Ficha de producto]. Remsa Plásticos. <https://www.remsaplasticos.com/productos/botellas-pet/botella-pet-600ml>
- Saquina Moposita, S. T. (2024). *Diseño de prototipo de una máquina trituradora de plásticos PET*. [Tesis de pregrado]. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/c9e8fa5e-e700-4463-85e6-e7d515bd4d63>
- Siemens AG. (2015). Monitoring and control with the LOGO! CMR module (Application description, Entry ID 105074237). Siemens AG. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109826921/logo!soft-comfort-v8-4-demo?dti=0&lc=es-PE>
- Stewart, J. (2016). Cálculo de una variable (8.^a ed.). Cengage Learning.

Taco, V. G. (2021). Diseño y construcción de una máquina trituradora y granuladora de plástico de baja densidad como una herramienta de reciclaje [Tesis de pregrado]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=5551012>

Zhongda Leader. (s. f.). *ZDF3, tabla de especificaciones de motoreductores hipoidales ZDF3*. Zhongda Leader. https://en.zd-motor.com/products_detail/344.html

AGRADECIMIENTO

Yoner Celis Guerrero

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y su confianza en mí durante este proceso de formación profesional. Cada consejo y cada esfuerzo que han realizado por brindarme oportunidades de estudio, han sido la base que me ha permitido llegar hasta este momento. Este logro también es de ustedes, porque sin su respaldo constante, nada de esto hubiera sido posible. Asimismo, expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor el Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon, por la orientación académica, las observaciones técnicas y el tiempo dedicado, aportando de manera oportuna al desarrollo de este proyecto de investigación.

Jhoan Yerson Coronado Fernández

Agradezco de corazón a mi familia por acompañarme en cada etapa de mi vida académica, por sus palabras de ánimo en los momentos difíciles y por creer en mis capacidades incluso cuando las dificultades fueron complejas. Su comprensión, sacrificio y apoyo emocional han sido un motor fundamental para culminar este proyecto. Dedico este trabajo a ellos, como muestra de gratitud por todo lo que han hecho por mí. De igual forma, manifiesto mi sincero agradecimiento a mi asesor el Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon, por la orientación brindada, sus valiosos aportes técnicos y el acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo, para la consolidación y culminación de este proyecto de investigación.

DEDICATORIA

Yoner Celis Guerrero

Yo, Yoner Celis Guerrero, dedico este trabajo a mis padres y a mi familia cercana, quienes han sido mi mayor soporte y ejemplo de esfuerzo. A mis padres, por inculcarme desde pequeño el valor del estudio, la responsabilidad y la honestidad, y por no dejar de creer en mí incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos, por su compañía, sus palabras de ánimo y por hacer más llevadero este camino. Cada página de este proyecto lleva implícito su cariño, sus sacrificios y su confianza en mi formación profesional.

Jhoan Yerson Coronado Fernández

Yo, Jhoan Yerson Coronado Fernández, dedico este logro especialmente a mi familia, que ha estado siempre a mi lado brindándome amor, apoyo y comprensión. A mis padres, por su trabajo silencioso, por sus esfuerzos diarios y por enseñarme que con perseverancia y humildad se pueden alcanzar las metas. A mis seres queridos más cercanos, que con sus palabras de aliento y su compañía me dieron la fuerza necesaria para continuar. Esta dedicatoria es un pequeño reconocimiento a todo lo que han hecho por mí y al lugar fundamental que ocupan en mi vida.

ANEXOS

Anexo 1. Motorreductor seleccionado

ZDF3尺寸图
ZDF3 SIZE CHART



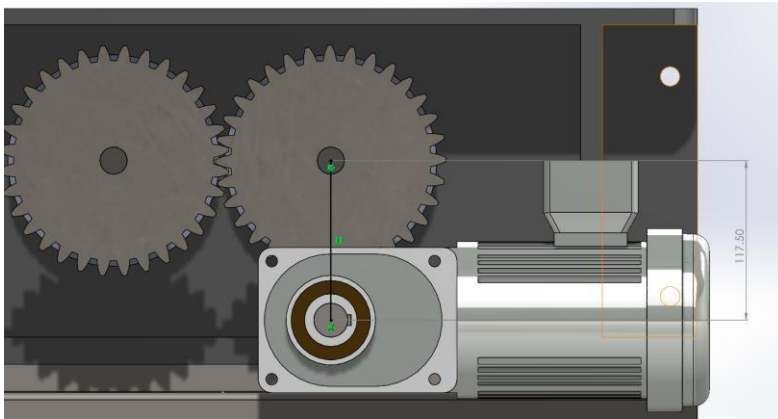
规格 · 连续额定 Specification And Continuous Rating

型号 Model	输出功率 Output Power	电压 Voltage	频率 Frequency	额定电流 Rated Current	额定转矩 Rated Torque	额定转速 Rated Speed	堵转转矩 Locked Rotor Torque	堵转电流 Locked Rotor Current	绝缘等级 Insulation Grade
	W	V	Hz	A	N.m	r/min	N.m	A	
ZDF3-45HC□-1500-S(B)	1500	200	60	7.10	8.70	1650	15.60	30.00	F
		220	50	6.70	10.2	1410	29.50	38.00	
		380	50	3.70	10.2	1400	22.30	31.00	
ZDF3-45H□-1500-S ₁ (B)		460	60	3.30	8.50	1740	31.60	24.00	

型号 Model	输出功率 Output Power	电压 Voltage	频率 Frequency	额定电流 Rated Current	额定转矩 Rated Torque	额定转速 Rated Speed	堵转转矩 Locked Rotor Torque	堵转电流 Locked Rotor Current	绝缘等级 Insulation Grade
	W	V	Hz	A	N.m	r/min	N.m	A	
ZDF3-40A□-1500-S(B)	1500	200	60	7.10	8.70	1650	15.60	30.00	F
		220	50	6.70	10.2	1410	29.50	38.00	
		380	50	3.70	10.2	1400	22.30	31.00	
ZDF3-40A□-1500-S ₁ (B)		460	60	3.30	8.50	1740	31.60	24.00	

功率 Power	孔径/轴径 Aperture/Axis Diameter	减速比 Reduction Ratio	输出轴转速 Output Shaft Speed		输出轴容许转矩 Output Shaft Torque		输出轴容许 Output Shaft Tolerance		输出轴容许 Output Shaft Tolerance	
			t/min	50Hz	N.m	kgf.m	N	kgf	N	kgf
1500	45/40	5	300.0	41	4.230	2550	260	800	82	
		7.5	200.0	62	6.330	2940	300	900	92	
		10	150.0	83	8.460	3330	340	967	99	
		12	125.0	99	10.15	3630	370	1040	106	
		15	100.0	124	12.69	3920	400	1067	109	
		20	75.00	166	16.91	4070	415	1067	109	
		25	60.00	207	21.14	4460	455	1067	109	
		30	50.00	249	25.37	4700	480	1067	109	
		40	37.50	332	33.83	4750	485	1067	109	
		50	30.00	414	42.29	4750	485	1067	109	
		60	25.00	497	50.74	4750	485	1067	109	

Anexo 2. Distancia del eje del motorreductor al eje principal



Anexo 3. Caja de sistema de trituración



Planchas A709 LAC

NORMAS TÉCNICAS
 Propiedades mecánicas según ASTM A709 Gr 50 y dimensiones según ASTM A6/A6M.

