

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA SUMINISTRADA CON
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA OBTENER HOJUELAS
DE POLIETILENO TEREFTALATO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor: Bach. Nilson Ronny Davila Fernandez

Asesor: Dr. Walter Linder Cabrera Torres

Línea de investigación: Diseño Mecánico y Eléctrico

**JAÉN – PERÚ
2026**

Nilson Ronny Davila Fernandez

DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA SUMINISTRADA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA OBTENER HOJUELAS ...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3639605354

150 páginas

Fecha de entrega

3 sep 2026, 10:40 a.m. GMT-5

23.035 palabras

Fecha de descarga

3 sep 2026, 10:47 a.m. GMT-5

125.967 caracteres

Nombre del archivo

ONNY_DAVILA_FERNANDEZ_INFORME_-_NILSON_ROMNY_DVILA_FERNNDEZ.pdf

Tamaño del archivo

9.6 MB



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



Dra. Marta Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

6% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 3% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 5% 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.



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día martes 15 de setiembre del 2026, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. Mario Félix Olivera Aldana
Secretario : Mtro. Marco Luis Pérez Silva
Vocal : Mg. Juan Antonio Labrin Romero

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

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

Titulado: **“DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA SUMINISTRADA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA OBTENER HOJUELAS DE POLIETILENO TEREFTALATO”**

Presentado por el bachiller: **Nilson Ronny Davila Fernandez**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

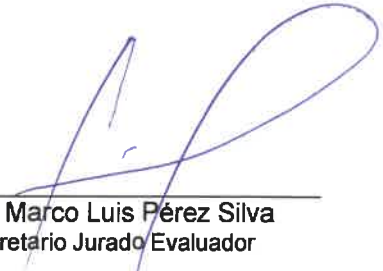
(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

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

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Mg. Mario Félix Olivera Aldana
Presidente Jurado Evaluador


Mtro. Marco Luis Pérez Silva
Secretario Jurado Evaluador


Mg. Juan Antonio Labrin Romero
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, Nilson Ronny Davila Fernandez, 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 75159648.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA SUMINISTRADA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA OBTENER HOJUELAS DE POLIETILENO TEREFALATO”.

Asesorado por Dr. Walter Linder Cabrera Torres.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista

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, 16 de Octubre del 2026.



Nilson Ronny Davila Fernandez
DNI: 75159648

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Problema	9
1.2. Formulación de problema	10
1.3. Antecedentes	10
1.4. Justificación	14
1.5. Objetivos	15
1.5.1. Objetivo general	15
1.5.2. Objetivos específicos.....	15
II. MATERIAL Y MÉTODOS	15
2.1. Objeto de estudio	15
2.2. Ubicación del área de estudio.....	16
2.3. Población, muestra y muestreo.	17
2.3.1. Población	17
2.3.2. Muestra	18
2.3.3. Muestreo.....	18
2.4. Materiales.....	18
2.5. Métodos	19
2.5.1 Tipo, diseño, métodos, enfoque de investigación y técnica e instrumentos de recolección de datos.	19
2.6. Procedimiento metodológico.	20
III. RESULTADOS.....	46
3.1. OE1: Determinar la generación diaria de botellas PET (Kg/día) en la Universidad Nacional de Jaén	46
3.1.1. Cálculo del tamaño de la muestra.....	46
3.1.2. Numero de encuestas por escuela profesional.....	49
3.1.3. Análisis estadístico de las encuestas.....	49
3.1.4. Masa de las botellas PET	53
3.1.5. Generación diaria de botellas PET	53
3.2. OE2: Determinar los parámetros de diseño de la máquina trituradora.....	53
3.2.1. Medidas de las botellas PET.....	53
3.2.2. Diseño de cuchillas trituradoras.....	54
3.2.3. Diseño del eje	57
3.2.4. Diseño de rodamientos.	66
3.2.5. Torque	68
3.2.6. Potencia del motor.....	68
3.2.7. Potencia del reductor	69
3.2.8. Potencia del variador de frecuencia.....	69

3.2.9.	Dimensionamiento de conductores.	69
3.2.10.	Diagrama de fuerza y control.....	71
3.2.11.	Presupuesto de la máquina trituradora	74
3.3.	OE3: Simular la máquina trituradora mediante software SolidWorks.....	76
3.3.1.	Modelado CAD de la máquina trituradora.	76
3.3.2.	Simulación CAE de la máquina trituradora.....	78
3.4.	OE4: Dimensionar el sistema fotovoltaico	86
3.4.1.	Área geográfica de estudio.	86
3.4.2.	Ángulo de inclinación de paneles solares.	86
3.4.3.	Orientación de paneles solares.	87
3.4.4.	Recurso Solar.....	87
3.4.5.	Hora pico solar	88
3.4.6.	Energía consumida diaria.....	88
3.4.7.	Factor de rendimiento global.	90
3.4.8.	Cálculo del consumo real (incluye pérdidas).	90
3.4.9.	Tensión nominal del sistema fotovoltaico.....	90
3.4.10.	Paneles solares.	90
3.4.11.	Sistema de almacenamiento.....	91
3.4.12.	Sistema de regulación.....	92
3.4.13.	Sistema de inversor (DC-AC).....	92
3.4.14.	Dimensionamiento de conductores.	92
3.4.15.	Presupuesto del sistema fotovoltaico	94
IV.	DISCUSION.....	95
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
5.1	Conclusiones	96
5.2	Recomendaciones.....	97
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
VII.	ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Total de consumo de botellas pet por día entre los estudiantes de la UNJ.....	49
Tabla 2	Tipo de bebida más consumida dentro de la UNJ.....	50
Tabla 3	Consumo con mayor frecuencia del tamaño de botellas pet	51
Tabla 4	Frecuencia de reutilización de botellas PET	52
Tabla 5	Características dimensionales de la botella PET	54
Tabla 6	Características del reductor ortogonal tipo E-K.....	69
Tabla 7	Precios total de la máquina trituradora.....	74
Tabla 8	Precio total del tablero eléctrico.....	75
Tabla 9	Presupuesto total de la máquina trituradora y tablero eléctrico	75
Tabla 10	Piezas de la máquina trituradora	77
Tabla 11	Promedio de irradiación solar de la UNJ para un ángulo de 15°	87
Tabla 12	Hora pico solar	88
Tabla 13	Potencia instalada.....	89
Tabla 14	Energía requerida por día (Wh/día).....	89
Tabla 15	Tensión nominal del sistema fotovoltaico.....	90
Tabla 16	Caída de tensión por tramo del sistema fotovoltaico.....	93
Tabla 17	Precios de los equipos del sistema fotovoltaico	94
Tabla 18	Tabla de conductores del sistema fotovoltaico.....	116
Tabla 18	Tabla de conductores del sistema fotovoltaico.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Departamento de Cajamarca	16
Figura 2	Provincia de Jaén	16
Figura 3	Universidad Nacional de Jaén.....	17
Figura 4	Botella PET de 625 ml.....	23
Figura 5	Medida del espesor del pico de la botella PET	24
Figura 6	Medición del espesor de la botella PET	25
Figura 7	Medición de la altura de la botella PET	25
Figura 8	Medición del diámetro de la botella PET	26
Figura 9	Medición del diámetro de pico de la botella PET	26
Figura 10	Propiedades mecánicas de la botella PET	27
Figura 11	Eje de la máquina trituradora	28
Figura 12	Peso de la cuchilla trituradora	29
Figura 13	Peso del separador	29
Figura 14	Factor a	32
Figura 15	Factor de tamaño Kb.....	32
Figura 16	Factor de carga Kc	32
Figura 17	Factor de temperatura Kd.....	33
Figura 18	Factor de confiabilidad Ke.....	34
Figura 19	Latitud y longitud del lugar de estudio	40
Figura 20	Ángulos de inclinación de paneles solares.....	40
Figura 21	Orientaciones del panel solar	41
Figura 22	Distribución normal estándar	48
Figura 23	Distribución de estudiantes según consumo diario de botellas PET en la UNJ.....	50
Figura 24	Tipos de bebida más consumida por los estudiantes dentro del campus	51
Figura 25	Frecuencia de consumo según el tamaño de botella PET.....	52
Figura 26	Nivel de reutilización de botellas PET antes de su disposición final	53
Figura 27	Botella PET de 625ml.....	54
Figura 28	Ángulos de corte para PET	55
Figura 29	Ángulos óptimos de corte	56
Figura 30	Representación del proceso de corte entre la cuchilla trituradora respecto a la botella PET	56
Figura 31	Diagrama de cuerpo libre del eje de la máquina trituradora.....	58
Figura 32	Diagrama de fuerza cortante (N).....	59
Figura 33	Diagrama de momento flector (N.m).....	60
Figura 34	Eje redondo con filete en el hombro en torsión	62
Figura 35	Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa	63
Figura 35	Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa	63
Figura 36	Eje redondo con filete en el hombro en flexión	64
Figura 37	Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a flexión inversa.....	65
Figura 38	Duración recomendada para rodamientos	67
Figura 39	Factor por velocidad y duración de rodamiento de bolas.....	67
Figura 40	Diagrama de fuerza	72
Figura 41	Diagrama de control.....	73
Figura 42	Modelo 3D de máquina trituradora	76
Figura 43	Vista explosionada de máquina trituradora	77
Figura 44	Cuchilla trituradora	78
Figura 45	Esfuerzos equivalentes de Von Mises en la cuchilla trituradora ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 46	Desplazamiento total obtenido en la cuchilla trituradora	¡Error! Marcador no definido.
Figura 47	Deformación unitaria equivalente (ϵ) en la cuchilla trituradora ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 48	Factor de seguridad obtenido en la cuchilla trituradora	¡Error! Marcador no definido.
Figura 49	Eje de la máquina trituradora	¡Error! Marcador no definido.
Figura 50	Análisis de tensión de Von Mises en el eje	¡Error! Marcador no definido.
Figura 51	Simulación del desplazamiento del eje	82

Figura 52 Simulación de la deformación unitaria del eje	83
Figura 53 Simulación del factor de seguridad del eje.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 54 Simulación de Von mises en estructura metálica	¡Error! Marcador no definido.
Figura 55 Simulación de desplazamiento de estructura metálica	¡Error! Marcador no definido.
Figura 56 Simulación de deformación unitaria de estructura metálica.....	85
Figura 57 Simulación del factor de seguridad de estructura metálica	¡Error! Marcador no definido.
Figura 58 Ángulo de inclinación de paneles solares	87
Figura 59 Promedio de irradiación solar diario (2019-2023) en la Universidad Nacional de Jaén	88
Figura 60	103
Figura 61	104
Figura 62 Cuestionario	¡Error! Marcador no definido.
Figura 63 Peso en gramos de botella PET.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 64 Rodamiento rígidos.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 65 Motor trifásico.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 66 Reductor.....	109
Figura 67 Variador de frecuencia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 68 Conductores de la máquina trituradora.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 69 Ficha técnica del Panel solar	112
Figura 70 Ficha técnica de baterías	113
Figura 72 Ficha técnica del inversor.....	115
Figura 73 Amperaje de fusibles.....	116

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo el diseñar una máquina trituradora suministrada con energía solar fotovoltaica para obtener hojuelas de polietileno tereftalato. Esta investigación se realizó debido a que, en el año 2023, la acumulación de botellas de polietileno tereftalato (PET) en la Universidad Nacional de Jaén (UNJ) se ha incrementado de manera significativa en comparación con años anteriores, convirtiéndose en un problema creciente en la gestión de residuos sólidos dentro del campus universitario. La metodología fue de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo y con diseño no experimental. El diseño contempla un conjunto triturador conformado por 15 cuchillas y 16 separadores, montados sobre un eje de 670 mm de longitud y 52 mm de diámetro, soportado por 2 chumaceras con rodamientos de 35 mm, capaz de soportar una fuerza por cuchilla de 2362.815 N y un torque del sistema de 117.211 N·m, siendo accionado por un motor eléctrico de 2 HP acoplado a un reductor de 30 rpm. El desempeño estructural fue verificado mediante simulaciones de esfuerzos y factores de seguridad en SolidWorks, obteniéndose resultados dentro de límites admisibles. El sistema energético se dimensionó con 4 paneles solares de 461.16 W, una batería de 48 V – 200 Ah, regulador de carga 150 V – 45 A, inversor de 4000 W, conductores eléctricos de 6 m (6 mm²), 2 m (6 mm²) y 2 m (10 mm²), además de 2 estructuras metálicas para los paneles, garantizando el suministro estable de energía. Los resultados confirman que el sistema propuesto es técnica y energéticamente factible, contribuyendo al aprovechamiento de residuos sólidos y al uso de energías renovables como una alternativa sostenible y replicable. Se llegó a la conclusión que a través de la estadística se determinó la cantidad diaria de botellas plásticas de polietileno tereftalato generadas en la población de estudio (2157 estudiantes). Inicialmente se realizó una encuesta piloto aleatoria a 20 personas, a partir de la cual se estimó el tamaño de muestra, obteniéndose posteriormente un total de 266 encuestas aplicadas a estudiantes. Con base en los resultados obtenidos, se estableció un consumo promedio de 322 botellas plásticas por día. Asimismo, considerando el peso promedio por botella, se determinó que la cantidad de material a triturar corresponde aproximadamente a 6.4 kg/día. Estos resultados evidencian la presencia significativa de residuos plásticos PET, lo que justifica el diseño y simulación de una máquina trituradora orientada a su aprovechamiento.

Palabras clave: máquina trituradora, energía solar fotovoltaica, diseño mecánico, simulación, residuos sólidos, botellas PET.

ABSTRACT

This research aimed to design a solar-powered (photovoltaic) shredding machine to produce polyethylene terephthalate (PET) flakes. The study was prompted by the significant increase in the accumulation of PET bottles at the National University of Jaén (UNJ) in 2023 compared to previous years, which has become a growing solid waste management issue on campus. The research employed an applied methodology with a quantitative approach and a non-experimental design. The design features a shredding assembly consisting of 15 blades and 16 spacers mounted on a shaft (670 mm long, 52 mm in diameter) supported by two pillow block bearings (35 mm); the assembly is capable of withstanding a force of 2,362.815 N per blade and a system torque of 117.211 N·m, driven by a 2 HP electric motor coupled to a 30 rpm gear reducer. Structural performance was verified through stress and safety factor simulations in SolidWorks, yielding results within permissible limits. The energy system was sized using four 461.16 W solar panels, a 48 V–200 Ah battery, a 150 V–45 A charge controller, a 4,000 W inverter, electrical conductors (6 m of 6 mm², 2 m of 6 mm², and 2 m of 10 mm²), and two metal mounting structures for the panels, ensuring a stable power supply. The results confirm that the proposed system is technically and energetically feasible, contributing to solid waste utilization and the use of renewable energy as a sustainable, replicable alternative. Statistical analysis was used to calculate the daily quantity of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottles generated by the study population (2,157 students). Initially, a random pilot survey of 20 people was conducted to estimate the sample size, ultimately resulting in a total of 266 surveys administered to students. Based on the results, the average consumption was determined to be 322 plastic bottles per day. Furthermore, considering the average weight per bottle, the amount of material to be shredded is estimated at approximately 6.4 kg/day. These results demonstrate a significant presence of PET plastic waste, justifying the design and simulation of a shredding machine intended for its recovery and utilization.

Keywords: shredding machine, solar photovoltaic energy, mechanical design, simulation, solid waste, PET bottles.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

En los últimos años, en el país de Argentina, se ha registrado que se llega a producir alrededor de 200 000 toneladas de botellas PET anualmente, de las cuales solo se reciclan aproximadamente 70 000 toneladas que representan un 30%. Además, en dicho país mencionado, se produce cada año, un aproximado de 14 000 000 de grandes cantidades de residuos sólidos, y dentro de ese total, el 14% corresponde a un cierto material específico, principalmente PVC y PET. Esta situación contribuye significativamente a la contaminación ambiental, ya que el PET es un material de lenta degradación que permanece en el ambiente durante décadas, afectando suelos, cursos de agua y la biodiversidad. La acumulación de botellas PET incrementa además el volumen total de residuos sólidos que en el país alcanza los 14 millones de toneladas al año agravando los problemas asociados a la gestión de desechos y la presión sobre los sistemas de disposición final (Ensinck, 2017).

Según Olivera Corrales (2017), menciona que “En la ciudad de Lima, se ha registrado un consumo masivo de diversos productos elaborados de material PET, ya que diariamente se llegan a eliminar un aproximado de 430 000 Kg de PET, en las ciudades de Lima y Callao. Sin embargo, solamente se recicla entre el 40% y 60%. Además, las botellas PET, tardan aproximadamente 700 años en descomponerse”.

Además, Alberca Saavedra (2020), menciona que “Se ha propuesto la creación de una red destinada a la recopilación de residuos sólidos fabricados con PET. Esto surge como respuesta al preocupante aumento en la generación de desechos en nuestra capital (Lima). Este incremento, originado por la falta de conciencia ambiental y una deficiente administración por parte de las autoridades pertinentes, conlleva a la descarga diaria de más de 9 mil toneladas en los ya escasos y saturados vertederos”.

En el año 2023, la acumulación de botellas de polietileno tereftalato (PET) en la Universidad Nacional de Jaén (UNJ) se ha incrementado de manera significativa en comparación con años anteriores, convirtiéndose en un problema creciente en la gestión de residuos sólidos dentro del campus universitario. Este aumento está asociado al elevado consumo de bebidas en envases plásticos por parte de la comunidad estudiantil, lo que genera grandes volúmenes de desechos. Como consecuencia, se evidencia un impacto negativo significativo en el medio ambiente y en la calidad de vida dentro de la comunidad educativa.

1.2. Formulación de problema

¿Cómo diseñar una máquina trituradora suministrada con energía solar fotovoltaica, que permita obtener hojuelas de polietileno tereftalato?

1.3. Antecedentes

Hidalgo Sánchez (2020), realizó su tesis de pregrado titulada “Diseño de una máquina trituradora de plástico para la comunidad de Limoncocha, provincia de Sucumbíos-Ecuador”. En la metodología de la investigación se adoptó como metodología la matriz QFD, la cual permitió reunir información fundamental que se aplicó en la definición del diseño apropiado. Como resultados obtuvieron, que, a partir de esta base, los investigadores lograron diseñar y simular la máquina propuesta en el estudio. Entre los resultados obtuvo, que, la botella a triturar es de 500ml, además en los cálculos realizados se obtuvo que el valor de la fuerza de la cuchilla es de 1807 N, el motor tiene una potencia de 4HP, además se eligieron 3 bandas, el diámetro del eje tiene un valor de 40mm, eligió rodamientos de 35mm de diámetro, además se realizó la simulación de esfuerzos de los elementos más críticos que componen la máquina que son la estructura y el eje que sostiene las cuchillas para comprobar el correcto funcionamiento cuando el conjunto está sometido a las distintas cargas. Concluyó que el diseño de la máquina es adecuado, dado que permitirá triturar grandes volúmenes de PET, considerando que en la comunidad analizada se desechan en promedio 334,74 kg diarios.

Esta tesis, tiene bastante relación con la investigación que se propone realizar, porque se va a realizar cálculos de diseño de la máquina trituradora, además que se realizó un cuestionario para poder determinar la cantidad de botellas PET que va a triturar la máquina. Además, en la tesis se realizó el CAD/CAE de la máquina trituradora, para así poder ver el diseño en 3D en el software SolidWorks, y también se realizó la simulación, porque esto ayuda a identificar posibles fallos, mejorar la eficiencia del diseño, y asegurar que el equipo cumpla con los estándares de seguridad y rendimiento requeridos, garantizando así un producto final más fiable y eficaz. El aporte de esta tesis, se da en las diversas opciones para la función de triturar plástico, detallando las alternativas disponibles y seleccionando la más apropiada, para poder realizar un corte efectivo, además de las encuestas que se realizó, y la simulación de la máquina trituradora en el software SolidWorks.

Caviedes Aguirre (2020) realizó su tesis de pregrado titulada “Diseño de una máquina trituradora para plástico PET”. En la metodología que utilizó, se llevó a cabo una investigación sobre el proceso de trituración de botellas plásticas de PET, lo que permitió obtener una visión general de los desafíos asociados a este material. Posteriormente, se recopiló información de

pequeñas y medianas empresas de reciclaje con el fin de establecer los parámetros y requisitos bajo los cuales operaría la máquina. Luego se llevó a cabo una investigación que facilitó la identificación de las tecnologías actuales empleadas en la trituración del PET. Con esta información, se evaluaron varias alternativas, lo que permitió seleccionar uno de los subsistemas de la máquina, asegurando que cumpliera con los parámetros previamente establecidos. Como resultados obtuvo que la fuerza necesaria de corte es de 1600 N, esta fuerza es aceptable para que corte botellas de 2L, el valor de inercia del volante es de $0.41 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, la potencia del motor es de 3 HP, se diseñó el eje con sus respectivas chumaceras y cuñas, se seleccionó para el sistema de transmisión 2 bandas, se diseñó la criba que viene a ser un componente esencial porque es de vital importancia para la selección del tamaño de botellas PET y tiene agujeros de 12.5mm, además de diseñar la tolva y la estructura base que va a sostener a la máquina trituradora, finalmente se realizó los cálculos para el tornillo sin fin, la cual tiene una capacidad de 1.4 m^3 , la potencia es de 0.1 Kw. Una vez obtenido los cálculos para el diseño, se realiza el CAD de la máquina trituradora, y posteriormente la simulación (CAE), en este caso para la simulación se utilizó el software Solid Edge, para el respectivo análisis de elementos finitos y así poder asegurarse de que los desplazamientos y deformaciones en la estructura no impacten negativamente al equipo de manera significativa, en este caso el valor del factor de seguridad de la estructura es de 53, lo que garantiza una alta confiabilidad, además se obtuvo un desplazamiento máximo de 0,0314 mm y también muestra una tensión máxima de 4.92 MPa, que se mantiene dentro del límite de elasticidad del material, cumpliendo con el factor de seguridad establecido. Llegó a la conclusión que se evaluaron diferentes alternativas para el subsistema de corte y así mismo seleccionar la más adecuada para el diseño.

Esta tesis tiene bastante similitud en los cálculos que se van a realizar en la presente investigación, para poder diseñar la máquina trituradora. La diferencia que se encontró, fue en el uso del software, porque en esta tesis se menciona que se eligió el software Solid Edge, para realizar el diseño y simulación de la máquina trituradora, además que se utilizó un tornillo sin fin, como un elemento de la máquina trituradora. Esta tesis aporta el análisis del subsistema de corte para evaluar cada una de las cuchillas empleadas en este proceso, y así garantizar un corte eficiente de las botellas PET y también de los cálculos realizados para el diseño de la máquina.

Capelo y Velasco (2021), realizó su tesis de pregrado titulada “Diseño de una máquina trituradora de plástico para el sector rural Punta la Piedra”. En la metodología que utilizaron, mencionaron que realizaron entrevistas a los comuneros para determinar un flujo aproximado de botellas PET a triturar, también se logró la identificación de los plásticos más habituales,

para luego poder seleccionar el que presenta mayor índice de reciclaje, lo cual resulta esencial para determinar de forma correcta el diseño de la trituradora que posteriormente será modelada y simulada en un software. También, se observaron alternativas de diseño de ejes, cribas y sistema de transmisión. Como resultados obtuvieron, que la fuerza de corte es de 1920 N y tiene un torque de 254.4 N.m, el diámetro del eje va a tener un valor de 40 mm, la potencia del motor es de 3 HP, además con los cálculos realizados, se seleccionaron 4 poleas, 2 bandas, 4 rodamientos, 4 chavetas, también se realizaron cálculos para obtener las dimensiones de la tolva, y se seleccionaron 5 pernos que se colocaran a lo largo de la caja de trituración. En el software en donde se realizó la simulación, en este caso el Ansys, para la cuchilla de Móvil AISI D2, se obtuvo que el máximo esfuerzo equivalente de Von Mises le corresponde a 52.78 MPa, para las cuchillas fijas de material acero A36, va a soportar un esfuerzo máximo de 16.4 MPa, lo que demuestra que puede resistir las fuerzas aplicadas, y su factor de seguridad es 15, logrando tener un correcto funcionamiento. La estructura en la simulación soporto un esfuerzo máximo de Von Mises de 78 MPa y el mínimo es de 0.28 MPa, y la deformación es mínima, alcanzando un valor de 7.24×10^{-5} m, lo que asegura que la superficie de trabajo se mantenga estable. Concluyeron que la máquina fue diseñada con un motor de 3 HP y utiliza un sistema de bandas y poleas para transferir la potencia, generando el torque necesario en el eje de trituración para cortar el plástico mediante las cuchillas. Su capacidad de triturado es de aproximadamente 40 kg/h de PET.

Esta tesis tiene relación en los cálculos para diseñar la máquina trituradora, además y además en la realización de las encuestas para determinar la cantidad de botellas PET, que va a triturar la máquina. La diferencia está en el uso del software, porque en esta tesis utilizaron el software ANSYS para realizar la simulación y el software INVENTOR para el diseño en 3D de la máquina trituradora y sus respectivos planos mecánicos. El aporte de esta tesis, está en los elementos que van a constituir la maquina trituradora, además del análisis de la simulación.

Chavez Tantarico (2021), en su tesis de pregrado titulada “Diseño de una trituradora actuada por sistema fotovoltaico para eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo”. La metodología que se empleó, consistió en el diseño de una máquina capaz de triturar material PET, utilizando como herramienta principal la matriz morfológica, complementada con una matriz de decisión y el software SolidWorks. Este procedimiento busca garantizar una gestión adecuada de los residuos plásticos dentro de la Universidad, aprovechando además la radiación solar mediante paneles fotovoltaicos. Para determinar la capacidad de la máquina, se aplicaron encuestas a 378 estudiantes, cuyos resultados estadísticos permitieron establecer un promedio de consumo de botellas PET y, en

consecuencia, definir que la trituradora podrá procesar 30 kg de material diariamente. Cada uno de los componentes de la máquina fue diseñado y simulado en SolidWorks, con el fin de analizar los esfuerzos mecánicos y asegurar su óptimo desempeño, complementándose con cálculos específicos para seleccionar las piezas más adecuadas. La fuerza de corte de las cuchillas tiene un valor de 134,9 N, la energía necesaria es de 0,0987 HP h/kg, la potencia de corte tiene un valor de 2.65 HP, el motor tiene una potencia de 3HP, además la velocidad de las poleas es de 703 rpm, se seleccionaron 2 fajas, además en los cálculos realizados se determinó la potencia de transmisión por engranajes, que tiene un valor de 15.8 HP, el diámetro del eje es de 39.3 mm. Asimismo, la radiación solar disponible en la ciudad donde se ubica la universidad resultó un factor determinante para la selección de los componentes del sistema fotovoltaico.

La irradiación solar registrada fue de 2,5 kWh/m² y, a partir de los cálculos realizados, se definió la instalación de 9 paneles fotovoltaicos, 6 baterías, 3 reguladores, un inversor, los cables conductores necesarios y 3 estructuras de soporte para los paneles. El análisis económico evidenció que el proyecto es viable, ya que la inversión estimada asciende a S/ 31 093,76, con un periodo de recuperación aproximado de 4 años. Se concluyó que la máquina diseñada requiere una potencia de accionamiento de 3 HP, menor a la de equipos similares en el mercado (5 HP). El sistema fotovoltaico finalmente quedó conformado por 9 paneles de 320 W cada uno, 6 baterías de 260 Ah, 3 reguladores de 30 A, un inversor de 2400 W, 3 estructuras de aluminio para los paneles y cables de calibres 1, 4 y 12 AWG.

Esta tesis tiene bastante similitud porque se van a usar cálculos de diseño, para lograr un buen dimensionamiento de la máquina trituradora y del sistema fotovoltaico, Esta tesis tiene bastante aporte porque en la investigación que se pretende realizar, se va a usar el software SolidWorks para realizar el CAD/CAE de la máquina trituradora, el uso de la estadística para poder determinar la cantidad de estudiantes a encuestar y además de la elaboración de un cuestionario para entrevistar a los estudiantes y así poder determinar la capacidad de botellas que va a triturar la máquina

Jara (2023) realizó su tesis de pregrado titulada “Diseño de trituradora 10 ton/día alimentado por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET”. En la metodología que empleó para analizar la irradiación solar en el norte del Perú, se utilizó el software RETScreen. En cuanto al diseño de la máquina trituradora, este se llevó a cabo mediante el uso de una matriz morfológica y una matriz de ponderación, complementándose con el empleo de SolidWorks para el desarrollo del CAD y el CAE. Como resultados obtuvo que la fuerza de corte es de 1662.5 N, el volumen de la botella es de 3L, además mediante

cálculos se seleccionó 2 bandas y el motor tiene una potencia de 4hp, el diámetro del eje de la máquina trituradora es de 65mm, la carga del rodamiento es de $C_{10} = 39.877 \text{ KN}$. Respecto al sistema fotovoltaico, la irradiación solar fue de 5.38 kWh/m^2 , la inclinación de los paneles solares es de 15° , se seleccionó 20 baterías con capacidad de 300 Ah, regulador de 97.22 A, inversor de 3 314,22 W. Luego se realizó el CAD de los componentes que conforman la máquina trituradora, y finalmente el CAE, en donde se realizó la simulación en el software SolidWorks. Llegó a la conclusión que se realizó el dimensionamiento del sistema fotovoltaico que se conectará a la máquina trituradora empleando fórmulas matemáticas. Posteriormente, los resultados fueron validados mediante el software PVsyst, obteniéndose que el 74 % de la energía generada se destinará al consumo directo, mientras que el 26 % restante será almacenado en el banco de baterías.

Esta tesis tiene relación en los cálculos de diseño de la máquina trituradora y del sistema fotovoltaico, además del uso de software SolidWorks. La diferencia está en el uso del software RETScreen, el cual se utilizó para evaluar la irradiación solar. Esta tesis tiene bastante aporte porque en la investigación que se pretende realizar, se va a usar softwares como el SolidWorks para realizar el CAD/CAE de la máquina trituradora.

1.4. Justificación

En esta investigación se va a diseñar la máquina trituradora suministrada con energía solar fotovoltaica, para contribuir a la eficiencia en el manejo del reciclaje, además de disminuir la contaminación ambiental de botellas PET dentro de la UNJ.

La utilidad que tuvo la investigación fue que, al triturar las botellas plásticas, se facilitó su posterior reciclaje. Además, al ser suministrada con energía solar fotovoltaica, la máquina trituradora aprovechó una fuente de energía limpia.

Esta investigación fue técnicamente justificable porque permitió diseñar un sistema mecánico capaz de triturar botellas PET utilizando una fuente de energía renovable, contribuyendo a la reducción del volumen de residuos, mejorando la eficiencia del reciclaje y disminuyendo la dependencia de fuentes de energía convencionales.

En la justificación social, esta investigación buscó contribuir de manera exitosa a la concientización entre los estudiantes de la UNJ, sobre la importancia del proceso de trituración y también del reciclaje, debido a que una inadecuada manipulación de los residuos, específicamente de las botellas PET, conllevó a problemas de contaminación. Además, mediante el proceso de trituración se obtuvieron hojuelas de polietileno tereftalato (PET).

En la justificación ambiental, la investigación propuesta fue importante, porque la

máquina trituradora convirtió las botellas PET en hojuelas de polietileno tereftalato, mediante el proceso de trituración, reduciendo, de esta manera la contaminación dentro de la UNJ. Asimismo, la investigación promovió el uso de energías renovables, ya que la máquina trituradora fue suministrada con energía solar fotovoltaica, contribuyendo así a la disminución de la contaminación ambiental.

En la justificación económica, la investigación se fundamentó en el potencial aprovechamiento de las hojuelas de polietileno tereftalato (PET) obtenidas durante el proceso de trituración, las cuales podrían comercializarse como materia prima para empresas del sector del reciclaje y ser utilizadas en la fabricación de diversos productos elaborados con material PET. Asimismo, la propuesta promovió los principios de la economía circular al plantear la valorización y reutilización de los residuos plásticos, contribuyendo potencialmente a la reducción de costos asociados con la gestión de estos residuos y al aprovechamiento de materiales reciclables.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar una máquina trituradora suministrada con energía solar fotovoltaica para obtener hojuelas de polietileno tereftalato.

1.5.2. Objetivos específicos

OE1: Determinar la generación diaria de botellas PET (Kg/día) en la Universidad Nacional de Jaén.

OE2: Determinar los parámetros de diseño de la máquina trituradora.

OE3: Simular la máquina trituradora mediante software SolidWorks.

OE4: Dimensionar el sistema fotovoltaico.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Objeto de estudio

El objeto de estudio realizado se enfocó en el diseño de una máquina trituradora de botellas PET, suministrada mediante energía solar fotovoltaica, para la obtención de hojuelas de polietileno tereftalato, tomando como referencia la generación diaria de botellas PET en la Universidad Nacional de Jaén y la irradiación solar que se genera en Jaén-Cajamarca-Perú, con la finalidad de establecer los parámetros mecánicos y energéticos necesarios para un diseño técnicamente viable.

2.2. Ubicación del área de estudio.

Esta investigación se realizó en la Universidad Nacional de Jaén.

Ubicación:

Departamento: Cajamarca.

Provincia: Jaén.

Dirección: Carretera Jaén - San Ignacio KM 24 - Sect. Yanuyacu – Jaén

Coordenadas UTM: 17M 746297.89 m E; 9372385.49 m S.

Figura 1

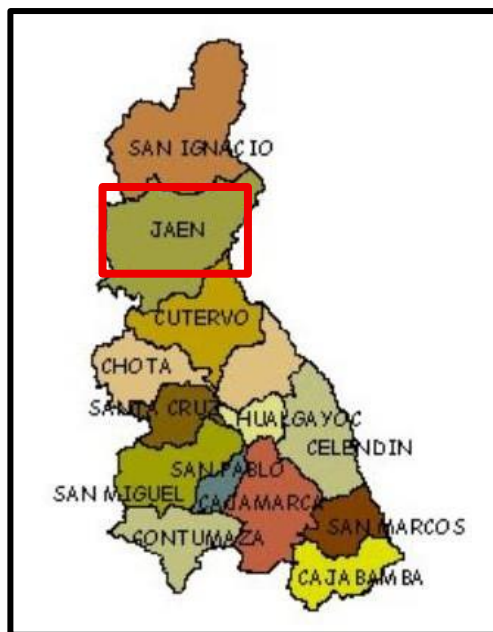
Departamento de Cajamarca



Nota: Ubicación de la UNJ, a nivel departamental. Fuente: (Perú Servicios Turísticos, s.f.)

Figura 2

Provincia de Jaén



Nota: Ubicación de la UNJ, a nivel provincial. Fuente: (Hugosies, 2012)

Figura 3

Universidad Nacional de Jaén



Fuente: (Universidad Nacional de Jaén, 2025)

2.3. Población, muestra y muestreo.

2.3.1. Población

La población de estudio se constituyó por los estudiantes de la UNJ, considerando específicamente a los matriculados en el semestre 2023-1, cuyo total asciende a 2157 estudiantes (ver Anexo A).

2.3.2. Muestra

La muestra es una parte de la población. En este caso la muestra se determinó a través de la estadística.

2.3.3. Muestreo

El tipo de muestreo que se utilizó fue, probabilístico aleatorio simple, dado que la selección de los individuos de la población se realizó de forma aleatoria, garantizando que cada miembro tenga la misma probabilidad de ser elegido.

2.4. Materiales

a. SolidWorks

Este software facilitó tanto el diseño como la simulación de la máquina trituradora. En donde en el CAD, permitió crear el modelo 3D de la máquina trituradora y el sistema fotovoltaico, además se logró realizar los planos 2D de las piezas y ensamblajes con gran precisión, y en el CAE, se realizó los análisis y simulaciones avanzadas de la máquina.

La versión que se utilizó del software fue de prueba gratuita, esta versión únicamente está disponible en línea.

b. Celular

En el marco de la presente investigación, este equipo se utilizó como instrumento complementario para el registro fotográfico durante la aplicación de las encuestas a los estudiantes de la UNJ, a fin de contar con evidencia visual del proceso de recolección de datos.

c. Cuestionario

Un cuestionario es un conjunto de preguntas estructuradas que se utilizó para recolectar datos sobre un tema específico de los encuestados. Sirvió como base para estructurar y organizar las preguntas aplicadas a los estudiantes de la UNJ, con el propósito de identificar el nivel de consumo de botellas PET.

d. Vernier

Un calibrador Vernier es un instrumento de medición de gran exactitud, que fue empleado para determinar dimensiones lineales internas, externas y profundidades en piezas de pequeño tamaño. En este caso, se utilizó para efectuar las mediciones de las botellas PET.

e. Cade Simu

Es un software que permitió diseñar diagramas de fuerza y control.

2.5. Métodos

2.5.1 Tipo, diseño, métodos, enfoque de investigación y técnica e instrumentos de recolección de datos.

2.5.1.1 Tipo de investigación

Esta investigación se consideró aplicada, porque emplea conocimientos de ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica y sistemas fotovoltaicos para diseñar una máquina capaz de operar mediante energía solar. Su finalidad es resolver un problema práctico mediante el desarrollo de una solución tecnológica, contribuyendo a mejorar la eficiencia energética y reducir la dependencia de fuentes convencionales de electricidad. Arias (2020), menciona que “Este tipo de investigación se abastece por el tipo básico o puro, ya que mediante la teoría se encarga de resolver problemas prácticos, se basa en los hallazgos, descubrimientos y soluciones que se planteó en el objetivo del estudio, normalmente este tipo de investigación se utiliza en la medicina o ingenierías”.

2.5.1.2 Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es no experimental, porque se enfocó en el desarrollo teórico y la simulación del diseño de la máquina trituradora, sin realizar experimentos físicos o pruebas directas. Según Arias (2020), menciona que “Este diseño recoge los datos en un solo momento y solo una vez. Es como tomar una foto o una radiografía para luego describirlas en la investigación, pueden tener alcances exploratorios, descriptivos y correlaciones”.

2.5.1.3 Métodos de investigación

a. Método inductivo

El método de investigación es inductivo, porque a partir de las encuestas que se realizó a los estudiantes de la UNJ, se obtuvo el consumo de botellas PET diario, y en base a esta información se determinó la capacidad que va a triturar la dicha máquina. Bernal (2010) menciona que “Este tipo de método, empieza desde acontecimientos de forma particular, hasta llegar a conclusiones generales. Quiere decir que parte desde lo específico hasta llegar a los más grande”

b. Método deductivo

El método de investigación, que se utilizó, fue de carácter analítico, ya que se realizó la simulación y el estudio detallado de los componentes de la máquina trituradora mediante el software SolidWorks CAE. De acuerdo con Bernal (2010), este método consistió en examinar de forma minuciosa cada una de las partes que conforman un sistema con el fin de comprenderlo en su totalidad.

2.5.1.4 Enfoque de investigación

a. Enfoque cuantitativo

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con la generación diaria de residuos de polietileno tereftalato (PET) dentro de la UNJ. A través de herramientas estadísticas se determinó la generación diaria de botellas de PET recolectado, con el fin de dimensionar adecuadamente el diseño de la máquina trituradora.

2.5.1.5 Técnicas e instrumentación de recolección de datos

a. Técnicas

a.1. Encuesta

Se realizó la encuesta a los estudiantes de la UNJ. Según Universidad Veracruzana (s.f.) menciona que “La encuesta es un método utilizado para recabar información entre la población”.

b. Instrumentos de recolección de datos.

b.1 Cuestionario

En el cuestionario se elaboró un conjunto de preguntas de manera ordenada. Según Universidad Veracruzana (s.f.) menciona que “Un cuestionario es un instrumento de recolección de datos a través de una serie de preguntas que tienen el fin de recopilar información de los participantes en el estudio”.

2.6. Procedimiento metodológico.

A continuación, se detallará paso a paso el procedimiento que se siguió para alcanzar los objetivos específicos:

OE1: Determinar la generación diaria de botellas PET (Kg/día) en la Universidad Nacional de Jaén.

Paso 1: Definir el tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra corresponde al número de unidades de análisis seleccionadas de una población para obtener información representativa que permita realizar inferencias sobre ella

a. Cálculo de la media muestral.

Se calculó la media muestral con la siguiente ecuación.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n}$$

Donde:

$\bar{X}$ = Media muestral.

n = Número de encuestados de la muestra piloto.

$\sum_i^p X_i$ = Total, del consumo diario (botellas PET por día), entre los estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén.

b. Cálculo de la desviación estándar.

Se calculó la desviación estándar con la siguiente ecuación.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S = Desviación estándar.

X_i = Consumo diario (botellas PET por día) de cada uno de los estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén encuestadas en la muestra piloto.

$\bar{X}$ = Media muestral de las personas encuestadas de la muestra piloto.

n = Número de encuestados de la muestra piloto

c. Determinamos si la población es homogénea o heterogénea.

La homogeneidad o heterogeneidad de la muestra se determinó mediante el coeficiente de variación, el cual relaciona la desviación estándar con la media muestral.

Homogeneidad o heterogeneidad de la muestra = $\frac{S}{\bar{X}}$

Donde:

S = desviación estándar

$\bar{X}$ = Media muestral de las personas encuestadas de la muestra piloto

Además:

$\frac{S}{\bar{X}} \leq 30\%$: Población (homogénea) pequeña

$30\% < \frac{S}{\bar{X}} < 60\%$: Población (heterogénea) grande

$\frac{S}{\bar{X}} > 60\%$: Población (heterogénea) grande. Se recomienda una muestra piloto mayor

d. Definimos el error de estimación.

Es el margen máximo de error permitido.

$$E = \text{error de estimación.}$$

e. Definimos el nivel de confianza.

Según Marco Sanjuán (2024), indica que “El nivel de confianza representa la probabilidad de que el valor verdadero de una característica de la población se encuentre dentro del intervalo estimado a partir de una muestra”.

f. Nivel de significancia.

Según EUPATI (s.f.), menciona que “El nivel de significación (o nivel de α) es un umbral que permite determinar si el resultado de un estudio se puede considerar estadísticamente significativo después de realizar las pruebas estadísticas planificadas. El nivel de significación se suele establecer en un 5% (o 0,05), aunque se pueden usar otros niveles en función del estudio”.

$$1 - \alpha = \text{nivel de confianza}$$

Donde:

α =nivel de significancia.

g. Determinamos el valor de Z.

