

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Diseño de una máquina trituradora de plástico para el sector rural Punta la
Piedra

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Jonathan Fernando Capelo Santos

Jorge Eduardo Velasco Quispe

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Jonathan Fernando Capelo Santos

El presente proyecto se lo dedico con mucho orgullo a mi familia, en especial a mis padres que con tanto sacrificio lograron su objetivo de apoyarme hasta el final de esta linda etapa, donde cada sacrificio de ellos valió la pena a pesar de la distancia y el tiempo, a mis hermanos por el apoyo moral y por aconsejarme en cada decisión.

Jorge Eduardo Velasco Quispe

A mis padres por todo el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de todo este camino, por la confianza que tuvieron en mí para que llegue al objetivo de verme superado profesionalmente y no permitirme rendirme a pesar de las adversidades, los amo. A mis hermanos ya que sin su compañía mi vida no sería la misma. A mis allegados por sus palabras de apoyo y su confianza depositada en mí.

AGRADECIMIENTOS

Jonathan Fernando Capelo Santos

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirme llegar al final de esta etapa universitaria, a mis padres que siempre fueron el soporte principal para seguir luchando por nuestras metas, a mis hermanos por comprender que dejaba del lado eventos por cumplir mis responsabilidades, a mi novia por siempre alentarme en cada paso y a mi compañero de tesis junto con los tutores por la responsabilidad en cada etapa de este proyecto.

Jorge Eduardo Velasco Quispe

A Dios por haberme dado la sabiduría y perseverancia para concluir mi vida universitaria. Agradezco a mis padres Jorge Velasco Castañeda y Jacqueline Quispe por todo el amor que me han brindado, sus enseñanzas de vida, consejos para superarme en la vida, por ser los mejores padres del mundo. A Ricardo Ortiz por haber sido un tutor para mí durante toda mi carrera universitaria, por ser un excelente amigo y estar dispuesto a ayudarme sin importar las circunstancias. A mis tutores y profesores por su ayuda brindada para concluir de la mejor manera esta etapa.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jorge Eduardo Velasco Quispe y Jonathan Fernando Capelo Santos y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Jonathan Capelo
Santos



Jorge Velasco Quispe

EVALUADORES

Ph.D Miguel Quilambaqui Jara

PROFESOR DE LA MATERIA

M.Sc. Livingston Castro Valladares

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La generación de desechos plásticos a nivel mundial es incontrolable, en 2018 se produjo a nivel global la cantidad de 359 millones de toneladas de plástico. Punta La Piedra, una comuna de Guayaquil, sufre las consecuencias de los desechos en distintos ámbitos, ambientales y económicos. Los comuneros reciclan los desechos plásticos sin generar valor agregado al material, y cargando con altos costos de transporte. El objetivo de este trabajo es diseñar una máquina trituradora de plástico que permita ingresos para los moradores de hasta 8 veces mayor al reciclaje común. La trituradora se diseñó considerando el tipo de plástico mayormente reciclado y definiendo los requerimientos de diseño, seguido de una simulación. La máquina está compuesta por un sistema de transmisión de potencia, una estructura y un área de trituración como mecanismo principal, esta última se diseñó con partes como el eje de trituración de AISI 4340, cuchillas móviles de AISI D2, cuchillas fijas, separadores de cuchillas fijas y separadores de cuchillas móviles de acero A36. Los esfuerzos generados sobre las cuchillas al momento de cortar el plástico PET son de 52.78 MPa y se comparó con esfuerzo de fluencia del material que es 1650 MPa, asimismo se transmitió la potencia por medio de un tren de bandas y poleas logrando la reducción de los rpm de 1200 a 78. En conclusión, se garantiza el correcto funcionamiento de la máquina, soportando los esfuerzos debido a las fuerzas aplicadas, logrando exceder la fuerza de las cuchillas móviles mayor a 640 N que es la fuerza necesaria para cortar el PET, la máquina tiene un flujo de trituración mayor a 40 Kg/h.

Palabras Clave: PET, Máquina Trituradora, Cuchillas Móviles, Desechos.

ABSTRACT

The amount of plastic waste worldwide is out of control, In 2018, the amount of 359 million tons of plastic was produced globally. Punta La Piedra is a commune of Guayaquil that experiences firsthand what waste causes in different areas, whether environmental and economic, the community members recycle plastic waste but due to the high transportation cost, this activity does not generate value, which is why it is intended to design a plastic crushing machine which adds value, receiving income of up to 8 times higher than a commonly recycled plastic. The designed crusher is a machine that is made up of a power transmission system, a worktable or structure and a crushing area that is the main mechanism, this section was designed with parts such as: the AISI 4340 crushing shaft, AISI D2 mobile blades, fixed blades, spacers of fixed blades, spacers of mobile blades all are A36 steel. The stress values generated on the blades at the time of cutting the PET plastic are 52.78 MPa and it was compared with the yield strength of the material, which is 1650 MPa. The power was also transmitted through a train of bands and pulleys, achieving the reduction of rpm from 1200 to 78. Thanks to this, the correct operation of the machine is guaranteed, supporting the efforts due to the applied forces, managing to exceed the force of the mobile blades greater than 640 N, which is the force necessary to cut the PET where the machine develops a crushing flow greater than 40 Kg/h.