USOS
 Puentes, vigas soldadas, construcción de edificios, grúas puente, equipos mecánicos, material rodante, pilotes, tanques, etc.

PRESENTACIÓN
 - Pueden suministrarse sueltas como enzunchadas.
 - Las bobinas se suministran completas.

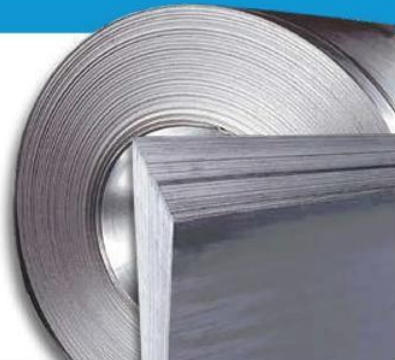
PROPIEDADES MECÁNICAS
 Grado : 50
 Límite de Fluencia mínimo \geq 345 MPa
 Carga de rotura \geq 450 MPa
 Elongación \geq 21% (2"), 18% (8")

() Tamaño de probeta.
 NORMAS EQUIVALENTES o APROXIMADAS: ASTM A 572/A 572M, ASTM A 588/A 588M Grado A, Grado B, ASTM A 242/A 242M, DIN 17100 St52-3, EN 10025 S355J0.

DIMENSIONES ESTÁNDAR	
milímetros	
6.00	19.00
6.30	20.00
8.00	25.00
9.00	30.00
9.50	32.00
12.00	38.00
12.70	50.00
15.88	63.00
16.00	

Anexo 4. Material para tolva superior y salida

Planchas y Bobinas LAC



*Previo acuerdo se comercializa en otras medidas.

DIMENSIONES NOMINALES

Bobinas LAC BLAC A36 (mm)	Planchas LAC PLAC A36 (mm)		
1.5 x 1,200	1.5*	4.5*	19
1.8 x 1,200	1.8*	4.8*	20
1.9 x 1,200	1.9*	5.0*	22
2.0 x 1,200	2.0*	5.9*	25
2.2 x 1,200	2.2*	6	32
2.3 x 1,200	2.3*	6.35	38
2.4 x 1,200	2.4*	6.4	50
2.5 x 1,200	2.5*	8	63
2.9 x 1,200	2.9*	9	75
4.4 x 1,200	3.0*	9.5	100
	3.9*	12	125
	4.0*	12.5	150
	4.4*	16	

(*) Dimensiones bajo norma JIS G3193.

NORMAS TÉCNICAS

Estructural: ASTM A36 y Dimensiones según JIS G3193-2008

USOS

Se usa en la fabricación de tubos, perfiles plegados. Asimismo, luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

PRESENTACIÓN

Planchas: las planchas se comercializan en unidades. Bobinas: se presentan en calidad estructural. Las bobinas se entregan con peso mínimo de 5 TM aproximadamente, enzunchadas longitudinalmente y transversalmente.

PROPIEDADES MECÁNICAS

ASTM A36
 Límite de Fluencia mínimo = 250 Mpa (25.50 kg/mm²)
 Resistencia a la Tracción = 400 - 550 Mpa (40.80 - 56.10 kg/mm²)
 Alargamiento en 200 mm = 20.0% mínimo

ASTM A1011 / A1011M SS36 Tipo 2
 Límite de Fluencia mínimo = 250 Mpa (25.50 kg/mm²)
 Resistencia a la Tracción = 400 - 550 Mpa (40.80 - 56.10 kg/mm²)
 Alargamiento en 200 mm = 16.0% mínimo

ASTM A1011 / A1011M Grado 36 Tipo 2
 Límite de Fluencia mínimo = 250 Mpa (25.50 kg/mm²)
 Resistencia a la Tracción = 400 - 550 Mpa (40.80 - 56.10 kg/mm²)
 Alargamiento en 200 mm = 18.0% mínimo

Anexo 5. Material para mesa de soporte

TUBOS

Tubo LAC ASTM A500



Tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura de resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

NORMAS TÉCNICAS

Las propiedades mecánicas, dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 - Grados A y B según lo solicitado.

USOS

Diversas estructuras livianas y pesadas, correderías, tijerales, postes, etc.

PRESENTACIÓN

- Longitud:
 - Redondos: 6.40 m y 6 m.
 - Cuadrados y rectangulares: 6 m.
 - Otras longitudes a pedido.
- Acabado de extremos: Refrentado (plano), limpios de rebordes.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Sección	Norma Técnica		Grado	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación mínimo
	Del tubo	Del acero				
Redondo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A ASTM A 1011 CS TIPO B	A	228 -	310 □ 290	25 □ 25
Cuadrado	ASTM A 500/A 500 M ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A ASTM A 1011 CS TIPO B	A	269 -	310 □ 290	25 □ 25
Rectángulo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A ASTM A 1011 CS TIPO B	B	269 -	310 □ 290	25 □ 25

(□) Dimensiones y Tolerancias.

DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m															
Designación Nominal	Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)													
		1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	3.0	3.3	4.0	4.5	6.0				
REDONDO NOMINAL	1/4"	13.70	0.53	0.58	0.65										
	3/8"	17.10	0.68	0.75	0.84										
	1/2"	21.30	0.87	0.95	1.08	1.16	1.35								
	3/4"	26.70	1.11	1.22	1.38	1.49	1.75								
	1"	33.40	1.40	1.55	1.76	1.91	2.25								
	1 1/4"	42.20	1.79	1.98	2.26	2.45	2.90								
	1 1/2"	48.30	2.06	2.28	2.61	2.82	3.35	3.66	4.37						
	2"	60.30	2.60	2.88	3.29	3.56	4.24	4.64	5.56						
	□ 2 1/2"	73.00		3.50	4.35	5.18	5.67	6.81							
	3"	88.90		4.29	5.33	6.36	6.97	8.38							
4"	114.30		5.54	6.90	8.24	9.04	10.88								
CUADRADO L.E.	- 25 x 25	1.06		1.46											
	- 30 x 30	1.30		1.70											
	- 40 x 40	1.78		2.24			3.32								
	- 50 x 50	2.25		3.12		3.87	4.32								
	- 75 x 75			4.50		5.56	6.81								
	- 100 x 100			6.17		7.68	9.17		12.13	13.59	16.98				

(□) Dimensiones y Tolerancias.