Según Gisbert Juárez, (s.f.), menciona que “La puntuación Z, o puntaje Z, es una puntuación estadística que indica a cuántas desviaciones estándar de la media se encuentra un valor”.

$$Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = \text{valor de Z}$$

Donde:

α = nivel de significancia.

h. Tamaño de la muestra.

La ecuación aplicada, se utilizó cuando la población es finita. El tamaño de muestra sirvió para poder determinar la cantidad de estudiantes a encuestar.

$$n = \frac{S^2}{\frac{E^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N}}$$

Donde:

N = Tamaño de la muestra.

S = Desviación estándar.

E = Error de estimación.

Z = Nivel de confianza.

Paso 2: Número de encuestas por escuela profesional.

Las encuestas realizadas, permitieron saber el número de encuestados por escuela profesional, a través de la siguiente ecuación.

$$\text{Escuela Profesional} = \frac{\text{Nº de estudiantes matriculados por carrera}}{\text{Total de alumnos matriculados}} * \text{cantidad de encuestas}$$

Paso 3: Análisis estadístico de las encuestas.

Consistió en la organización, procesamiento e interpretación de los datos obtenidos mediante las encuestas, empleando técnicas de estadística descriptiva para resumir y presentar la información a través de tablas, gráficos y medidas estadísticas, lo que permitió facilitar el análisis y la interpretación de los resultados.

Paso 4: Masa de botellas PET.

Según ICEM PLAST (s.f.), menciona que “la masa de las botellas de 625 ml es de 19.7gr”. Ver anexo

Paso 5: Generación diaria de botellas PET.

El cálculo de la generación diaria de botellas PET en la UNJ, se realizó con la siguiente ecuación.

$$G_{botellas\ pet-día} = C_{botellas\ pet/día} * m_{botellas\ pet}$$

Donde:

$G_{botellas\ pet-día}$ = Generación de botellas pet por día.

$C_{botellas\ pet/día}$ = Cantidad de botellas pet por día.

$m_{botellas\ pet}$ = Masa de botellas pet.

OE2: Determinar los parámetros de diseño de la máquina trituradora.

Paso 1: Medidas de la botella PET.

Se seleccionó la botella de mayor capacidad que existe en la UNJ, en este caso, según las encuestas realizadas, el valor es de 625 ml. Luego se procedió a realizar las mediciones con el instrumento vernier.

Figura 4

Botella PET de 625 ml



Nota: Botella PET utilizada en la investigación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5

Medida del espesor del pico de la botella PET



Nota: La medición del espesor del pico de la botella PET se realizó mediante un calibrador Vernier, garantizando la precisión del valor registrado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Medición del espesor de la botella PET



Nota: La medición del espesor de la botella PET se realizó empleando un calibrador Vernier, como parte del proceso de caracterización dimensional del envase analizado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 7

Medición de la altura de la botella PET



Nota: La medición de la altura de la botella PET se realizó empleando un calibrador

Vernier. Fuente: Elaboración propia.

Figura 8

Medición del diámetro de la botella PET



Nota: La medición del diámetro de la botella PET se realizó empleando un calibrador Vernier.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Medición del diámetro de pico de la botella PET



Nota: La medición del diámetro de pico de la botella PET se realizó empleando un calibrador

Vernier. Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Diseño de las cuchillas

Se utilizó la norma ASTM A681, la cual establece los requisitos del acero utilizado para las cuchillas.

a. Hallar fuerza de corte.

El cálculo de la fuerza de corte se realizó considerando las propiedades mecánicas del PET, las cuales determinan la resistencia del material frente a los esfuerzos aplicados durante la trituración.

Figura 10

Propiedades mecánicas de la botella PET

- Resistencia la tracción de 91 MPa.
- Módulo de elasticidad de 3300 MPa (ensayo a tracción).
- Tensión límite de elasticidad de 91 MPa.
- Elongación a la fluencia de 4%.
- Resistencia a la flexión de 134 MPa.
- Elongación a la rotura de 14%.
- Módulo de elasticidad de 3400 MPa (ensayo a flexión).
- Resistencia a compresión de 21/38/89 MPa.

Nota: Podemos observar el valor de las propiedades mecánicas de la botella PET. Fuente: (Plásticos Brello S.A, s.f.)

Se tomo en cuenta la ecuación de la teoría de Von Misses para calcular el esfuerzo de corte. El esfuerzo a la tracción del PET se toma de la figura 10.

$$\tau_{corte} = 0.577 * \sigma_{tracción}$$

Donde:

τ_{corte} = Esfuerzo de corte (MPa).

$\sigma_{tracción}$ = Esfuerzo a la tracción (Mpa).

Para calcular el área de corte se considera:

$$A_{corte} = \text{Espesor de la botella} * \text{Longitud del filo de la cuchilla}$$

Ahora se calcular la fuerza de corte con la siguiente ecuación:

$$F_{corte} = \tau_{corte} * A_{corte}$$

Donde:

F_{corte} = Fuerza de corte (N).

τ_{corte} = Esfuerzo de corte (MPa).

A_{corte} = Área de corte (mm^2).

b. Ángulo de corte.

El ángulo de corte se determinó con la finalidad de optimizar el proceso de trituración, reduciendo la fuerza requerida para el corte y favoreciendo una adecuada penetración de las cuchillas en el material.

c. Diámetro de cuchilla trituradora.

El diámetro de la cuchilla trituradora se calculó en función de los requerimientos de corte y de las dimensiones del sistema de trituración, garantizando una operación eficiente y segura durante el proceso de reducción de tamaño del material.

Paso 3: Diseño de eje.

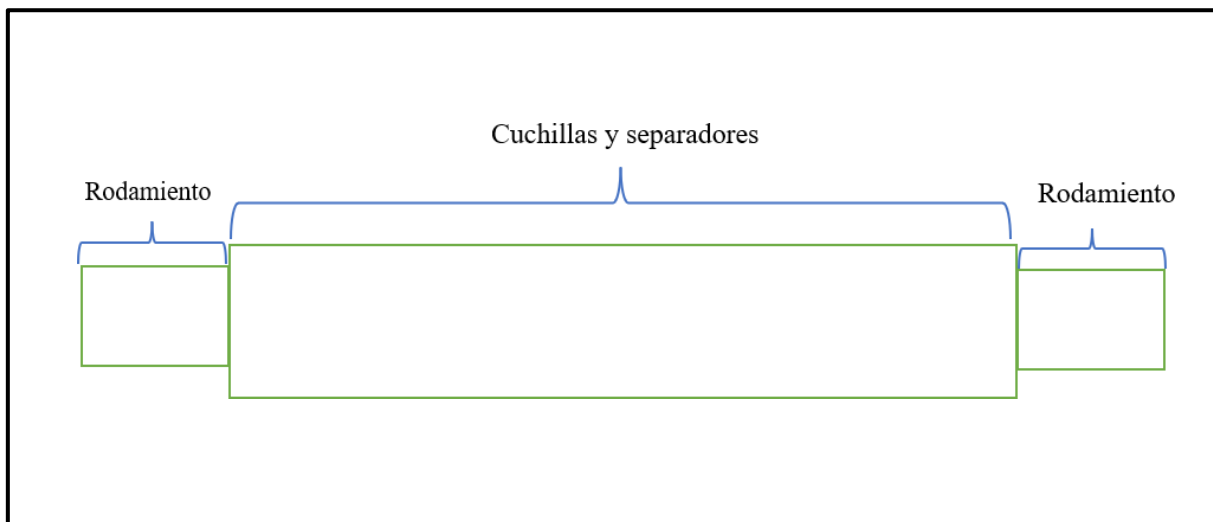
Se utilizó la norma ISO 286, la cual establece el sistema de tolerancias y ajustes entre ejes y agujeros para garantizar un ensamblaje adecuado y evitar holguras o interferencias excesivas.

a. Longitud del eje.

Para hallar la longitud del eje, se tomará en cuenta, la cantidad de cuchillas y separadores, junto con el espesor de las cuchillas y de los separadores.

Figura 11

Eje de la máquina trituradora



Nota: Imagen referencial del eje, junto con las cuchillas, separadores y rodamientos. Fuente: Elaboración propia.

Aplicamos las siguientes ecuaciones:

$$T_{cuchillas} * e_{cuchillas}$$

Donde:

$T_{cuchillas}$ = Total de cuchillas.

$e_{cuchillas}$ = espesor de cuchillas.

$$T_{separadores} * e_{separadores}$$

Donde:

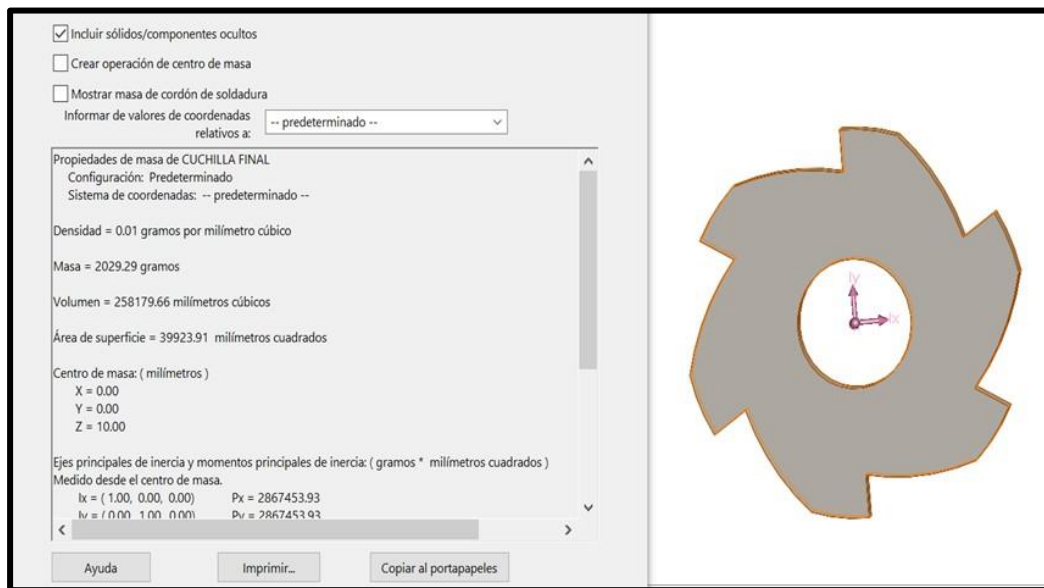
$T_{separadores}$ = Total de separadores.

$e_{separadores}$ = espesor de separadores.

b. Pesos de las cuchillas y separadores.

Figura 12

Peso de la cuchilla trituradora



Nota: Podemos observar el peso que es de 2029.29 gramos. Fuente: Elaboración propia con datos del software SolidWorks.

Con la siguiente ecuación, hallamos el peso de las cuchillas trituradoras.

Cuchillas trituradoras:

$$W_{cuchillas} = m_{cuchillas} * g * T_{cuchillas}$$

Donde:

$W_{cuchillas}$ = Peso de las cuchillas (N).

$m_{cuchillas}$ = Masa de las cuchillas (Kg).

g = gravedad ($\frac{m}{s^2}$).

$T_{cuchillas}$ = Total de cuchillas.

Figura 13

Peso del separador



Nota: Podemos observar el peso del separador que es de 480.90 gramos. Fuente: Elaboración propia con datos del software SolidWorks.

Con la siguiente ecuación, hallamos el peso de los separadores.

Separadores:

$$W_{separadores} = m_{separadores} * g * Total_{separadores}$$

Donde:

$W_{separadores}$ = Peso de los separadores (N).

$m_{separadores}$ = Masa de los separadores (Kg).

g = gravedad ($\frac{m}{s^2}$).

$T_{separadores}$ = Total de separadores.

Finalmente obtenemos el peso total del eje:

$$W_{total} = W_{cuchillas} + W_{separadores}$$

Donde:

$W_{cuchillas}$ = Peso de las cuchillas (N).

$W_{separadores}$ = Peso de los separadores (N).

W_{total} = Peso total del eje (N).

c. Diámetro del eje.

El valor del diámetro se calcular con la ecuación de ED-Goodman.

$$d = \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

n = factor de seguridad

K_f = factor de efectos varios

M_a = momento flexionante alternante

K_{fs} = factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la torsión

T_a = Par de torsión alternante

K_f = factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión

M_m = momento flexionante medio

T_m = Par de torsión medio

S_e =

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

S_{ut} = resistencia mínima a la tensión

Además: $T_a = 0$, $M_m = 0$. Finalmente, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$d = \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [+3(K_{fs} T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

C.1. Límite de resistencia a la fatiga.

Ahora calculamos el límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso. Aplicamos la ecuación de Marin.

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

Donde:

k_a = factor de modificación por la condición superficial

k_b = factor de modificación por el tamaño

k_c = factor de modificación por la carga

k_d = factor de modificación por la temperatura

k_e = factor de confiabilidad

k_f = factor de modificación por efectos varios

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

C.1.1. Factores modificadores del límite de resistencia a la fatiga.

Factor de modificación por la condición superficial k_a

Factor que corrige el límite de resistencia a la fatiga según el acabado superficial del material.

Figura 14

Factor a

Acabado superficial	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	Exponente b
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado 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

Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012).

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Factor de modificación por el tamaño k_b

Factor que considera la influencia de las dimensiones del elemento sobre su resistencia a la fatiga.

Figura 15

Factor de tamaño K_b

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

Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012)

$$k_b = 1.51d^{-0.157}$$

Factor de modificación por la carga k_c .

Factor que ajusta la resistencia a la fatiga de acuerdo con el tipo de carga aplicada (flexión, tracción, torsión,

Figura 16

Factor de carga K_c

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

Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012)

Factor de modificación por la temperatura k_d

Factor que tiene en cuenta la variación de la resistencia a la fatiga debido a la temperatura de operación.

Figura 17

Factor de temperatura K_d

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
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: (Budynas y Nisbett, 2012)

$$k_d = \frac{S_t}{S_{TR}}$$

Factor de confiabilidad k_e

Factor que modifica la resistencia a la fatiga para garantizar un nivel de confiabilidad determinado en el diseño.

Figura 18

Factor de confiabilidad K_e

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	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

Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012)

Factor de modificación por efectos varios k_f .

Factor que considera la influencia de condiciones adicionales no contempladas por los demás factores, como tratamientos superficiales, corrosión o ambientes especiales.

Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria S'_e .

Valor teórico de resistencia a la fatiga obtenido mediante el ensayo de viga rotatoria para una probeta estándar antes de aplicar los factores de modificación.

$$S'_e = 0.5 * S_{ut}$$

Finalmente calculamos el límite de resistencia a la fatiga.

Reemplazando todos los valores obtenidos anteriormente, obtenemos:

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

C.2 Factor de concentración de esfuerzos en fatiga para esfuerzos cortantes (torsión).

Para calcular el valor de K_{fs} , se utilizó la siguiente ecuación:

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1)$$

Donde:

K_{fs} = Factor de concentración n de esfuerzos en fatiga para esfuerzos cortantes (torsión).

$q_{cortante}$ = Sensibilidad a la muesca en cortante.

K_{ts} = factor teórico de concentración de esfuerzos en cortante

C.3 Factor de concentración del esfuerzo por fatiga (flexión)

Para calcular el valor de K_f , se utilizó la siguiente ecuación:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

Donde:

K_f = Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga.

q = Sensibilidad a la muesca del material.

K_t = factor teórico de concentración de esfuerzos.

Paso 4: Diseño de rodamientos.

Se utilizó la norma ISO 281, la cual define el método para calcular la vida útil nominal de los rodamientos en función de la carga aplicada y las condiciones de operación.

a. Fuerza tangencial.

La fuerza tangencial es la fuerza transmitida por el eje debido al torque generado durante la operación de la máquina. Esta fuerza actúa tangencialmente al elemento giratorio y constituye la principal carga aplicada sobre los rodamientos.

$$F_t = \frac{T_d}{r}$$

Donde:

F_t = Fuerza tangencial.

T_d = Torque.

r =radio de la cuchilla.

b. Carga radial.

La carga radial corresponde a la fuerza que actúa perpendicularmente al eje de rotación. En este estudio se considera que la fuerza tangencial se distribuye uniformemente entre dos apoyos, por lo que cada rodamiento soporta la mitad de dicha carga.

$$R = \frac{F_t}{2}$$

Donde:

F_t = Fuerza tangencial.

R = Carga radial.

c. Carga axial estimada.

La carga axial es la fuerza que actúa paralelamente al eje de rotación. Para el diseño preliminar se estima como un porcentaje de la carga radial, considerando los esfuerzos generados durante el proceso de trituración.

$$T = 0.3 * R$$

Donde:

T =carga axial estimada.

R =carga radial.

d. Carga equivalente.

La carga equivalente dinámica representa una carga única que combina los efectos de las cargas radial y axial, permitiendo seleccionar adecuadamente el rodamiento en función de su capacidad de carga y vida útil.

$$P = VXR + YT$$

Para un eje giratorio:

$$V = 1$$

Tomamos valores típicos:

$$X = 0.56 \quad y \quad Y = 1.5$$

e. Vida de diseño.

Para el diseño del rodamiento, la selección de la vida de diseño depende de las condiciones de operación, la importancia del equipo y la confiabilidad requerida. A partir de este valor se determina la capacidad dinámica necesaria del rodamiento.

f. Capacidad dinámica requerida.

La capacidad dinámica de carga C es un parámetro fundamental de los rodamientos y representa la carga constante que un rodamiento puede soportar durante una vida nominal de un millón de revoluciones con una confiabilidad del 90 %.

$$C = P_d * \frac{F_L}{F_N}$$

Donde:

P_d = Carga equivalente.

F_L = Factor por velocidad.

F_N = Factor por duración.

Paso 5: Torque.

El torque requerido por el sistema se determinó a partir del radio de la cuchilla y la fuerza de corte.

$$T = r_{cuchilla} * f_{corte}$$

Donde:

T= torque.

$r_{cuchilla}$ =radio de la cuchilla.

f_{corte} = fuerza de corte.

Paso 6: Potencia del motor.

Según Inducom Ecuador (2023), menciona que “La potencia de un motor eléctrico es la medida de la cantidad de trabajo que puede ejecutar en un lapso de tiempo específico. En otras palabras, se trata de la fuerza que el motor genera para mover una carga a una velocidad

definida”.

$$P_{motor} = \frac{P_{\acute{u}til}}{\eta}$$
$$P_{motor} = \frac{t * \omega_s}{\eta}$$

Donde:

P_{motor} =Potencia del motor.

t =Torque.

ω_s = Velocidad angular del sistema.

η =eficiencia del motor.

Paso 7: Potencia del reductor.

Según Goncalves (s.f.), menciona que “Un reductor de velocidad es un equipo que se utiliza para reducir la revolución entre la unidad motriz y la unidad a accionar”.

$$\omega_s = \frac{\omega_m}{\omega_r}$$

Donde:

ω_s =Velocidad angular del sistema.

ω_m = Velocidad angular del motor.

ω_r = Velocidad angular del reductor.

Paso 8: Potencia del variador de frecuencia.

Para hallar la potencia del variador de frecuencia se va a tener en cuenta, la siguiente ecuación:

$$P_{vf} > P_m$$

Donde:

P_{vf} = Potencia del variador de frecuencia.

P_m = Potencia del motor.

Paso 9: Dimensionamiento de conductores.

a. Intensidad de corriente.

Para hallar la intensidad de corriente, se aplica la siguiente ecuación.

$$I = \frac{M.D}{K * V * F.P}$$

Donde:

I = intensidad de corriente.

$M.D$ = Máxima demanda.

$K = 1$ (monofásico) y $\sqrt{3}$ (trifásico).

V = Voltaje.

$F.P$ = Factor de potencia.

b. Caída de tensión en voltios.

Para hallar la caída de tensión en voltios aplicamos la siguiente ecuación.

$$\Delta V = \frac{X * I_s * L * \delta * F.P}{S}$$

Donde:

ΔV = Caída de tensión en voltios.

$X = 2$ (monofásico) y $\sqrt{3}$ (trifásico).

I_s = Corriente seleccionada en amperios.

L = Longitud del conductor en metros

δ = Conductividad dieléctrica ($\delta = 0.0175 \text{ mm} \cdot \Omega / \text{m}^2$).

$F.P$ = Factor de potencia.

S = Sección del conductor en mm^2 .

c. Caída de tensión en porcentaje.

Para hallar la caída de tensión en porcentaje aplicamos la siguiente ecuación.

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(\text{voltios}) * 100}{V}$$

Donde:

$\Delta V(\%)$ = Caída de tensión en porcentaje.

$\Delta V(\text{voltios})$ = Caída de tensión en voltios.

$V = 220$ (monofásico) y 380 (trifásico).

Paso 10: Diagrama de fuerza y control.

Consistió en la elaboración de los diagramas eléctricos de fuerza y de control de la máquina trituradora, los cuales permitieron representar gráficamente las conexiones de los componentes eléctricos, el funcionamiento del sistema y la secuencia de operación del equipo, facilitando su implementación y mantenimiento.

Paso 11: Presupuesto de la máquina trituradora.

Consistió en la estimación de los costos de los materiales, componentes mecánicos, componentes eléctricos y demás elementos requeridos para el diseño de la máquina trituradora, con la finalidad de determinar el costo referencial del proyecto.

OE3: Simular la máquina trituradora mediante software SolidWorks.

Paso 1: Seleccionar el software adecuado.

Se seleccionó el software SolidWorks para realizar el modelado CAD y la simulación CAE de la máquina trituradora, debido a sus herramientas de diseño, ensamblaje y análisis.

Paso 2: Modelado CAD de la máquina trituradora.

a. Modelado 2D.

Se elaboró bocetos bidimensionales de los componentes de la máquina trituradora, definiendo sus dimensiones y características geométricas principales.

b. Modelado 3D

Se desarrolló los modelos tridimensionales de cada componente de la máquina trituradora a partir de los planos 2D previamente elaborados.

c. Ensamblaje de la máquina trituradora.

Se ensambló virtualmente todos los componentes diseñados, verificando su correcta ubicación, ajuste y funcionamiento dentro del conjunto.

Paso 3: Simulación CAE de la máquina trituradora.

Se realizó simulaciones mediante herramientas CAE de SolidWorks para evaluar el comportamiento mecánico de los componentes y verificar la resistencia estructural de la máquina ante las condiciones de trabajo establecidas. En la simulación, se podrá ver la tensión de von mises, que ayudara a identificar las áreas de mayor tensión que podrían llevar al fallo del material; el desplazamiento, el cual es importante porque se va a poder observar cómo las partes se mueven bajo carga, lo que es esencial para asegurar que las piezas funcionen correctamente, además de la deformación y el factor de seguridad, el cual va a mostrar un margen de seguridad. Estos indicadores ayudarán a identificar áreas críticas que podrían fallar y así poder optimizar el diseño para mejorar la resistencia y la durabilidad de los elementos de la máquina trituradora.

Se utilizó la norma ASME BPVC Section VIII Division 2, la cual establece criterios de diseño por análisis, ampliamente utilizados para validar componentes mediante análisis por elementos finitos (FEA), evaluando esfuerzos de Von Mises, deformaciones y factor de seguridad.

Paso 4: Realización de planos CAD.

Se generó los planos de fabricación y ensamblaje de la máquina trituradora, incluyendo dimensiones, tolerancias y especificaciones técnicas necesarias para su construcción.

OE4: Dimensionar el sistema fotovoltaico

Paso 1: Área geográfica de estudio.

Se definió el área geográfica de estudio correspondiente al lugar donde se implementará

el sistema fotovoltaico, identificando su ubicación, altitud, latitud y condiciones climáticas relevantes para el aprovechamiento del recurso solar.

Figura 19

Latitud y longitud del lugar de estudio



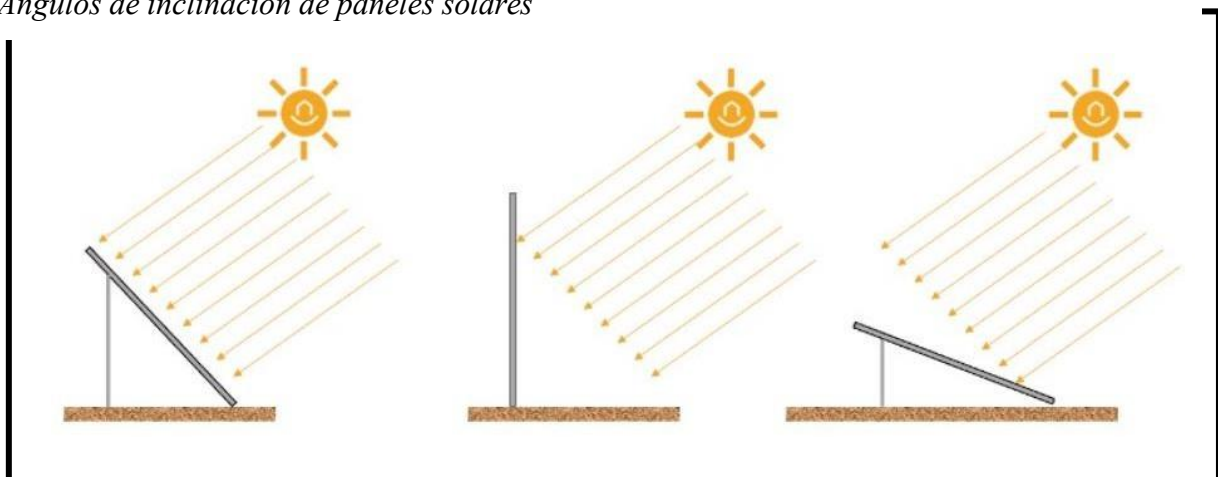
Nota: Latitud y longitud de la Universidad Nacional de Jaén. Fuente: (Google, s.f.)

Paso 2: Ángulo de inclinación de paneles solares.

El ángulo de inclinación de los paneles solares corresponde al ángulo formado entre la superficie del panel y el plano horizontal. Su correcta selección permite aprovechar al máximo la radiación solar incidente, mejorando el rendimiento y la producción de energía del sistema fotovoltaico.

Figura 20

Ángulos de inclinación de paneles solares



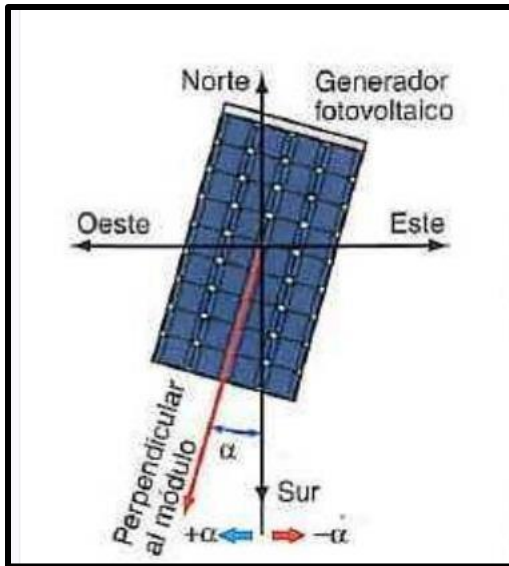
Nota: Diferentes ángulos de inclinación de paneles solares. Fuente: (Desenchufados, s.f.)

Paso 3: Orientación de paneles solares.

La orientación de los paneles solares consistió en ubicarlos de manera que reciban la mayor cantidad de radiación solar durante el día, con el fin de maximizar la generación de energía eléctrica.

Figura 21

Orientaciones del panel solar



Nota: Diferentes orientaciones del panel solar. Fuente: (Castejón Oliva y Santamaría Herranz, 2010)

Paso 4: Recurso Solar.

Se recopiló y analizó la información del recurso solar disponible en la zona de estudio para estimar la energía aprovechable. Todo esto se realizó en el software PVGIS.

Paso 5: Hora pico solar.

La hora pico solar es el número de horas equivalentes al día en las que la radiación solar tiene una potencia promedio de 1000 W/m².

Paso 6: Energía consumida diaria.

Se determinó la potencia instalada del sistema, obteniéndose una demanda de 1491.4 W correspondiente al motor eléctrico de 2 hp. Posteriormente, se calculó la energía consumida diariamente considerando las horas de operación del equipo.

$$P_r = \frac{P_n}{\eta_i * \eta_{vf} * \eta_m}$$

Donde:

P_r = Potencia requerida.

P_n = Potencia nominal.

η_i = Eficiencia del inversor.

η_{vf} = Eficiencia del variador de frecuencia.

η_m = Eficiencia del motor.

Paso 7: Factor de rendimiento global.

Se determinó el factor de rendimiento global del sistema fotovoltaico, considerando las pérdidas asociadas a los paneles, conductores, regulador, inversor y demás componentes del sistema.

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * (1 - k_a * \frac{N}{P_d})$$

Donde:

k_b = Factor de pérdidas en el conjunto de baterías y regulador.

k_c = Factor de pérdidas en el inversor.

k_v = Factor de pérdidas varias (efecto joule, caída de tensión).

k_a = Coeficiente de autodescarga diaria de las baterías.

N = Número de días de autonomía

P_d = Profundidad de descarga de las baterías.

Paso 8: Cálculo del consumo real (incluye pérdidas).

Se calculó el consumo real de energía del sistema considerando las pérdidas asociadas al inversor, conductores y demás componentes, con el fin de determinar la demanda energética efectiva.

$$D_e = \frac{E_{cd}}{R_{gi}}$$

Donde:

D_e = Demanda energética.

E_{cd} = Energía consumida diaria.

R_{gi} = Rendimiento global de la instalación.

Paso 9: Tensión nominal del sistema fotovoltaico.

Se estableció la tensión nominal del sistema fotovoltaico de acuerdo con los requerimientos de la carga y las características de los equipos seleccionados para la instalación.

Paso 10: Paneles solares.

a. Número de paneles solares.

Un panel solar es un conjunto de celdas fotovoltaicas fabricadas principalmente de silicio, conectadas en serie y paralelo, que transforman la luz solar en corriente eléctrica de tipo

continua (DC).

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{E}{P_{\text{panel}} * HSP * \eta_p}$$

Donde:

E= Consumo total real diario de los dispositivos (motor trifásico), incluyendo pérdidas del sistema fotovoltaico (Wh/día).

P_{panel}= Potencia de panel solar.

HSP = Hora pico solar.

η_p = rendimiento del módulo, debido a suciedad en su superficie.

b. Paneles en serie.

Calculamos el número de paneles en serie.

$$N^{\circ} \text{ paneles} - \text{serie} = \frac{V_{\text{sistema fotovoltaico}}}{V_{\text{panel}}}$$

c. Paneles en paralelo.

Calculamos el número de paneles en serie.

$$N^{\circ} \text{ paneles} - \text{paralelo} = \frac{N^{\circ} \text{ paneles}}{N^{\circ} \text{ paneles} - \text{serie}}$$

Paso 11: Sistema de almacenamiento.

El sistema de baterías en un sistema fotovoltaico tiene la función de almacenar la energía eléctrica generada por los paneles solares, permitiendo su utilización cuando no existe radiación solar suficiente o durante periodos nocturnos. Las baterías operan en corriente continua y su capacidad se expresa generalmente en amperio-hora (Ah) o kilovatio-hora (kWh).

a. Capacidad del sistema.

A continuacion calculamos la capacidad del sistema:

$$C_{\text{sist}} = \frac{E * N}{P_d * V}$$

Donde:

C_{sist}= Capacidad del sistema de baterías (Ah).

E= Consumo total real diario de los dispositivos (motor trifásico), incluyendo pérdidas del sistema fotovoltaico (Wh/día).

N = Número de días de autonomía.

P_d= Profundidad de descarga de las baterías.

V = Tensión de suministro de corriente continua (V).

b. Número de baterías.

Ahora calculamos el número de baterías. Aplicamos la ecuación de Cieza Coronado (2017).

$$N_{sb} = \frac{V_T}{V_{bat}}$$

Donde:

N_{sb} = Número de baterías.

V_T = Voltaje del sistema fotovoltaico (V).

V_{bat} = Voltaje de baterías (V).

Paso 12: Sistema de regulación.

El regulador de carga es el dispositivo encargado de controlar el flujo de energía entre los paneles solares, las baterías y las cargas, evitando sobrecargas y descargas profundas que puedan dañar el banco de baterías. Además, optimiza el proceso de carga y prolonga la vida útil de las baterías. Existen principalmente reguladores de tipo PWM y MPPT, siendo estos últimos los más eficientes para sistemas de mayor potencia.

a. Corriente máxima.

Aplicamos la ecuación de Cieza Coronado (2017), para calcular la corriente máxima del sistema de regulación.

$$I_{REG} = 1.2 * I_{CCmf} * N_{Pmf}$$

Donde:

I_{REG} = Corriente máxima que debe soportar el regulador (A).

I_{CCmf} =Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico (A).

N_{Pmf} =Número de ramas conectadas en paralelo.

b. Número de reguladores.

Calculamos el número de reguladores. Aplicamos la ecuación de Cieza Coronado (2017).

$$N_{reg} = \frac{I_{REG}}{I_{reg}}$$

Donde:

N_{reg} = Número de reguladores.

I_{REG} = Corriente máxima que debe soportar el regulador (A).

I_{reg} = Corriente de regulador seleccionado (A).

Paso 13: Sistema de inversor (DC-AC).

El inversor es el equipo responsable de convertir la energía eléctrica de corriente continua (DC) proveniente de las baterías o los paneles en corriente alterna (AC), compatible

con los equipos eléctricos convencionales. Asimismo, regula el voltaje y la frecuencia de salida, asegurando un suministro estable y seguro. Su selección se realiza en función de la potencia requerida por las cargas y de los picos de arranque de los equipos.

$$P_{inv} = 1.1 * P_{CA}$$

Donde:

P_{inv} = Potencia del inversor (W).

P_{CA} = Potencia de corriente alterna (W).

Paso 14: Dimensionamiento de conductores.

a. Corriente máxima desde paneles-reguladores-baterías.

Se calculó la corriente máxima que va a circular desde los paneles solares hacia reguladores y baterías. Aplicamos la ecuación de Castejón y Santamaría (2010).

$$I_{max-P,R} = 1.25 * I_{SC,panel} * N_{ramas paralelo}$$

Donde:

$I_{max-P,R}$ = Corriente máxima en la línea Paneles – Regulador.

$I_{SC,panel}$ = Corriente de cortocircuito del panel utilizado.

$N_{ramas paralelo}$ = Número de ramas por regulador.

b. Corriente máxima desde baterías-inversor.

Se calculó la corriente máxima que va a circular desde las baterías hasta el inversor. Aplicamos la ecuación de Castejón y Santamaría (2010).

$$I_{max-R,I} = \frac{1.25A * P_{carga}}{V_{trabajo} * \eta}$$

Donde:

$I_{max-P,R}$ = Corriente máxima en la línea Paneles – Regulador.

P_{carga} = Potencia de la carga.

$V_{trabajo}$ = Voltaje de trabajo.

η = rendimiento del inversor.

c. Selección de conductores.

Se va a aplicar la siguiente ecuación para calcular la caída de tensión en voltios.

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(voltios) * 100}{V}$$

Donde:

ΔV (%) = Caída de tensión en porcentaje.

ΔV (voltios)= Caída de tensión en voltios.

V= 220 (monofásico) y 220 y 380 (trifásico).

Se va a aplicar la ecuación de Ladrón de Guevara (2014) para calcular la sección del conductor.

$$S_{cable} = \frac{2 * L * I_{max}}{56 * \Delta V}$$

Donde:

S_{cable} = Sección del conductor.

L = Longitud del conductor en metros

I_{max} = Corriente máxima en amperios.

ΔV (voltios)= Caída de tensión en voltios.

d. Protecciones.

Las protecciones eléctricas en un sistema fotovoltaico son dispositivos destinados a garantizar la seguridad de las personas y de los equipos frente a fallas como sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones y corrientes de fuga. Aplicamos la ecuación de (López Fuentes y Viteri Morales (2010)

$$I_b \leq I_n \leq I_{adm}$$

Donde:

I_b =Intensidad de corriente que recorre la línea (A).

I_n = Intensidad nominal del fusible asignado a la línea (A).

I_{adm} =Máxima intensidad admisible del cable conductor de la línea (A)

Paso 15: Presupuesto del sistema fotovoltaico.

Consistió en la estimación de los costos de los componentes, equipos y materiales considerados en el diseño del sistema fotovoltaico, con la finalidad de establecer el costo referencial del proyecto.

III. RESULTADOS

3.1. OE1: Determinar la generación diaria de botellas PET (Kg/día) en la Universidad Nacional de Jaén.

3.1.1. Cálculo del tamaño de la muestra.

Se escogió a 20 estudiantes de las 5 escuelas profesionales, de manera aleatoria, para poder determinar el consumo diario de botellas PET entre los estudiantes de la UNJ. Se aplicó

la metodología empleada en Bernal Torre (2010). Ver anexo B.

a. Media muestral

A continuación, se muestra el resultado de la encuesta aleatoria.

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \\ \bar{X} &= \frac{25}{20} \\ \bar{X} &= 1.25 \end{aligned}$$

b. Desviación estándar

Se determinó la desviación estándar para medir la variabilidad de los datos.

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \\ S &= \sqrt{\frac{3.75}{20 - 1}} \\ S &= 0.444 \end{aligned}$$

c. Determinamos si la población es homogénea o heterogénea.

Se evaluó si la población era homogénea o heterogénea mediante el coeficiente de variación.

$$\text{Homogeneidad o heterogeneidad de la muestra} = \frac{s}{\bar{x}}$$

$$\text{Homogeneidad o heterogeneidad de la muestra} = \frac{0.444}{1.25}$$

$$\text{Homogeneidad o heterogeneidad de la muestra} = 0.355 = 35.5\%$$

En este caso la población es heterogénea porque nos salió, un valor de 35.5%

d. Error de estimación

En este caso el error de estimación se considera 5%.

$$E = \text{error de estimación}$$

$$E = 5\%$$

$$E = 0.05$$

e. Nivel de confianza.

Se estableció el nivel de confianza de la investigación. En este caso elegimos un coeficiente de confianza del 95%=0.95.

f. Nivel de significancia.

Se definió el nivel de significancia α .

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$\alpha = 1 - 0.95$$

$$\alpha = 0.05$$

g. Determinamos el valor de Z.

Se determinó el valor crítico Z correspondiente al nivel de confianza seleccionado.

$$Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1 - \frac{0.05}{2} = 0.975$$

Figura 22

Distribución normal estándar

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9913
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9986	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990

Nota: En este cuadro se puede apreciar los distintos valores de α y $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$, para poder determinar el valor de Z. Fuente: (Anderson et al., 2008)

Donde obtenemos el valor de $Z = 1.96$

h. Tamaño de la muestra.

Con estos parámetros se procedió al cálculo del tamaño de la muestra.

$$n = \frac{S^2}{\frac{E^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N}}$$

$$n = \frac{0.444^2}{\frac{0.05^2}{1.96^2} + \frac{0.444^2}{2157}}$$

$$n = 265.6 \text{ encuestas}$$

$$n = 266 \text{ encuestas}$$

3.1.2. Numero de encuestas por escuela profesional.

La distribución de encuestas por escuela profesional se realizó de manera proporcional al número de estudiantes matriculados en cada carrera (ver anexo A), garantizando una representación adecuada de la población estudiantil dentro de la muestra seleccionada.

$$\text{Escuela Profesional} = \frac{\text{Nº de estudiantes matriculados por carrera}}{\text{Total de alumnos matriculados}} * \text{cantidad de encuestas}$$

$$\text{Ingeniería Mecánica y Eléctrica} = \frac{413}{2157} * 266 = 51 \text{ encuestas}$$

$$\text{Ingeniería Civil} = \frac{454}{2157} * 266 = 56 \text{ encuestas}$$

$$\text{Ingeniería de Industrias Alimentarias} = \frac{410}{2157} * 266 = 51 \text{ encuestas}$$

$$\text{Ingeniería Forestal y Ambiental} = \frac{416}{2157} * 266 = 51 \text{ encuestas}$$

$$\text{Tecnología Médica} = \frac{464}{2157} * 266 = 57 \text{ encuestas}$$

3.1.3. Análisis estadístico de las encuestas.

Se realizó las encuestas a los estudiantes de las 5 escuelas profesionales. Los datos fueron procesados y representados mediante gráficos de barras. Solamente 4 de las 6 preguntas se van a representar en gráfico de barras. El cuestionario se encuentra en el Anexo C.

Primera pregunta

1. ¿Cuántas botellas de plástico PET consumes por día dentro del campus universitario?

Tabla 1

Total de consumo de botellas pet por día entre los estudiantes de la UNJ.

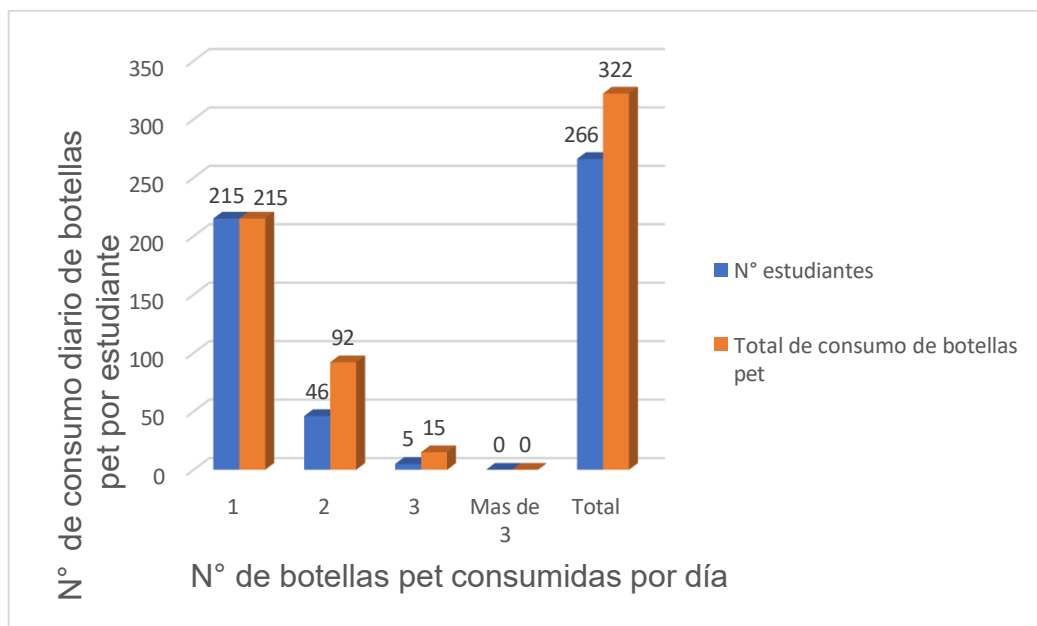
Nº botellas	Nº estudiantes	Total, de consumo de botellas pet
1	215	215
2	46	92
3	5	15

Mas de 3	0	0
Total	266	322

Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

Distribución de estudiantes según consumo diario de botellas PET en la UNJ



Nota: Los datos fueron obtenidos mediante encuestas aplicadas a estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén durante el año de estudio. Los valores representan la frecuencia de consumo diario de botellas PET por estudiante. Fuente: Elaboración propia.