Keywords: PET, Shredding Machine, Mobile Blades, Waste.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPITULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del Problema.....	1
1.2 Justificación del problema	1
1.3 Objetivos.....	1
1.3.1 Objetivo General	1
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco Teórico.....	2
1.4.1 Contaminación de Plástico.....	2
1.4.2. Tereftalato de Polietileno (PET)	4
1.4.2.1 Propiedades del PET.....	5
1.4.3. Máquinas Trituradoras en la Industria del Reciclaje	8
1.4.4 Maquinas Trituradoras y sus Componentes.....	9
CAPÍTULO 2.....	11
2. METODOLOGÍA	11
2.1 Recolección de la Información.....	11
2.2 Requerimientos Técnicos	12
2.3 Selección de las Alternativas de Diseño.....	13

2.3.1. Diseño de la Casa de Calidad.....	13
2.3.2. Alternativas de Diseño de los Componentes	15
2.3.2.1 Alternativas de Diseño de Ejes.....	15
2.3.2.2 Alternativas de Diseño de la Criba	17
2.3.2.3 Alternativas de Diseño del Sistema de Transmisión.....	18
2.3.2.4 Alternativas de Diseño del Diseño de Forma	19
2.4 Diseño Detallado de la Máquina.....	21
2.4.1 Selección de la Geometría de la Cuchilla	21
2.4.2. Cálculo del Torque y Fuerza de Corte de las Cuchillas	23
2.4.3. Diseño del Eje de Trituración	23
2.4.4. Selección del Sistema de Transmisión de Potencia	25
2.4.4.1. Selección de las Bandas y Poleas.....	25
2.4.4.2. Selección del Motor	26
2.4.5. Selección de los Rodamientos	26
2.4.6 Diseño de la Tolva	27
2.4.6.1 Cálculo Presión en el Fondo de la Tolva	27
2.4.6.2 Cálculo Presión en los Laterales de la Tolva.....	28
2.4.7 Selección de los Pernos de Sujeción	28
2.4.8 Diseño del Eje de Poleas Intermedias	29
2.4.9 Selección del Circuito Eléctrico	29
2.5. Simulación de Elementos Mecánicos.	29
2.6. Elaboración de Planos Mecánicos.....	30
2.7. Análisis de Costos	30
CAPÍTULO 3.....	31
RESULTADOS Y ANÁLISIS	31
3.1 Resultados de las Alternativas de Diseño	31
3.1.1 Resultados Matriz de Decisión de Ejes.....	31

3.1.2 Resultados Matriz de Decisión de Cribas	32
3.1.3 Resultados Matriz de Decisión del Sistema de Transmisión.....	32
3.1.4 Resultados Matriz de Decisión del Diseño de Forma	33
3.2 Resultados de la Cuchilla Seleccionada.....	34
3.3 Resultados de la Fuerza de Corte y Torque.....	35
3.4 Resultados del Eje de Trituración.....	35
3.5 Resultados del Sistema de Transmisión de Potencia.....	39
3.5.1 Resultados de la Selección de Bandas y Poleas	39
3.5.2 Resultados de la Selección del Motor	41
3.6 Resultados de la Selección de Rodamientos	41
3.7 Resultados del Diseño de las Chavetas	42
3.8 Resultados del Diseño de la Tolva	43
3.9 Resultados del Eje de Poleas Intermedias	44
3.10 Resultados de la Selección de Pernos	48
3.11 Resultados de las Simulaciones.....	48
3.11.1 Simulación de la Cuchilla de Móvil AISI D2	48
3.11.2 Simulación de las Cuchillas Fijas.....	51
3.11.3 Simulación de la Estructura en la Sección Crítica.....	54
3.11.4 Simulación de la Estructura Soporte Caja Trituración.....	55
3.12 Análisis de Costos	57
CAPÍTULO 4.....	61
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
4.1 CONCLUSIONES.....	61
4.2 RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
MAE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PET	Tereftalato de Polietileno
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
QFD	Quality Function Deployment
HQ	House of Quality
SKF	Svenska Kullagerfabriken
SAE	Society of Automotive Engineers
UNC	Universal Naming Convention
ASME	American Society of Mechanical Engineers
FEA	Finite Element Analysis
CAE	Computer Aided Engineering
AISI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
DCL	Diagrama de Cuerpo Libre
DIN	Deutsches Institut für Normung