SISTEMA MÉTRICO													
Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)												
	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	6.0	8.0	10.0	12.0		
CUADRADO L.E.	25	1.12	1.33	1.47	1.81								
	30		1.62	1.79									
	38		2.07	2.29	2.83	3.36							
	40		2.18	2.41	2.99	3.55							
	50		2.75	3.04	3.77	4.49							
	75			4.61	5.73	6.84	9.03	10.10	13.24				
	80				4.93	6.13	7.31	9.65	10.81				
	100				6.18	7.70	9.20	12.17	13.63	17.95			
	125						11.55			17.16	22.66		
	150									20.70	27.37	36.10	44.64
200									27.76	36.79	48.66	60.34	
250									34.83	46.21	61.22	76.04	
300											73.79	91.74	109.49
400												123.14	147.18
RECTÁNGULO L.E.	20 x 40	1.35		1.70									
	25 x 50	1.65		2.04	2.26								
	40 x 50			2.46	2.73								
	40 x 60		2.26	2.75	3.03	3.60	4.25						
	40 x 80		2.71		3.66	4.39	5.19						
	50 x 70				3.67	4.56	5.43						
	50 x 75						5.42						
	50 x 100		4.16	4.50	5.56	6.60	8.59	10.10	13.24				
	50 x 150			6.17	7.68	9.17	11.73	13.63	17.95				
	150 x 100				9.66	11.55	15.31	17.16	22.66				
200 x 100					13.91	18.45	20.70	27.37	36.10	44.54			
200 x 150					16.26	21.59	24.23	32.08	42.38	52.49			
250 x 100							27.76	36.79	48.66	60.34			
250 x 150								46.21	61.22	76.04	90.65		
300 x 200									91.74	109.49			
400 x 200											123.14	147.18	

SISTEMA INGLÉS										
Designación Nominal	Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)								
		1.8	2.0	2.3	2.5	3.0	4.0	4.5	6.0	
CUADRADO L.E.	1"	-	1.36	1.50	1.70	1.84	2.17			
	1 1/4"	-	1.71	1.90	2.16	2.34	2.77			
	1 1/2"	-	2.07	2.29	2.62	2.84	3.37			
	2"	-	2.79	3.09	3.54	3.83	4.56	5.99		
	3"	-		4.69	5.37	5.83	6.96	9.18		
4"	-		6.28		7.82	9.35	12.37	13.86		
RECT. L.E.	1" x 2"	-	2.10	2.32						
	2" x 3"	-	3.54	3.92	4.87	5.81				
	2" x 4"	-		4.71	5.85	6.98	9.21	10.31		
	2" x 6"	-		6.34	7.89	9.43	12.48	13.98		
4" x 10"	-								34.60	

Anexo 6. Soldadura utilizada para el ensamble de la maquina

NAZCA SOFT 6013

USOS

- Construcción Naval, tuberías, estructuras de acero, fabricación en general y láminas galvanizadas.
- Para soldaduras de una o más pasadas en chapas de espesores delgados y perfiles de acero dulce.
- Fondos de tanques, ductos de aire acondicionado.
- Industria naval, astilleros.
- Gabinetes refrigeradores, estructura metálica ligera.

PRESENTACIÓN

Cajas de 25 Kg

CLASIFICACIÓN

SFA/AWS A5.1 E6013 / EN ISO 2560-A: E 38 0 RC 11

NAZCA PRO 7018

USOS

- Construcción Civil, Energía, Aplicaciones industriales y Fabricación General, Metalmeccánica pesada y Liviana, Astilleros y Offshore.
- Para aceros de mediano a alto contenido de carbono, alta resistencia y baja aleación.
- Para aceros de alto contenido de azufre y fácil fresado.
- Para aceros laminados al frío.
- Por sus características de resistencia y su fácil manejo, especialmente adecuado para: Soldaduras de tuberías de vapor, calderas de alta presión, piezas de maquinaria pesada, instalaciones de la industria petrolera, petroquímica y minera.

PRESENTACIÓN

Cajas de 25 Kg

CLASIFICACIÓN

AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1 E7018

NAZCA PLUS 6011

USOS

- Estructuras, Tuberías, Construcción Naval, Recipientes a Presión y Tanques.
- Soldadura recomendada para aceros no templados (aceros dulces) con un máximo de 0,25% de carbono.
- Para soldar aceros de bajo carbono, cuando se desea penetración profunda, poca escoria, cordones no abultados y alta calidad del depósito de soldadura.
- Estructura metálica liviana.
- Para la soldadura de todas las uniones a tope que requieren una buena penetración en el primer pase.
- En la fabricación de construcciones navales, tanques, reservorios y uniones de tubos de acero de bajo carbono.

PRESENTACIÓN

Cajas de 25 Kg

CLASIFICACIÓN

AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1 E6011

PUNTO AZUL

USOS

- Diseñada exclusivamente para la soldadura de unión de aceros de bajo carbono: perfiles, ángulos, planillas, etc. en el sector cerrejano.
- Ideal para trabajos de fabricación de Carpintería Metálica en general y fabricación de estructuras livianas.
- Se recomienda para la fabricación de puertas, ventanas, portones, carrocerías, etc. con un límite de fluencia de 330MPa.