Segunda pregunta

2. ¿Qué tipo de bebida consumes más dentro de la UNJ?

Tabla 2

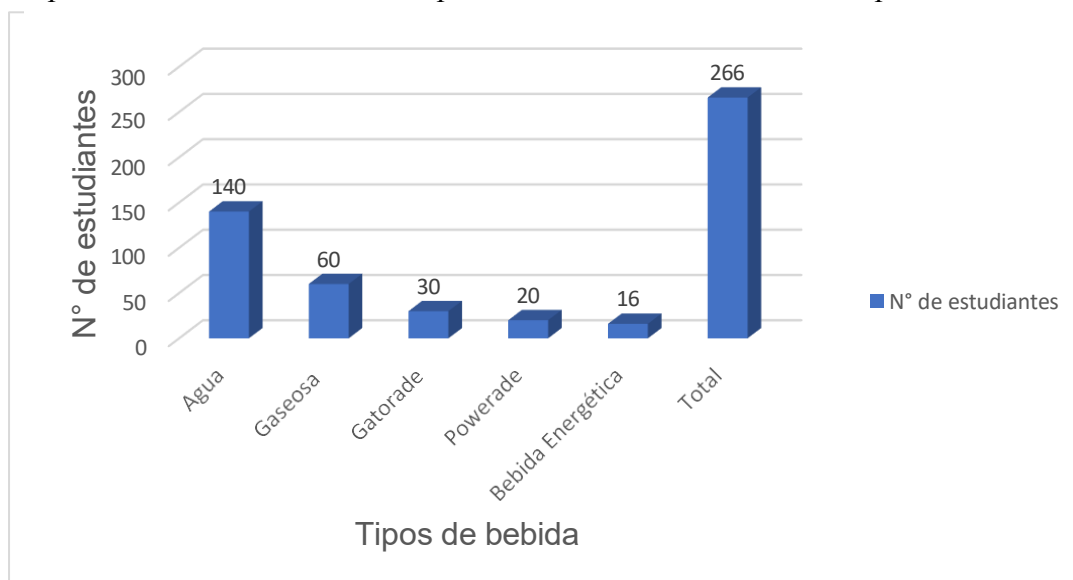
Tipo de bebida más consumida dentro de la UNJ

Tipo de bebida	N° de estudiantes
Agua	140
Gaseosa	60
Gatorade	30
Powerade	20
Bebida Energética	16
Total	266

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Tipos de bebida más consumida por los estudiantes dentro del campus



Nota: La información presentada corresponde a los resultados de las encuestas realizadas a estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén, considerando el tipo de bebida consumida con mayor frecuencia dentro del campus universitario. Fuente: Elaboración propia.

Tercera pregunta

3. ¿Qué tamaño de botella PET consume con mayor frecuencia?

Tabla 3

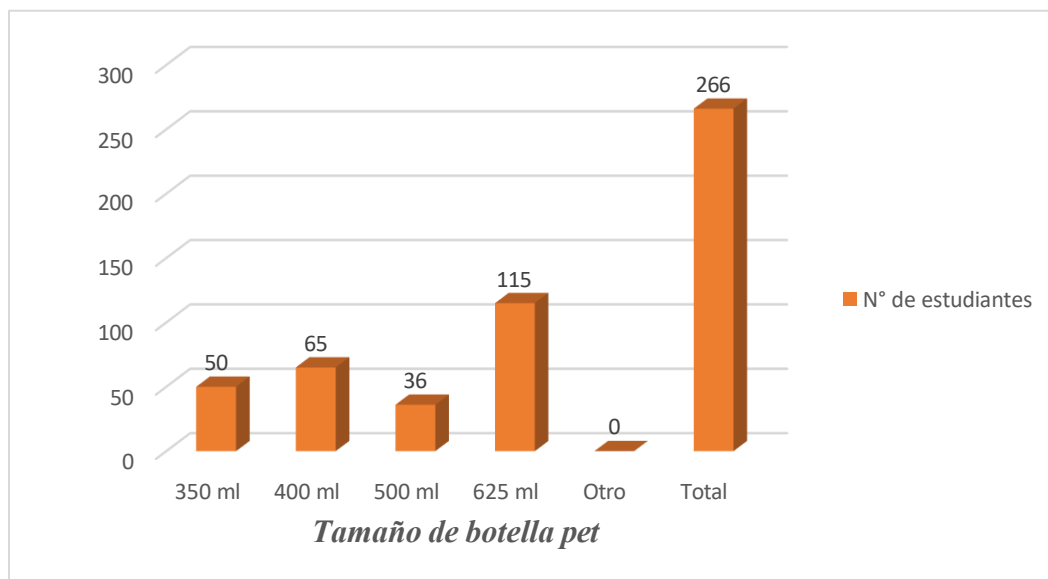
Consumo con mayor frecuencia del tamaño de botellas pet

Tamaño de botella pet	N° de estudiantes
350 ml	50
400 ml	65
500 ml	36
625 ml	115
Otro	0
Total	266

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

Frecuencia de consumo según el tamaño de botella PET



Nota: Los datos se obtuvieron a partir de encuestas aplicadas a estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén, en las que se identificó el tamaño de botella PET más consumido dentro del campus universitario. Fuente: Elaboración propia.

Cuarta pregunta

4. ¿Reutilizas la botella PET antes de desecharla?

Tabla 4

Frecuencia de reutilización de botellas PET

Frecuencia de reutilización	Nº de estudiantes
Siempre	20
A veces	46
Casi siempre	78
Nunca	122
Total	266

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

Nivel de reutilización de botellas PET antes de su disposición final



Nota: La figura presenta la distribución de la frecuencia de reutilización de botellas PET antes de su disposición final, obtenida a partir de una encuesta aplicada a 266 estudiantes. Los datos reflejan los hábitos de reutilización de los encuestados y permiten identificar el nivel de conciencia ambiental relacionado con la gestión de residuos plásticos. Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Masa de las botellas PET.

En este caso la masa de las botellas es de 19.7 gramos. Ver anexo D.

$$m_{botellas\ pet} = 19.7g = 0.0197kg$$

3.1.5. Generación diaria de botellas PET.

A continuación, se muestra el resultado obtenido de la generación de botellas PET por día.

$$G_{botellas\ pet-día} = c_{botellas\ pet/día} * m_{botellas\ pet}$$

$$G_{botellas\ pet-día} = 322\ botellas\ pet/día * 0.0197\ kg$$

$$G_{botellas\ pet-día} = 6.34\ kg/día$$

$$G_{botellas\ pet-día} = 6.4\ kg/día$$

3.2. OE2: Determinar los parámetros de diseño de la máquina trituradora.

3.2.1. Medidas de las botellas PET

Una vez obtenida las medidas de la botella pet de 625 ml, procedemos a colocarlos en una tabla, de la siguiente manera:

Figura 27

Botella PET de 625ml



Nota: Botella PET utilizada en la investigación. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Características dimensionales de la botella PET

Parámetro	Magnitud	Unidad de medida
Diámetro de pico	27.4	mm
Espesor de pico	3.1	mm
Diámetro de la botella	65.7	mm
Altura de la botella	230	mm
Espesor de la botella	2.25	mm

Nota: Medidas realizadas de la botella pet de 625 ml. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Diseño de cuchillas trituradoras.

a. Fuerza de corte

El esfuerzo a la tracción del pet se toma de la figura 10.

$$\tau_{corte} = 0.577 * \sigma_{tracción}$$

$$\tau_{corte} = 0.577 * 91 \text{ MPa}$$

$$\tau_{corte} = 52.507 \text{ MPa}$$

Para calcular el área de corte se considera:

$$A_{corte} = \text{Espesor de la botella} * \text{Longitud del filo de la cuchilla}$$

$$A_{corte} = 2.25 \text{ mm} * 20 \text{ mm}$$

$$A_{corte} = 45 \text{ mm}^2$$

Ahora se calcular la fuerza de corte con la siguiente ecuación:

$$F_{corte} = \tau_{corte} * A_{corte}$$

$$F_{corte} = 52.507 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 45 \text{ mm}^2$$

$$F_{corte} = 2362.815 \text{ N}$$

b. Angulo de corte

La geometría del filo de la cuchilla se definió con base en los parámetros de mecanizado de plásticos, adoptándose un ángulo de despeje de 10° y un ángulo de ataque de 5° , los cuales contribuyen a mejorar el desempeño del proceso de corte.

Figura 28

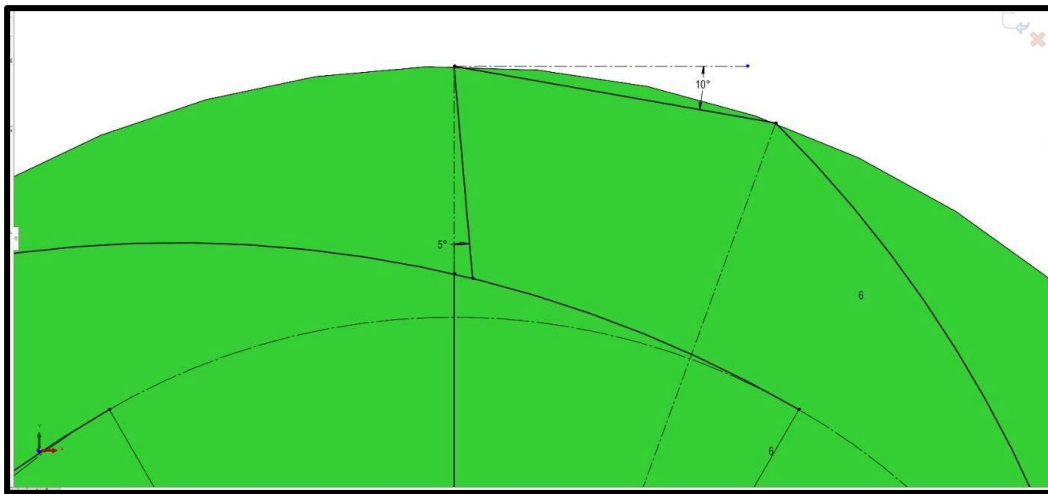
Ángulos de corte para PET

	Milling			Turning				
	number of teeth	cutting speed	feed rate	clearance angle	rake angle	side angle	cutting speed	feed rate
TECAFINE PE, PP	Z1-Z2	250-500	0.1-0.45	6-10	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECAFINE PMP	Z1-Z2	250-500	0.1-0.45	6-10	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECARAN ABS	Z1-Z2	300-500	0.1-0.45	5-15	25-30	15	200-500	0.2-0.5
TECANVL	Z1-Z2	300	0.15-0.5	5-10	6-8	45-60	300	0.1-0.5
TECAFORM AD, AH	Z1-Z2	300	0.15-0.5	6-8	0-5	45-60	300-600	0.1-0.4
TECAMID, TECARIM, TECAST	Z1-Z2	250-500	0.1-0.45	6-10	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECADUR/TECAPET	Z1-Z2	300	0.15-0.5	5-10	0-5	45-60	300-400	0.2-0.4
TECANAT	Z1-Z2	300	0.15-0.4	5-10	6-8	45-60	300	0.1-0.5
TECAFLON PTFE, PVDF	Z1-Z2	150-500	0.1-0.45	5-10	5-8	10	150-500	0.1-0.3
TECAPEI	Z1-Z2	250-500	0.1-0.45	10	0	45-60	350-400	0.1-0.3
TECASON S, P, E	Z1-Z2	250-500	0.1-0.45	6	0	45-60	350-400	0.1-0.3
TECATRON	Z1-Z2	250-500	0.1-0.45	6	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECAPEEK	Z1-Z2	250-500	0.1-0.45	6-8	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECATOR	Z1-Z2	60-100	0.05-0.35	6-8	0-5	7-10	100-120	0.05-0.08
TECASINT	Z1-Z2	90-100	0.05-0.35	2-5	0-5	7-10	100-120	0.05-0.08
Reinforced/filled TECA products*	Z1-Z2	80-450	0.05-0.4	6-8	2-8	45-60	150-200	0.1-0.5

Fuente: Ensinger.

Figura 29

Ángulos óptimos de corte



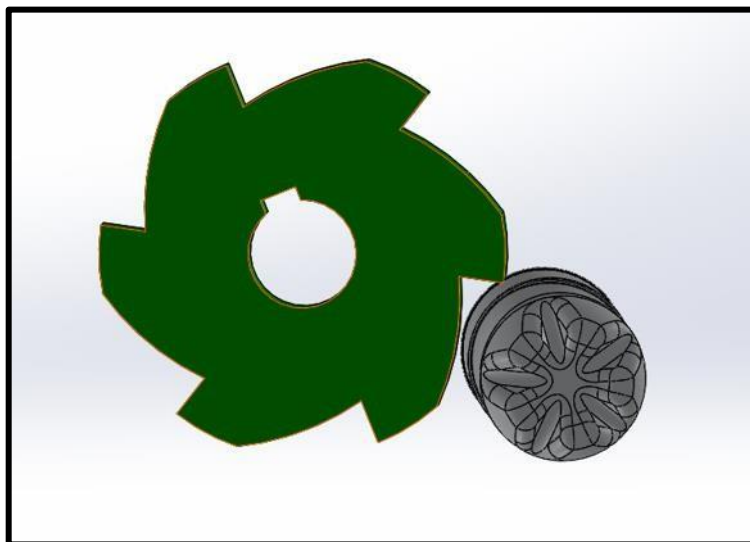
Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

c. Diámetro de las cuchillas

En este caso el diámetro de la cuchilla, va a tener un diámetro de 150mm. Se colocó este valor en función del diámetro de la botella, el cual tiene un valor de 65.7mm.

Figura 30

Representación del proceso de corte entre la cuchilla trituradora respecto a la botella PET



Nota: Podemos observar que el diámetro de la cuchilla trituradora es óptimo respecto al diámetro de la botella PET. Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

3.2.3. Diseño del eje

a. Longitud del eje.

Para hallar la longitud del eje, se tomará en cuenta, la cantidad de cuchillas y separadores, junto con el espesor de las cuchillas y de los separadores.

$$Total_{cuchillas} * espesor_{cuchillas} = 15 * 20mm = 300mm$$

$$Total_{separadores} * espesor_{separadores} = 16 * 20mm = 320mm$$

Además, cada chumacera va a ocupar 25mm, como se va a utilizar 2 chumaceras entonces se tendría valor de 50mm. La suma total da 670mm.

b. Peso de las cuchillas y separadores.

Calculamos el peso de las cuchillas trituradoras:

$$W_{cuchillas} = m_{cuchillas} * g * T_{cuchillas}$$

$$W_{cuchillas} = 2.03kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 15$$

$$W_{cuchillas} = 298.71 N$$

Calculamos el peso de los separadores:

$$W_{separadores} = m_{separadores} * g * Total_{separadores}$$

$$W_{separadores} = 0.481kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 16$$

$$W_{separadores} = 75.5 N$$

Finalmente obtenemos el peso total del eje:

$$W_{total} = W_{cuchillas} + W_{separadores}$$

$$W_{total} = 298.71 N + 75.5 N$$

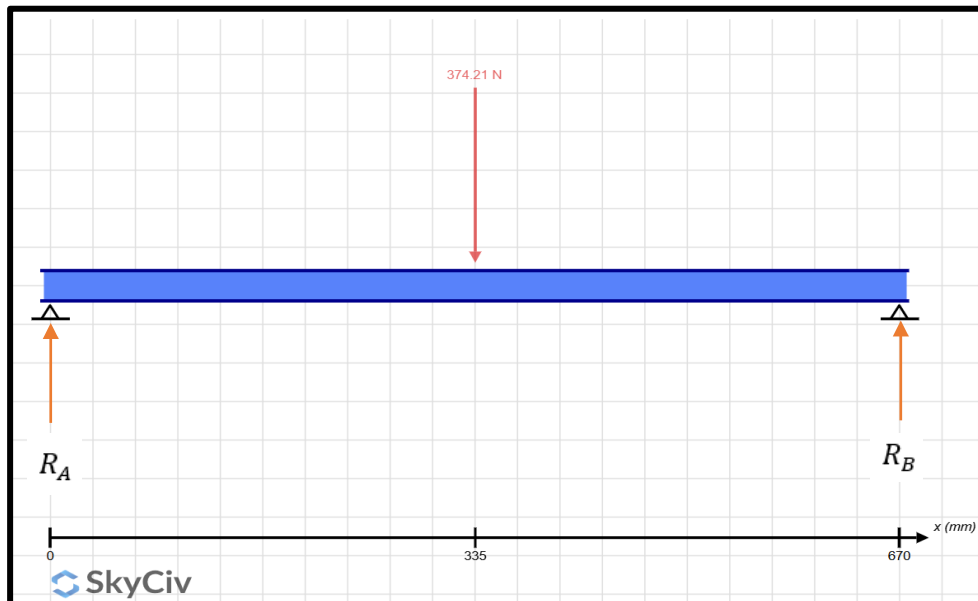
$$W_{total} = 374.21 N$$

c. Fuerza cortante y momento flector máximo.

Se realizó el diagrama de cuerpo libre del eje.

Figura 31

Diagrama de cuerpo libre del eje de la máquina trituradora



Nota: Podemos observar la fuerza total que va a soportar el eje que es de 374.21N:

Fuente: (SkyCiv Engineering, s.f.)

1. Reacciones en los apoyos:

Según los datos anteriores, reemplazamos, en la siguiente ecuación:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - W_{total} = 0$$

$$R_A + R_B = 374.21N$$

2. Momento respecto a A:

Calculamos la reacción en B:

$$\sum M_A = 0$$

$$R_B(0.67m) - 374.21N(0.335m) = 0$$

$$R_B = \frac{374.21N(0.335m)}{0.67m}$$

$$R_B = 187.105N$$

Finalmente calculamos la reacción en A, reemplazamos:

$$R_A + 187.105N = 374.21N$$

$$R_A = 187.105N$$

3. Fuerza cortante

Calculamos la fuerza cortante, por tramos, según el diagrama de cuerpo libre.

Tramo 1: $0 \leq X < 0.335m$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_A - V_1 = 0$$

$$V_1 = +187.105N$$

Tramos 2: $0.335m \leq X \leq 0.670m$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_A - W_{total} - V_2 = 0$$

$$V_2 = +187.105N - 374.21N$$

$$V_2 = -187.105N$$

4. Momento flector máximo

Calculamos el momento flector máximo, con la siguiente ecuación:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{W_{total} * longitud\ total\ del\ eje}{4}$$

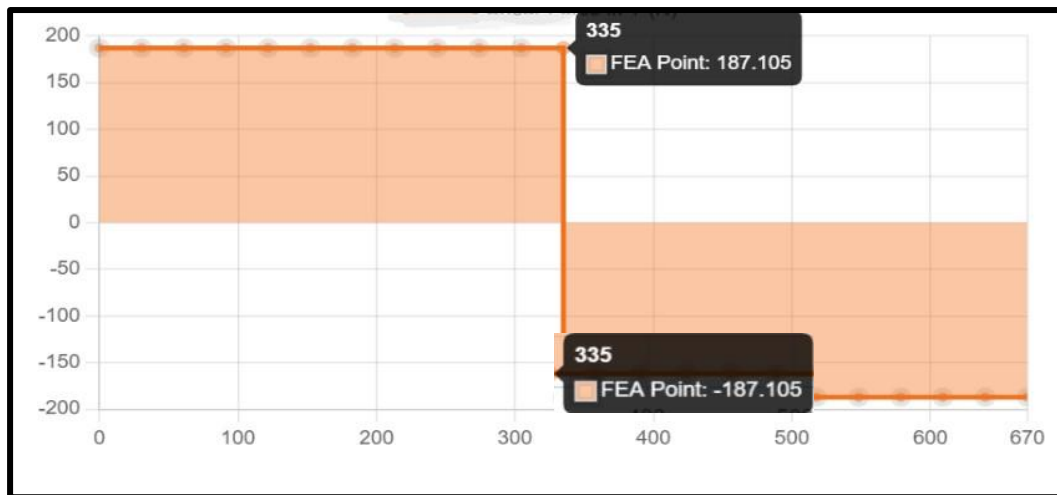
$$M_{m\acute{a}x} = \frac{374.21N * 0.67m}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 62.68\ N.m$$

5. Diagrama de fuerza cortante

Figura 34

Diagrama de fuerza cortante (N)

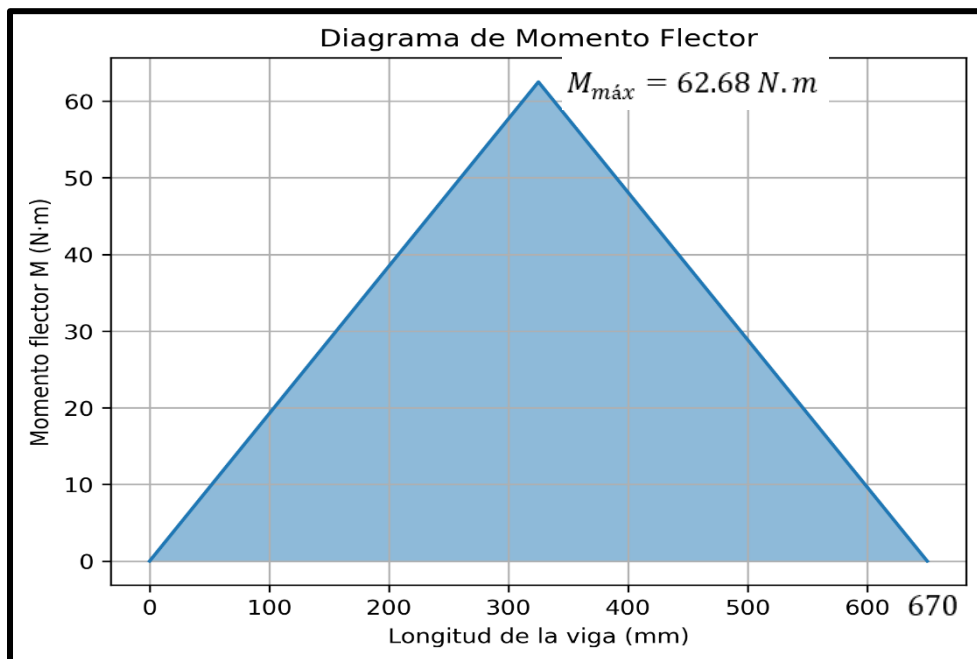


Nota: podemos observar los valores del diagrama de la fuerza cortante de 187.105 N y -187.105 N. Fuente: (SkyCiv Engineering, s.f.)

6. Diagrama de momento flector

Figura 37

Diagrama de momento flector (N.m)



Nota: podemos observar el máximo momento flector máximo que es de 62.68 N.m. Fuente: Elaboración propia.

d. Diámetro el eje.

El valor del diámetro se calcular con la ecuación de ED-Goodman.

$$d = \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_{f a} M_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [+3(K_{f s m} T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

d.1. Límite de resistencia a la fatiga.

d.1.1 Factor de modificación por la condición superficial k_a

Aplicamos la siguiente ecuación:

$$k_a = a S_{ut}^b$$

Entonces obtenemos:

Esmerilado

$$b = -0.058 \quad a = 1.58 \text{ Mpa}$$

El valor de S_{ut} :

$$S_{ut} = 745 \text{ Mpa}$$

Reemplazamos:

$$k_a = a S_{ut}^b$$

$$k_a = 1.58 \text{ Mpa} * 745 \text{ Mpa}^{-0.058}$$

$$k_a = 0.9$$

d.1.2 Factor de modificación por el tamaño k_b

Aplicamos la siguiente ecuación.

$$k_b = 1.51 d^{-0.157}$$

Damos un valor de 60mm

$$k_b = 1.51 * (60)^{-0.157}$$

$$k_b = 0.794$$

d.1.3 Factor de modificación por la carga k_c .

Elegimos el factor de carga de flexión que equivale a 1.

d.1.4 Factor de modificación por la temperatura k_d

En este caso el eje va a estar trabajando a una temperatura de 20°C.

Reemplazamos:

$$k_d = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$k_d = \frac{S_t}{S_{TR}} = 1$$

d.1.5 Factor de confiabilidad k_e

$$k_e = 0.897$$

d.1.6 Factor de modificación por efectos varios k_f .

En este caso elegimos el valor de:

$$k_f = 1$$

d.2 Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria S'_e .

$$S'_e = 0.5 * S_{ut}$$

$$S'_e = 0.5 * 745 \text{ Mpa}$$

$$S'_e = 372.5 \text{ Mpa}$$

d.3 Finalmente calculamos el límite de resistencia a la fatiga.

Reemplazando todos los valores obtenidos anteriormente, obtenemos:

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

$$S_e = 238.771 \text{ Mpa}$$

e. Factor de concentración de esfuerzos en fatiga para esfuerzos cortantes (torsión).

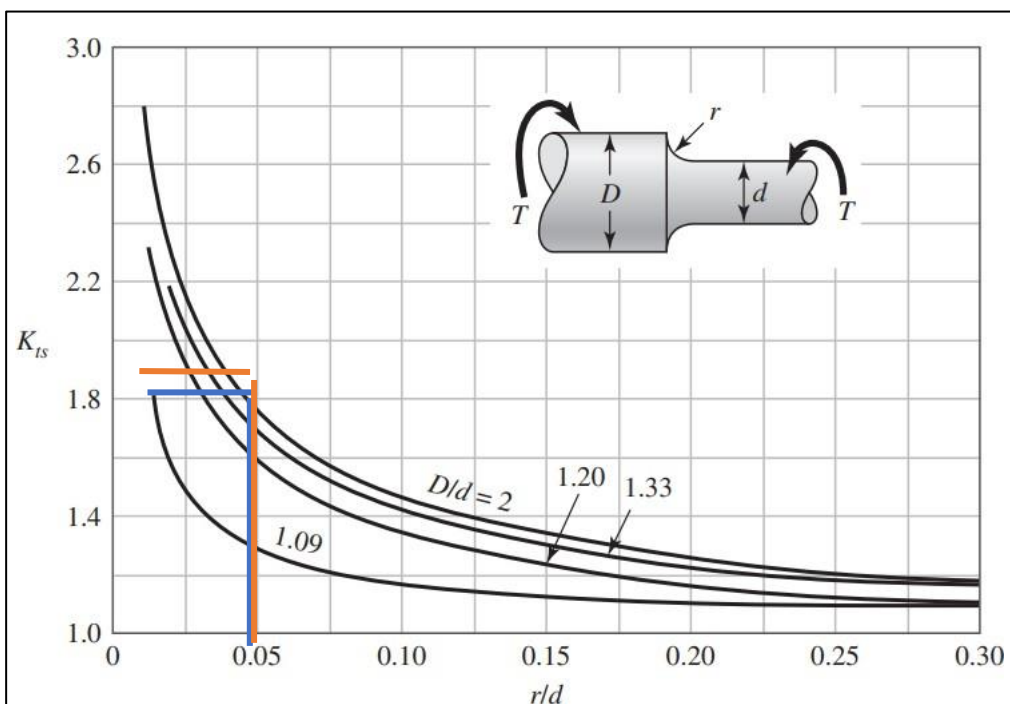
Asumimos diámetro del eje las cuchillas, con un valor de 60mm y de los rodamientos de 40mm y además un radio de filete de 1.5mm.

$$\frac{D}{d} = \frac{60}{40} = 1.5 \quad \frac{r}{d} = \frac{3}{40} = 0.038$$

Ahora ubicamos en el siguiente diagrama:

Figura 40

Eje redondo con filete en el hombro en torsión



Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012)

Obteniendo:

$$K_{ts}(2) = 1.9$$

$$K_{ts}(1.33) = 1.81$$

Ahora interpolamos:

$$K_{ts} = K_1 + (K_2 - K_1) * \frac{X - X_1}{X_1 - X_2}$$

Donde:

$$X_1 = 1.33$$

$$X_2 = 2$$

$$X = 1.5$$

$$K_1 = 1.81$$

$$K_2 = 1.90$$

Reemplazamos:

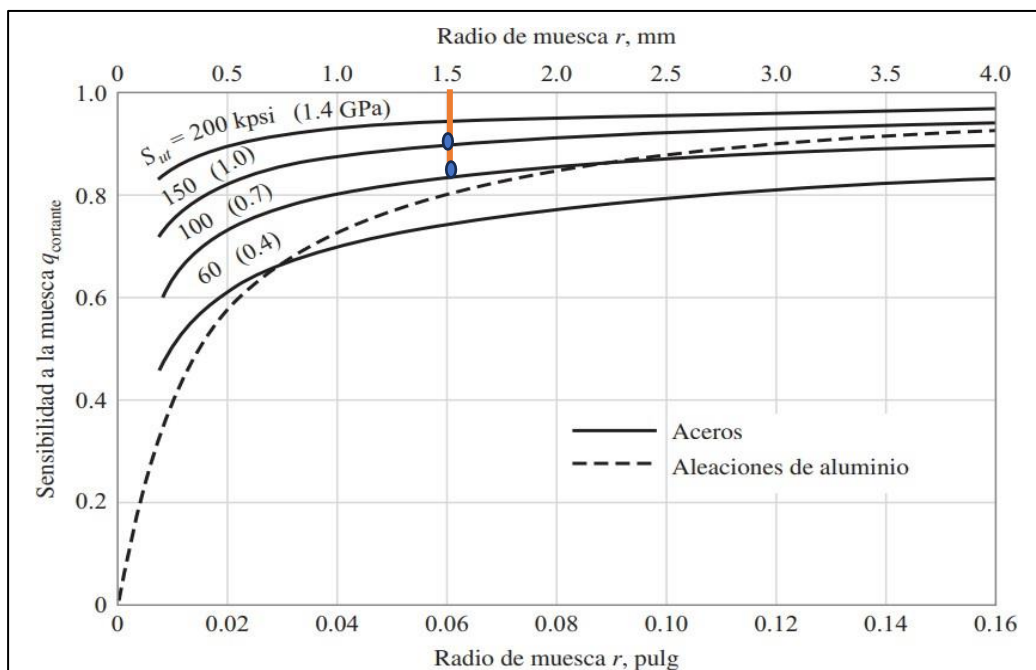
$$K_{ts} = 1.81 + (1.90 - 1.81) * \frac{1.5 - 1.33}{1.33 - 2}$$

$$K_{ts} = 1.83$$

Ahora calculamos el valor de q_{cortante} .

Figura 43

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa



Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012)

Obteniendo:

$$S_{ut1} = 100 \text{ ksi} = 700 \text{ Mpa}$$

$$q_1 = 0.89$$

$$S_{ut2} = 150 \text{ ksi} = 1040 \text{ Mpa}$$

$$q_2 = 0.93$$

Interpolamos:

$$q = q_1 + (q_2 - q_1) * \frac{S_{ut} - S_{ut1}}{S_{ut2} - S_{ut1}}$$

$$q = 0.89 + (0.93 - 0.89) * \frac{745 - 700}{1040 - 700}$$

$$q = 0.895$$

Finalmente:

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.895(1.83 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.743$$

f. Factor de concentración del esfuerzo por fatiga (flexión)

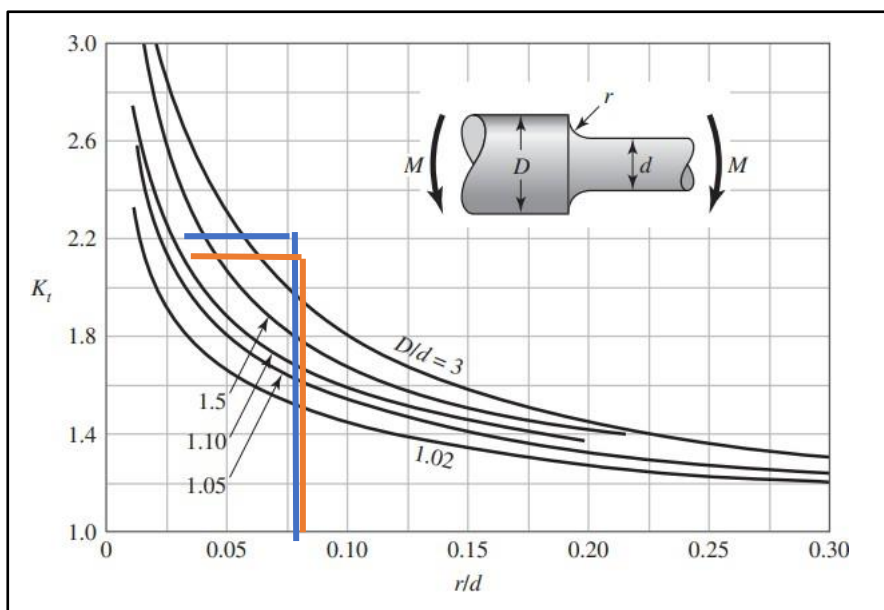
Seguiremos el procedimiento anterior, donde asumimos diámetro del eje las cuchillas, con un valor de 60mm y de los rodamientos de 40mm y además un radio de filete de 1.5mm.

$$\frac{D}{d} = \frac{60}{40} = 1.5 \quad \frac{r}{d} = \frac{3}{40} = 0.038$$

Ahora ubicamos en el siguiente diagrama:

Figura 45

Eje redondo con filete en el hombro en flexión



Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012)

Obteniendo:

$$K_t(1.5) = 2.15$$

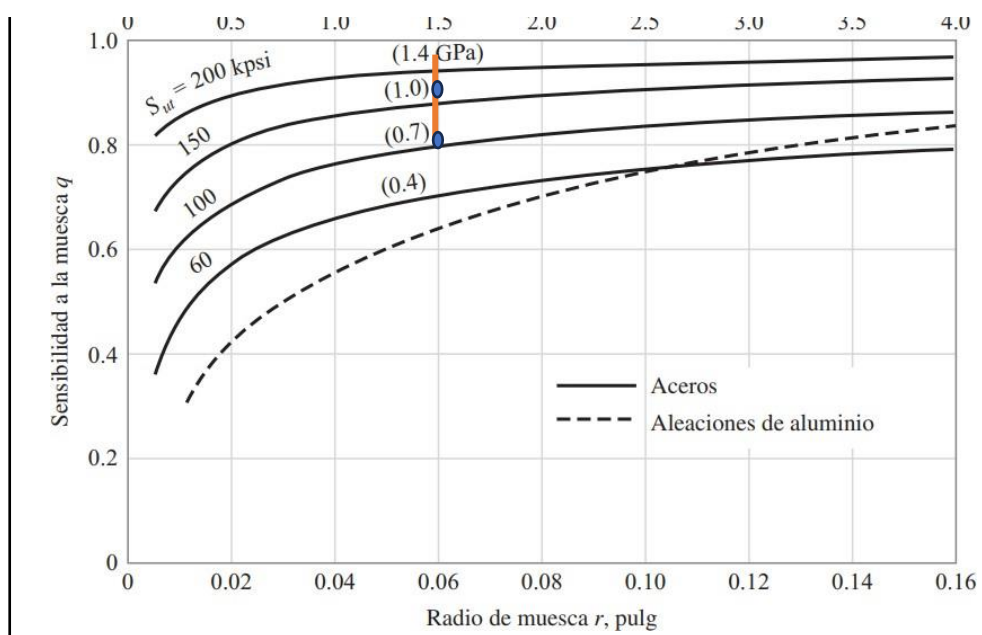
Entonces:

$$K_t = 2.15$$

Ahora calculamos el valor de q.

Figura 46

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a flexión inversa



Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012)

Obteniendo:

$$S_{ut1} = 100 \text{ ksi} = 700 \text{ Mpa}$$

$$q_1 = 0.89$$

$$S_{ut2} = 150 \text{ ksi} = 1040 \text{ Mpa}$$

$$q_2 = 0.93$$

Interpolamos:

$$q = q_1 + (q_2 - q_1) * \frac{S_{ut} - S_{ut1}}{S_{ut2} - S_{ut1}}$$
$$q = 0.89 + (0.93 - 0.89) * \frac{745 - 700}{1040 - 700}$$
$$q = 0.895$$

Entonces remplazamos en la siguiente ecuación:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0.895(2.15 - 1)$$

$$K_f = 2.03$$

Finalmente calculamos el diámetro del eje de la máquina trituradora, con la ecuación ED-Goodman. Reemplazamos los datos obtenidos anteriormente:

$$d = \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [+3(K_{fs} T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 52mm = 5.2cm$$

3.2.4. Diseño de rodamientos.

a. Fuerza tangencial.

Se calculó la fuerza tangencial transmitida por el eje mediante la relación:

$$F_t = \frac{177.211}{0.075}$$

$$F_t = 2362.813 \text{ N}$$

b. Carga radial.

Considerando que la fuerza tangencial se distribuye uniformemente entre los dos rodamientos, la carga radial en cada uno se determina mediante:

$$R = \frac{2362.813 \text{ N}}{2}$$

$$R = 1181.41 \text{ N}$$

c. Carga axial estimada.

La carga axial estimada se calculó considerando un 30 % de la carga radial.

$$T = 0.3 * R$$

$$T = 0.3 * 1181.41 \text{ N}$$

$$T = 354.423 \text{ N}$$

d. Carga equivalente.

La carga equivalente dinámica se determinó mediante la expresión:

$$P = VXR + YT$$

Para un eje giratorio:

$$V = 1$$

Tomamos valores típicos:

$$X = 0.56 \quad y \quad Y = 1.5$$

Reemplazamos:

$$P = 1 * 0.56 * 1181.41N + 1.5 * 354.423N$$

$$P = 1193.224 N$$

e. Vida de diseño.

Para el diseño del rodamiento se estableció una vida útil de:

Figura 47

Duración recomendada para rodamientos

Aplicación	Duración de diseño L_{10} , h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15 000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20 000-30 000
Bombas y compresores	40 000-60 000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100 000-200 000

Nota: Podemos observar la duración de los rodamientos en sus diferentes aplicaciones. Fuente: Mott (2006).

En este caso elegimos $L_d = 20\ 000h$.

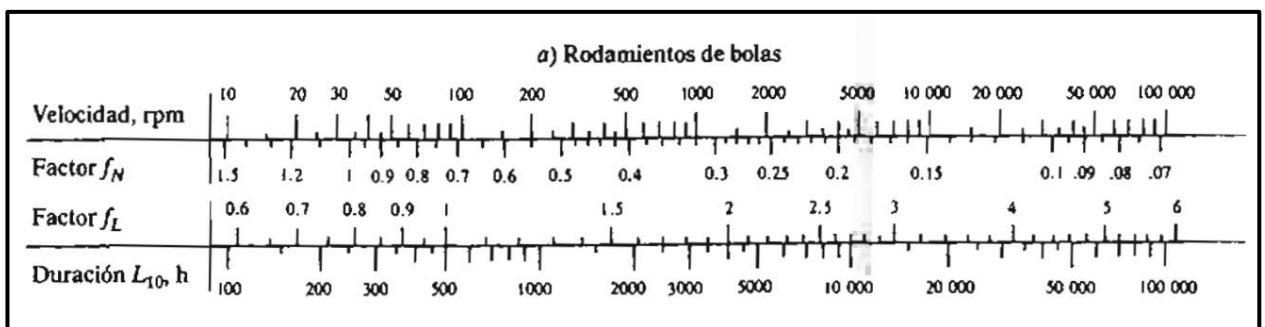
f. Capacidad dinámica requerida.

La capacidad dinámica requerida se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{P_{fl}}{F_N}$$

Figura 48

Factor por velocidad y duración de rodamiento de bolas



Nota: Se puede observar los distintos factores de velocidad y duración del rodamiento de bolas. Fuente: Mott (2006).

Como sabemos la duración de los rodamientos en sus diferentes aplicaciones es de $L_d =$

20 000h. Entonces elegimos $f_N = 0.3$ y el factor de duración $f_L = 3.41$

$$C = \frac{P * f_L}{F_N}$$

$$C = \frac{1193.224N * 3.41}{0.3}$$

$$C = 13562.97N$$

$$C = 13.563 \text{ kN}$$

Se elige un rodamiento rígido de una hilera de bolas con obturaciones comercial 6007-2Z con capacidad de carga de 16,8 KN. Ver anexo E.

3.2.5. Torque.

El torque requerido por el sistema se determinó a partir del radio de la cuchilla y la fuerza de corte.

$$T = r_{cuchilla} * f_{corte}$$

$$Torque = 0.075m * 2362.815 \text{ N}$$

$$Torque = 177.211 \text{ N.m}$$

3.2.6. Potencia del motor.

A partir del torque calculado y considerando una velocidad de operación de 60 rpm, se determinó la potencia útil requerida del sistema.

Torontech Inc.(s.f.) empresa que vende máquinas trituradoras, menciona que “ las trituradoras de un solo eje funcionan a 60 rpm, además estas trituradoras son silenciosas”.

$$P_{motor} = \frac{P_{\text{útil}}}{\eta}$$

$$P_{motor} = \frac{t * V}{\eta}$$

$$P_{motor} = \frac{177.211 \text{ N.m} * \frac{60rev}{min} * \frac{2\pi}{1 rev} * \frac{1 min}{60s}}{0.9}$$

$$P_{motor} = 1237.2 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{746 \text{ W}}$$

$$P_{motor} = 1.658 \text{ HP}$$

$$P_{motor} = 2 \text{ HP}$$

Se eligió un Motor trifásico con voltajes de 220/380/440V y 1800RPM, de la marca ABB. Ver anexo F.

3.2.7. Potencia del reductor.

En este caso se seleccionó el reductor de relación 1:30, porque el motor es de 1800 rpm y la máquina trituradora funciona a 60 rpm, como se describió anteriormente. Se seleccionó el reductor ortogonal tipo E-K, de la marca Phiwel. Ver anexo G.

Tabla 6

Características del reductor ortogonal tipo E-K

Reductor	Tipo	Marca	Características
Ortogonal	E-K	PHIWEL	Relación de reducción de 5 hasta 197
			Torque máximo de salida: 50,000 Nm
			Alta eficiencia entre 94% y 98%
			Carcasa de hierro fundido
			Para motores de 0.12 kW hasta 200 kW

Nota: En esta tabla podemos observar las características que del reductor seleccionado.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de (Fequsa Ings SAC, s.f.).

Reemplazamos:

$$\omega_s = \frac{\omega_m}{\omega_r}$$
$$\omega_s = \frac{1800}{30}$$
$$\omega_s = 60 \text{ rpm}$$

3.2.8. Potencia del variador de frecuencia.

Para hallar la potencia del variador de frecuencia se va a tener en cuenta, la siguiente ecuación:

$$P_{vf} > P_m$$

$$4hp > 2hp$$

Se escogió un variador de velocidad y frecuencia 4HP 3KW monofásico a trifásico 220v. Ver anexo H

3.2.9. Dimensionamiento de conductores.

- a. Sección del conductor desde la salida del inversor hacia la entrada del interruptor termomagnético.

- a.1 Para hallar la intensidad de corriente, se aplica la siguiente ecuación.

$$I = \frac{M \cdot D}{K * V * F \cdot P}$$

Calculamos la intensidad de corriente desde la salida del inversor hacia la entrada del interruptor termomagnético.

$$I = \frac{2238.02 \text{ W}}{1 * 220 * 1}$$

$$I = 10.17A$$

Seleccionamos un interruptor termomagnético monofásico de 37 A y sección del conductor de 2.5 mm². Ver anexo I.

a.2 Caída de tensión en voltios.

Para hallar la caída de tensión en voltios aplicamos la siguiente ecuación.

$$\Delta V = \frac{X * I_s * L * \delta * F.P}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 * 37 * 1.5 * 0.0175 * 1}{2.5}$$

$$\Delta V = 0.777V$$

a.3 Caída de tensión en porcentaje.

Para hallar la caída de tensión en porcentaje aplicamos la siguiente ecuación.

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(\text{voltios}) * 100}{V}$$

$$\Delta V(\%) = \frac{0.777 * 100}{220}$$

$$\Delta V(\%) = 0.353$$

b. Sección del conductor desde la salida del interruptor termomagnético hacia la entrada del motor eléctrico.

$$I = \frac{2238.02 \text{ W}}{1 * 220 * 1}$$

$$I = 10.17A$$

Seleccionamos un interruptor termomagnético monofásico de 37 A y sección del conductor de 2.5 mm². Ver anexo I.

b.1 Caída de tensión en voltios.

Para hallar la caída de tensión en voltios aplicamos la siguiente ecuación.

$$\Delta V = \frac{X * I_s * L * \delta * F.P}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 * 37 * 0.3 * 0.0175 * 1}{2.5}$$

$$\Delta V = 0.1554V$$

b.2 Caída de tensión en porcentaje.

Para hallar la caída de tensión en porcentaje aplicamos la siguiente ecuación.

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(\text{voltios}) * 100}{V}$$

$$\Delta V(\%) = \frac{0.1554 * 100}{220}$$

$$\Delta V(\%) = 0.0706$$

c. Sección del conductor desde la salida del variador de frecuencia hacia la entrada del motor trifásico.

$$I = \frac{2238.02 \text{ W}}{\sqrt{3} * 220 * 1}$$

$$I = 5.87A$$

Seleccionamos la sección de conductor de 2.5 mm^2 . Ver anexo I.

c.1 Caída de tensión en voltios.

Para hallar la caída de tensión en voltios aplicamos la siguiente ecuación.

$$\Delta V = \frac{X * I_s * L * \delta * F.P}{S}$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * 37 * 0.3 * 0.0175 * 1}{2.5}$$

$$\Delta V = 0.135V$$

c.2 Caída de tensión en porcentaje.

Para hallar la caída de tensión en porcentaje aplicamos la siguiente ecuación.

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(\text{voltios}) * 100}{V}$$

$$\Delta V(\%) = \frac{0.135V * 100}{220}$$

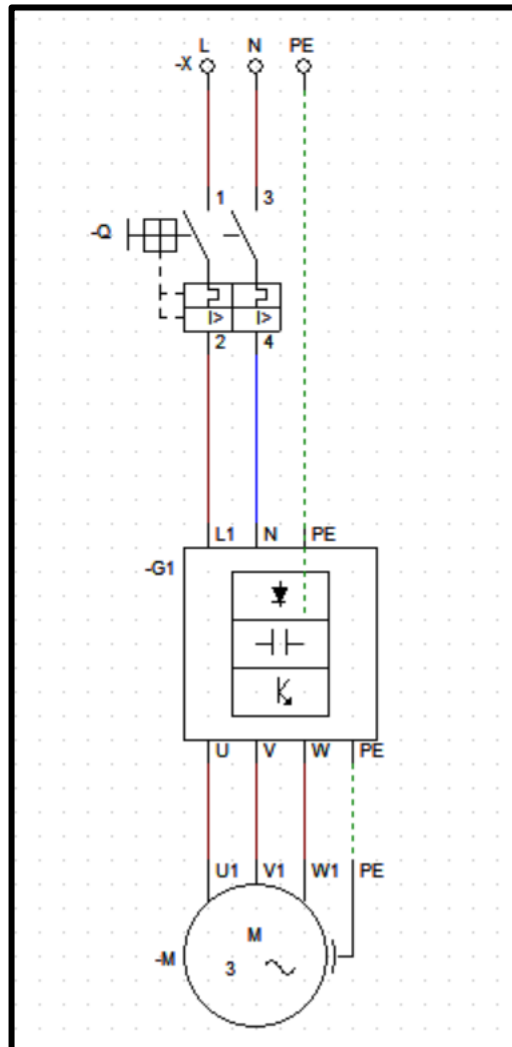
$$\Delta V(\%) = 0.0614$$

3.2.10. Diagrama de fuerza y control.

A continuación, observamos los diagramas de fuerza y control para la máquina trituradora. Los circuitos se diseñaron en el software Cade Simu.

Figura 49

Diagrama de fuerza



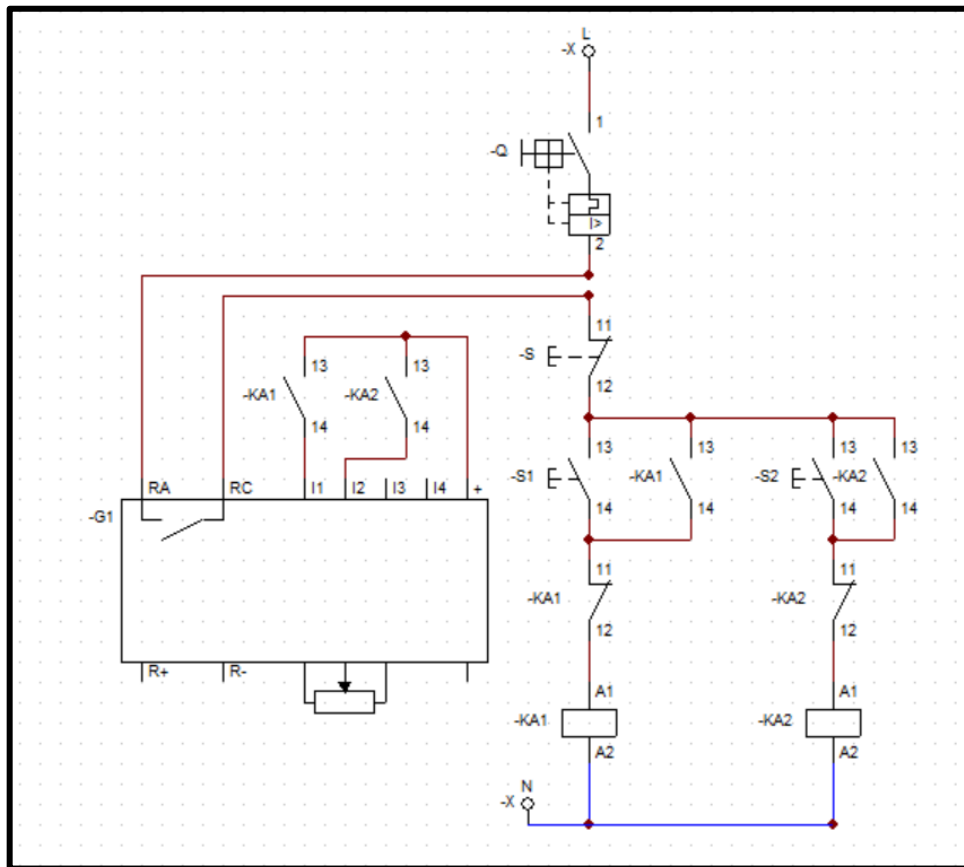
Fuente: Elaboración propia en software cade simu.

A continuación, describiremos el diagrama de fuerza.

- La alimentación monofásica (L y N) ingresa desde la red hacia un interruptor termomagnético (Q), que protege el circuito contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Desde el interruptor, la energía se suministra al variador de frecuencia (G1).
- El variador convierte la alimentación monofásica en una salida trifásica de frecuencia y tensión variables (U, V y W), permitiendo controlar la velocidad del motor.
- Finalmente, la salida del variador alimenta el motor trifásico (M).
- El conductor PE (puesta a tierra) conecta el variador y el motor para brindar protección frente a fallas eléctricas.

Figura 50

Diagrama de control



Fuente: Elaboración propia en software cadesim.

A continuación, describiremos el diagrama de fuerza.

- La alimentación del circuito de control pasa primero por el interruptor termomagnético (Q).
- El pulsador S (11-12) es un contacto normalmente cerrado que actúa como botón de paro, interrumpiendo la alimentación del circuito cuando se presiona.
- El pulsador S1 es un contacto normalmente abierto que energiza el relé KA1, cuyo contacto auxiliar mantiene el enclavamiento y envía al variador la orden de funcionamiento en un sentido de giro.
- El pulsador S2 energiza el relé KA2, cuyo contacto auxiliar mantiene el enclavamiento y envía al variador la orden de funcionamiento en el sentido contrario.
- Los contactos normalmente cerrados de KA1 y KA2 realizan un enclavamiento eléctrico, impidiendo que ambos relés se activen al mismo tiempo y evitando órdenes simultáneos de giro.

- Las entradas digitales I1, I2, I3 e I4 del variador reciben las señales provenientes de los relés para ejecutar las funciones programadas (arranque, paro, giro directo o giro inverso, según la configuración del variador).

3.2.11. Presupuesto de la máquina trituradora

A continuación, se muestra el presupuesto de la máquina trituradora.

Tabla 7

Precios total de la máquina trituradora

N.º	Descripción	Cant.	P. Unit. (S/.)	Precio total (S/.)
1	Estructura metálica	1	850	850
2	Placa de soporte	2	45	90
3	Placa soporte rodamiento	2	60	120
4	Chumacera UCP210	2	115	230
5	Eje AISI 1045	1	480	480
6	Varilla roscada	2	18	36
7	Cuchilla trituradora	15	125	1875
8	Separador	16	18	288
9	Separador lateral 1	30	6	180
10	Separador lateral 2	32	6	192
11	Canal chavetero	1	25	25
12	Criba	1	180	180
13	Tolva inferior	1	240	240
14	Tolva superior	1	260	260
15	Acoplador 1	1	120	120
16	Acoplador 2	1	120	120
17	Tornillo ISO4015 M16x55	14	3.5	49
18	Tornillo ISO4015 M12x45	4	2.5	10
19	Tuerca ISO8673 M12x1.5	4	1.5	6
20	Motor trifásico 2 HP	1	867.34	867.34
Costo total				S/6,218.34

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el presupuesto del tablero eléctrico.

Tabla 8

Precio total del tablero eléctrico

Ítem	Descripción	Cant.	Precio Unitario (S/.)	Precio total (S/.)
1	Gabinete metálico IP54 600×500×200 mm	1	560.00	560.00
2	Interruptor termomagnético bipolar 2×16 A	1	78.00	78.00
3	Variador de frecuencia 2 HP, 220 V, entrada monofásica/salida trifásica (CHINT o similar)	1	942.00	942.00
4	Relé auxiliar 220 VAC	2	42.00	84.00
5	Base para relé	2	18.00	36.00
6	Pulsador de paro (NC, rojo)	1	28.00	28.00
7	Pulsador de marcha (NO, verde)	2	28.00	56.00
8	Borneras para riel DIN	10	5.00	50.00
9	Canaleta ranurada 40×40 mm (2 m)	2	32.00	64.00
10	Riel DIN galvanizado (1 m)	1	25.00	25.00
11	Barra de puesta a tierra	1	28.00	28.00
12	Cableado, punteras, terminales y accesorios	1	95.00	95.00
Costo total				S/ 2,046.00

Fuente: Elaboración propia.

Precio total de la máquina trituradora y tablero eléctrico.

Tabla 9

Presupuesto total de la máquina trituradora y tablero eléctrico

Ítem	Descripción	Cant.	Precio Unitario (S/.)	Precio total (S/.)
1	Máquina trituradora	1	6,218.34	6,218.34
2	Tablero eléctrico	1	2,046.00	2,046.00
Costo total				S/ 8,264.34

Fuente: Elaboración propia.

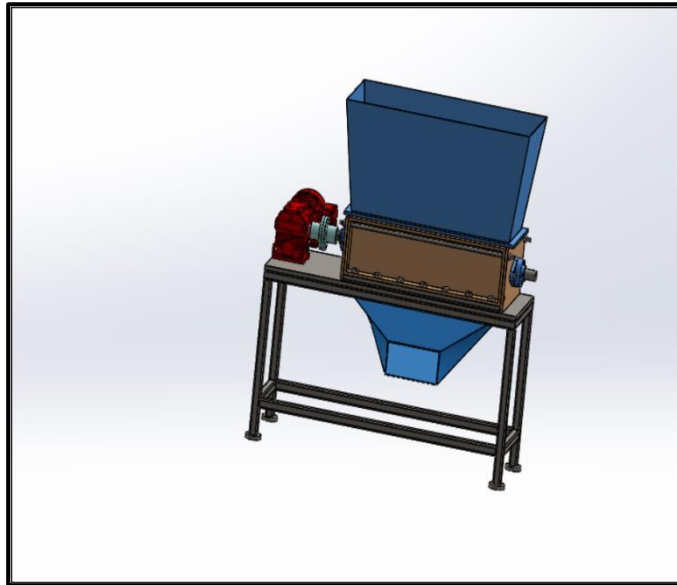
3.3. OE3: Simular la máquina trituradora mediante software SolidWorks.

3.3.1. Modelado CAD de la máquina trituradora.

A continuación, se observa el modelado en CAD en 3D de la máquina trituradora y su vista explosionada. Los planos se encuentran en el anexo P.

Figura 51

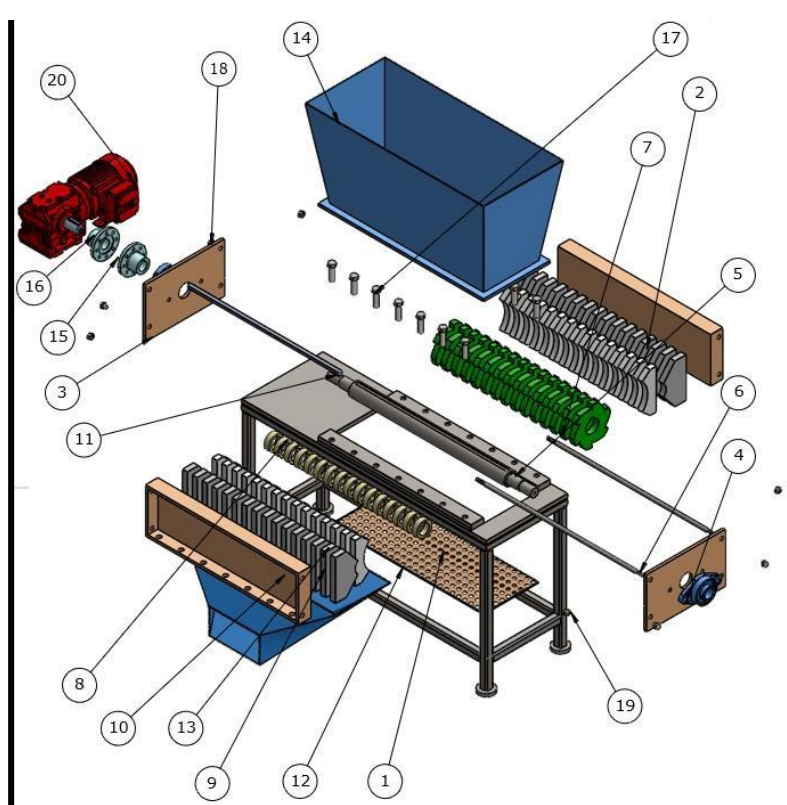
Modelo 3D de máquina trituradora



Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

Figura 52

Vista explosionada de máquina trituradora



Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

Tabla 10

Piezas de la máquina trituradora

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Estructura metálica	1
2	Placa de soporte	2
3	Placa de soporte de rodamiento	2
4	Chumacera	2
5	Eje	1
6	Varilla roscada del prisionero doble	2
7	Cuchilla trituradora	15
8	Separador	16
9	Separador lateral 1	30
10	Separador lateral 1	32
11	Canal chavetero	1
12	Criba	1
13	Tolva inferior	1
14	Tolva superior	1
15	Acoplador 1	1
16	Acoplador 2	1
17	Tornillo ISO 4015 - M16 x 55 x 38-N	14

18	Tornillo ISO 4015 - M12 x 45 x 30-N	4
19	Tornillo ISO 8673 - M12 x 1.5 - W - N	4
20	Motor trifásico	1

Fuente: Elaboración propia.

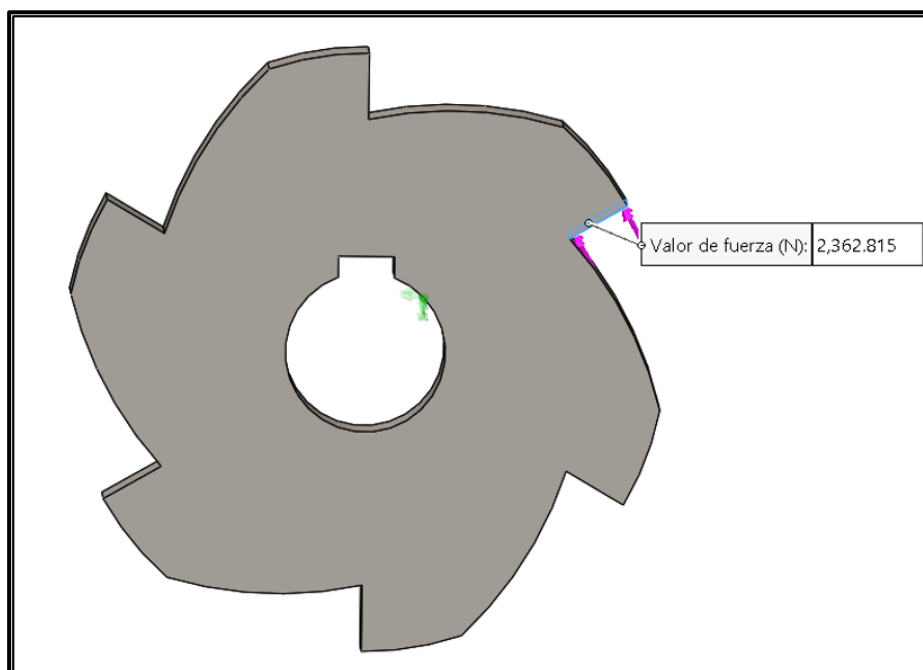
3.3.2. Simulación CAE de la máquina trituradora.

La simulación de estos elementos permite evaluar de manera directa los esfuerzos equivalentes de Von Mises, los desplazamientos, deformaciones unitarias y los factores de seguridad, garantizando la integridad estructural y el correcto funcionamiento del sistema. A continuación, se va a realizar, la simulación de los elementos más críticos.

a. Simulación de la cuchilla trituradora.

Figura 53

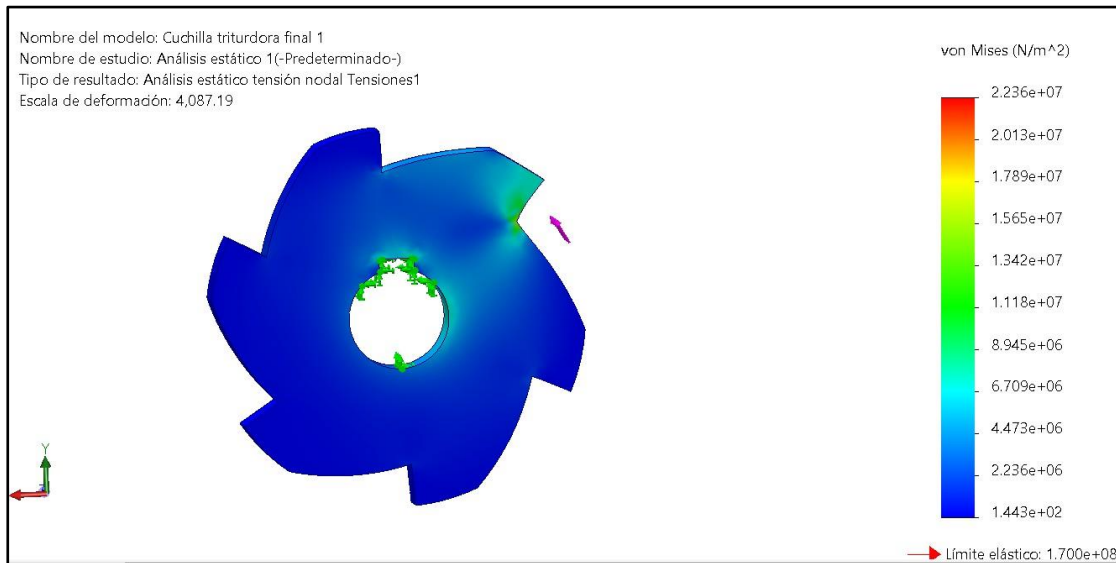
Cuchilla trituradora



Nota: Podemos la fuerza de corte de la cuchilla trituradora. Fuente elaboración propia en software SolidWorks.

Figura 55

Esfuerzos equivalentes de Von Mises en la cuchilla trituradora

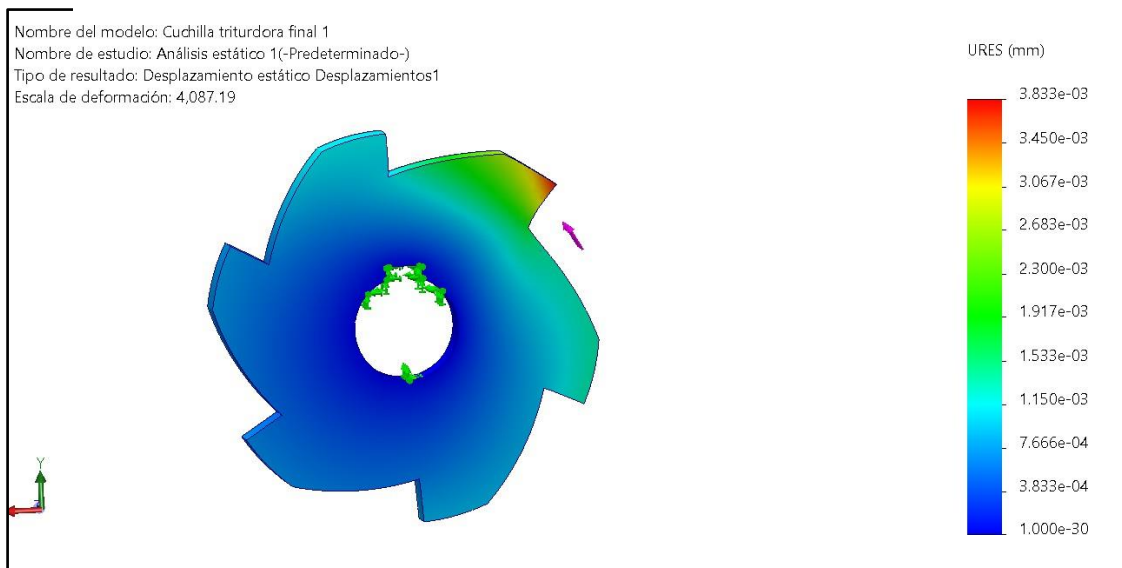


Nota: Podemos la fuerza de corte de la cuchilla trituradora. Fuente elaboración propia en software SolidWorks

El resultado de tensiones muestra que la cuchilla trabaja mayormente en niveles bajos de esfuerzo, concentrándose los valores más altos en el borde del orificio central y en la zona del diente donde se aplica la carga. La tensión máxima obtenida ($2,24 \times 10^7$ Pa) es muy inferior al límite elástico del material ($1,70 \times 10^8$ Pa), lo que indica que la cuchilla permanece completamente dentro del régimen elástico. No existe riesgo de plastificación ni de falla por fluencia bajo las condiciones de carga analizadas, y el diseño presenta un amplio margen de seguridad.

Figura 56

Desplazamiento total obtenido en la cuchilla trituradora

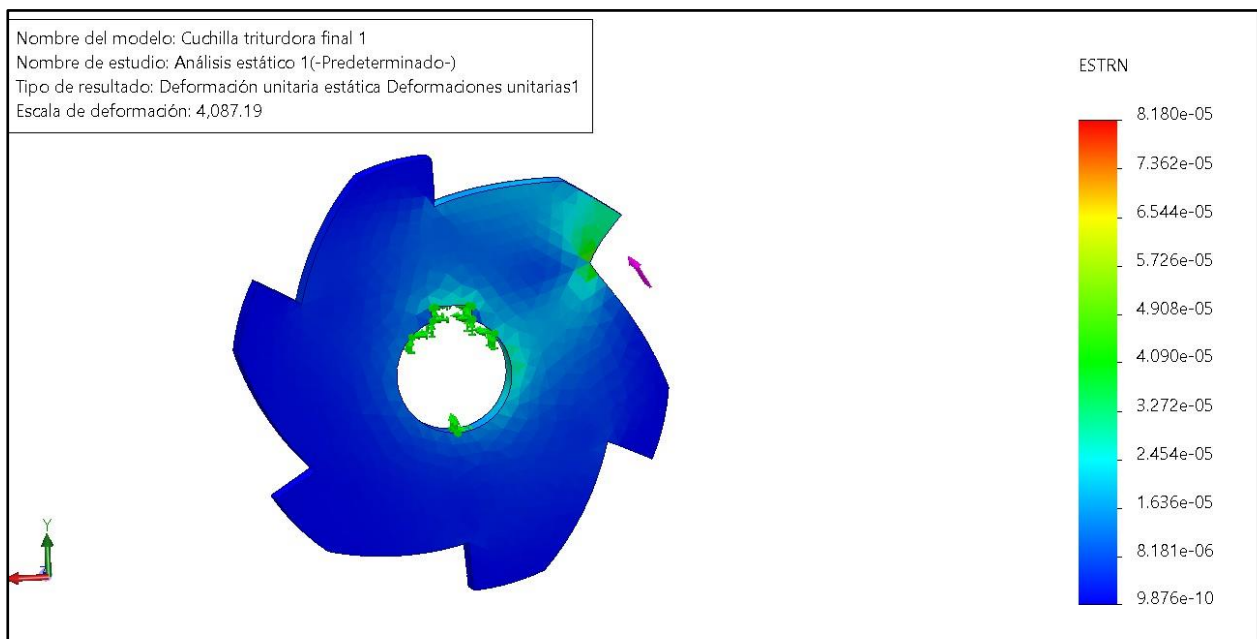


Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

El análisis de desplazamientos indica que la mayor deformación ocurre en el borde externo de la cuchilla, específicamente en el diente sometido a la carga, mientras que la zona central permanece prácticamente inmóvil debido a las restricciones aplicadas. El desplazamiento máximo es del orden de 0,0038 mm, un valor muy pequeño en relación con el tamaño de la pieza, lo que demuestra que la cuchilla es estructuralmente rígida y que la deformación no afecta su funcionalidad ni su precisión durante el trabajo.

Figura 57

Deformación unitaria equivalente (ϵ) en la cuchilla trituradora

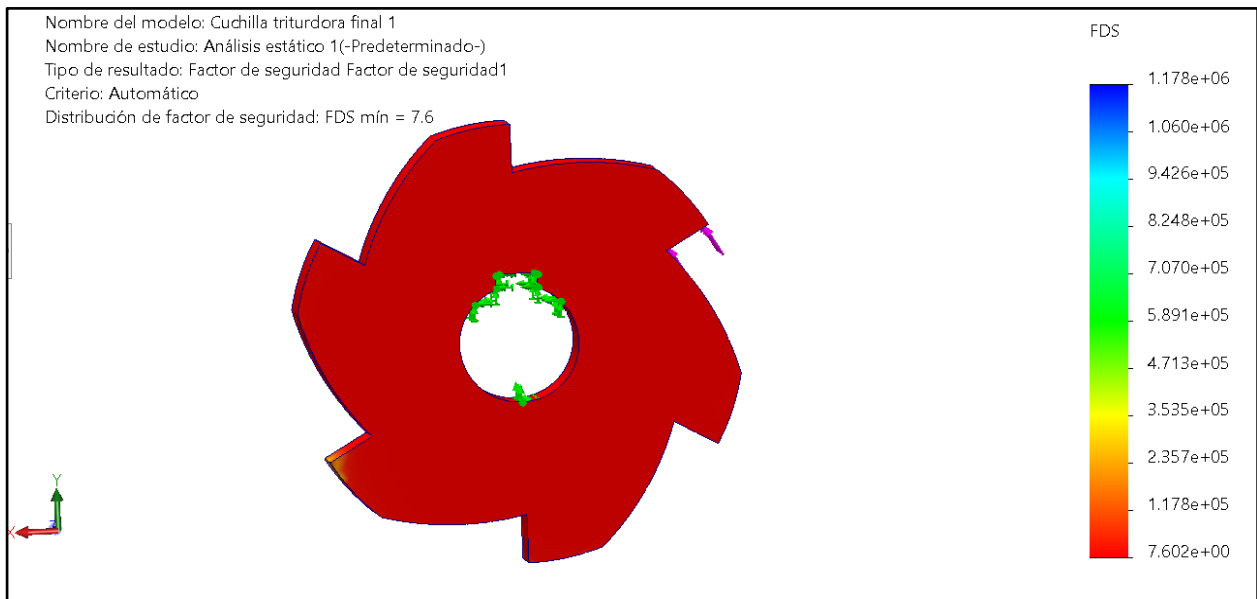


Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

El campo de deformaciones unitarias presenta valores máximos del orden de $8,18 \times 10^{-5}$, concentrados en las mismas zonas donde se observan las mayores tensiones, principalmente alrededor del orificio central y en el diente cargado. Estos valores son bajos y coherentes con un comportamiento elástico lineal del material, confirmando que no existen deformaciones excesivas ni acumulación de daño estructural en la cuchilla bajo la carga aplicada.

Figura 58

Factor de seguridad obtenido en la cuchilla trituradora



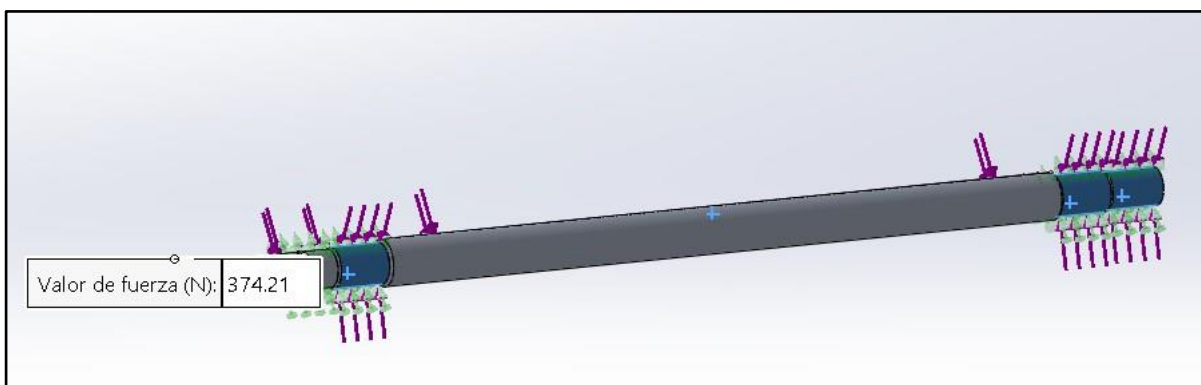
Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

El análisis de factor de seguridad arroja un valor mínimo de 7.6, localizado en el agujero central, lo que indica que la cuchilla puede soportar varias veces la carga aplicada sin riesgo de falla; para la trituración de botellas PET, este valor representa un margen de seguridad alto, por lo que la pieza es estructuralmente segura y se encuentra sobredimensionada bajo las condiciones de carga estática analizadas.

b. Simulación del eje.

Figura 59

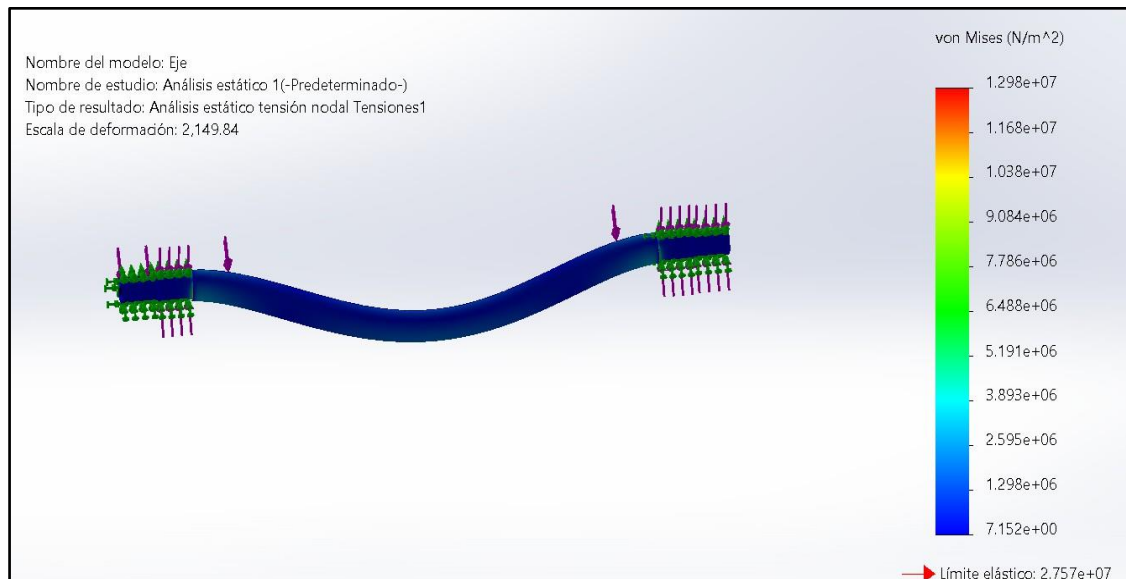
Eje de la máquina trituradora



Nota: Podemos observar el peso que va a soportar el eje. Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

Figura 60

Análisis de tensión de Von Mises en el eje

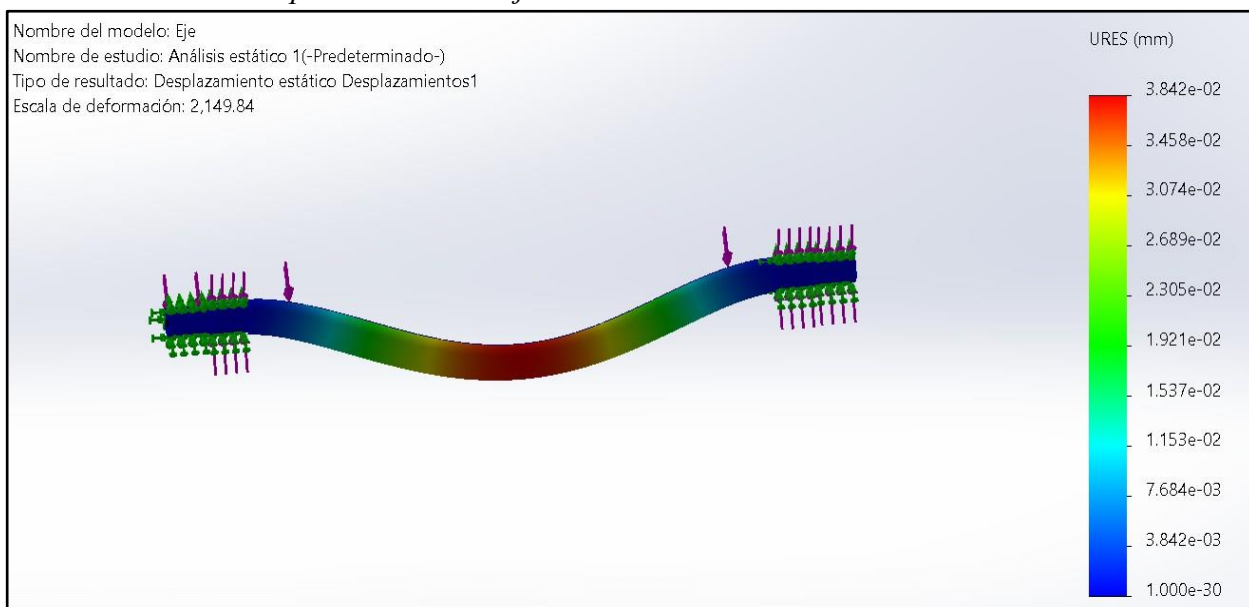


Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

En el análisis de von Mises, lo positivo es que el esfuerzo máximo ($\sim 1.3 \times 10^7$ N/m²) está claramente por debajo del límite elástico del material ($\sim 2.76 \times 10^7$ N/m²). Esto significa que el eje trabaja dentro del rango elástico, sin riesgo de deformación permanente bajo la carga analizada. Además, la distribución de esfuerzos es relativamente uniforme a lo largo del eje, sin concentraciones críticas severas en la zona central, lo que indica un diseño estructuralmente adecuado y con un margen de seguridad aceptable para operación estática en la trituradora de PET

Figura 61

Simulación del desplazamiento del eje

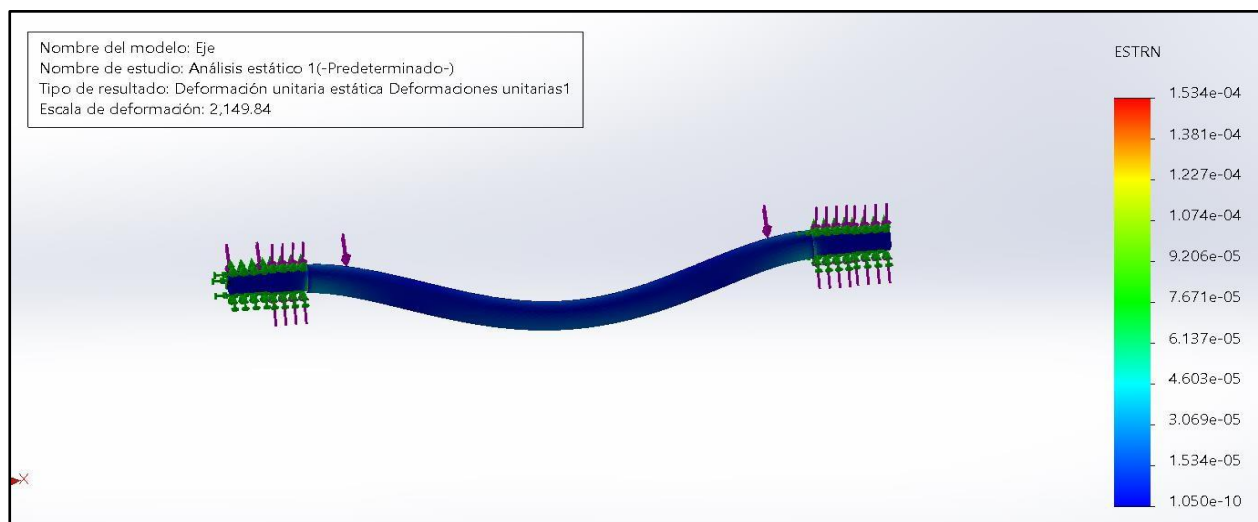


Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

El desplazamiento máximo es aproximadamente 0.038 mm y se presenta en la zona central del eje, coherente con un comportamiento típico de flexión entre apoyos. La magnitud es pequeña, indicando buena rigidez estructural para la carga aplicada; la forma deformada amplificada confirma una deflexión suave sin concentraciones bruscas.

Figura 63

Simulación de la deformación unitaria del eje

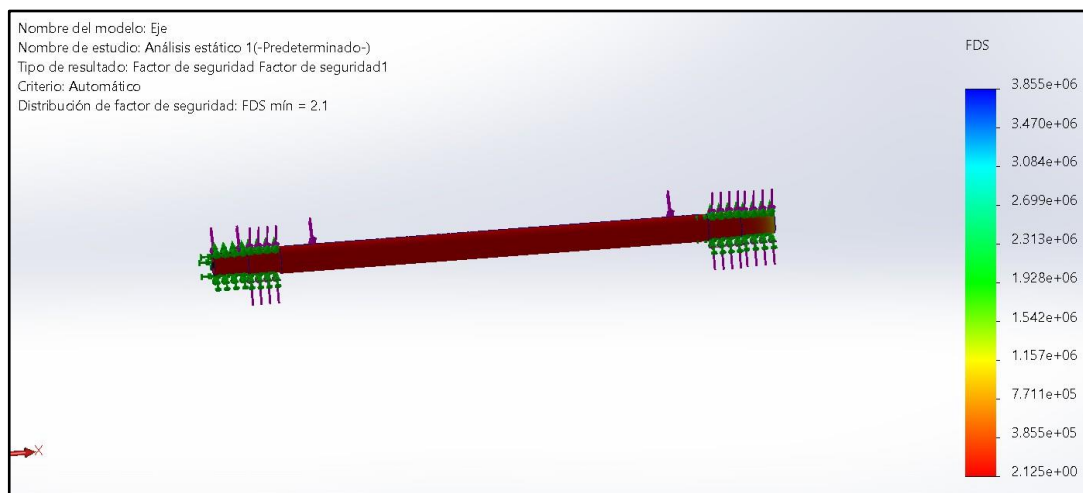


Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

La deformación unitaria máxima es del orden de 1.5×10^{-4} , localizada principalmente en las fibras externas donde la flexión es mayor. Este valor es bajo y consistente con un régimen elástico, lo que confirma que el eje de la trituradora de botellas PET opera sin superar los límites admisibles del material en este escenario estático.