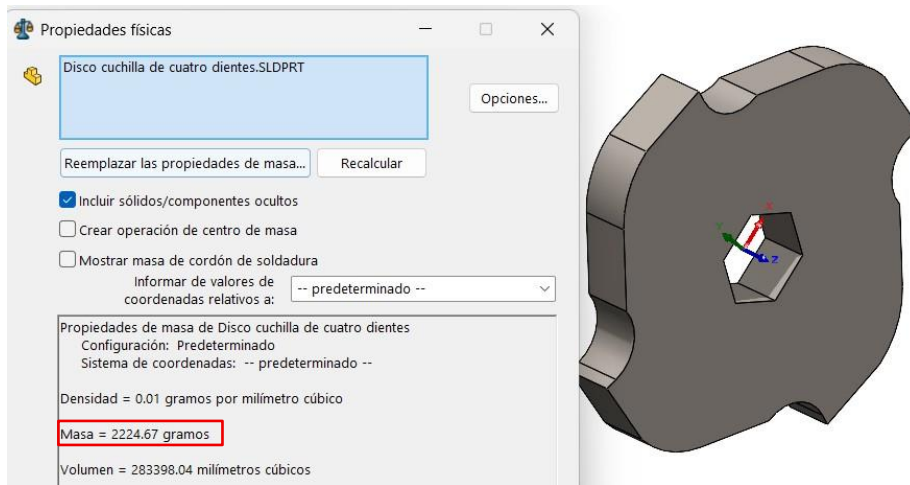
PRESENTACIÓN

Cajas de 25 Kg

CLASIFICACIÓN

AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1 E6011

Anexo 7. Masa del disco cuchilla



Anexo 8. Planos de ensamblaje, explosión y fabricación

8

7

6

5

4

3

2

1

14

F

F

N.º DE ELEMENTO

N.º DE PIEZA

CANT

1	Eje del sistema de trituración	1
2	Caja sistema de trituración	1
3	Eje del sistema de trituración	2
4	SKF - 33205 - 14,SI,NC,14	4
5	Tapa de eje frontal	2
6	Tapa de eje posterior	2
7	Espaciador de disco cuchillas	20
8	Disco cuchilla de cuatro dientes	20
9	Espaciador de caja de sistema de trituración y disco cuchilla	20
10	Engranaje recto 5M 32T 20PA 40FW	2
11	Eje de motoreductor	1
12	Cuña	1
13	Motoreductor modelo ZDF3-1500	1
14	Tolva superior ASTM A36	1
15	Salida de plástico PET triturado	1
16	Caja de control	1
17	Piñon 5M 15T 20PA 40FW	1
18	Cable de sensor	1
19	sensor de proximidad	1

E

E

8

9

D

D

6

7

3

4

5

4

10

C

C

19

11

12

13

18

14

15

16

17

B

B

2

17

11

12

13

10

18

19

1

ESCALA: 1:10 HOJA: 1 1 FORMATO: A3

A

A

15

16

NOMBRE

FIRMA

FECHA

TÍTULO:

DIBUJ. CELIS G.

01/11/2025

DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PET AUTOMATIZADA PARA MEJORAR EL PROCESO DE RECICLAJE EN JAEN

DIBUJ. CORONADO F.



ESCALA: 1:10 HOJA: 1 1 FORMATO: A3

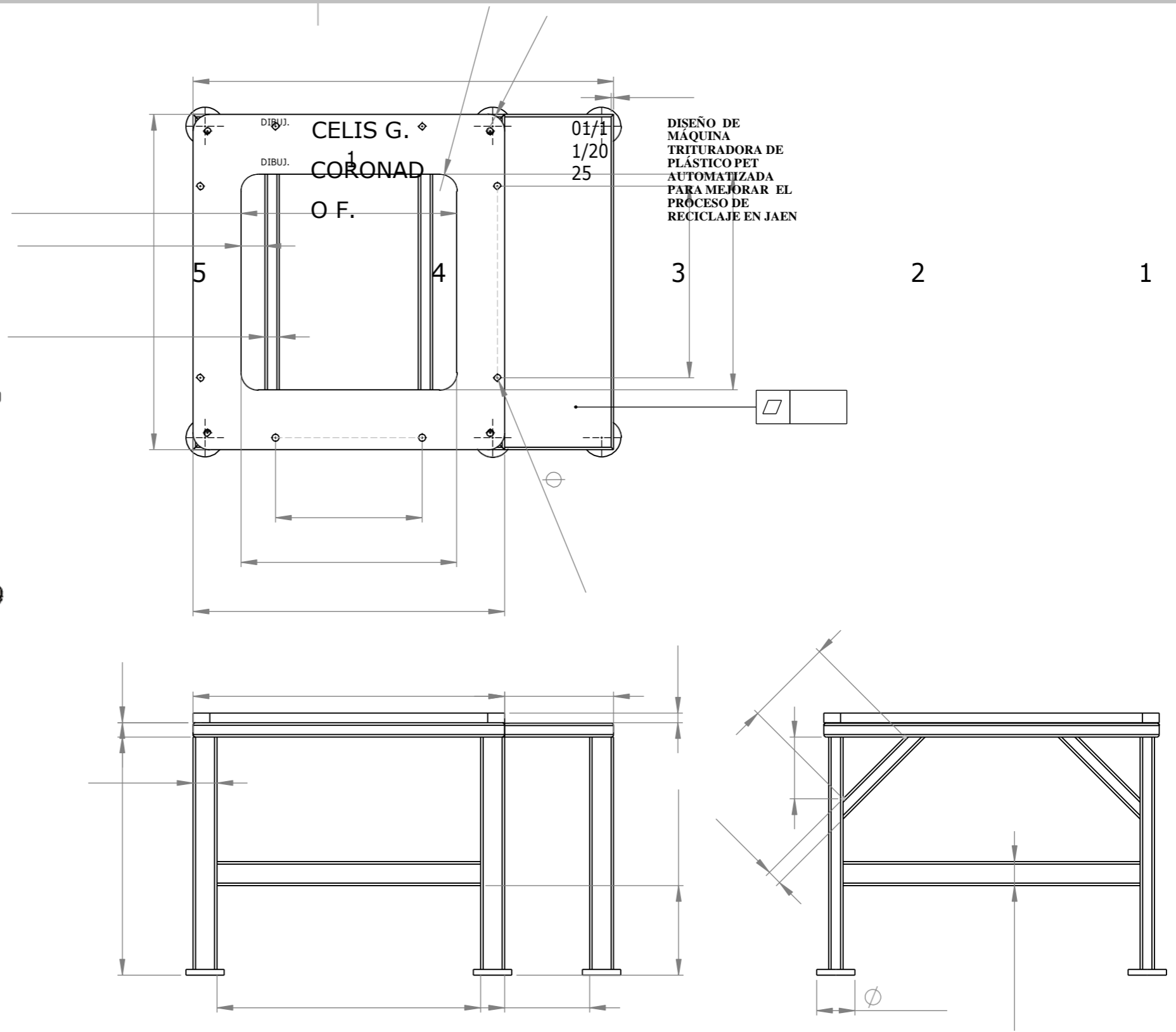
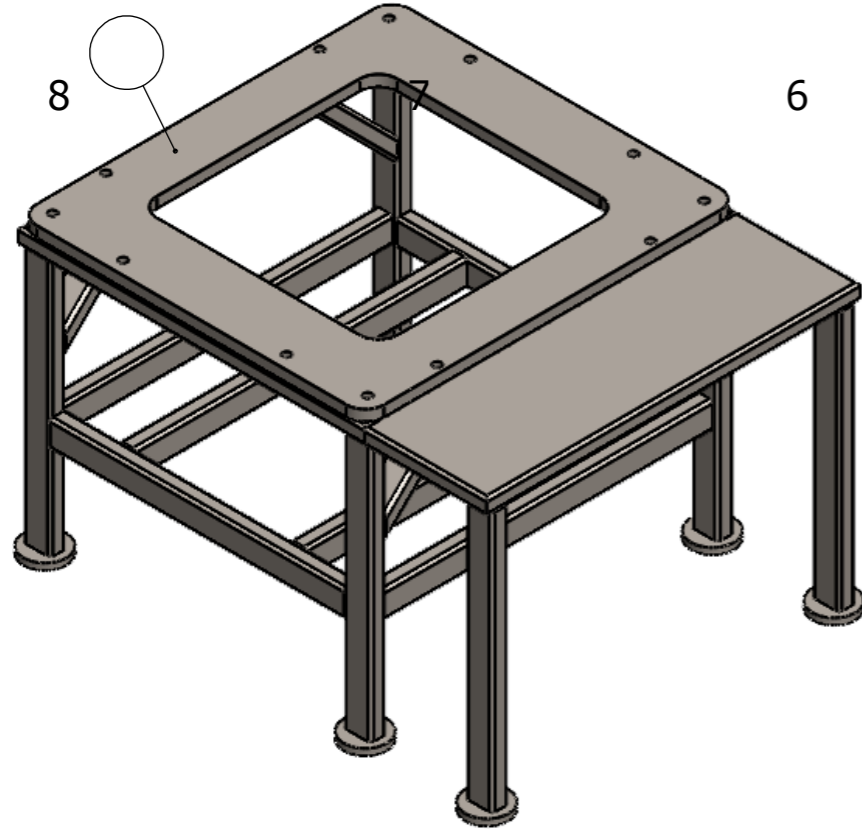
PROYECTO: PLANO DE FABRICACION