Figura 65

Simulación del factor de seguridad del eje



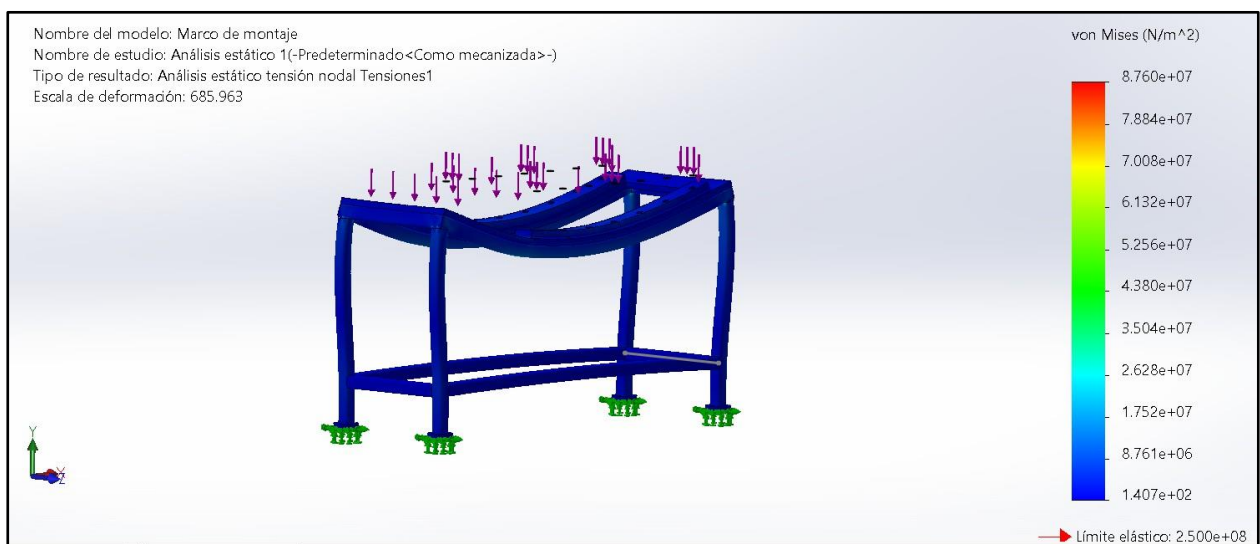
Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

El análisis estático del eje de la trituradora muestra la distribución del factor de seguridad (FDS) bajo las cargas aplicadas. El valor mínimo es $FDS = 2.1$, lo que indica que el eje puede soportar aproximadamente el doble de la carga actual antes de alcanzar el límite del criterio de falla seleccionado. Las zonas más críticas se concentran cerca de los apoyos o extremos (donde se aplican restricciones y cargas), mientras que el resto del eje presenta factores de seguridad mucho mayores. En general, el diseño es estructuralmente seguro para las condiciones simuladas, aunque podría optimizarse si se busca reducir material manteniendo un margen adecuado de seguridad.

c. Simulación de la estructura metálica.

Figura 66

Simulación de Von mises en estructura metálica

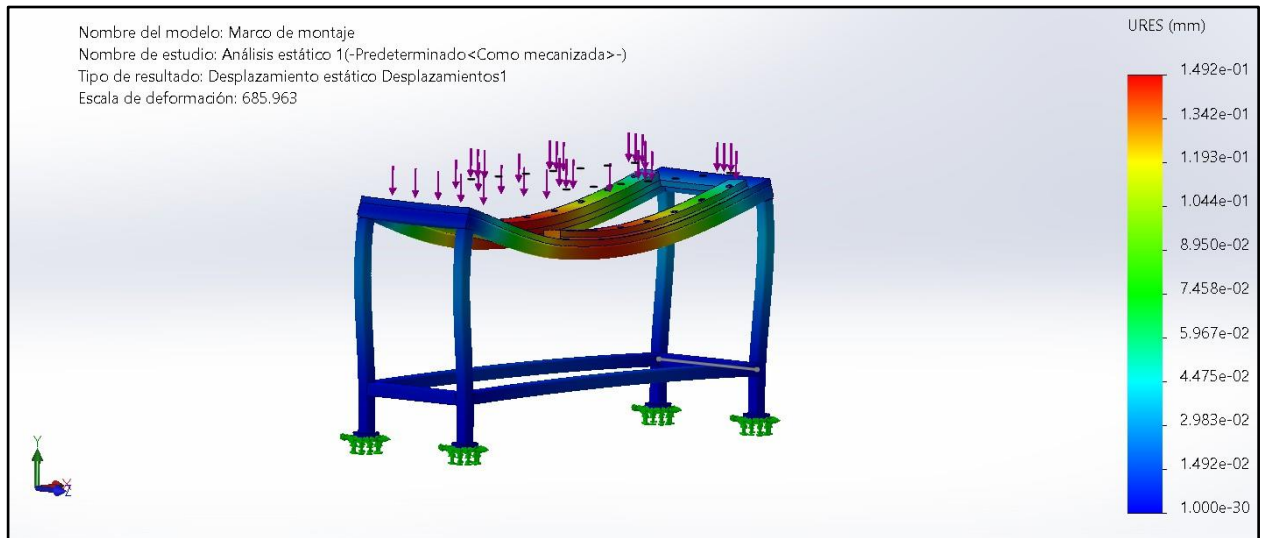


Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

La tensión máxima es aproximadamente $8.76 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ($\approx 87 \text{ MPa}$), localizada principalmente en las vigas superiores curvas donde se aplican las cargas. Este valor está por debajo del límite elástico de $2.50 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ (250 MPa), por lo que la estructura trabaja en el rango elástico y tiene un margen de seguridad adecuado. Las columnas y la base muestran tensiones bajas (zonas azules), indicando que no son zonas críticas bajo esta condición de carga estática.

Figura 67

Simulación de desplazamiento de estructura metálica

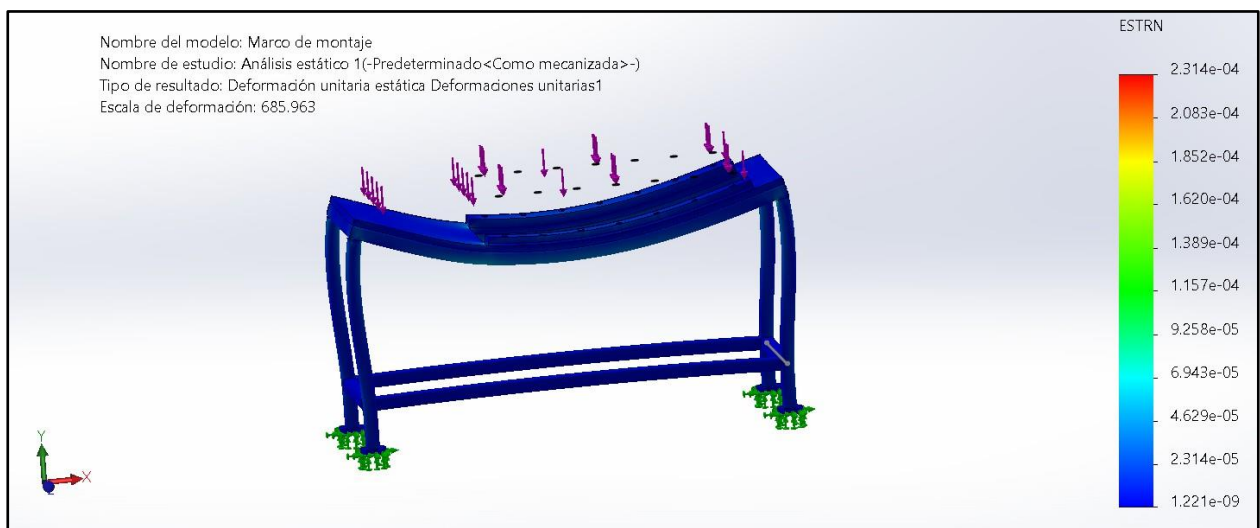


Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

El desplazamiento máximo es cercano a 0.15 mm, concentrado en la parte superior del bastidor, especialmente en el centro de las vigas curvas. Este valor es pequeño, lo que indica buena rigidez global del marco. La base y las patas prácticamente no presentan movimiento debido a las restricciones en los apoyos.

Figura 68

Simulación de deformación unitaria de estructura metálica

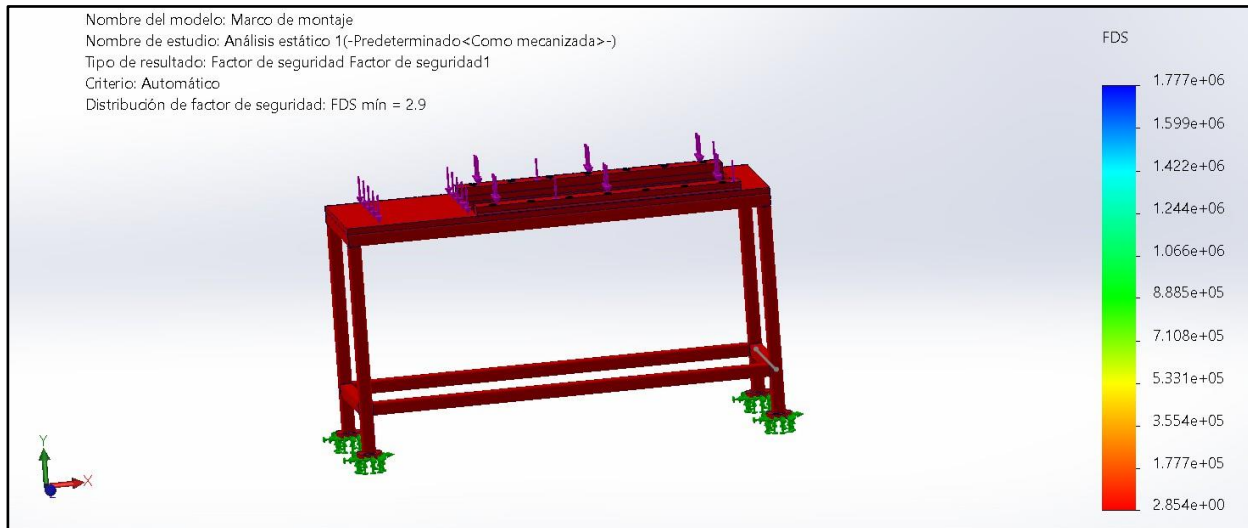


Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

La deformación unitaria máxima es del orden de 2.3×10^{-4} , también localizada en las vigas superiores. Este nivel de deformación es bajo y coherente con las tensiones obtenidas, confirmando que el material no alcanza la zona plástica. En general, la estructura presenta un comportamiento estable, siendo la parte superior la zona más exigida estructuralmente.

Figura 69

Simulación del factor de seguridad de estructura metálica



Fuente: Elaboración propia en software SolidWorks.

Es un análisis estático del bastidor de una trituradora de botellas PET de un solo eje. El factor de seguridad mínimo es 2.9, lo que indica que la estructura soporta las cargas aplicadas con un margen de seguridad adecuado

3.4. OE4: Dimensionar el sistema fotovoltaico

3.4.1. Área geográfica de estudio.

El área geográfica donde se realizó el estudio es en la Universidad Nacional de Jaén. Entonces obtenemos:

Latitud: -5.673763 y Longitud: -78.776310

3.4.2. Ángulo de inclinación de paneles solares.

Según Auto Solar (s.f.), “recomienda que la inclinación paneles solares no sea inferior a 15°, con el objetivo de optimizar la producción solar durante todo el año”.

Figura 70

Ángulo de inclinación de paneles solares

Latitud del lugar en grados	Ángulo de inclinación recomendado
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud

Nota: Podemos observar el ángulo de inclinación en función de la latitud. Fuente: (Auto Solar, s.f.).

Entonces el ángulo óptimo de inclinación elegido es 15°.

3.4.3. Orientación de paneles solares.

Según Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016), menciona que “Los paneles fotovoltaicos estacionarios deben estar orientados hacia el norte”. Entonces los paneles solares vas a estar orientados hacia el norte.

3.4.4. Recurso Solar.

La evaluación del recurso solar de la Universidad Nacional de Jaén, se realizó mediante PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (2025) Se considero los últimos 5 años, desde el año 2019 hasta el año 2023.

Tabla 11

Promedio de irradiación solar de la UNJ para un ángulo de 15°

MES/AÑO	AÑO 2019	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022	AÑO 2023	PROMEDIO
Enero	4.19	4.62	4.23	5.19	4.86	4.620
Febrero	3.67	4.54	4.58	4.26	3.83	4.2
Marzo	4.48	5.27	4.53	4.85	4.58	4.741
Abril	4.79	4.53	4.93	4.25	4.57	4.612
Mayo	4.64	4.59	4.66	4.35	4.5	4.548
Junio	3.85	4.41	4.31	4.57	4.24	4.276
Julio	3.97	4.58	4.32	4.41	4.54	4.363
Agosto	4.56	5.31	5.18	5.15	5.38	5.115
Setiembre	5.05	5.11	5.15	5.5	5.44	5.251
Octubre	5.1	5.44	5.44	6.01	5.38	5.48
Noviembre	5.01	4.87	4.89	5.32	4.62	4.942
Diciembre	4.06	4.65	4.94	5.01	4.1	4.551
ANUAL	53.372	57.909	57.155	58.883	56.031	56.670

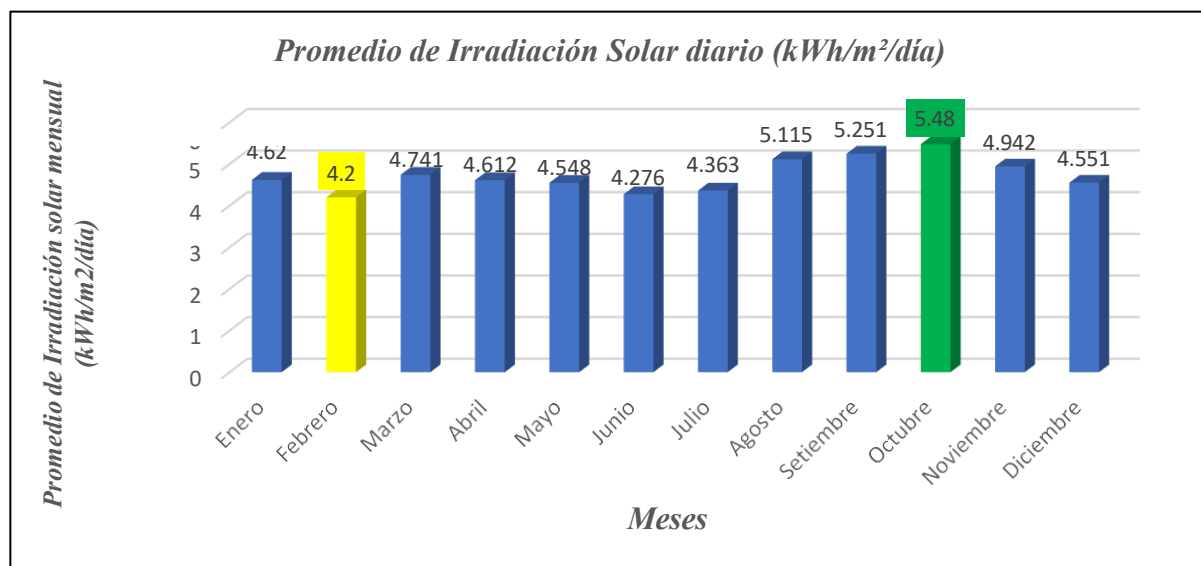
Nota: Podemos observar la evaluación del promedio de irradiación solar de los últimos 5 años.

Fuente: Elaboración propia con datos de PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (2025).

En el siguiente grafico de barras podemos observar el promedio de irradiación solar diaria.

Figura 71

Promedio de irradiación solar diario (2019-2023) en la Universidad Nacional de Jaén



Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico de barras podemos observar la máxima irradiación que es 5.48 Kwh/m2/día y la mínima irradiación que es 4.2 Kwh/m2/día.

3.4.5. Hora pico solar.

A continuación, se muestra los resultados de la hora pico solar.

Tabla 12

Hora pico solar

Hora Pico Solar			
	MEJOR	MEDIA	PEOR
HSP (h)	5.48	4.72	4.2

Nota: Podemos observar los valores de la hora pico solar diaria. Fuente elaboración propia.

La hora solar pico es de 4.2. Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. Energía consumida diaria.

En el siguiente cuadro observamos la potencia instalada.

Tabla 13*Potencia instalada*

ITEM	Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Potencia TOTAL (W)
1	Motor eléctrico de 2 hp	1	1491.4	1491.4
POTENCIA INSTALADA (W)				1491.4

Fuente: Elaboración propia.

Esta vez vamos a realizar el análisis de la potencia eléctrica requerida, las eficiencias mostradas a continuación son de las especificaciones técnicas de cada equipo.

$$P_{requerida} = \frac{P_{nominal}}{\eta_{inversor} * \eta_{variador\ de\ frecuencia} * \eta_{motor}}$$

$$P_{requerida} = \frac{1491.4}{0.85 * 0.93 * 0.843}$$

$$P_{requerida} = 2238.024\ Watts$$

Ahora se determina la capacidad de producción de la máquina trituradora (kg/h). Para ello, se considera un tiempo de funcionamiento de 2 horas al día, establecido de acuerdo con la disponibilidad energética del sistema fotovoltaico y las Horas Solar Pico (HSP) de la zona de estudio.

Ahora hallamos los kg/h, en donde la máquina trituradora va a funcionar 2 horas al día.

$$\frac{kg/día}{horas\ de\ trabajo\ al\ día} = \frac{Kg}{h}$$

$$\frac{6.4}{2} = \frac{Kg}{h}$$

$$3.2 = \frac{Kg}{h}$$

A continuación, calculamos la energía requerida por día (Wh/día)

Tabla 14*Energía requerida por día (Wh/día)*

ITEM	Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Potencia TOTAL (W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
1	Motor eléctrico de 2 hp	1	2238.024	2238.024	2	4,476.048
POTENCIA INSTALADA (W)				2238.024		
ENERGÍA REQUERIDA POR DÍA (Wh/día)						4,476.048

Fuente: Elaboración propia.

3.4.7. Factor de rendimiento global.

Calculamos el factor de rendimiento global del sistema fotovoltaico.

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * (1 - k_a * \frac{N}{P_d})$$
$$R = (1 - 0.1 - 0.1 - 0.1) * (1 - 0.005 * \frac{1}{0.7})$$
$$R = 0.695$$

3.4.8. Cálculo del consumo real (incluye pérdidas).

Calculamos la demanda energética.

$$DEMANDA\ ENERGETICA = \frac{ENERGÍA\ CONSUMIDA\ DIARIA}{RENDIMIENTO\ GLOBAL\ DE\ LA\ INSTALACIÓN}$$
$$DEMANDA\ ENERGETICA = \frac{4,476.048\ Wh/día}{0.695}$$
$$DEMANDA\ ENERGETICA = 6440.357\ Wh/día$$

3.4.9. Tensión nominal del sistema fotovoltaico.

La potencia es de 2238.024 W

Tabla 15

Tensión nominal del sistema fotovoltaico

Potencia demandada por las cargas (W)	Tensión de trabajo (V)
Menor de 1500	12
1500 - 5000	24 ó 48
Mayor de 5000	120 ó 300

Fuente: (SunFields Europe)

Entonces según la tabla elegimos el valor de 48V.

3.4.10. Paneles solares.

a. Número de paneles solares.

Aplicamos la ecuación de Cantos Serrano (2016).

$$N^{\circ}\ paneles = \frac{E}{P_{panel} * HSP * \eta_p}$$
$$N^{\circ}\ paneles = \frac{6440.357\ Wh/día}{461.16\ W * 4.2 * 0.9}$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} = 4$$

Se eligió Panel Solar 610W Monocrystalino N-Type Tensite, pero en esta ocasión se va a trabajar con la potencia de operación que es de 461.16 W. Ver anexo J.

Ahora calculamos el número de paneles solares en serie y paralelo.

a.1. N° de paneles en serie.

$$N^{\circ} \text{ paneles} - \text{serie} = \frac{V_{\text{sistema fotovoltaico}}}{V_{\text{panel}}}$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} - \text{serie} = \frac{48 \text{ V}}{24 \text{ V}}$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} - \text{serie} = 2$$

a.2. N° de paneles en paralelo.

$$N^{\circ} \text{ paneles} - \text{paralelo} = \frac{N^{\circ} \text{ paneles}}{N^{\circ} \text{ paneles} - \text{serie}}$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} - \text{paralelo} = \frac{4}{2}$$

3.4.11. Sistema de almacenamiento.

Calculamos la capacidad del sistema de almacenamiento. Aplicamos la ecuación de Cantos (2016).

a. Capacidad del sistema.

A continuación calculamos la capacidad del sistema:

$$C_{\text{sist}} = \frac{E * N}{P_d * V}$$

$$C_{\text{sist}} = \frac{6440.357 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} * 1}{0.95 * 48\text{v}}$$

$$C_{\text{sist}} = 141.236 \text{ Ah}$$

Entonces elegimos una batería de Litio 48V, con capacidad de 10kWH, con una capacidad de 200AH de la marca Felicity Solar. Ver anexo K.

b. Número de baterías.

Ahora calculamos el número de baterías. Aplicamos la ecuación de Cieza Coronado (2017).

$$N_{sb} = \frac{V_T}{V_{bat}}$$

$$N_{sb} = \frac{48v}{48v}$$

$$N_{sb} = 1$$

3.4.12. Sistema de regulación.

a. Corriente máxima.

Aplicamos la ecuación de Cieza Coronado (2017), para calcular la corriente máxima del sistema de regulacion.

$$I_{REG} = 1.2 * I_{CCmf} * N_{Pmf}$$

$$I_{REG} = 1.2 * 12.76A * 2$$

$$I_{REG} = 30.624 A$$

Se eligió el Controlador MPPT BLUE SOLAR 150V 45A VICTRON. Ver anexo L.

b. Número de reguladores.

Calculamos el número de reguladores. Aplicamos la ecuación de Cieza Coronado (2017).

$$N_{reg} = \frac{I_{REG}}{I_{reg}}$$

$$N_{reg} = \frac{30.624A}{45A}$$

$$N_{reg} = 0.673$$

$$N_{reg} = 1$$

3.4.13. Sistema de inversor (DC-AC).

Aplicamos la ecuación de Cantos (2016).

$$P_{inv} = 1.1 * P_{CA}$$

$$P_{inv} = 1.1 * 2238.24W$$

$$P_{inv} = 2461.826 W$$

Se eligió un inversor cargador de Must Solar 4000W - 48V. Ver anexo M.

3.4.14. Dimensionamiento de conductores.

Aplicamos la ecuación de Castejón y Santamaría (2010).

a. Corriente máxima desde paneles-reguladores-baterías.

$$I_{max-P,R} = 1.25 * I_{SC,panel} * N_{ramas paralelo}$$

$$I_{max-P,R} = 1.25 * 12.76A * 2$$

$$I_{max-P,R} = 31.9A$$

b. Corriente máxima desde baterías-inversor.

$$I_{max-P,R} = \frac{1.25A * P_{inv}}{V_{trabajo} * \eta}$$

$$I_{max-P,R} = \frac{1.25A * 2238.024 W}{48v * 0.85}$$

$$I_{max-P,R} = 68.566A$$

c. Selección de conductores.

Se tuvo en cuenta la caída de tensión

Tabla 16

Caída de tensión por tramo del sistema fotovoltaico

Tramo	Máxima caída de tensión recomendable, en %
Paneles – Regulador	1,5%
Regulador – Baterías	0,5%
Baterías – Inversor	0,5%

Fuente: (Cantos Serrano, 2016)

Ahora calculamos la caída de tensión en voltios por tramo.

Paneles – regulador.

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(voltios) * 100}{V}$$

$$1.5 = \frac{\Delta V(voltios) * 100}{48}$$

$$\Delta V(voltios) = 0.72V$$

Regulador – batería.

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(voltios) * 100}{V}$$

$$0.5 = \frac{\Delta V(voltios) * 100}{48}$$

$$\Delta V(voltios) = 0.24V$$

batería – inversor.

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(voltios) * 100}{V}$$

$$0.5 = \frac{\Delta V(voltios) * 100}{48}$$

$$\Delta V(voltios) = 0.24V$$

Ahora calculamos la sección del conductor por tramo.

Paneles - regulador

$$S_{cable} = \frac{2 * 10 * 31.9A}{56 * 0.72}$$

$$S_{cable} = 15.82mm^2$$

Seleccionamos 16 mm². Ver anexo N.

Regulador - baterías

$$S_{cable} = \frac{2 * 0.5 * 31.9A}{56 * 0.24}$$

$$S_{cable} = 2.4mm^2$$

Seleccionamos 2.5mm². Ver anexo N.

Baterías– Inversor

$$S_{cable} = \frac{2 * 0.5 * 68.566}{56 * 0.24}$$

$$S_{cable} = 5.10mm^2$$

Seleccionamos 6mm². Ver anexo N.

Protecciones.

Protección desde paneles hacia regulador

$$I_b \leq I_n \leq I_{adm}$$

$$31.9A \leq I_n \leq 40A$$

Elegimos 32 A. Ver anexo O.

Protección desde regulador hacia batería

$$I_b \leq I_n \leq I_{adm}$$

$$31.9A \leq I_n \leq 40A$$

Elegimos 32 A. Ver anexo O.

Protección desde batería hacia inversor

$$I_b \leq I_n \leq I_{adm}$$

$$68.566A \leq I_n \leq 90A$$

Elegimos 80 A. Ver anexo O.

3.4.15. Presupuesto del sistema fotovoltaico

A continuación, se muestra el presupuesto total del sistema fotovoltaico.

Tabla 17

Precios de los equipos del sistema fotovoltaico

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio total (S/.)
Panel solar de 24v	4	S/ 698.37	S/ 2793.48
Batería de 48V -2000AH	1	S/ 4,800.00	S/ 4,800.00
Regulador 150V-45A	1	S/ 632.72	S/ 632.72
Inversor 4000W	1	S/ 9,569.89	S/ 9,569.89

conductor de 6m (6mm ²)	6	S/ 108.00	S/ 648.00
conductor de 2m (6mm ²)	2	S/ 36.00	S/ 72.00
conductor de 2m (10mm ²)	2	S/ 56.00	S/ 112.00
Gabinete metálico para sistema fotovoltaico IP54, con placa de montaje, cerradura y dimensiones 800 × 600 × 300 mm	1	S/ 980.00	S/ 980.00
Estructura metálica de panel solar	4	S/ 326.29	S/ 1305.16
Costo total (S/.)			S/ 20,913.25

IV. DISCUSION

- ✓ En el análisis de la máquina trituradora se obtuvo una fuerza de corte de 2362.815 N, un eje de 52 mm de diámetro, un motor de 2hp con 1800 rpm y un reductor de 30 rpm para triturar una cantidad de 6.4 kg/h en 2 horas. En comparación con los resultados de otras investigaciones, se obtuvo que Hidalgo Sánchez (2020), en su tesis “Diseño de una máquina trituradora de plástico para la comunidad de Limoncocha, provincia de Sucumbíos-Ecuador”, los cálculos realizados obtuvo que el valor de la fuerza de la cuchilla es de 1807 N, el motor tiene una potencia de 4HP, además se eligieron 3 bandas, el diámetro del eje tiene un valor de 40mm. Concluyeron que el diseño de la máquina es adecuado, dado que permitirá triturar grandes volúmenes de PET, considerando que en la comunidad analizada se desechan en promedio 334,74 kg diarios. Además Caviedes (2020), en sus tesis “Diseño de una máquina trituradora para plástico PET”, obtuvo que la fuerza necesaria de corte es de 1600 N, esta fuerza es aceptable para que corte botellas de 2L, la potencia del motor es de 3 HP y obtuvo un diámetro de eje de 40mm. En otra investigación Capelo y Velasco (2021) en sus tesis “Diseño de una máquina trituradora de plástico para el sector rural Punta la Piedra”, como resultados obtuvieron, que la fuerza de corte es de 1920 N y tiene un torque de 254.4 N.m, el diámetro del eje va a tener un valor de 40 mm, la potencia del motor es de 3 HP, su capacidad de triturado es de aproximadamente 40 kg/h de PET. También Chavez (2021) en su tesis “Diseño de una trituradora actuada por sistema fotovoltaico para eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo”, obtuvo que la fuerza de corte de las cuchillas tiene un valor de 134,9 N, el diámetro del eje es de 39.3 mm, y el motor tiene una potencia de 3HP, para poder triturar 30kg/h. Finalmente Jara (2023) “Diseño de trituradora 10 ton/día alimentado por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET”, obtuvo que la fuerza para cortar

las botellas PET es de 1662.50 N, el motor tendrá una potencia de 4HP. En los cálculos que se realizaron para determinar el diámetro del eje, se obtuvieron los valores del diámetro tentativo de 40mm, además el cálculo de la capacidad que tiene la máquina al momento de triturar es de 3.15 ton/h.

- ✓ En el análisis del sistema fotovoltaico se obtuvo una irradiación promedio de 4.2 Kwh/m²/día, una hora solar pico de 4.2, se seleccionó 4 paneles solares, 1 regulador, una batería y un inversor. En la investigación de Jara (2023), se seleccionó 18 paneles solares la capacidad de la batería tiene un valor de 1 380,93 Ah, y en total se utilizarán 20 baterías, la intensidad del regulador tiene un valor de 97.22 A y el inversor tuvo una potencia de 3 314,22 W. En otra investigación de Chavez (2021), menciona que la irradiación solar registrada fue de 2,5 kWh/m² y, a partir de los cálculos realizados, se definió la instalación de 9 paneles fotovoltaicos, 6 baterías, 3 reguladores, un inversor, los cables conductores necesarios y 3 estructuras de soporte para los paneles.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ✓ A través de la estadística se determinó la cantidad diaria de botellas plásticas PET generadas en la población de estudio (2157 estudiantes). Inicialmente se realizó una encuesta piloto aleatoria a 20 personas, a partir de la cual se estimó el tamaño de muestra, obteniéndose posteriormente un total de 266 encuestas aplicadas a estudiantes. Con base en los resultados obtenidos, se estableció un consumo promedio de 322 botellas plásticas por día. Asimismo, considerando el peso promedio por botella, se determinó que la cantidad de material a triturar corresponde aproximadamente a 6.4 kg/día. Estos resultados evidencian la presencia significativa de residuos plásticos PET, lo que justifica el diseño y simulación de una máquina trituradora orientada a su aprovechamiento.
- ✓ Se logró determinar satisfactoriamente los parámetros principales de la máquina trituradora, estableciendo una configuración compuesta por 15 cuchillas trituradoras y 16 separadores, lo que permite garantizar una adecuada acción de corte del material plástico. A partir del análisis mecánico, se determinó una fuerza de corte en la cuchilla de 2362.815 N y un torque requerido del sistema de 117.211 N·m, valores que aseguran el funcionamiento eficiente del proceso de trituración. Asimismo, se seleccionaron dos chumaceras con rodamientos de 35 mm de diámetro, adecuadas para soportar las cargas transmitidas por el eje. El sistema de accionamiento está conformado por un motor

eléctrico de 2 HP acoplado a un reductor de velocidad, obteniéndose una velocidad de salida de 30 rpm, condición apropiada para el tipo de material procesado. Finalmente, se definió un eje de 670 mm de longitud y 40 mm de diámetro, el cual proporciona la rigidez y resistencia necesarias para la operación segura de la máquina.

- ✓ Se cumplió satisfactoriamente el objetivo de simular la máquina trituradora mediante el software SolidWorks, evaluando el comportamiento mecánico de la cuchilla trituradora, el eje y la estructura metálica. Los resultados del análisis estático muestran que las tensiones de von Mises obtenidas en todos los componentes se mantienen por debajo del límite elástico de los materiales seleccionados, evidenciando un régimen de trabajo elástico. Asimismo, los desplazamientos y deformaciones unitarias presentan valores reducidos, lo que confirma una adecuada rigidez estructural y un correcto desempeño ante las cargas aplicadas. Adicionalmente, los factores de seguridad obtenidos son mayores al valor mínimo recomendado, lo que garantiza que tanto la cuchilla, el eje como la estructura metálica operarán de manera segura durante el proceso de trituración. En consecuencia, se valida que el diseño propuesto de la máquina trituradora es mecánicamente confiable y apto para su funcionamiento bajo las condiciones de carga establecidas.
- ✓ Se logró dimensionar el sistema fotovoltaico para el suministro energético de la máquina trituradora, seleccionándose dos paneles solares de 461.16 W, una batería de 48 V–200 Ah, un regulador de carga de 150 V–45 A y un inversor de 4000 W, capaces de cubrir la demanda del sistema. Asimismo, se definieron conductores eléctricos de 6 m (6 mm²), 2 m (6 mm²) y 2 m (10 mm²), junto con dos estructuras metálicas para el soporte de los paneles. Esta configuración garantiza un funcionamiento eficiente y seguro del sistema.

5.2 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda considerar la ampliación futura del sistema fotovoltaico mediante la incorporación de más paneles o baterías, en caso se incremente la demanda energética de la máquina.
- ✓ Se recomienda evaluar diferentes materiales para el eje, las cuchillas y la estructura metálica con el fin de optimizar la resistencia mecánica, la vida útil y el costo de fabricación.

- ✓ Se recomienda fabricar el prototipo de la máquina trituradora de botellas PET para validar experimentalmente el diseño propuesto y comparar los resultados con las simulaciones realizadas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberca Saavedra, L. E. (2020). *Estudio de prefactibilidad para la implementación de una planta productora de hilado textil a partir del reciclado de botellas de plástico en la ciudad de Lima [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]*. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/16990>
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. (2008). *Estadística para Administración y Economía*. (10 ed.). CENGAGE Learning.
- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2008). *Estadística para administración y economía*. CENGAGE learning.
- Arias Gonzales, J. L. (2020). *Proyecto de Tesis Guía para la elaboración* (Primera edición digital ed.).
- Auto Solar. (s.f.). *Qué orientación e inclinación han de tener los paneles solares en el Perú*. Auto Solar: <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/que-orientacion-e-inclinacion-han-de-tener-los-paneles-solares-en-el-peru>
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación : administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3 ed.). Pearson.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill Education.
- Cantos Serrano, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Capelo Santos, J. F., & Velasco Quispe, J. E. (2021). *Diseño de una máquina trituradora de plástico para el sector rural Punta la Piedra. [Tesis de pregrado, escuela Superior Politécnica del Litoral]*. Repositorio Institucional. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54878>
- Castejón Oliva, A., & Santamaría Herranz, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex.
- Caviedes Aguirre, J. D. (2020). *Diseño de una máquina trituradora para plástico pet [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]*. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7904>
- Chavez Tantarico, J. M. (2021). *Diseño de una trituradora actuada por sistema fotovoltaico*

- para eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12423/4741>*
- Cieza Coronado, J. C. (2017). *DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALUMBRADO EN EL HOSTAL LANCELOT UBICADO EN CHICLAYO-CHICLAYO-LAMBAYEQUE [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/1919>*
- Desenchufados. (s.f.). *¿Por qué es importante la inclinación de los paneles solares?* Desenchufados: <https://desenchufados.net/importante-inclinacion-paneles-solares/>
- Ensinck, M. G. (31 de Enero de 2017). *Basural PET: en la Argentina se tiran 12 millones de botellas de plástico por día.* El Cronista: <https://www.cronista.com/informacion-gral/basural-pet-en-la-argentina-se-tiran-12-millones-de-botellas-de-plastico-por-dia/>
- Ensinger. (s.f.). *Machining Recommendations for Semi-Finished Engineering Plastics.*
- EUPATI. (s.f.). *Nivel de significación.* EUPATI Toolbox: <https://toolbox.eupati.eu/glossary/nivel-de-significacion/?lang=es>
- Fequsa Ings SAC. (s.f.). *Reductores Ortogonales tipo E-K.* Fequsa: <https://www.fequsa.com/motores-y-reductores/phiwel-reductor-ek-ortogonal>
- Gisbert Juárez, M. (s.f.). *Puntuación Z.* ProbabilidadEstadistica.net: https://www.probabilidadestadistica.net/puntuacion-z/?utm_source=chatgpt.com
- Goncalves, E. (s.f.). *Dynamox. Reductor de velocidad: principales tipos y posibles fallas:* <https://dynamox.net/es/blog/reductor-de-velocidad-principales-tipos-y-posibles-fallas>
- Google. (s.f.). *Google Earth.* Google Earth: <https://earth.google.com/static/multi-threaded/versions/10.96.0.1/index.html?authuser=0#@-5.67495165,78.77707102,644.20693836a,723.39327231d,35y,-31.19037812h,23.94949464t,0r/data=CgRCAggBMikKJwolCiExMEFYkIoT1V6cU1OaUo5T1VvOXlxbnc3NkJGQ3VRdjggAToDCgEwQgI>
- Hidalgo Sánchez, D. A. (2020). *Diseño de una maquina trituradora de plástico para la comunidad de Limoncocha, provincia de Sucumbíos-Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Internacional SEK]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3906>*
- Hugosies. (18 de Agosto de 2012). *Ubicación de Cajamarca.* Cajamarca: <https://hugosiescajamarcaperu.blogspot.com/2012/08/ubicacion-de-cajamarca.html>
- ICEM PLAST. (s.f.). *Envase descartable PET – Transparente – Formato 625 ml. (1000*

- unidades). ICEM PLAST: https://icemplast.com/producto/envase-descartable-pet-formato-625-ml/?utm_source=chatgpt.com
- Inducom Ecuador. (13 de Noviembre de 2023). *Cómo calcular la potencia de un motor eléctrico*. Inducom Ecuador: <https://inducom-ec.com/como-calcular-la-potencia-de-un-motor-electrico/>
- Jara Tapia, F. B. (2023). *Diseño de trituradora 10 ton/día alimentada por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12423/7171>
- Ladrón de Guevara, J. A. (2014). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional.
- López Fuentes, A. V., & Viteri Morales, G. A. (2010). *Aplicación de fusibles e interruptores termomagnéticos*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Del Litoral. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41013>
- Marco Sanjuán, F. J. (11 de Septiembre de 2024). *Nivel de confianza: qué es y cómo funciona en estadística*. Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/nivel-de-confianza.html>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (24 de Julio de 2016). *EM.080 Instalaciones con Energía Solar Ds N° 010-2009*. Gob.pe: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619726-em-080-instalaciones-con-energia-solar-ds-n-010-2009>
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. PEARSON EDUCACIÓN.
- Olivera Corrales, F. A. (2017). *Diseño de una red de recolección de botellas PET en Lima* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7599>
- Perú Servicios Turísticos. (s.f.). *Cajamarca Perú*. Servicios Turísticos Perú: <http://serviciosturisticosperu.com/cajamarca.php>
- PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. (10 de Octubre de 2025). European Commission, Joint Research Centre: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html#api_5.3
- Plásticos Brello S.A. (s.f.). *PET Tereftalato de polietileno*. Plásticos brello S.A: <https://plasticos-brello.com/material/pet-tereftalato-de-polietileno/>
- SkyCiv Engineering. (s.f.). *Calculadora de vigas en línea gratis*. SkyCiv: <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>

SunFields Europe. (s.f.). *Boletín solar fotovoltaica autónoma*. SunFields Europe.
<https://www.yumpu.com/es/document/read/45167871/manual-calculo-instalaciones-fotovoltaicas-sunfields-europe/15>

Torontech Inc. (s.f.). *Trituradora - Trituradora de un solo eje para residuos plásticos*.
Torontech: <https://torontech.com/es/plastic-waste-single-shaft-shredder/>

Torontech. (s.f.). *Torontech*. Trituradora - Trituradora de un solo eje para residuos plásticos.:
<https://www.torontech.com/es/plastic-waste-single-shaft-shredder/>

Universidad Nacional de Jaén. (24 de Enero de 2025). *LA UNJ IMPLEMENTA LINEAMIENTOS PARA EL NOMBRAMIENTO EXCEPCIONAL DE DOCENTES*.
Universidad Nacional de Jaén: <https://unj.edu.pe/noticias/la-unj-implementa-lineamientos-para-el-nombramiento-excepcional-de-docentes/>

Universidad Veracruzana. (s.f.). *La encuesta y el cuestionario*. Introducción a la Investigación:
guía interactiva: <https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad3/encuesta.html>

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, por concederme la vida, la perseverancia y la oportunidad de culminar con éxito mi formación profesional.

A mi familia, especialmente a mis padres por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante, quienes fueron un pilar fundamental para seguir adelante y alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por ser mi guía, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de mi formación académica, permitiéndome culminar satisfactoriamente esta etapa importante de mi vida profesional

Agradezco de manera especial a mis padres Lucy y Wilder, por su amor, comprensión y sacrificio, por ser mi principal apoyo durante toda mi formación académica y por motivarme constantemente a no rendirme. Asimismo, agradezco a mi familia por el acompañamiento, la confianza y el aliento brindado en cada etapa de este proceso.

A mi asesor el Dr. Walter Linder Cabrera Torres, por su paciencia y por brindarme su conocimiento durante el desarrollo de esta investigación.

VII. ANEXOS.

ANEXO A

Figura 72

Estudiantes matriculados en el semestre 2023-1 de la UNJ.

ESCUELA PROFESIONAL	TOTAL
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA	413
INGENIERÍA CIVIL	454
TECNOLOGÍA MÉDICA CON ESPECIALIDAD EN LABORATORIO CLÍNICO	464
INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL	416
INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS	410
Total alumnos:	2157

Nota: En este cuadro se puede observar la cantidad de estudiantes matriculados de cada carrera en el semestre 2023-1. Fuente: Registros y Asuntos Académicos de la UNJ.

ANEXO B

Figura 74

Encuesta aleatoria

Consumo de bebidas en plástico PET (Tereftalato de Polietileno)					
N°	Carrera Profesional	Ciclo	Tipo de Bebida (Agua, gaseosa, rehidratante)	Firma	Consumo diario
1	Ingeniería Civil	III	Agua	[Firma]	2
2	Ingeniería Civil	V	Agua	[Firma]	2
3	Ingeniería Civil	I	Gaseosa	[Firma]	1
4	Ingeniería de Industrias Alimentarias	X	Agua	[Firma]	1
5	Ingeniería Forestal y Ambiental	VI	gaseosa	[Firma]	1
6	Tecnología Médica	VII	trusosa	[Firma]	2
7	Tecnología Médica	II	gaseosa	[Firma]	1
8	Tecnología Médica	IV	Agua	[Firma]	1
9	Ingeniería Mecánica y Eléctrica	III	Agua	[Firma]	1
10	Ingeniería Mecánica y Eléctrica	II	Agua	[Firma]	1
11	Ingeniería Forestal y Ambiental	IX	Agua	[Firma]	2
12	Tecnología Médica	III	Agua	[Firma]	1
13	Ingeniería de Industrias Alimentarias	IV	Agua	[Firma]	1
14	Ingeniería de Industrias Alimentarias	V	trusosa	[Firma]	1
15	Ingeniería Civil	VII	trusosa	[Firma]	1
16	Tecnología Médica	VIII	trusosa	[Firma]	2
17	Ingeniería Mecánica y Eléctrica	X	Agua	[Firma]	1
18	Ingeniería Civil	X	Agua	[Firma]	1
19	Ingeniería Forestal y Ambiental	IV	Agua	[Firma]	1
20	Ingeniería Civil	III	Agua	[Firma]	1

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de (Chavez Tantarico, 2021).

ANEXO C

Figura 76

Cuestionario



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

La siguiente encuesta, tiene por objetivo determinar el total de botellas PET que se consume en la UNJ. Responder y marcar las siguientes preguntas.

Nombres y Apellidos: Eduard

Escuela Profesional: EPIME () EPIC () EPIIA () EPIFA () EPTM ()

Ciclo: _____

- ¿Cuántas botellas de plástico PET consumes por día dentro del campus universitario?
1 botella () 2 botellas () 3 botellas () Mas de 3 botellas ()
- ¿Qué tipo de bebida consumes mas dentro de la UNJ?
Agua () Gaseosa () Gatorade () Powerade () Bebida energética ()
- ¿Qué tamaño de botella PET consume con mayor frecuencia?
350 ml () 400 ml () 500 ml () 650 ml () Otro: _____
- ¿Reutilizas la botella PET antes de desecharla?
Nunca () A veces () Casi siempre () Siempre ()
- ¿Estás consciente del impacto ambiental de las botellas PET?
- ¿Qué tan importante es para ti reducir el uso de plásticos en el campus?

Leyenda:
EPIME: Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
EPIC: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
EPIIA: Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias
EPIFA: Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental
EPTM: Escuela Profesional de Tecnología Médica

Eduard Denis Espinoza Campos
Ing mecánico electrónico
[Firma]
CIP: 300193

[Firma]
EDWIN IVAN RAMÍREZ SORIANO
Ingeniero Mecánico Electrónico
Reg. CIP. N° 274131

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO D

Figura 77

Peso en gramos de botella PET



Q

ENVASE DESCARTABLE PET –
TRANSPARENTE – FORMATO 625 ML.
(1000 UNIDADES)

S/ 342.00

625ml

– Peso: 19.7 gr.

– Paquete: 100 und

1

AÑADIR AL CARRITO

WHATSAPP

SKU: E-0625-1

Categorías: Envases Genéricos, Envases para agua

Etiqueta: Envases para agua

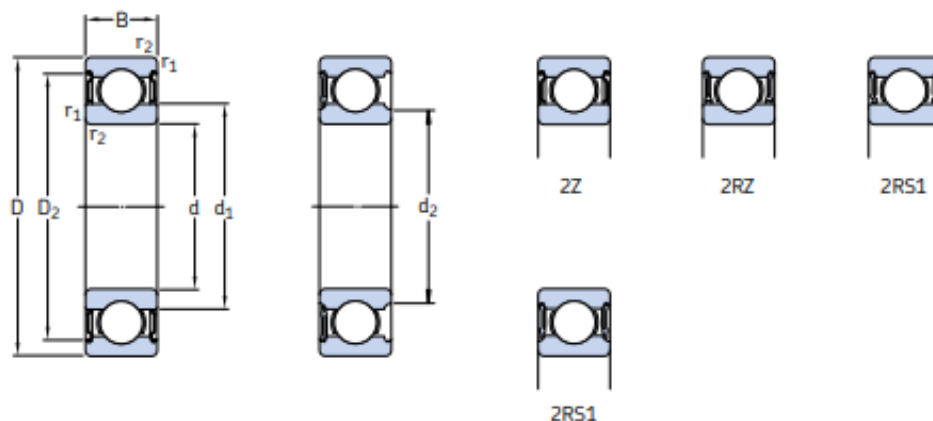
SHARE

ANEXO E

Figura 78

Rodamiento rígidos

Rodamientos rígidos de una hilera de bolas con obturaciones d 30 – 35 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento obturado a ambos lados	un lado
mm			kN		kN	rpm		kg	–	
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	16 000	0,027	61806-2RZ	–
	42	7	4,49	2,9	0,146	–	9 500	0,027	61806-2RS1	–
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	15 000	0,051	61906-2RZ	–
	47	9	7,28	4,55	0,212	–	8 500	0,051	61906-2RS1	–
	55	13	13,8	8,3	0,355	28 000	14 000	0,12	* 6006-2Z	* 6006-Z
	55	13	13,8	8,3	0,355	28 000	14 000	0,12	* 6006-2RZ	* 6006-RZ
	55	13	13,8	8,3	0,355	–	8 000	0,12	* 6006-2RS1	* 6006-RS1
	55	19	13,3	8,3	0,355	–	8 000	0,16	63006-2RS1	–
	62	16	20,3	11,2	0,475	24 000	12 000	0,20	* 6206-2Z	* 6206-Z
	62	16	20,3	11,2	0,475	24 000	12 000	0,20	* 6206-2RZ	* 6206-RZ
	62	16	20,3	11,2	0,475	–	7 500	0,20	* 6206-2RS1	* 6206-RS1
	62	20	19,5	11,2	0,475	–	7 500	0,24	62206-2RS1	–
	72	19	29,6	16	0,67	20 000	11 000	0,35	* 6306-2Z	* 6306-Z
	72	19	29,6	16	0,67	20 000	11 000	0,35	* 6306-2RZ	* 6306-RZ
	72	19	29,6	16	0,67	–	6 300	0,35	* 6306-2RS1	* 6306-RS1
	72	27	28,1	16	0,67	–	6 300	0,48	62306-2RS1	–
35	47	7	4,75	3,2	0,166	28 000	14 000	0,03	61807-2RZ	–
	47	7	4,75	3,2	0,166	–	8 000	0,03	61807-2RS1	–
	55	10	9,56	6,8	0,29	26 000	13 000	0,08	61907-2RZ	–
	55	10	9,56	6,8	0,29	–	7 500	0,08	61907-2RS1	–
	62	14	16,8	10,2	0,44	24 000	12 000	0,16	* 6007-2Z	* 6007-Z
	62	14	16,8	10,2	0,44	24 000	12 000	0,16	* 6007-2RZ	* 6007-RZ

ANEXO F

Figura 79
Motor trifásico



PRODUCT-DETAILS

3GBP092325-ASB

Motores de Fundición de Hierro de Alta Eficiencia IE2, 1.5 kW, 400 V (3GBP092325-ASB)



Información General

Código de producto	3GBP092325-ASB
Designación de tipo ABB	M3BP 90SLD 4
Descripción corta	Motores de Fundición de Hierro de Alta Eficiencia IE2, 1.5 kW, 400 V (3GBP092325-ASB)

Clasificación

Designación de tipo ABB	M3BP 90SLD 4
Descripción de la factura	M3BP 90SLD 4
Nombre del producto	3-Phase squirrel cage motor
Tipo de producto	3BP2_M3BP_IE2_CI
País de origen	Spain
	Finland
	China
	Poland
Código arancelario	85015220
Descripción del medio	1.5kW, 4 Poles, Frame Size 90, 3 Phases, 400V, 50Hz, IP55 Enclosure, IMB3/IM1001 Mounting (3GBP092325-ASB)
Descripción breve	1.5kW, 4P, Frame Size 90, 3PH, 400V, 50Hz, IP55, IMB3/IM1001

© 2025 ABB. All rights reserved.

2025/10/15

Subject to change without notice

ANEXO G

Figura 80

Reductor

Reductores Ortogonales tipo E-K

Marca

phiwel

Descripción

Los reductores ortogonales E-K utilizan piñones fabricados en acero de alta calidad para una transmisión con alta eficiencia. Su diseño con engranajes helicoidales les permite operar con una relación de reducción precisa, en una configuración compacta y estable, y con bajo nivel de ruido. Empleados principalmente como motorreductores, están presentes en distintos sectores, tales como las industrias del hierro y el acero, la construcción naval, la industria química, la industria alimentaria, el sector petrolero, la industria farmacéutica y otros.

Características

- Relación de reducción de 5 hasta 197
- Torque máximo de salida: 50,000 Nm
- Alta eficiencia entre 94% y 98%
- Carcasa de hierro fundido
- Para motores de 0.12 kW hasta 200 kW



ANEXO H

Figura 81

Variador de frecuencia



Variador de velocidad frecuencia

Variador de velocidad y frecuencia 4HP 3KW monofásico a trifásico 220v

S/942.00

- Voltaje de entrada: 220 V (+/-15 %)
Monofasico
- Voltaje de salida: 220 V CA Trifásico
- Frecuencia de entrada: 50Hz-60 Hz
- Frecuencia de salida: 0-999 Hz
- Fase de entrada: 1 phase
- Fase de salida: 3 phase
- Corriente: 13A
- Potencia 3kw – 4HP
- Ideal para sistemas de presion constante



ANEXO I

Figura 82

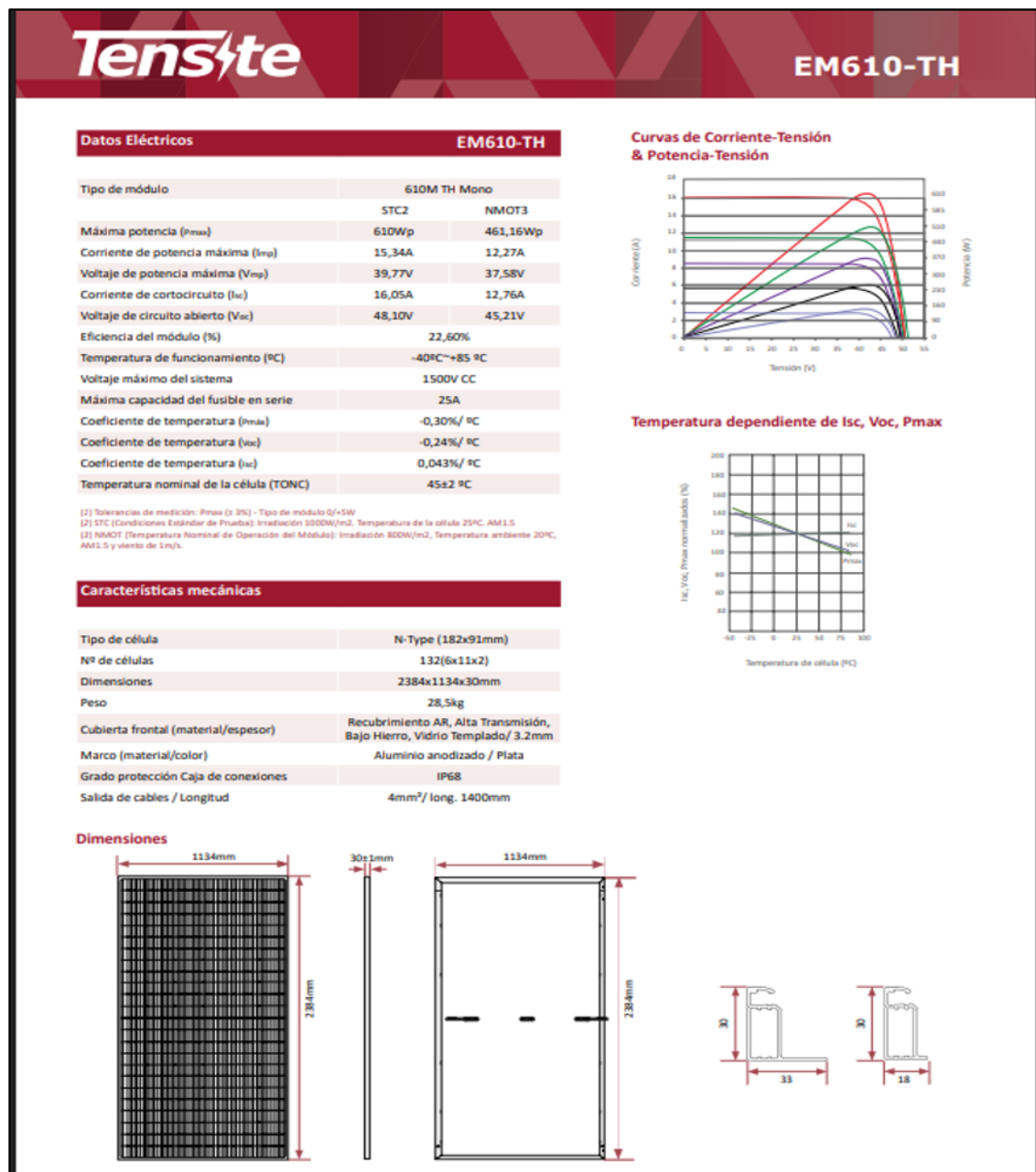
Conductores de la máquina trituradora.

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm ²)								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (°)	
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	AIRE A	DUCTO A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

ANEXO J

Figura 83

Ficha técnica del Panel solar



ANEXO K

Figura 84

Ficha técnica de baterías

Datos técnicos de la Batería de Litio 48V 10kWh FLA48200 Felicity Solar	
Capacidad usable	10 kWh
Tipo	LiFePO4
Voltaje nominal	51.2 V
Profundidad de descarga (DOD)	≥ 95%
Escalabilidad	Hasta 15 unidades en paralelo (150kWh)
Ciclos	≥ 6000
Comunicación	CAN / RS485
Protección	Incluye BMS inteligente, disyuntor, fusible

ANEXO L

Figura 85

Ficha técnica del regulador

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Selección automática 12 / 24 / 48 V (se necesita una herramienta de software para seleccionar 36 V)				
Corriente de carga nominal	45A	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Corriente de cortocircuito máxima FV 2)	50A	50A	50A	70A	70A
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98%				
Autoconsumo	10mA				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (ajustable)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (ajustable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas				
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión				
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)				
Humedad	95%, sin condensación				
Puerto de comunicación de datos y on-off remoto	VE.Direct (consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web)				
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)				
CARCASA					
Color	Azul (RAL 5012)				
Terminales FV 3)	35 mm ² /AWG2 (modelos Tr), Dos conjuntos de conectores MC4 MC4 (modelos de hasta 150/70) Tres conjuntos de conectores MC4 MC4 (modelos 150/85 y 150/100)				
Bornes de batería	35 mm ² / AWG2				
Tipo de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)				
Peso	3kg			4,5kg	
Dimensiones (al x an x p)	Modelos Tr: 185 x 250 x 95mm Modelos MC4: 215 x 250 x 95mm			Modelos Tr: 216 x 295 x 103mm Modelos MC4: 246 x 295 x 103mm	
ESTÁNDARES					
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2				
1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la potencia de entrada. 1b) La tensión FV debe exceder en 5V la Vbat (tensión de la batería) para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V. 2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador. 3) Modelos MC4: se podrían necesitar varios separadores para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares. Corriente máximo por conector MC4: 30A (los conectores MC4 están conectados en paralelo a un rastreador MPPT)					

Figura 86

MODELO		PV35-4K		PV35-5K	PV35-6K	PV35-8K	PV35-10K	PV35-12K	
Voltaje de Baterías del Sistema		24V	48V	48V	48V	48VDC	48VDC	48VDC	
SALIDA INVERSOR	Potencia del Inversor	4KW		5KW	6KW	8.0KW	10.0KW	12.0KW	
	Pico potencia (20ms)	12KW		15.0KW	18.0KW	24.0KW	30.0KW	36.0KW	
	Capacidad arranque motores	2HP		2HP	3HP	4HP	5HP	6HP	
	Tipo de Onda	Onda pura / igual que en la entrada (modo bypass)							
	Voltaje nominal salida RMS	220V/230V/240VAC(+/-10% RMS)							
	Frecuencia de salida	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz							
	Eficiencia del inversor (Pico)	>85%					>88%		
	Eficiencia modo red	>95%							
	Factor de potencia	0.8							
ENTRADA AC	Tiempo de transferencia típico	10ms(max)							
	Voltaje	230VAC							
	Rango voltaje seleccionable	154~272VAC(Para ordenadores)							
BATERÍA	Rango frecuencia	50Hz/60Hz (Automático)							
	Voltaje mínimo arranque	20.0VDC/21.0VDC for 24VDC mode (40.0VDC/42.0VDC for 48VDC mode)							
	Voltaje batería baja	21.0VDC+/-0.3V for 24VDC mode (42.0VDC+/-0.6V for 48VDC mode)							
	Voltaje desconexión batería baja	20.0VDC+/-0.3V for 24VDC mode (40.0VDC+/-0.6V for 48VDC mode)							
	Alarma alto voltaje	32.0VDC+/-0.3V for 24VDC mode (64.0VDC+/-0.6V for 48VDC mode)							
	Recuperación alarma alto voltaje	31.0VDC+/-0.3V for 24VDC mode (62.0VDC+/-0.6V for 48VDC mode)							
CARGADOR AC	Consumo en vacío / modo espera	<25W con ahorro de energía					<25W con ahorro de energía		
	Voltaje cargador	En función voltaje batería							
	Térmico protección entrada AC	30A		30A	30A	40A	50A	63A	
	Protección sobrecarga	31.4VDC para modelo 24VDC (62.8VDC para modelo 48VDC)							
BTS	Máxima corriente de carga	65A	40A	35A	40A	70A	80A	100A	
	Potencia continua salida	En función de la demandada y con regulación según temperatura batería							
PROTECCIÓN Y BYPASS	Onda de entrada	Senoidal (red o generador)							
	Frecuencia nominal entrada	50Hz o 60Hz							
	Protección sobrecarga	Térmico							
	Protección cortocircuito salida	Térmico							
	Potencia térmico de bypass	40A					80A	80A	80A
	Corriente máxima bypass	40Amp					80Amp		
REGULADOR MPPT	Máxima corriente carga FV	60A					60A(120A Opcional)		
	Voltaje DC	24V/48V Automático					48V		
	Potencia carga FV	1600W	3200W	3200W	3200W	3200W(6400W para modelo 120A)			
	Rango operativo MPPT	32-145VDC para 24V ,64-147V para 48V					64~147VDC		
	Voltaje Máximo FV Circuito abierto	147VDC							
	Eficiencia máxima	>98%							
CARACTERIST. FÍSICAS	Consumo en stand-by	<2W							
	Instalación	En pared							
	Tamaño	620*385*215mm					670*410*215mm		
	Peso neto (Regulador solar) kg	36		41	44	69+2.5	75.75+2.5	75.75+2.5	
	Tamaño caja (W*H*D)	755*515*455mm					884*618*443mm		
OTROS	Peso caja (Regulador solar) kg	56		61	64	89+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	
	Rango temperatura de trabajo	0°C to 40°C							
	Temperatura almacenamiento	-15°C to 60°C							
	Nivel sonoro	60dB MAX							
	Pantalla	LED+LCD							
	Unidades contenedor(20GP/40GP/40HQ)	140pcs / 280pcs / 320pcs							

ANEXO N
Tabla 18

Tabla 18

Tabla de conductores del sistema fotovoltaico

SECCIÓN NOMINAL	DIÁMETRO CONDUCTOR	ESPESOR		DIÁMETRO EXTERIOR	PESO APROX.	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA			ENTERRADO	AIRE	DUCTO
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(A)	(A)	(A)
2.5	1.96	0.7	1.1	5.56	50	50	40	38
4	2.54	0.8	1.1	6.35	70	65	55	55
6	3.08	0.8	1.1	6.90	93	85	65	68
10	4.02	0.9	1.2	8.25	143	115	90	95
16	5.06	0.9	1.2	9.26	207	155	125	125
25	6.33	0.9	1.2	10.55	301	200	160	160
35	7.53	0.9	1.3	11.95	408	240	200	195
50	8.89	1	1.3	13.50	563	280	240	230
70	10.7	1.1	1.4	15.70	777	345	305	275
95	12.35	1.1	1.5	17.55	1032	415	375	330
120	14.15	1.2	1.5	19.55	1289	470	435	380
150	15.73	1.4	1.6	21.75	1607	520	510	410
185	17.98	1.6	1.7	24.60	1985	590	575	450
240	19.96	1.7	1.8	26.95	2538	690	690	525
300	22.15	1.8	1.9	29.55	3146	775	790	600

ANEXO 0

Figura 87

Amperaje de fusibles

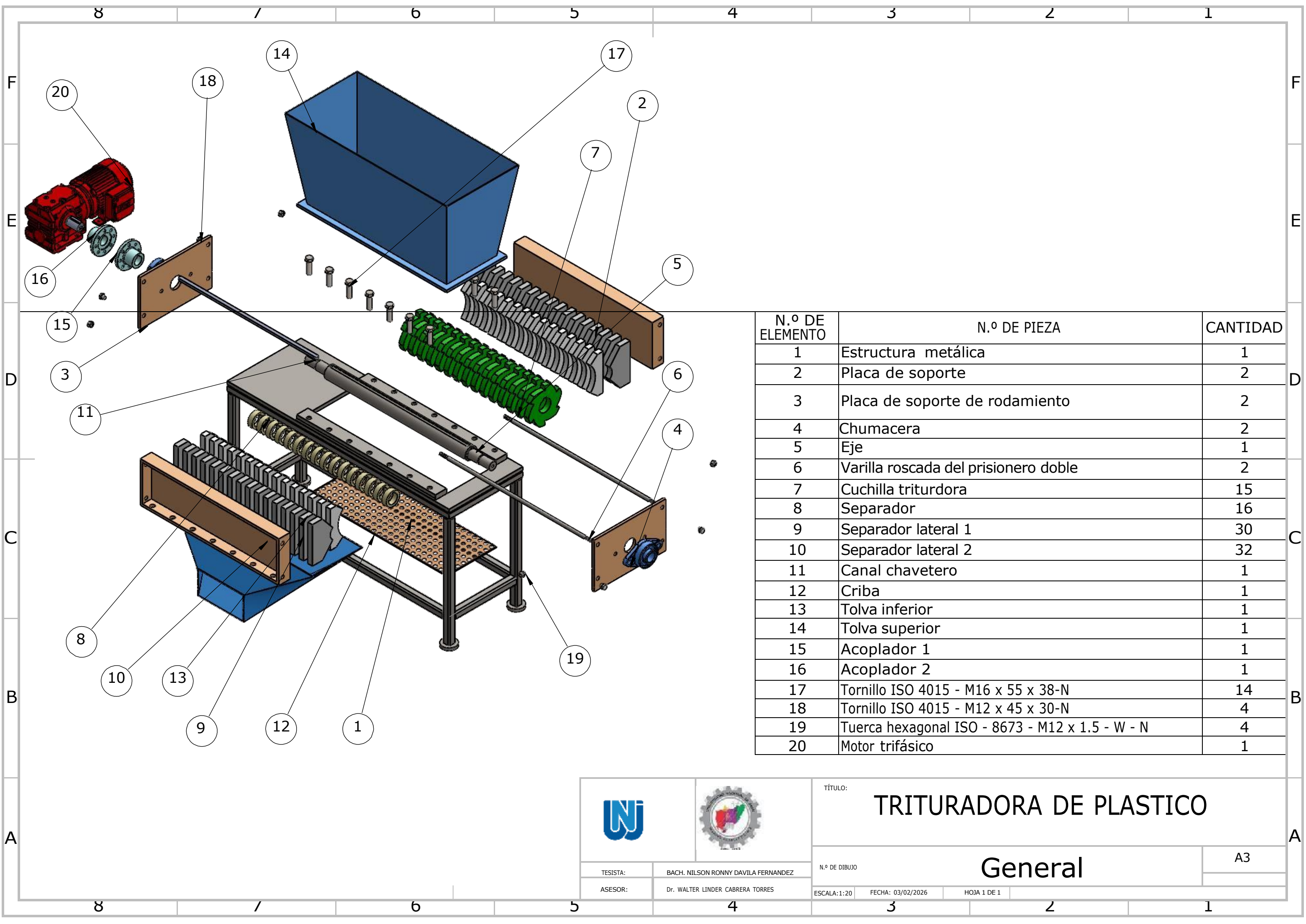
Potencias disipadas

CORRIENTE ASIGNADA (A)	REFERENCIA	POTENCIA DISIPADA (W @ 0,7 m)	POTENCIA DISIPADA (W @ m)	I ² t PREARCO (A ² s)	I ² t TOTAL (A ² s)
25	373210	5,2	12,5	62	94
32	373215	6,3	15,5	122	184
40	373225	6,7	16,6	302	454
50	373230	7,5	18,0	562	844
63	373235	8,2	20,0	1210	1815
80	373240	10,0	27,0	2250	3375
100	373245	11,0	28,0	4000	6000
125	373250	12,5	32	6500	9700
160	373255	10,0	25,0	10300	19800
200	373260	12,5	30,0	19900	38300

DESCARGAR FICHA TÉCNICA

ANEXO P

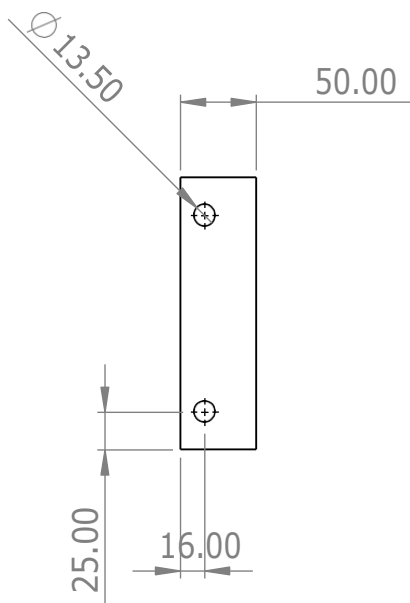
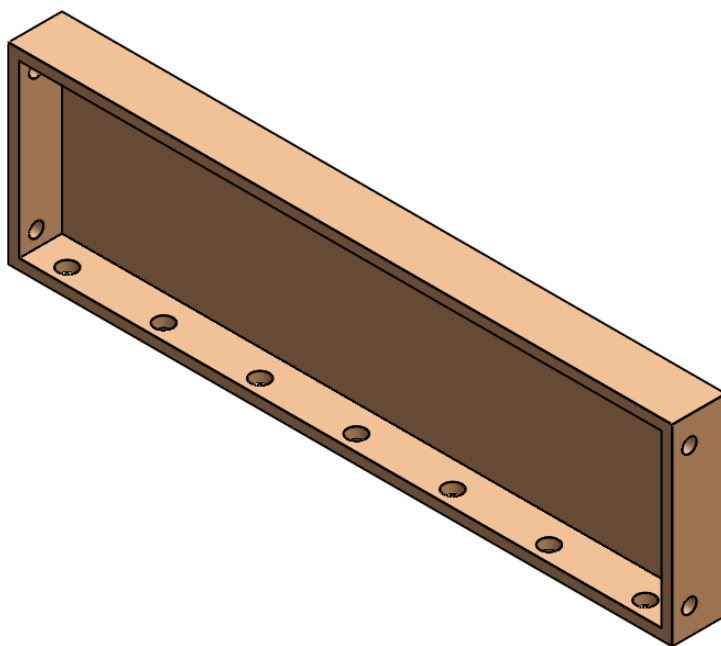
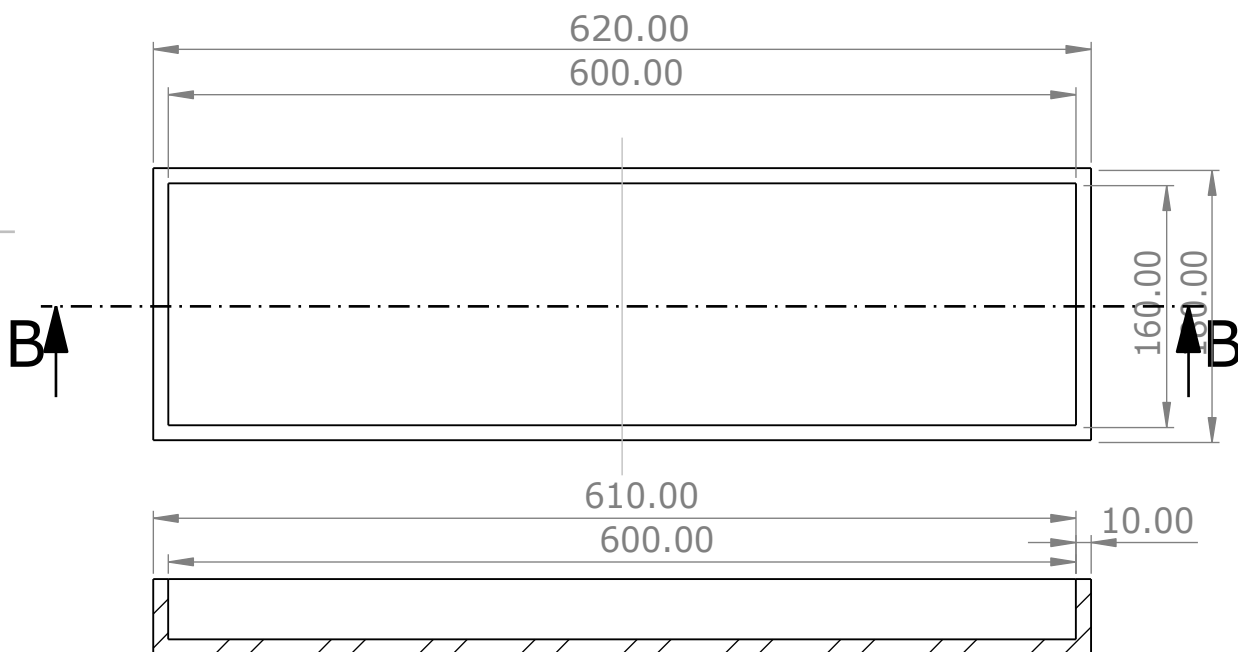
**PLANOS MÁQUINA
TRITURADORA**



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Estructura metálica	1
2	Placa de soporte	2
3	Placa de soporte de rodamiento	2
4	Chumacera	2
5	Eje	1
6	Varilla roscada del prisionero doble	2
7	Cuchilla trituradora	15
8	Separador	16
9	Separador lateral 1	30
10	Separador lateral 2	32
11	Canal chavetero	1
12	Criba	1
13	Tolva inferior	1
14	Tolva superior	1
15	Acoplador 1	1
16	Acoplador 2	1
17	Tornillo ISO 4015 - M16 x 55 x 38-N	14
18	Tornillo ISO 4015 - M12 x 45 x 30-N	4
19	Tuerca hexagonal ISO - 8673 - M12 x 1.5 - W - N	4
20	Motor trifásico	1

Material

AISI 1020



SECCIÓN B-B

ESCALA 1 : 5



TÍTULO:

PLACA DE SOPORTE

N.º DE DIBUJO

PLANO 2

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

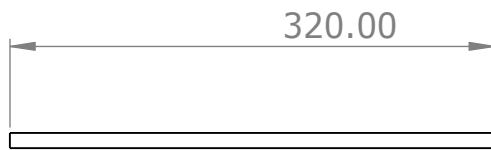
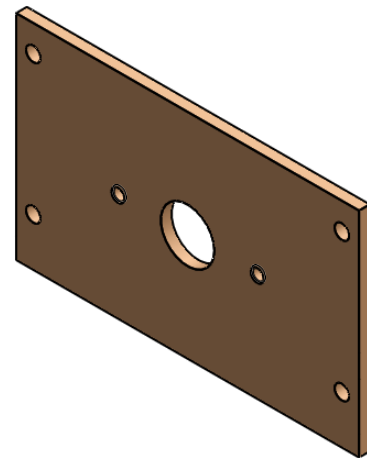
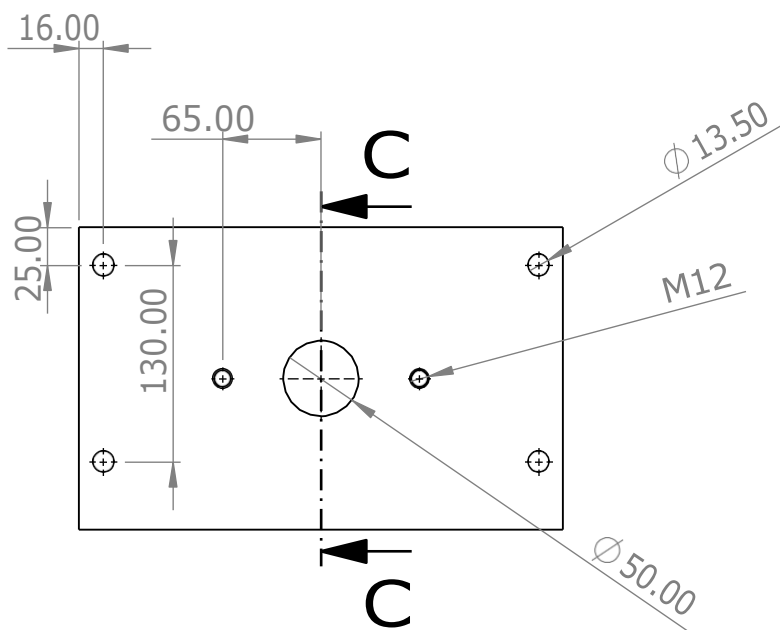
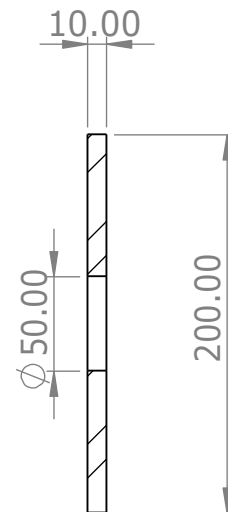
ESCALA: 1:5

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

Material

AISI 1020



SECCIÓN C-C

ESCALA 1 : 4



TÍTULO:

PLACA DE SOPORTE DE
RODAMIENTO

N.º DE DIBUJO

PLANO 3

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

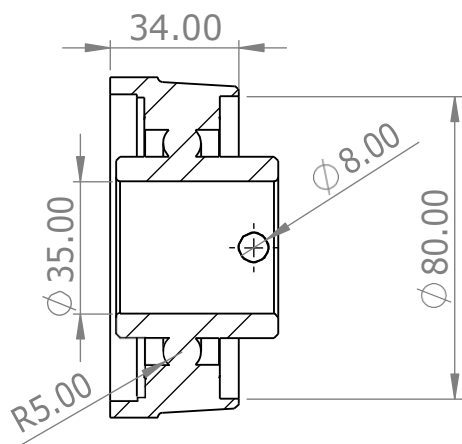
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

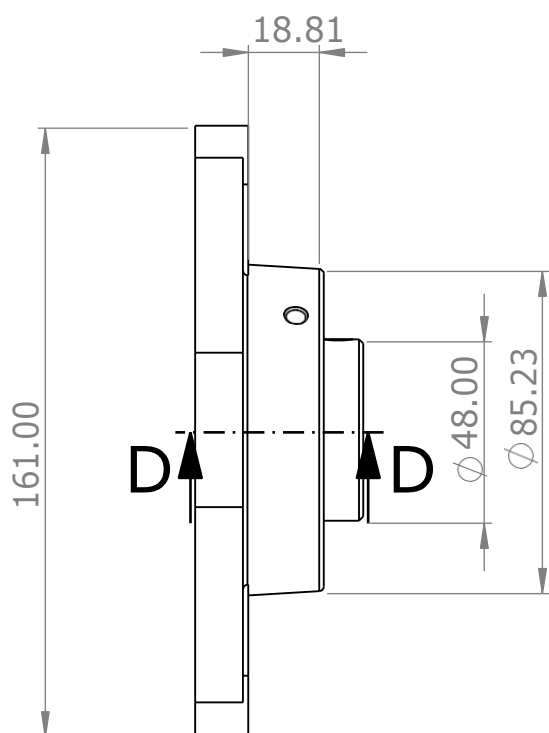
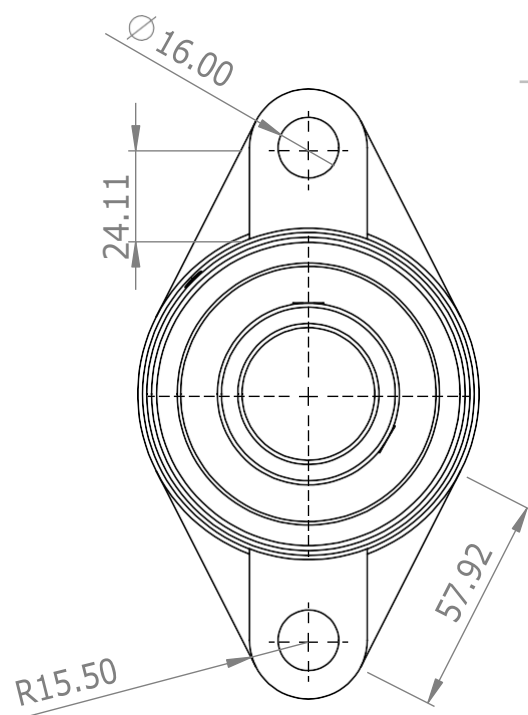
ESCALA: 1:5

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1



SECCIÓN D-D



TÍTULO:

CHUMACERA

N.º DE DIBUJO

PLANO 4

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

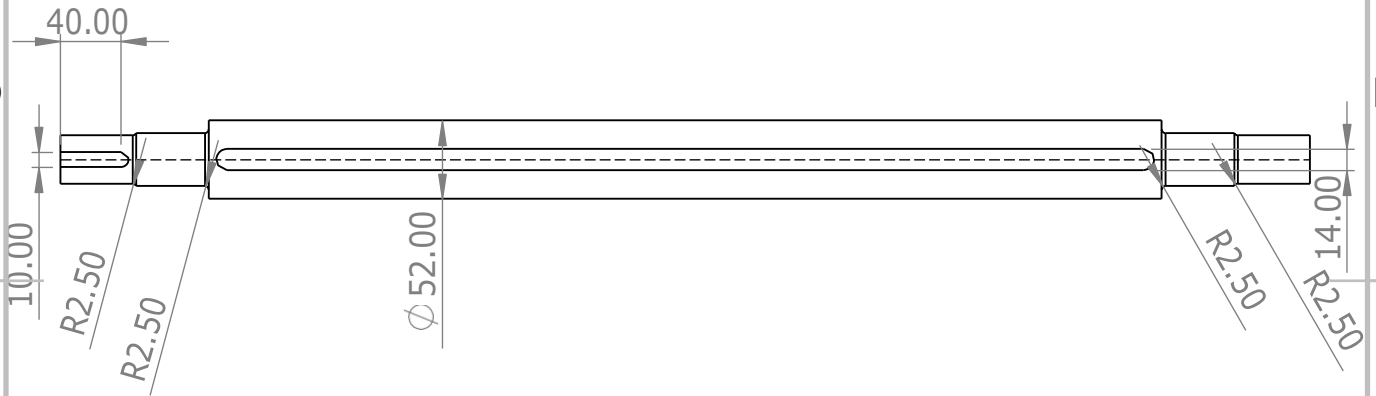
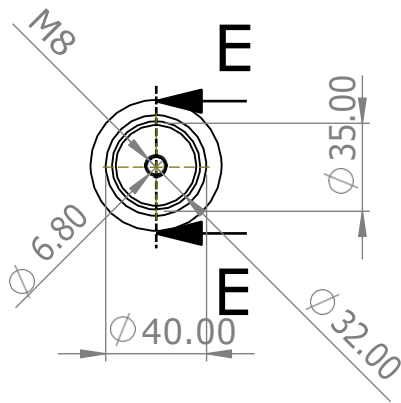
ESCALA: 1:2

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

Material

AISI 347 Acero Inoxidable Recocido



SECCIÓN E-E

ESCALA 1 : 8



TÍTULO:

EJE

N.º DE DIBUJO

PLANO 5

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

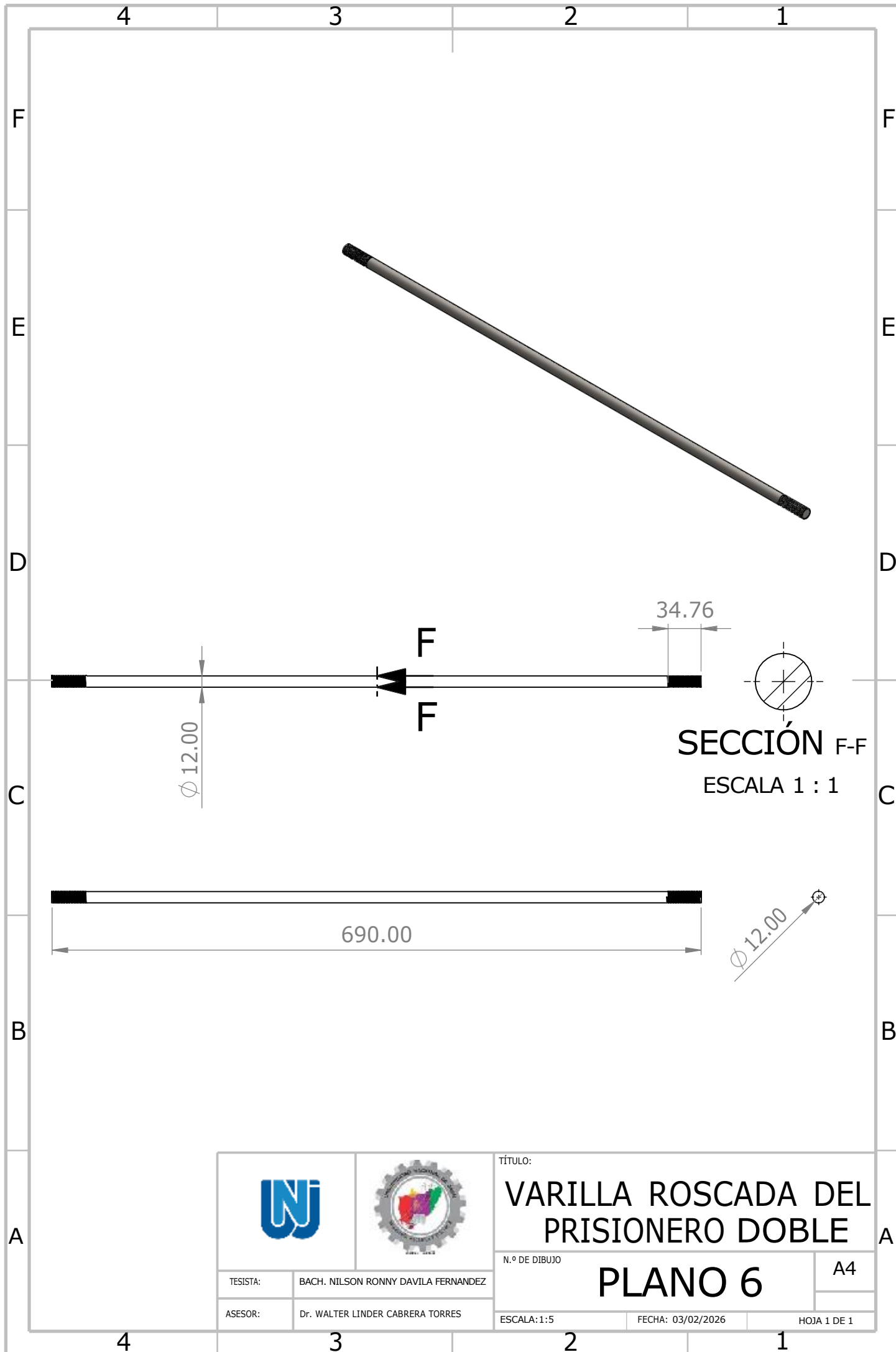
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:5