N.º DE ELEMENTO **N.º DE PIEZA** **CANT** NOMBRE FIRMA FECHA

TÍTULO:

1

Mesa de soporte ASTM A36





B	N.º	DESCRIPCIÓN	CANT.	N.º	DESCRIPCIÓN	CANT.	B
	3	Eje del sistema de trituración	2	5	Tapa de eje frontal	2	
	4	SKF - 33205 - 14,SI,NC,14	4	6	Tapa de eje posterior	2	

ESCALA: 1:5 HOJA: 1 1 FORMATO: A3

PROYECTO: **PLANO DE FABRICACION**

A NOMBRE FIRMA FECHA TÍTULO: A

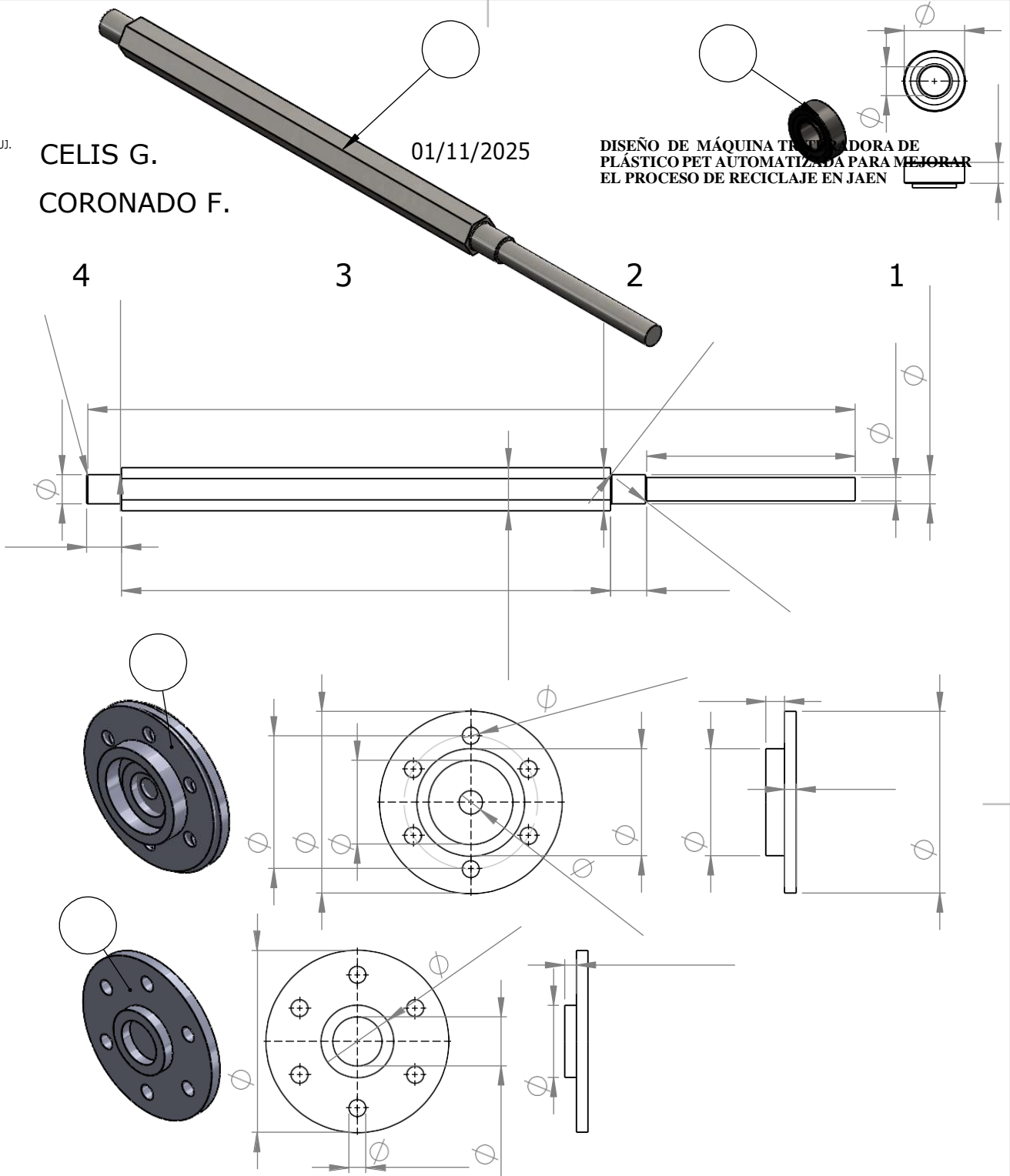
DIBUJ.

CELIS G.

01/11/2025

DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PET AUTOMATIZADA PARA MEJORAR EL PROCESO DE RECICLAJE EN JAEN

CORONADO F.





8

7

6

5

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

A

A

2

0.02 | A

A

ESCALA: 1:10 HOJA: 1 1 FORMATO: A3

PROYECTO: PLANO DE FABRICACION

TÍTULO:

N.º DE
ELEMENTO

N.º DE PIEZA

CANT

NOMBRE

FIRMA

FECHA

C
a
j
a

156.00

700.00

115.00

30.00

70.00

14.50(X12)

70.00

20.00

262.00

16.97

262.00

528.00

30.00

70.00

16.00

160.00

72.00

R35.00
14.50

400.00

700.00

115.00

420.00

100.00

12.00

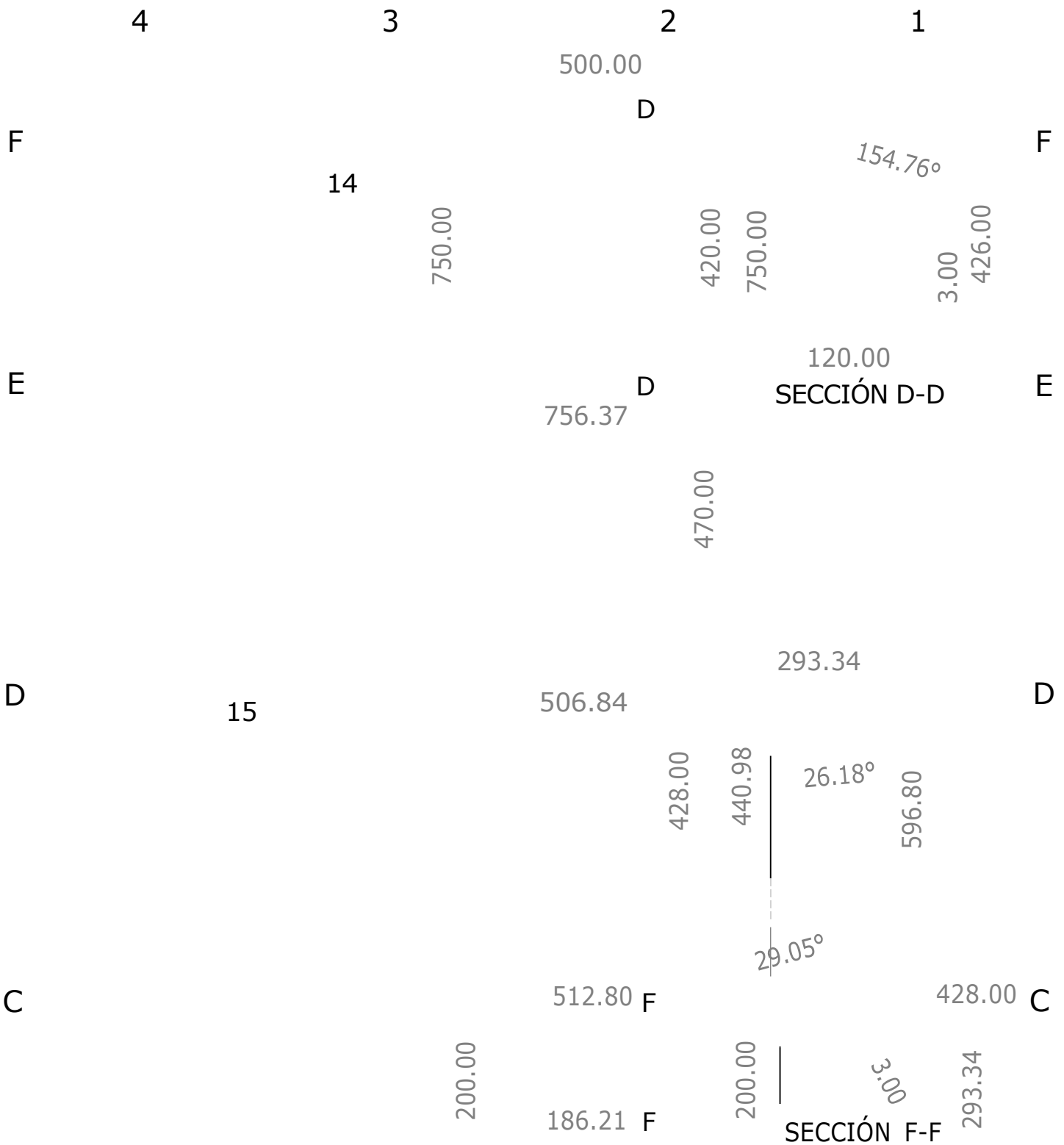
100.00

14.50

20.00

162.00

262.00



N.º	DESCRIPCIÓN	CANT.
14	Tolva superior ASTM A36	1
15	Salida de plástico PET triturado	1

ESCALA: 1:20 HOJA: 1 1 FORMATO: A4

PROYECTO: PLANO DE FABRICACION

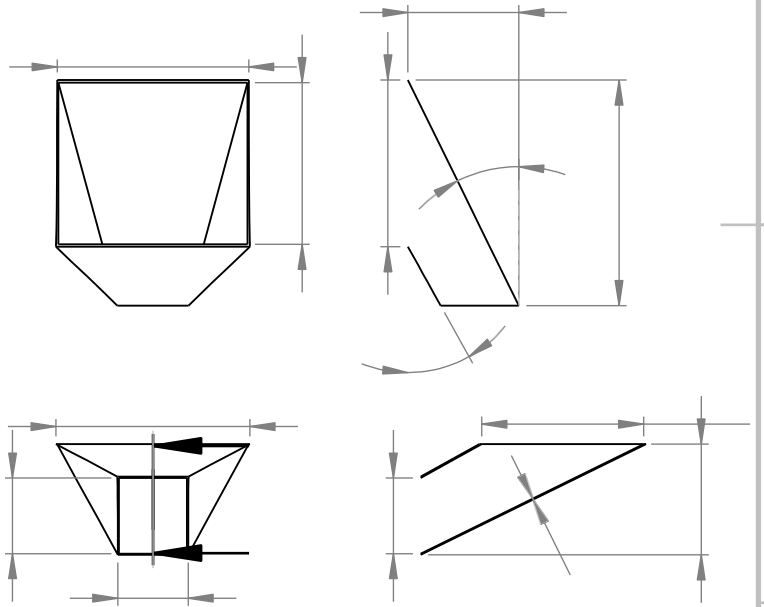
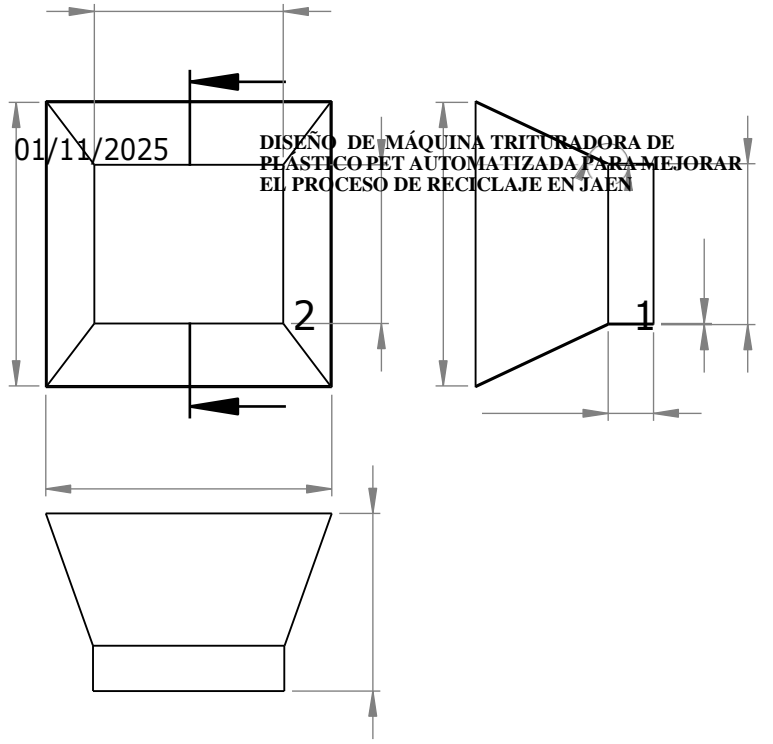
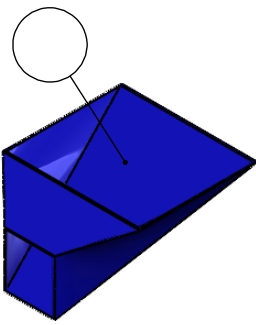
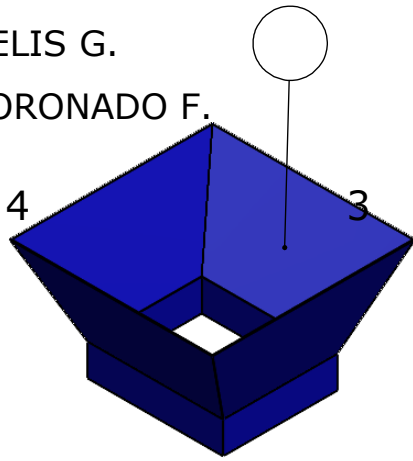
A NOMBRE FIRMA FECHA TÍTULO: A