FECHA: 03/02/2026

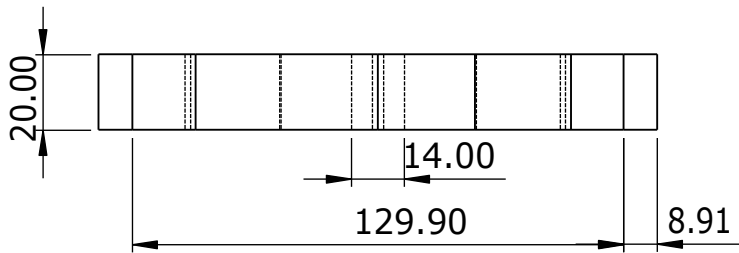
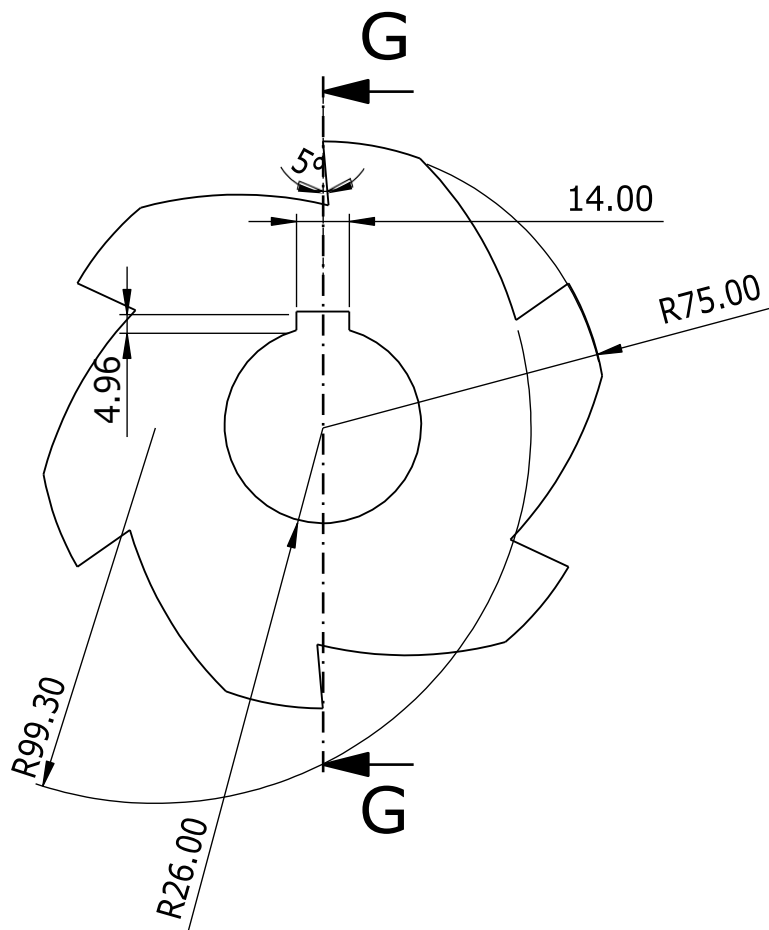
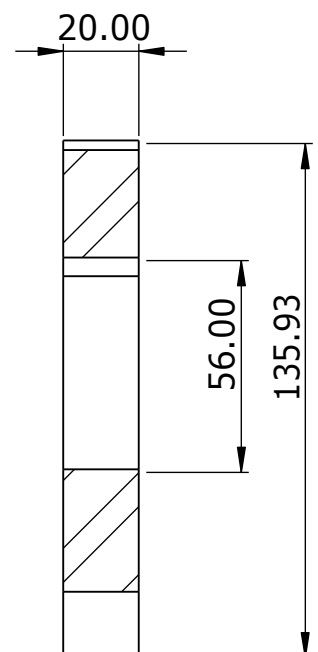
HOJA 1 DE 1



				TÍTULO: VARILLA ROSCADA DEL PRISIONERO DOBLE	
TESISTA:		BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ		N.º DE DIBUJO	A4
ASESOR:		Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES		PLANO 6	
ESCALA: 1:5		FECHA: 03/02/2026		HOJA 1 DE 1	

Material

AISI 316L Acero Inoxidable



SECCIÓN G-G
ESCALA 1 : 2



TÍTULO:

Cuchilla trituradora

N.º DE DIBUJO

PLANO 7

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

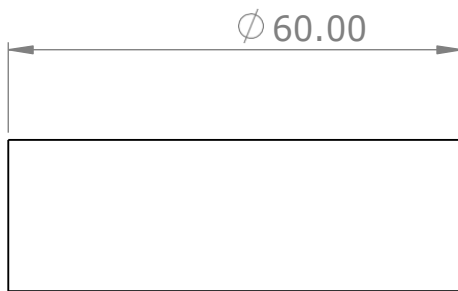
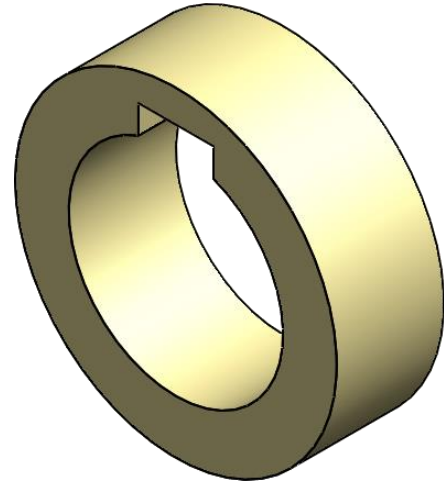
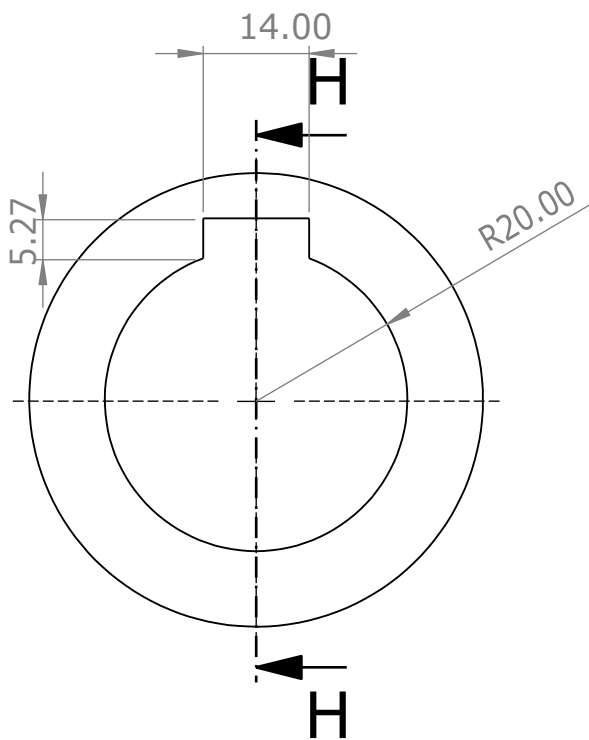
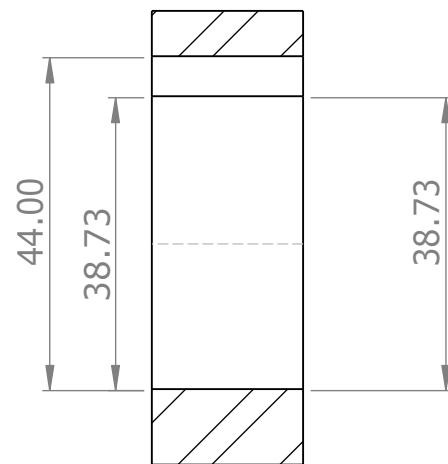
ESCALA: 1:2

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

Material

AISI 1020



SECCIÓN H-H



TÍTULO:

Separador

N.º DE DIBUJO

PLANO 8

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

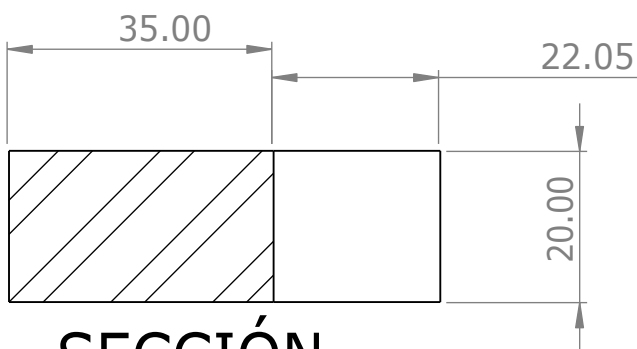
ESCALA: 1:1

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

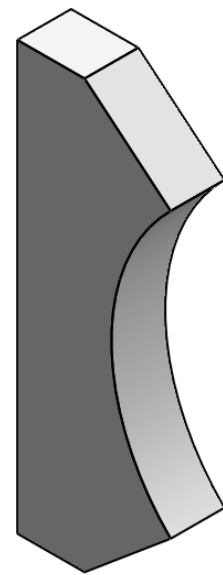
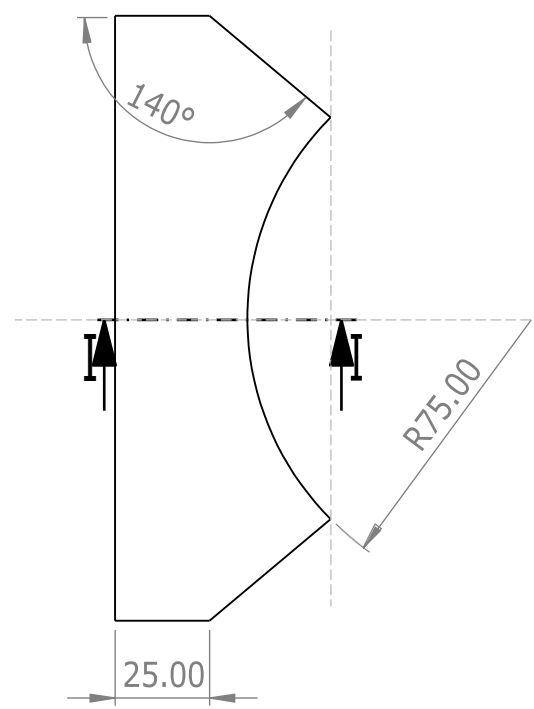
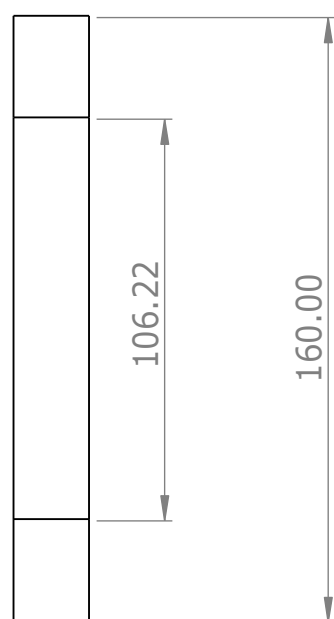
Material

AISI 1020



SECCIÓN I-I

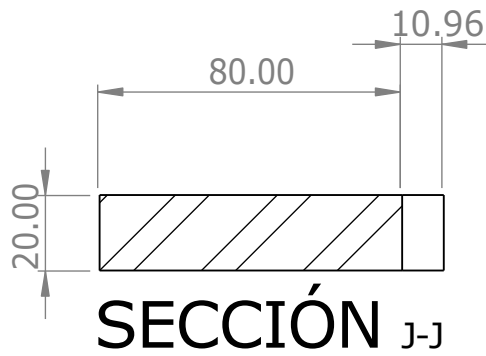
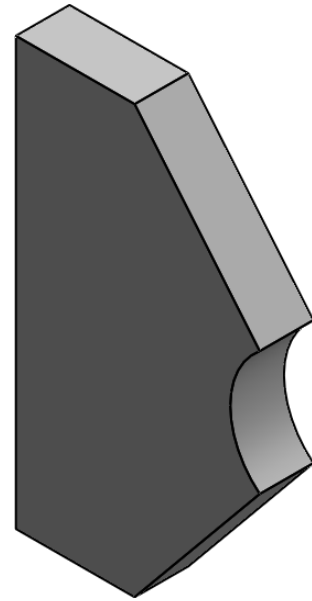
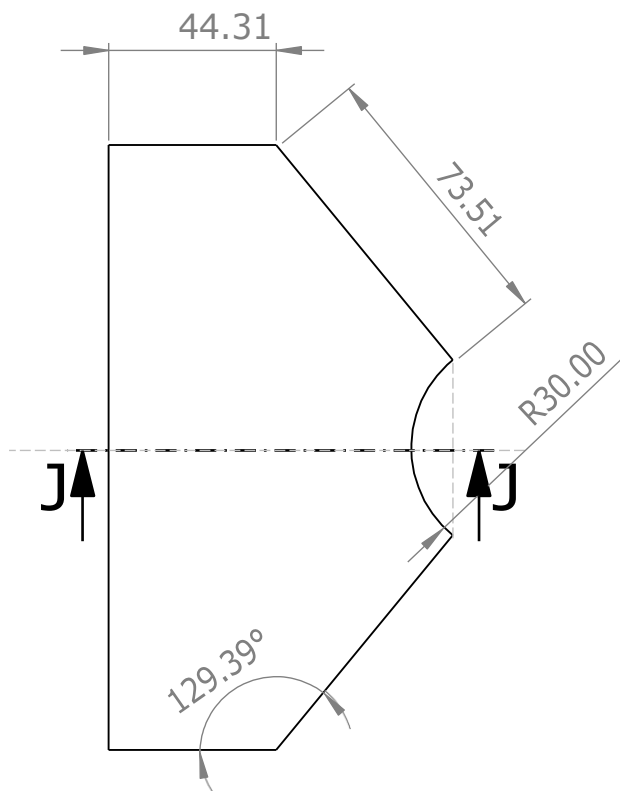
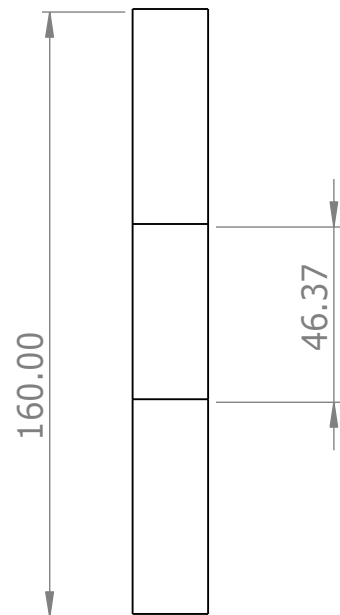
ESCALA 1 : 1



		TÍTULO:	
		SEPARADOR LATERAL 1	
TESISTA:	BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ	N.º DE DIBUJO	A4
ASESOR:	Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES	ESCALA: 1:2	FECHA: 03/02/2026
		HOJA 1 DE 1	

Material

AISI 1020



TÍTULO:

SEPARADOR LATERAL 2

N.º DE DIBUJO

PLANO 10

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:2

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

Material

AISI 1045

E

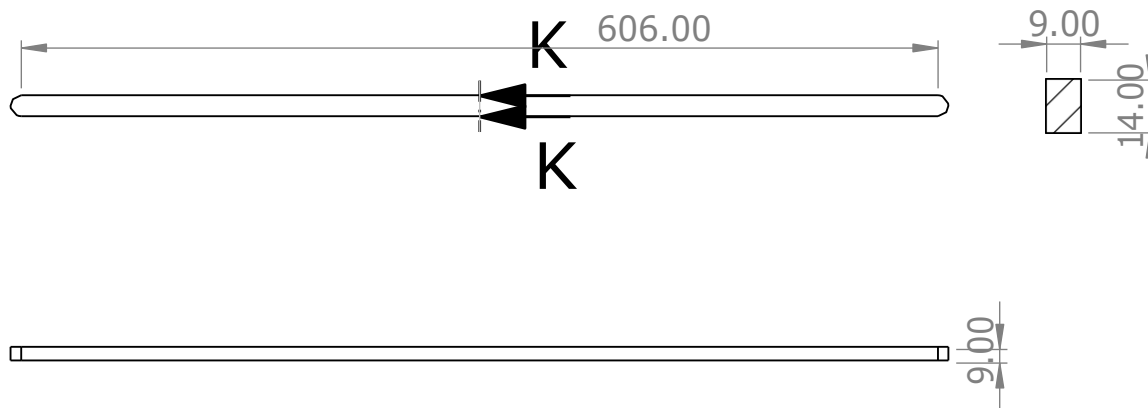
E

D

D

SECCIÓN K-K

ESCALA 1 : 2



C

C

B

B

A

A



TÍTULO:

CANAL CHAVETERO

N.º DE DIBUJO

PLANO 11

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:5

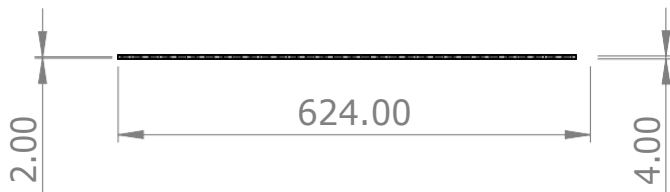
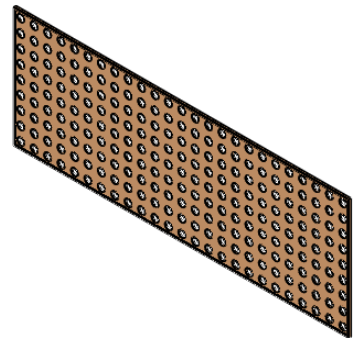
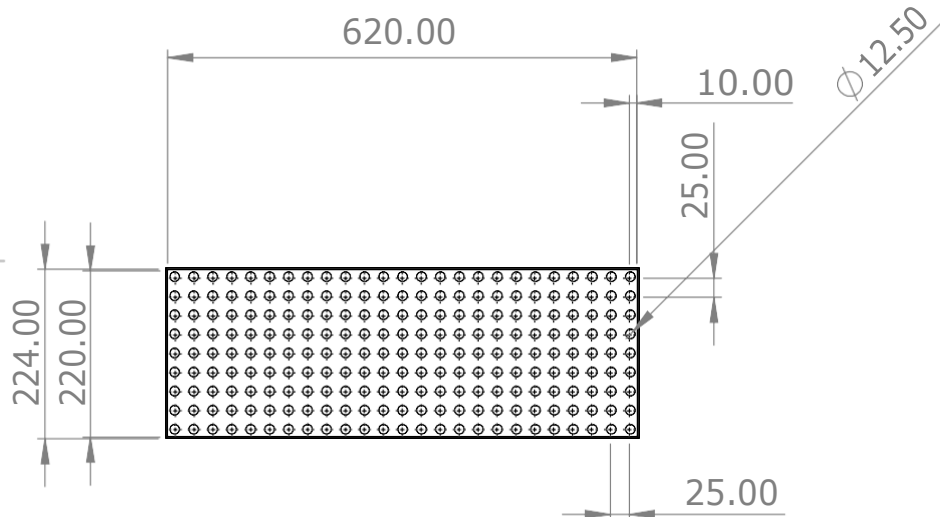
FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

Material

AISI 304



TÍTULO:

CRIBA

N.º DE DIBUJO

PLANO 12

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

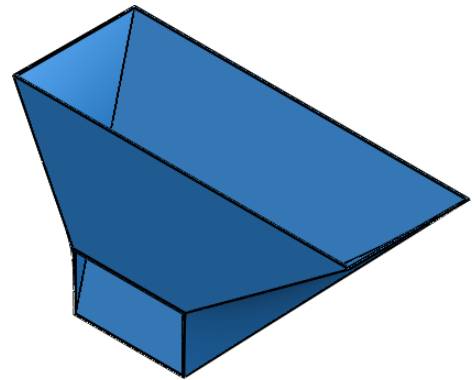
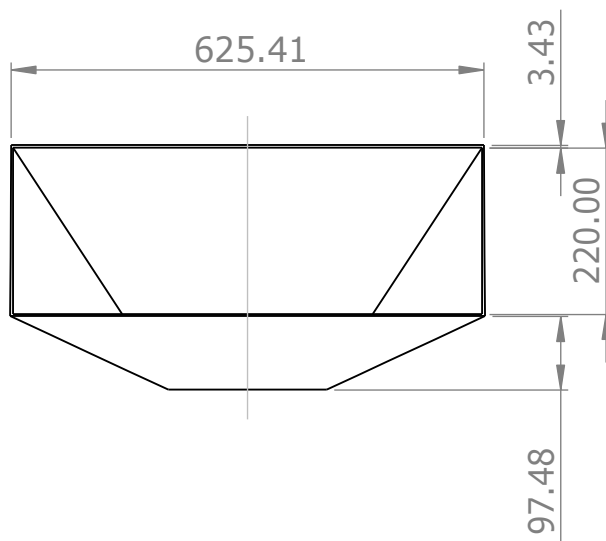
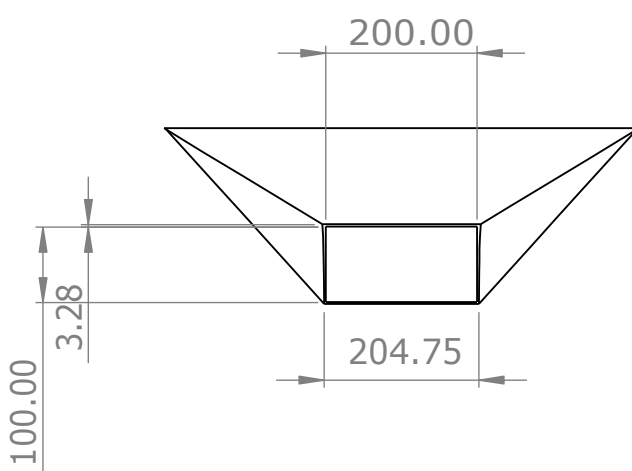
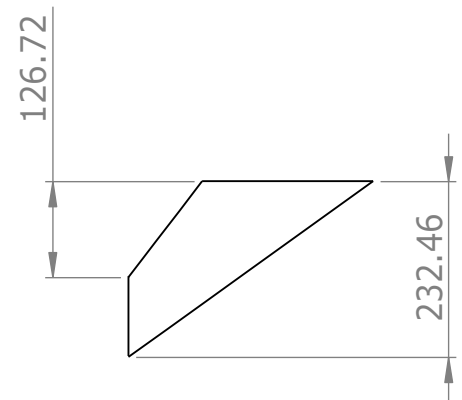
ESCALA: 1:10

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

Material

AISI 1020



TÍTULO:

TOLVA INFERIOR

N.º DE DIBUJO

PLANO 13

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

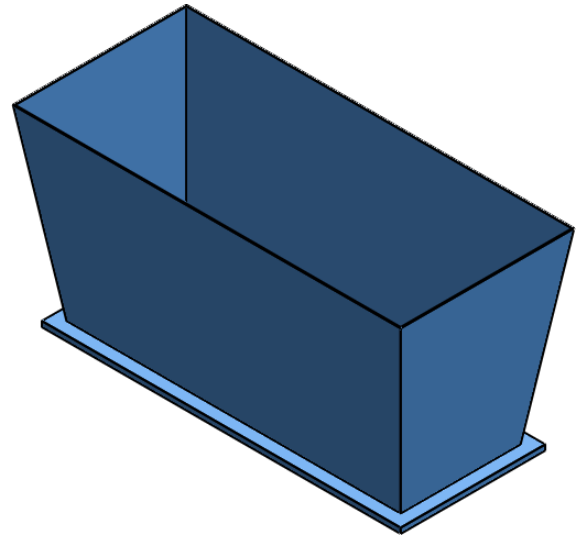
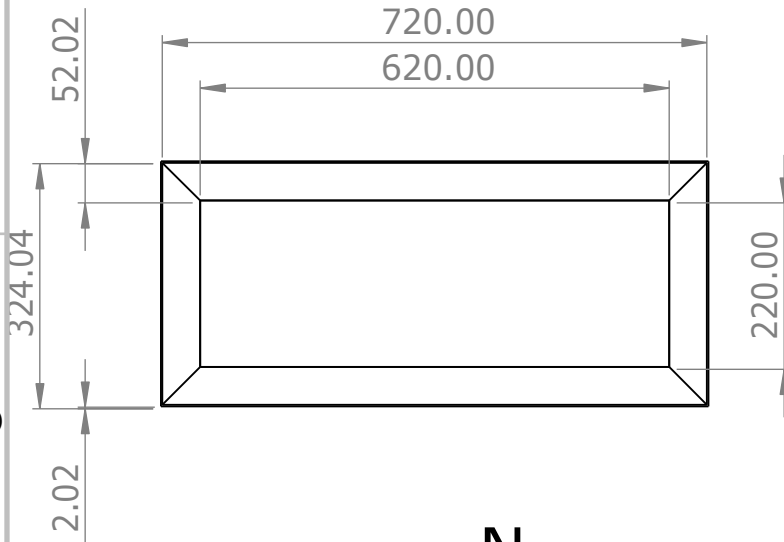
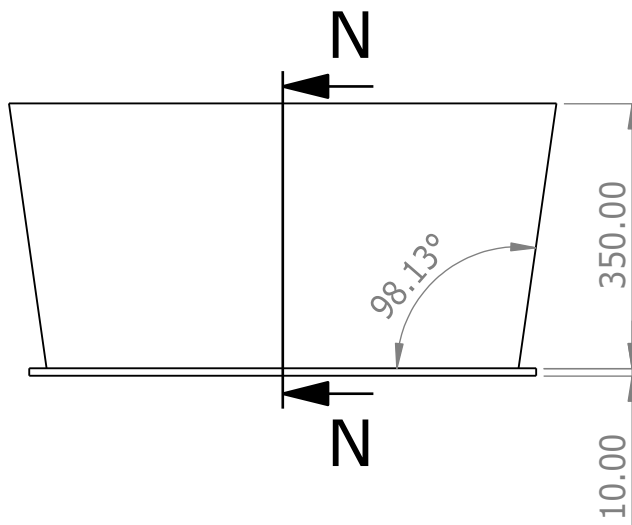
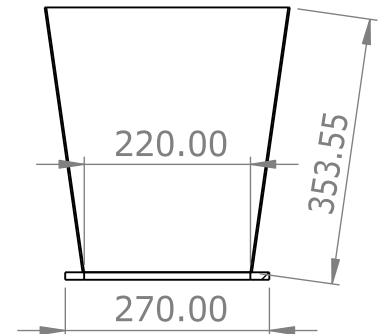
ESCALA: 1:10

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

Material

AISI 1020



SECCIÓN N-N

ESCALA 1 : 10



TÍTULO:

TOLVA SUPERIOR

N.º DE DIBUJO

PLANO 14

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

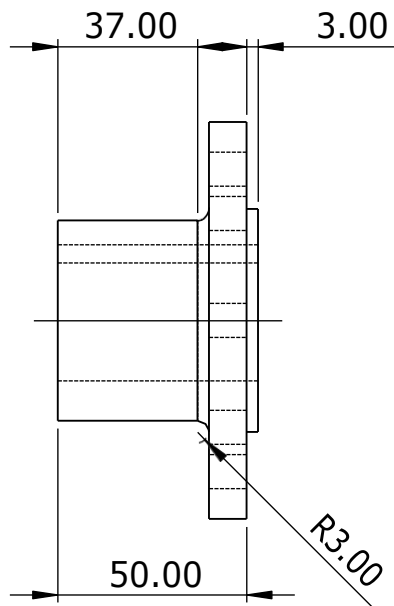
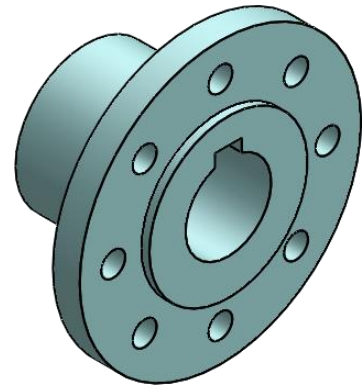
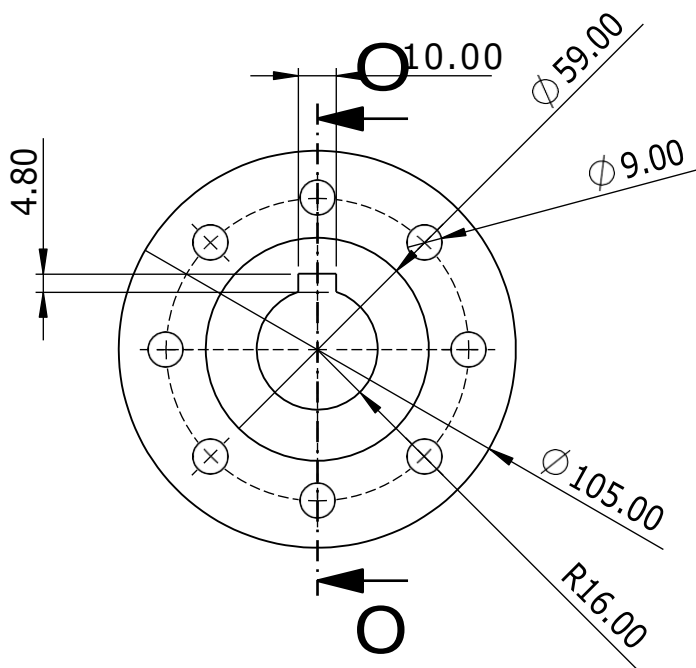
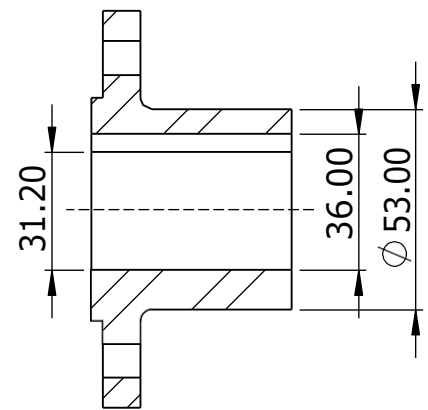
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:10

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1



SECCIÓN o-o



TÍTULO:

ACOPLADOR 1

N.º DE DIBUJO

PLANO 15

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

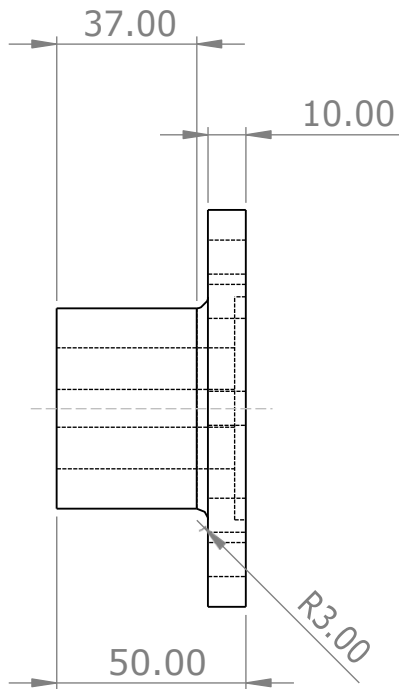
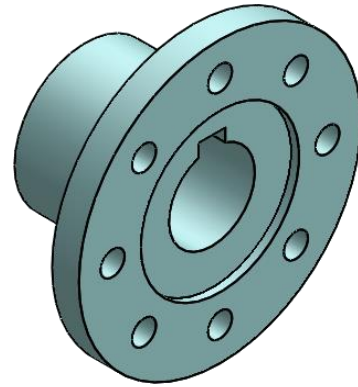
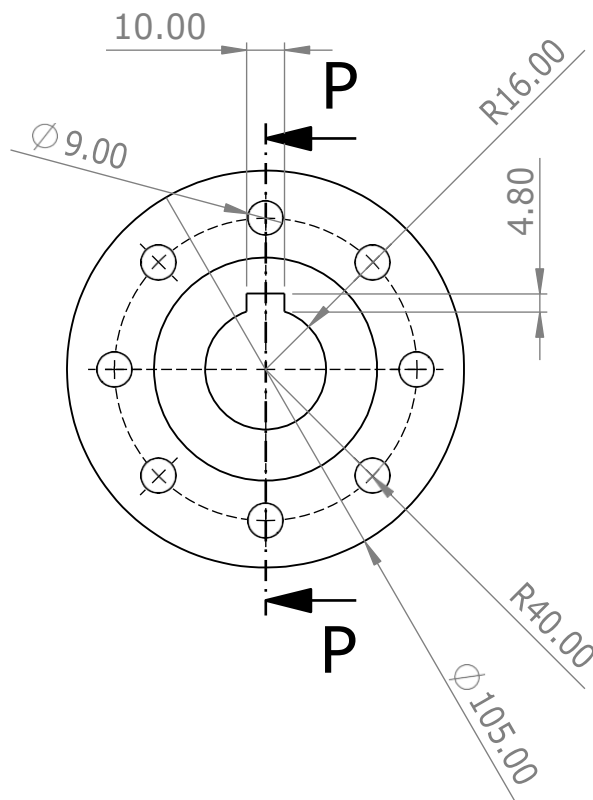
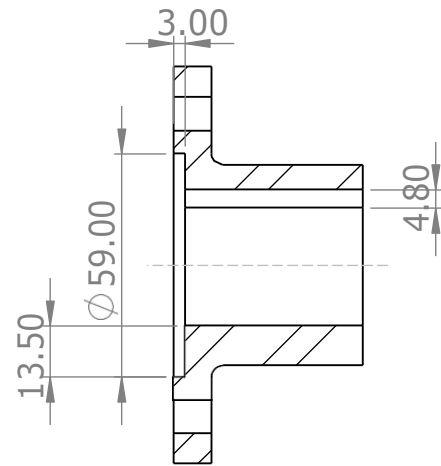
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:2

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1



SECCIÓN P-P



TÍTULO:

ACOPLADOR 2

N.º DE DIBUJO

PLANO 16

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

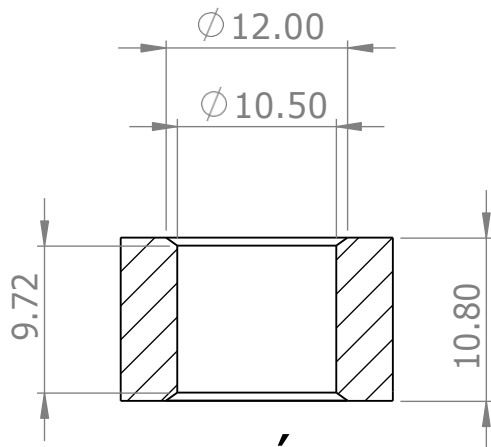
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

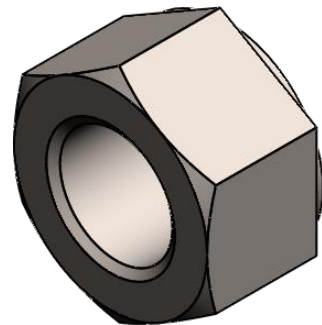
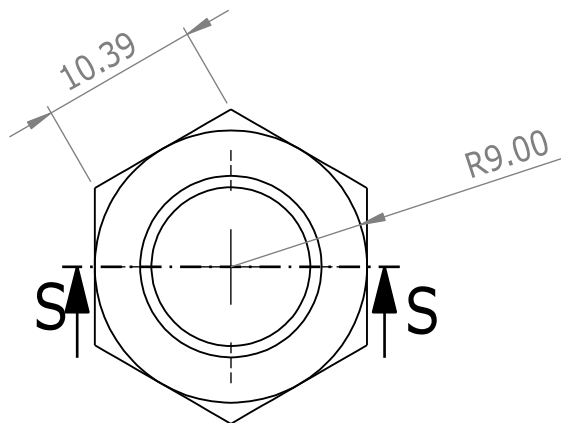
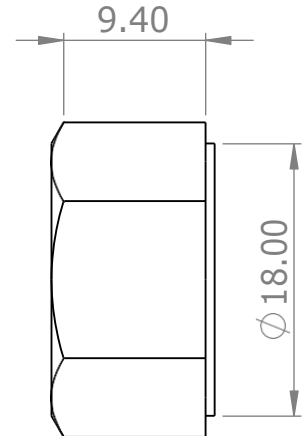
ESCALA: 1:2

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1



SECCIÓN S-S



TÍTULO:

TUERCA HEXAGONAL

N.º DE DIBUJO

PLANO 17

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

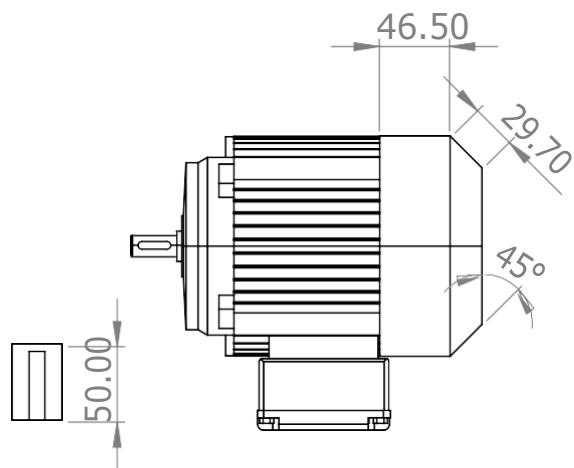
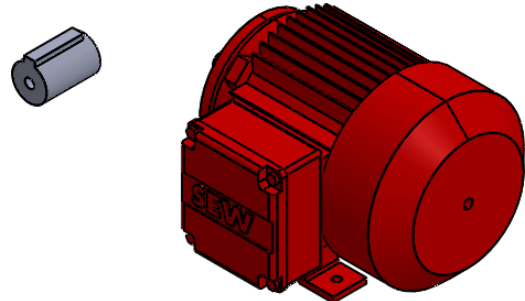
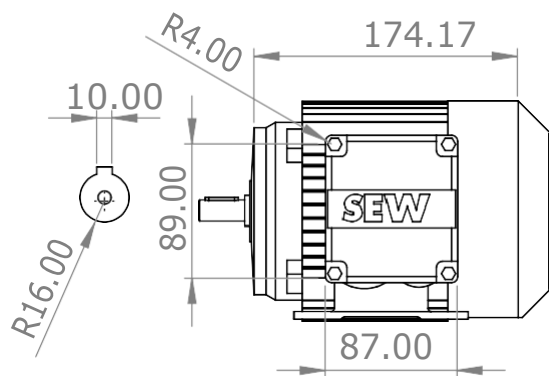
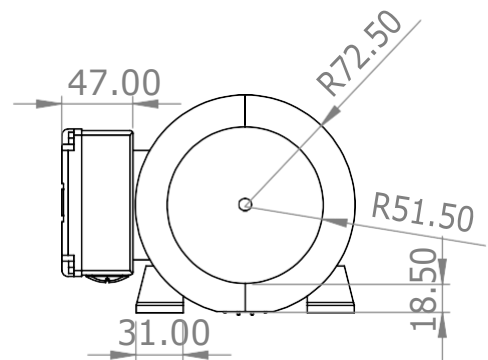
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 2:1