DIBUJ.

CELIS G.

DIBUJ.

CORONADO F.



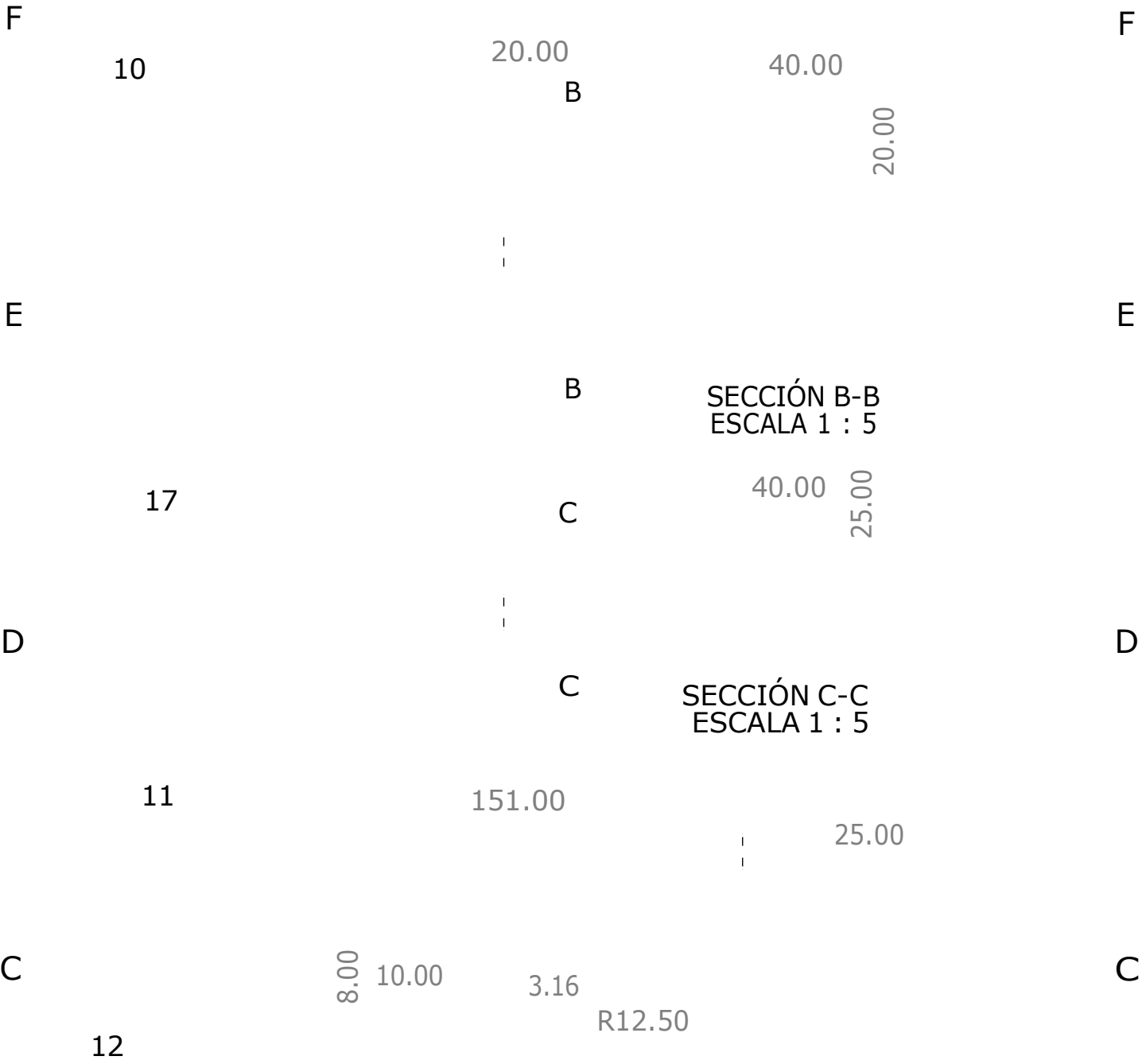


4

3

2

1



N.º	DESCRIPCIÓN	CANT.	N.º	DESCRIPCIÓN	CANT.
B 10	Engranaje recto 5M 32T 20PA 40FW	2	12	Cuña	1
11	Eje de motoreductor	1	17	Piñon 5M 15T 20PA 40FW	1

ESCALA: 1:5 HOJA: 1 1 FORMATO: A4

A

NOMB

RE

FIRMA

FECHA

PROYECTO:

TÍTULO:

DIBUJ.

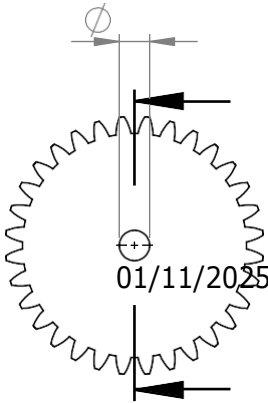
DIBUJ.