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

MOTOR TRIFÁSICO

N.º DE DIBUJO

PLANO 18

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:5

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

ANEXO Q
PLANOS DE TABLEROS
ELÉCTRICOS

8 7 6 5 4 3 2 1

F

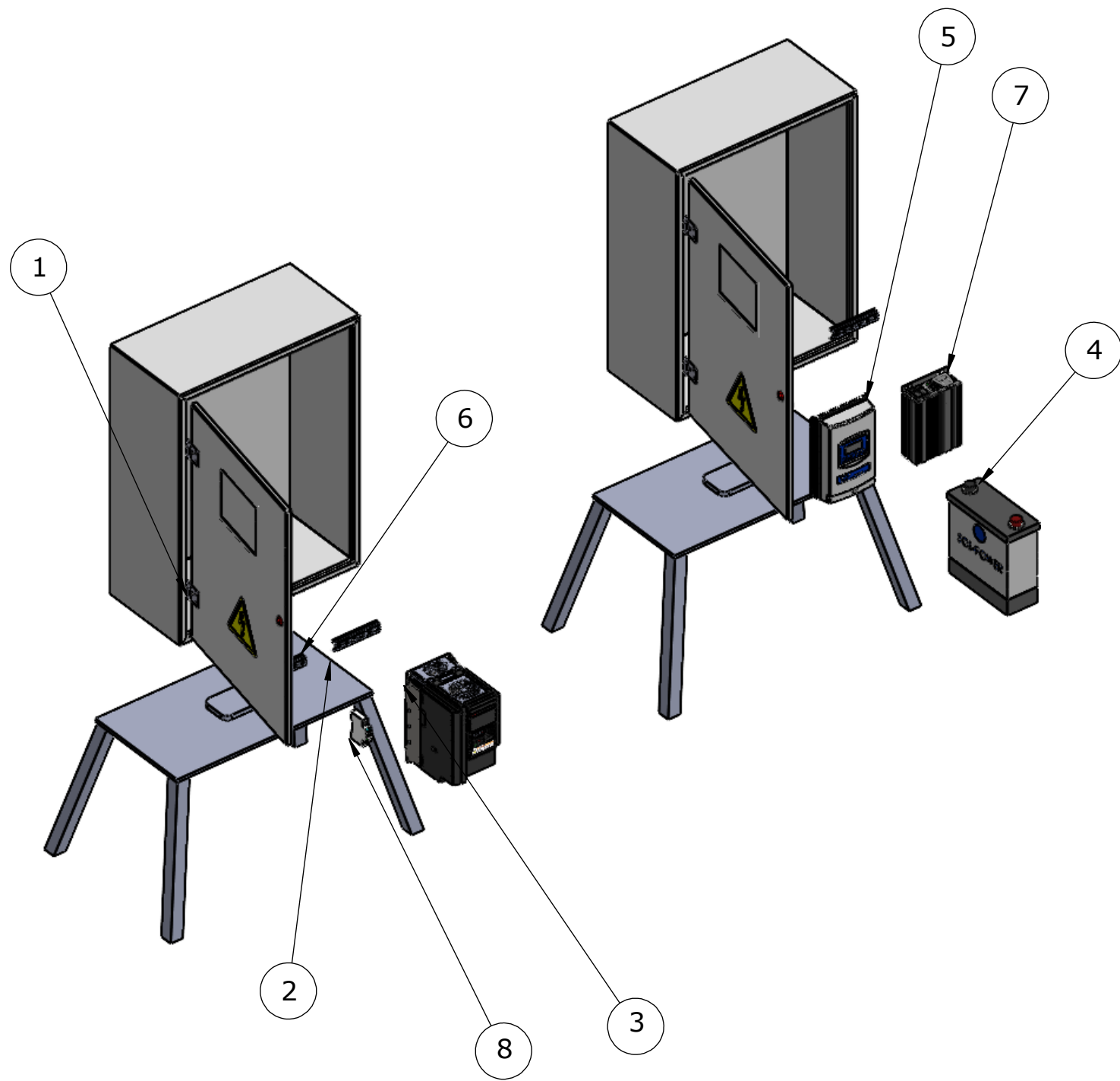
E

D

C

B

A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tablero electrico	2
2	SOPORTE DE TABLERO	2
3	VARIADOR DE FRECUENCIA	1
4	BATERIA	1
5	REGULADOR	1
6	(Electrical Panel BOX)_20	4
7	INVERSOR	1
8	1P25A-DC	1

F

E

D

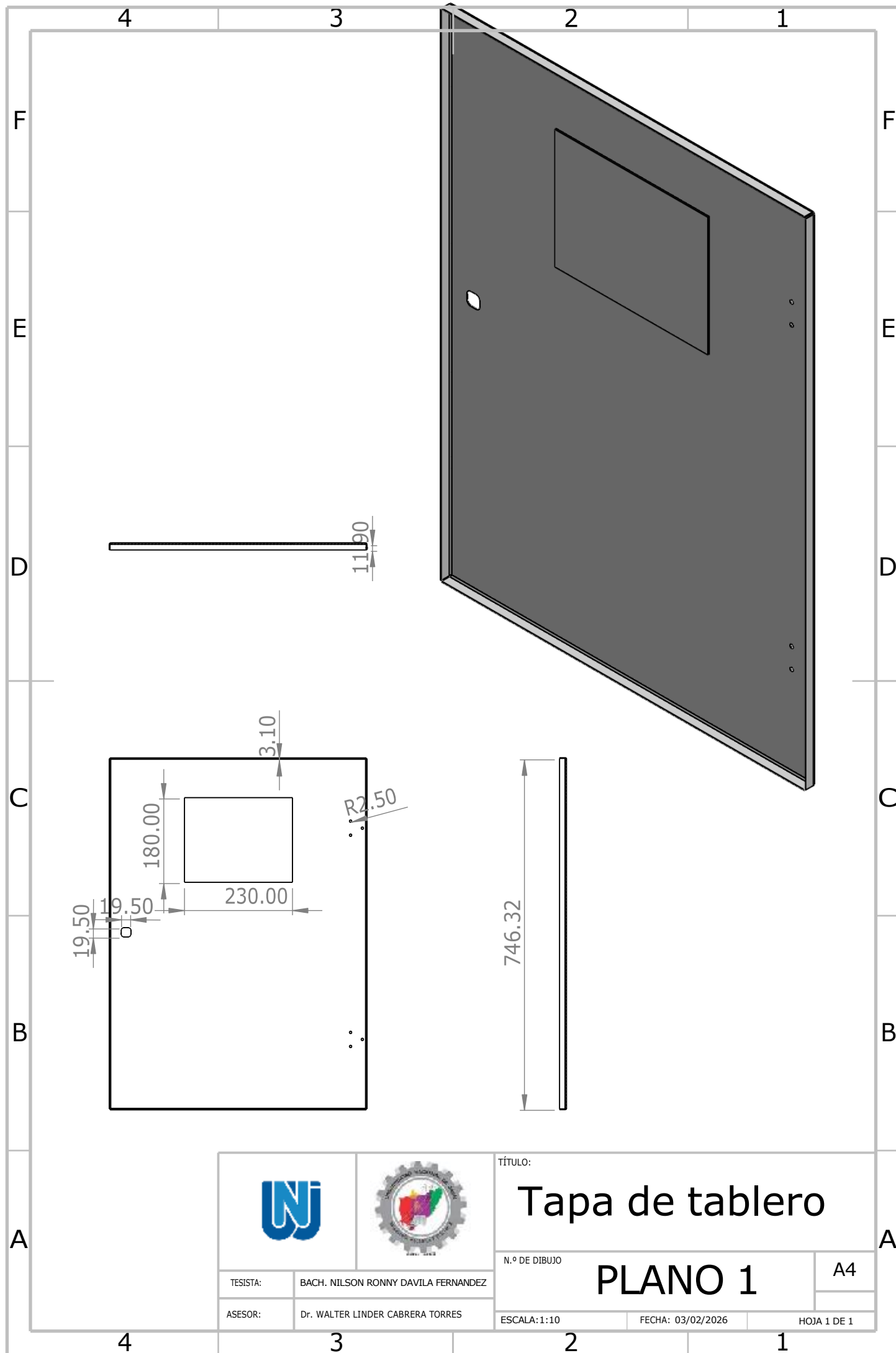
C

B

A

				TÍTULO: TABLEROS	
TESISTA:	BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ	N.º DE DIBUJO		General	
ASESOR:	Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES	ESCALA: 1:50		FECHA: 03/02/2026	A3
				HOJA 1 DE 1	

8 7 6 5 4 3 2 1



TÍTULO:

Tapa de tablero

N.º DE DIBUJO

PLANO 1

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:10

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

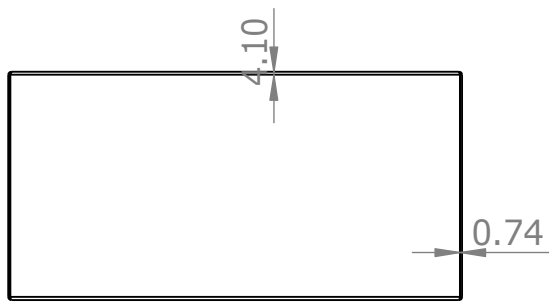
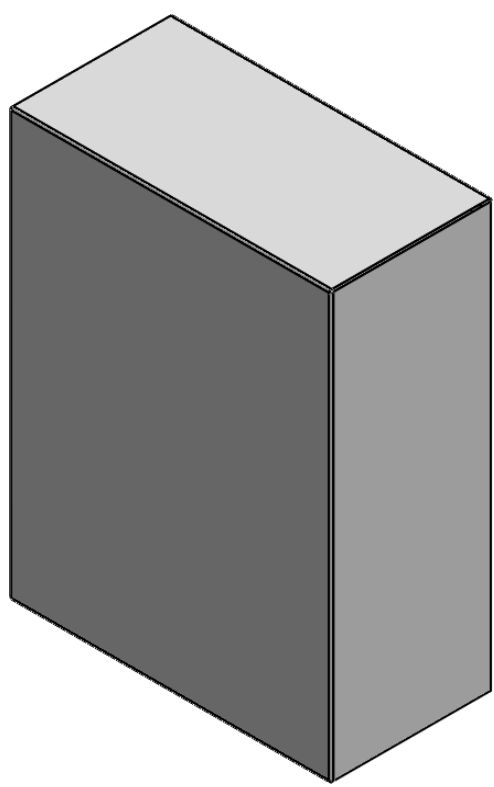
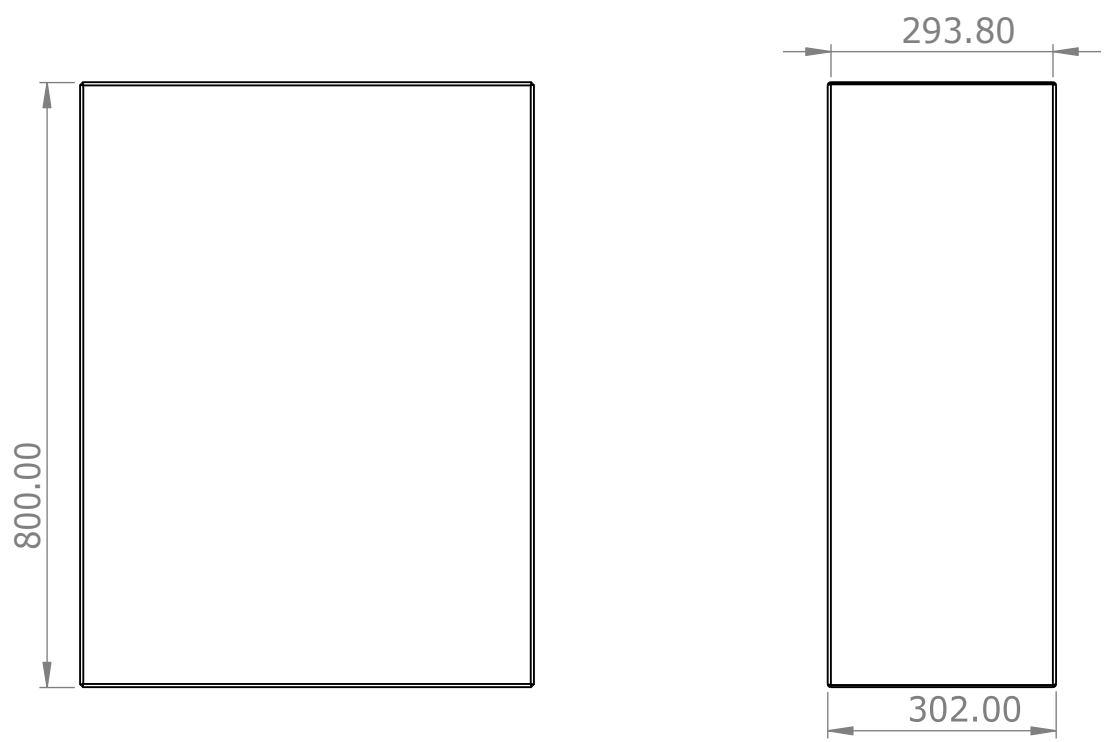
C

B

B

A

A



TÍTULO:
**CARCASA DEL TABLERO
ELECTRICO**

N.º DE DIBUJO
PLANO 1

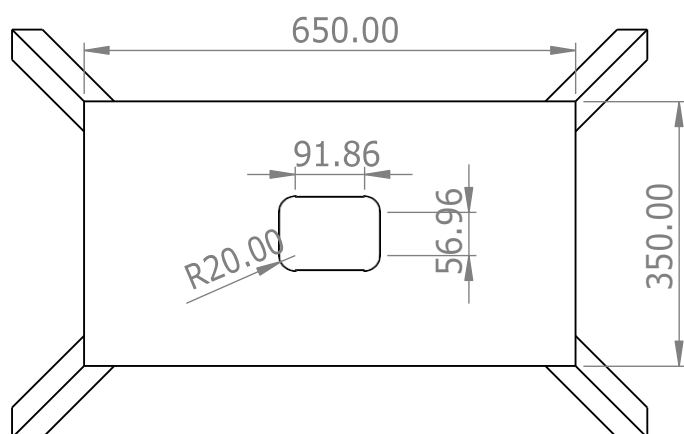
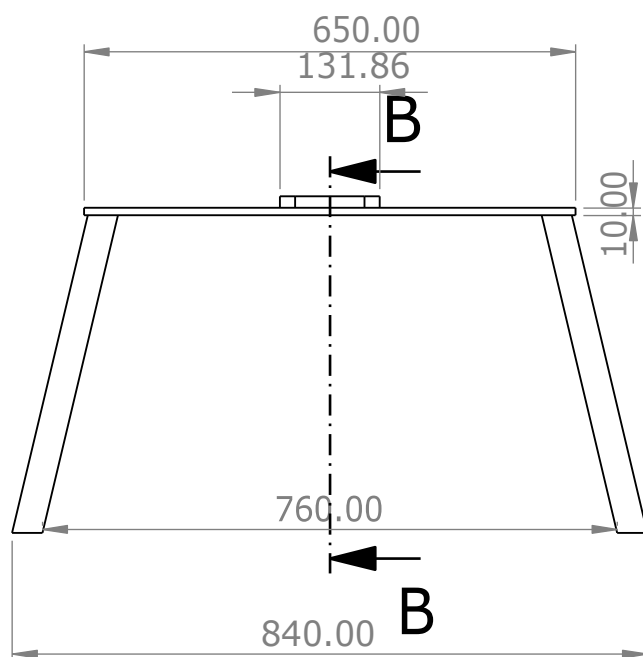
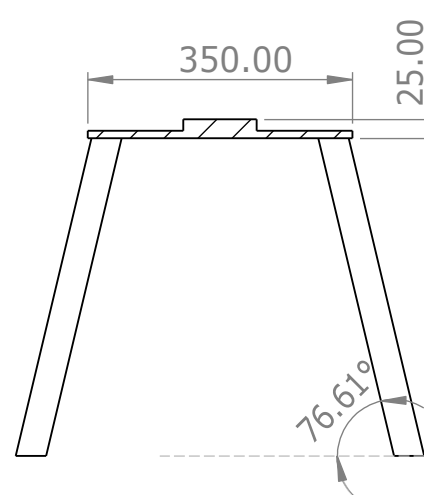
A4

TESISTA: BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR: Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:10 FECHA: 03/02/2026 HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 10



TÍTULO:

Soporte de tablero

N.º DE DIBUJO

PLANO 2

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

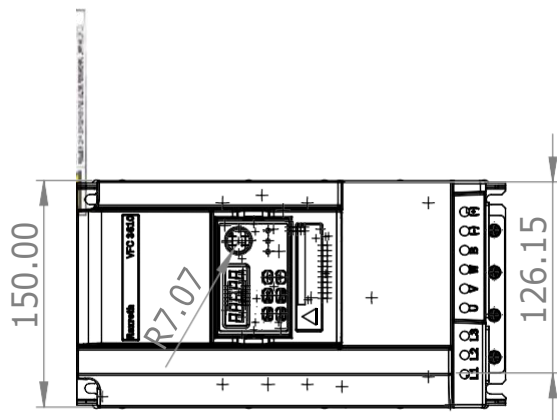
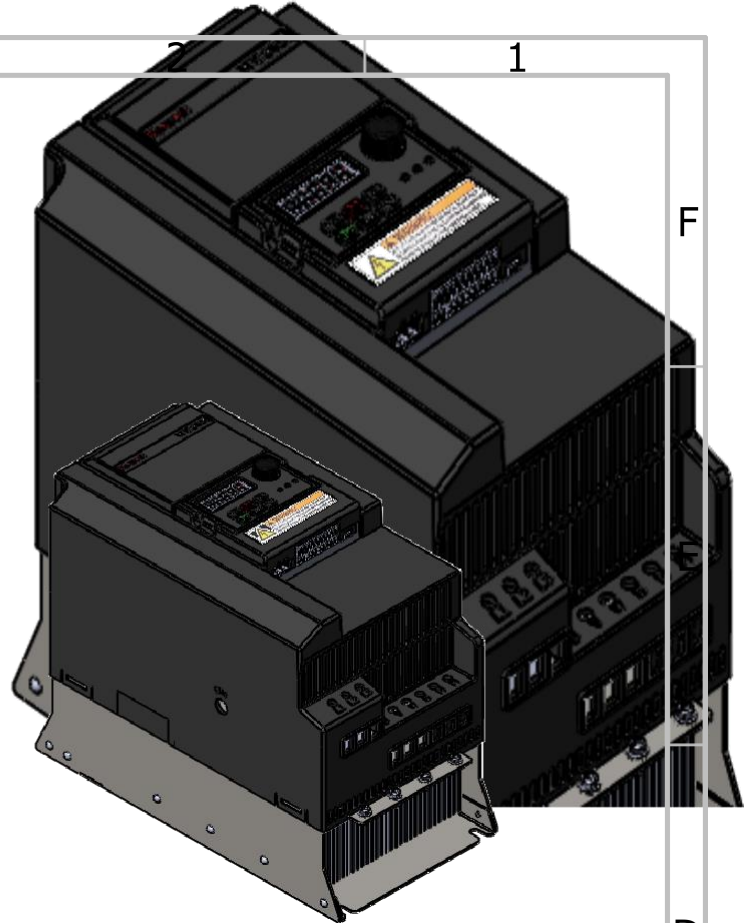
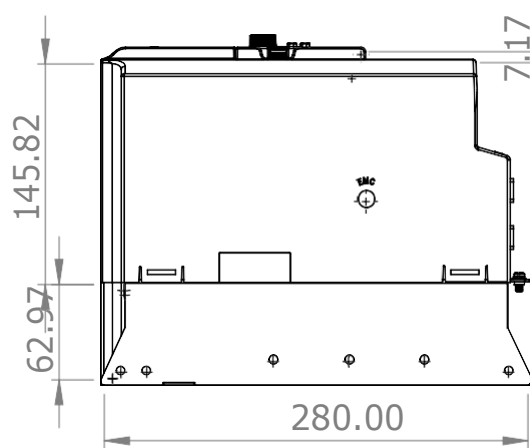
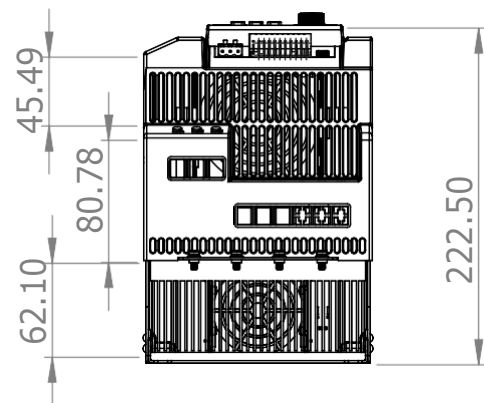
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:10

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

Variador de frecuencia

N.º DE DIBUJO

PLANO 3

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

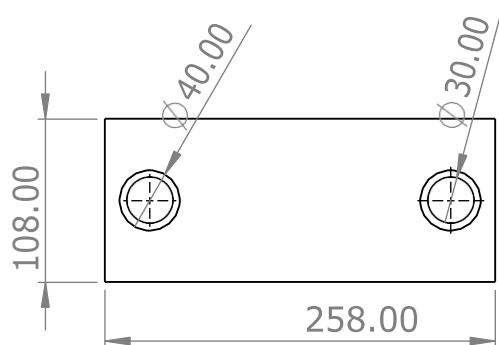
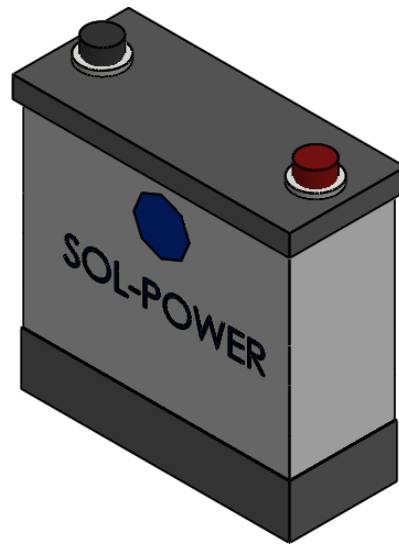
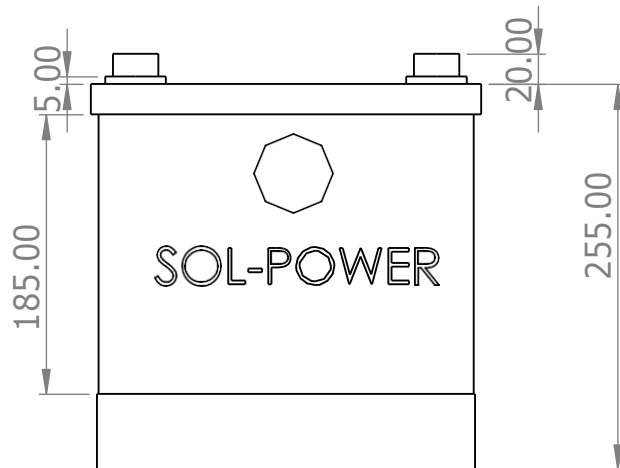
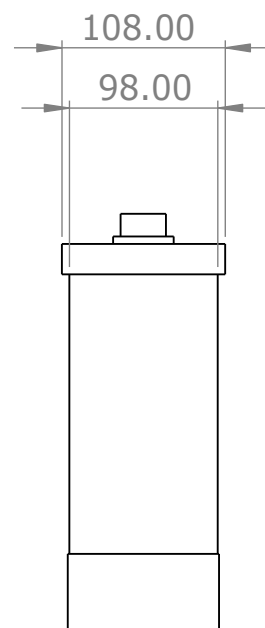
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:5

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

Batería

N.º DE DIBUJO

PLANO 4

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

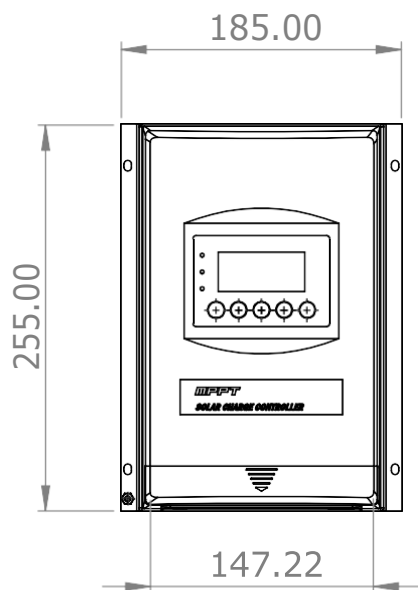
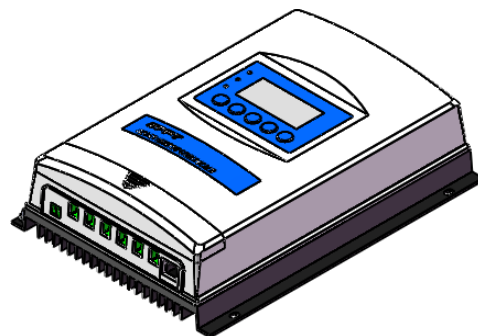
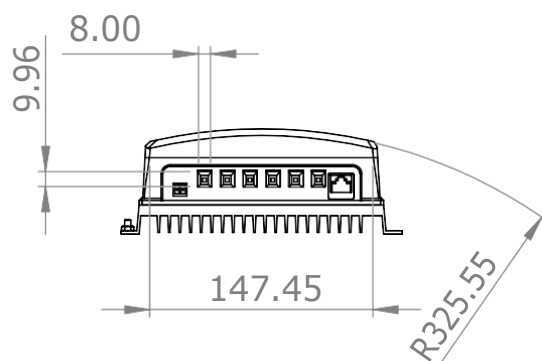
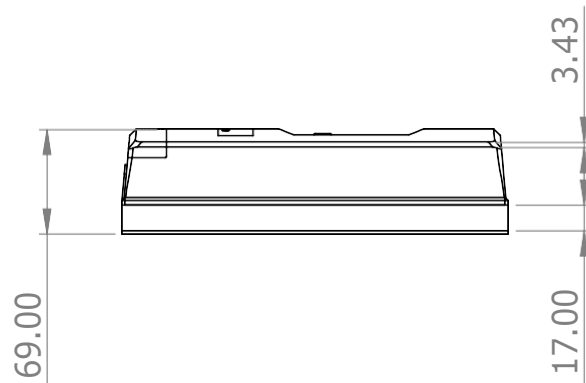
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:5

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

Regulador

N.º DE DIBUJO

PLANO 5

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:5

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

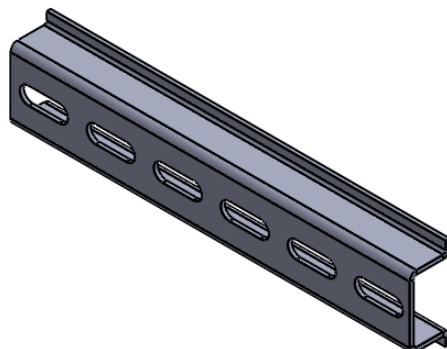
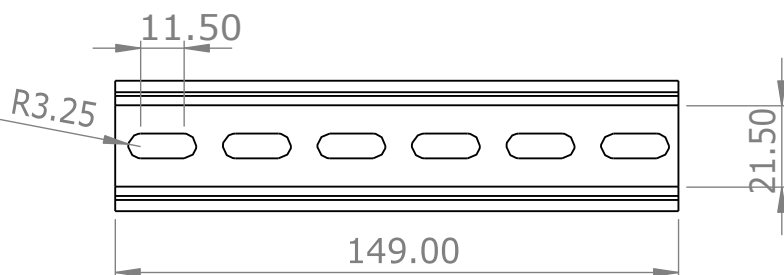
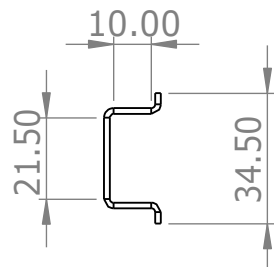
C

B

B

A

A



TÍTULO:

RIEL DIN

N.º DE DIBUJO

PLANO 6

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:2

FECHA: 03/02/2026

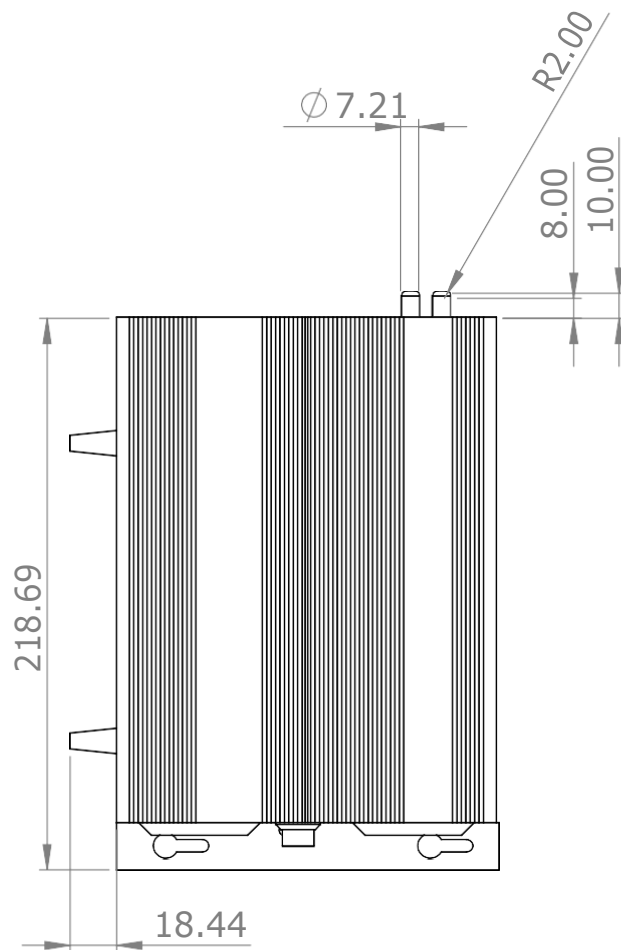
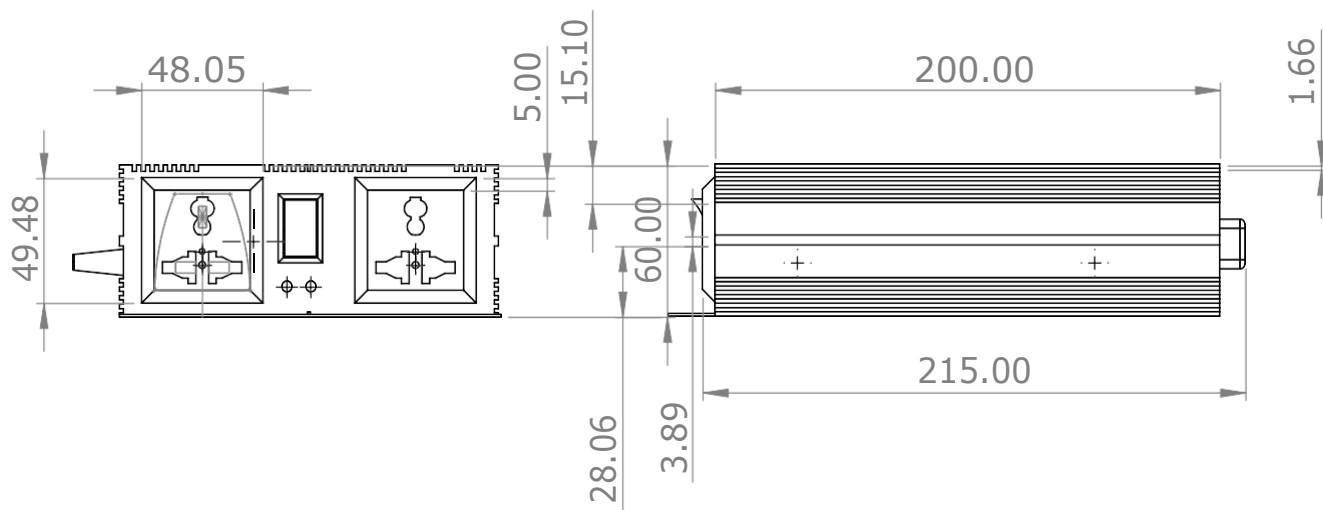
HOJA 1 DE 1

4

3

2

1



TÍTULO:

Inversor

N.º DE DIBUJO

PLANO 7

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

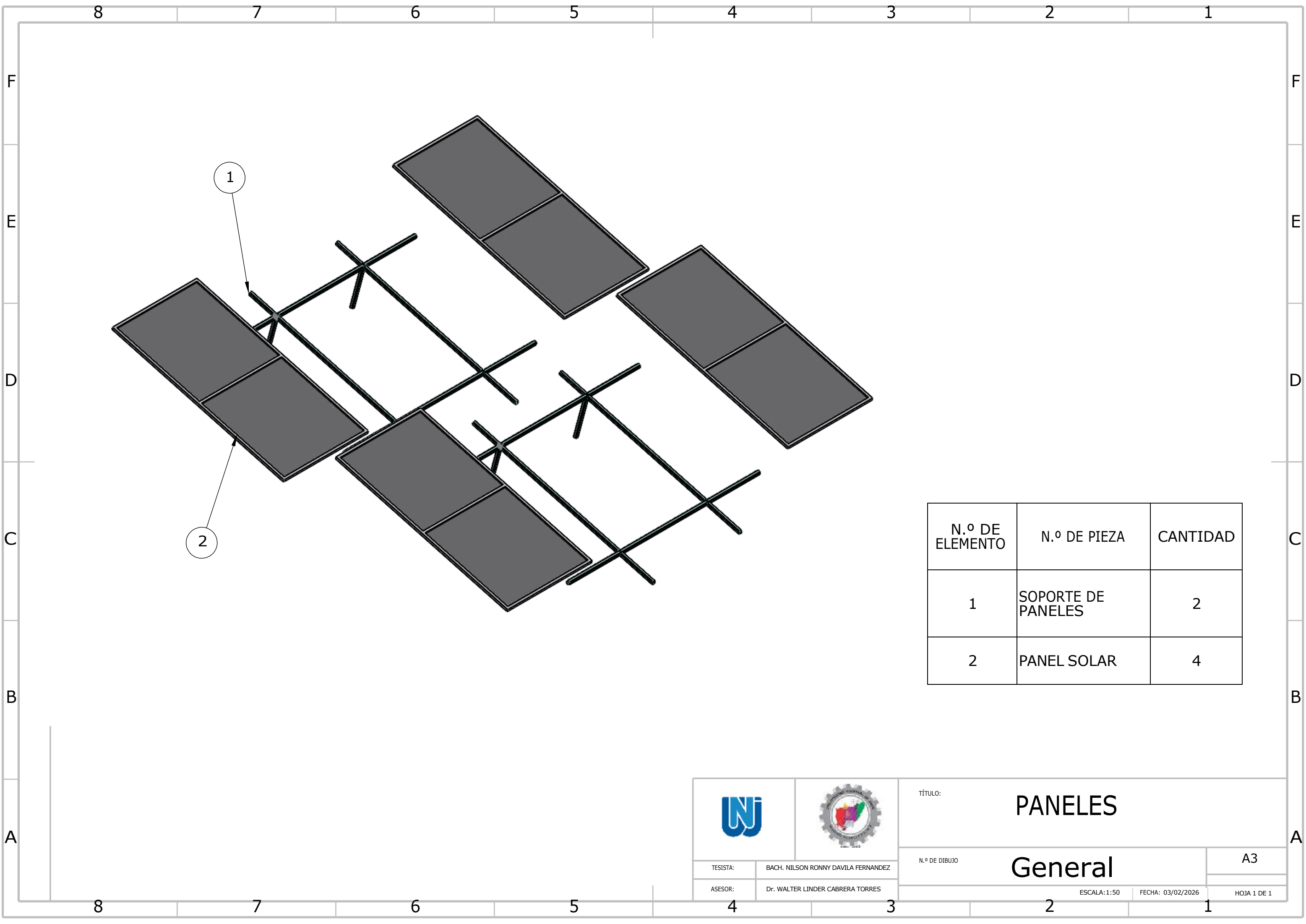
Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:3

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1

ANEXO R
PLANOS DE PANELES
SOLARES



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	SOPORTE DE PANELES	2
2	PANEL SOLAR	4

TÍTULO:
PANELES

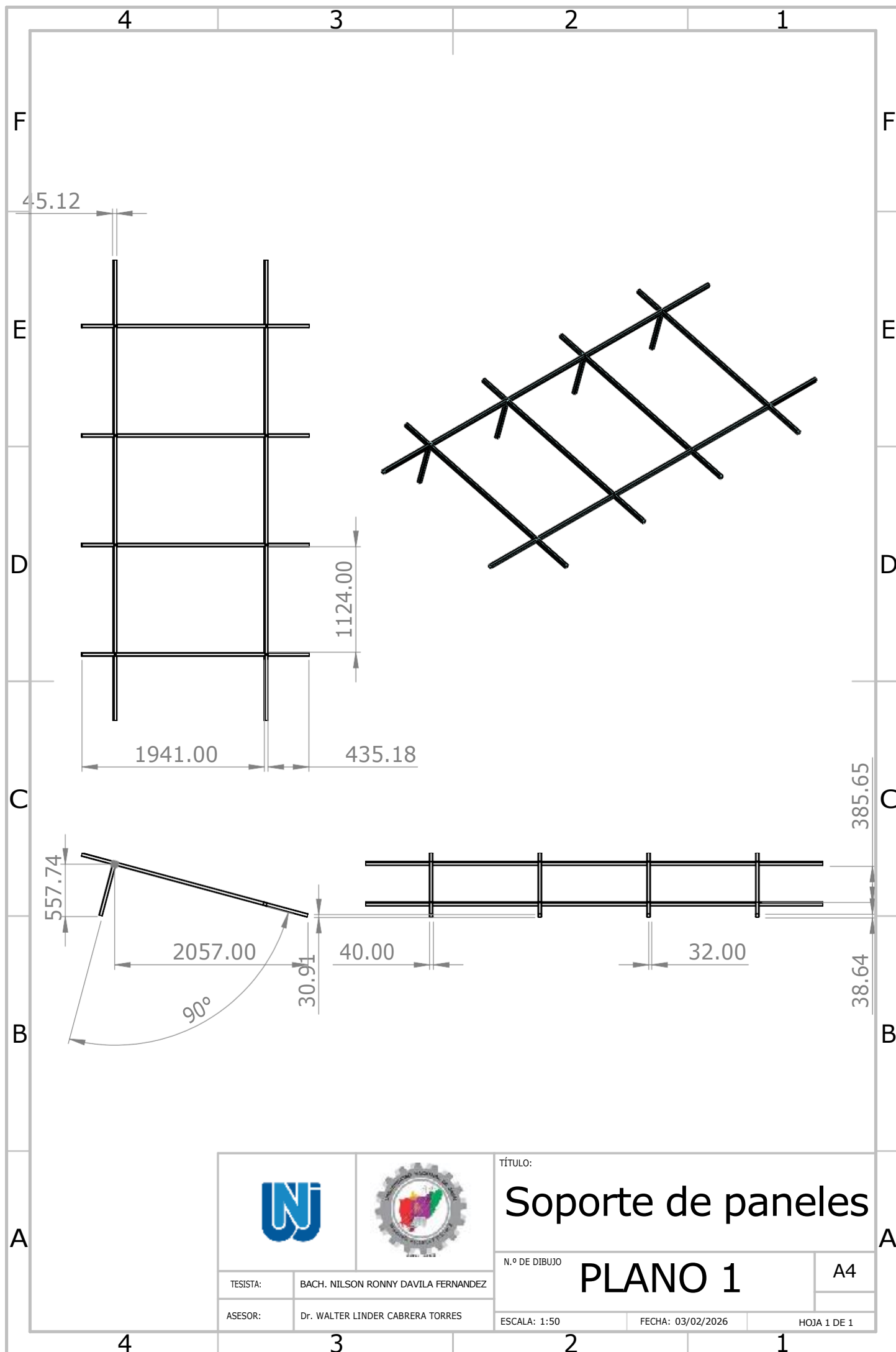
TESISTA:
BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:
Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

N.º DE DIBUJO
General

ESCALA: 1:50
FECHA: 03/02/2026

A3
HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

Soporte de paneles

N.º DE DIBUJO

PLANO 1

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

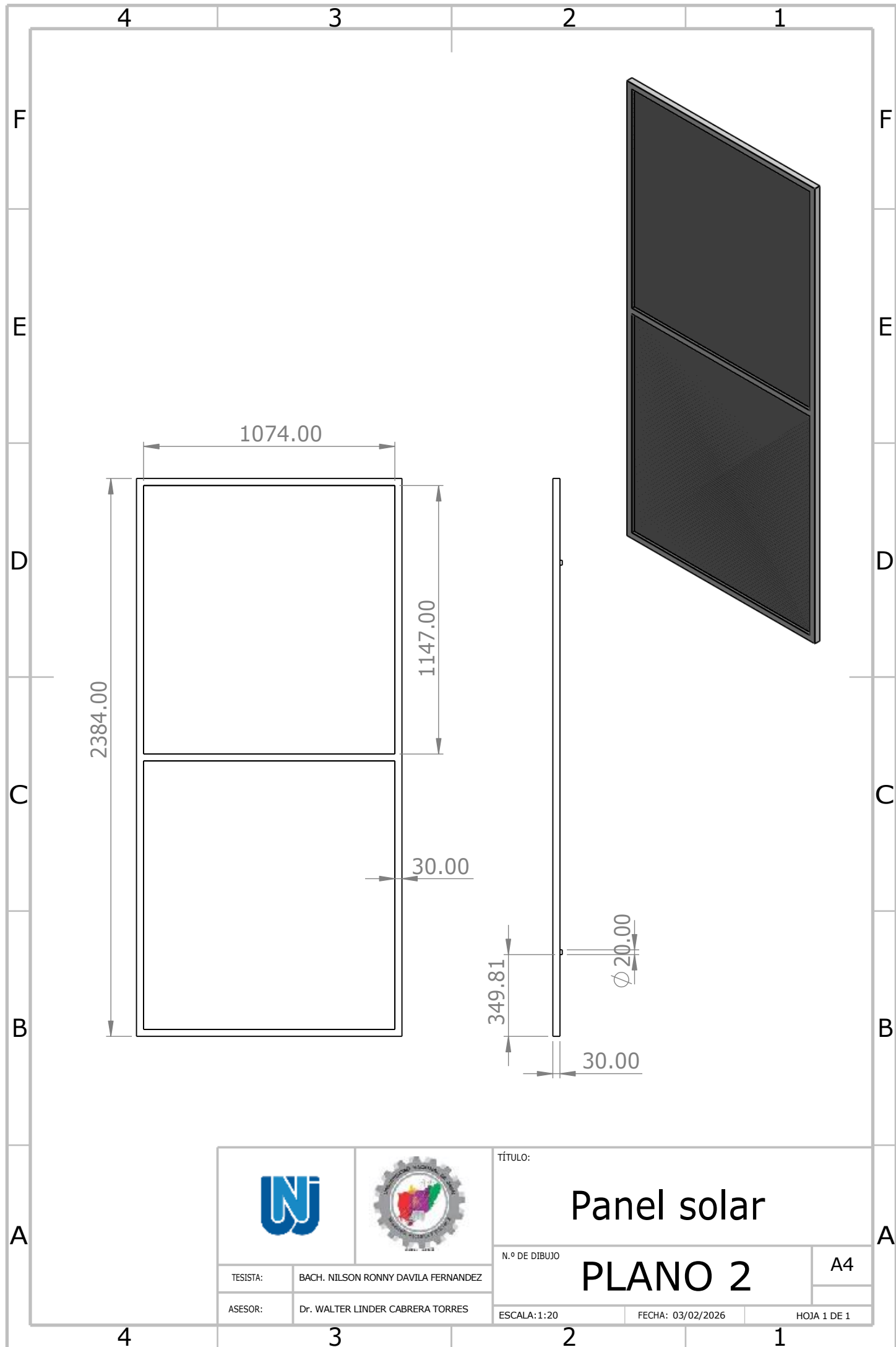
ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:50

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

Panel solar

N.º DE DIBUJO

PLANO 2

A4

TESISTA:

BACH. NILSON RONNY DAVILA FERNANDEZ

ASESOR:

Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES

ESCALA: 1:20

FECHA: 03/02/2026

HOJA 1 DE 1