PLA
NO
DE
FAB
RIC
ACI
ON

A

01/11/2025



DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PET AUTOMATIZADA PARA MEJORAR EL PROCESO DE RECICLAJE EN JAEN

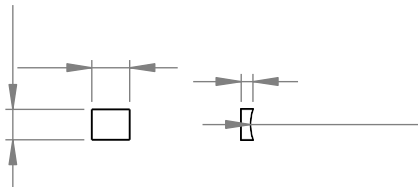
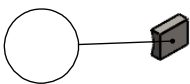
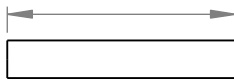
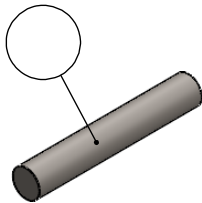
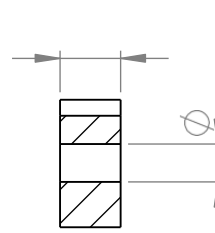
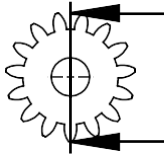
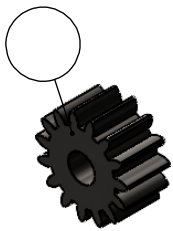


4

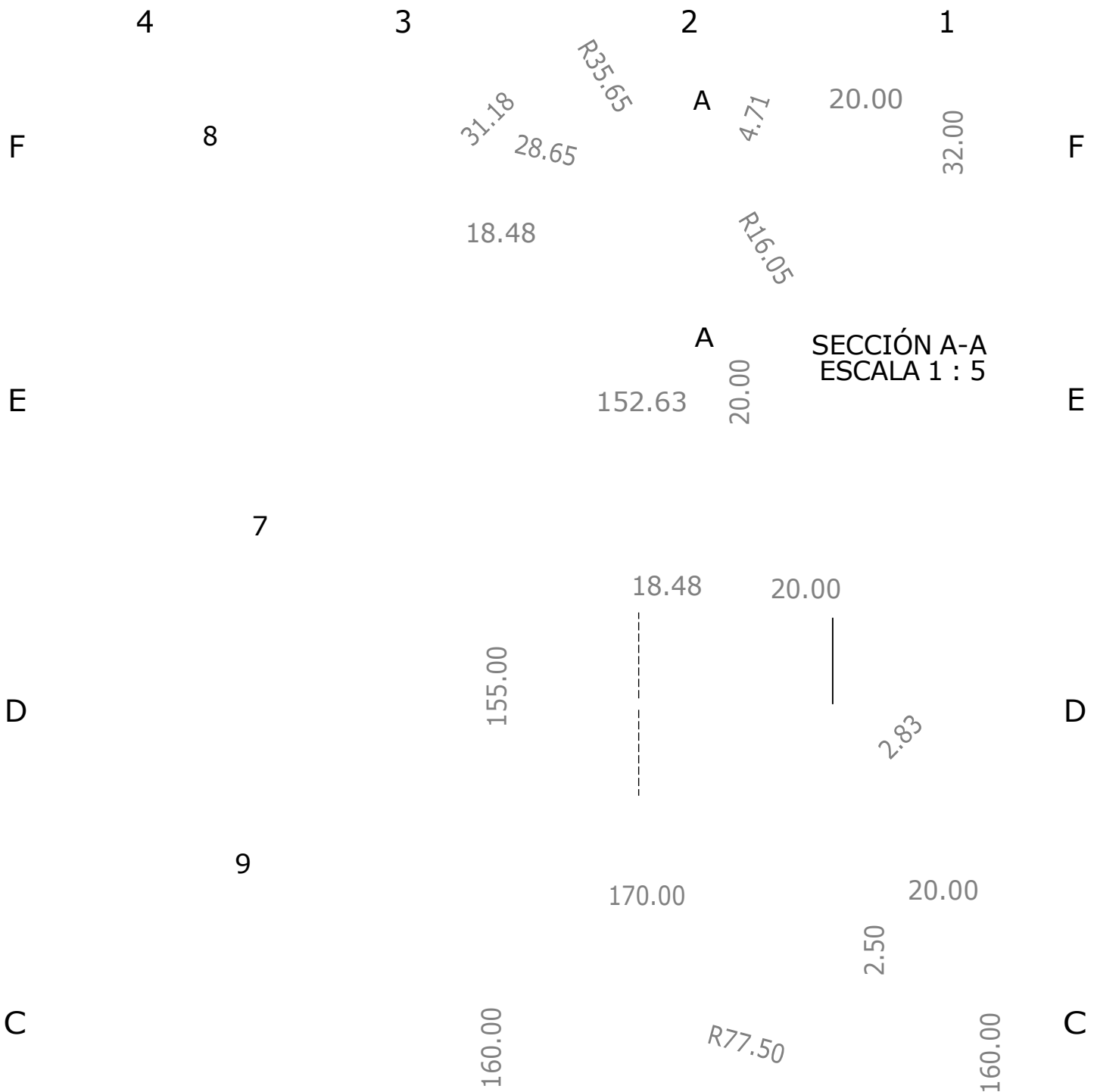
3

2

1







N.º	DESCRIPCIÓN	CANT.	N.º	DESCRIPCIÓN	CANT.
B 7	Espaciador de disco cuchillas	20	9	Espaciador de caja de sistema de trituración y disco cuchilla	20
8	Disco cuchilla de cuatro dientes	20			

ESCALA: 1:5 HOJA: 1 1 FORMATO: A3

PROYECTO: PLANO DE FABRICACION

A NOMBRE FIRMA FECHA TÍTULO: A

DIBUJ.

CELIS G.

DIBUJ.

CORONADO F.

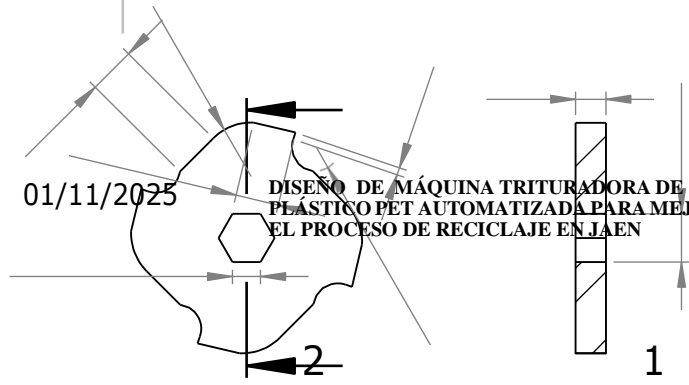
4



3

01/11/2025

DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PET AUTOMATIZADA PARA MEJORAR EL PROCESO DE RECICLAJE EN JAEN



1