SIMBOLOGÍA

n :	Factor de seguridad
K_f :	Factor de concentración de esfuerzo
M_a :	Momento alternante
K_{fs} :	Factor de concentración de esfuerzo al cortante
T_m :	Torque medio
S_{ut} :	Resistencia última
S_e :	Resistencia a la fatiga
A :	Área transversal de corte [m ²]
τ :	Resistencia al cortante del PET [MPa]
w :	Sección de corte de la cuchilla [m]
t :	Espesor del material a cortar [m]
S_e :	Límite de resistencia a la fatiga de partes
K_a :	Factor de condición superficial
K_b :	Factor del tamaño
K_c :	Factor de la carga
K_d :	Factor de la temperatura
K_e :	Factor de confiabilidad
K_f :	Factor de efectos varios
σ_x :	Esfuerzo máximo en x
τ_{max} :	Esfuerzo Cortante máximo
σ' :	Esfuerzo Von Misses
P_{motor} :	Potencia de motor [HP]
F_s :	Factor de servicio del motor
$P_{diseño}$:	Potencia de diseño [HP]
$d_{conducida}$:	Diámetro de la polea conducida [m]
d_{motriz} :	Diámetro de la polea motriz [m]
D :	Diámetro polea grande [m]
d :	Diámetro polea pequeña [m]
n :	velocidad angular [rpm]
L_{10h} :	Vida nominal básica [rev]
p :	constante de rodamiento de bola

Pr :	Carga dinámica equivalente [N]
ρ_{PET} :	Densidad del PET
gb :	Gravedad Local
g_c :	Constante 1
μ :	Coefficiente de fricción
h :	Altura mayor de la tolva
b :	Base de la tolva
r :	radio de la tolva
σ_f :	Esfuerzo de fluencia del material
a :	Base menor de la pirámide trapezoidal
b :	Altura Mayor de la pirámide trapezoidal
σ_b :	Resistencia del Material
n_d :	Factor de Seguridad
MPa :	Mega Pascales
N :	Newtons
m :	Metros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Contaminación de los Plásticos.....	2
Figura 1.2 Portadas de Campañas de Reciclaje	3
Figura 1.3 Tipos de Alcantarillados en los GAD Municipios	4
Figura 1.4 Tereftalato de Polietileno.....	5
Figura 1.5 Propiedades del Tereftalato de Polietileno	6
Figura 1.6 Proceso de reciclaje mecánico de botellas PET.....	7
Figura 1.7 Cadena de Movimientos del Plástico.....	7
Figura 1.8 Componentes de Una Trituradora	9
Figura 1.9 Vista Explotada de Una Trituradora.....	10
Figura 2.1. Metodología Para el Diseño de la Máquina Trituradora	11
Figura 2.2 Área de Recolección de Plástico Reciclado en la Comuna	12
Figura 2.3 Casa de Calidad (HQ)	14
<i>Figura 2.4. Significado de la simbología.....</i>	<i>14</i>
Figura 2.5. Casa de calidad - Peso de los requerimientos técnicos escogidos	15
Figura 2.6 Dos ejes con cuchillas distribuidas	16
Figura 2.7 Eje con cuchillas desfasas a lo largo del mismo.....	16
Figura 2.8 Eje con cuchillas distribuidas a lo largo del mismo y separadas 180°	17
Figura 2.9 Criba media luna	17
Figura 2.10 Criba plana	18
Figura 2.11 Criba media luna doble.....	18
Figura 2.12 Sistema de transmisión de potencia banda-poleas	19
Figura 2.13 Sistema de transmisión de potencia motorreductor.....	19
Figura 2.14 Diseño de Forma 1	20
Figura 2.15 Diseño de Forma 2	20
Figura 2.16 Diseño de Forma 3	21
Figura 2.17 Diseño de Forma 4	21

Figura 2.18 Geometría de la cuchilla y configuración del ensamblaje	22
Figura 3.1 Geometría de la cuchilla seleccionada	34
Figura 3.2 DCL del eje de trituración en el plano xy.	36
Figura 3.3 Diagrama de Fuerza Cortante del Eje de Trituración en el plano xy	36
Figura 3.4 Diagrama del Momento Flector del Eje de Trituración en el plano xy.....	37
Figura 3.5 DCL-Diagrama de Fuerza Cortante-Diagrama Momento Flector plano xz ...	38
Figura 3.6 Eje de Trituración.	39
Figura 3.7 Sistema de Transmisión de Potencia	40
Figura 3.8 Nomenclatura de las Poleas Seleccionadas.....	40
Figura 3.9 Rodamientos Seleccionados	42
Figura 3.10 Chaveta Diseñada	43
Figura 3.11 Forma de Pirámide Trapezoidal para la Tolva.....	43
Figura 3.12 Estructura de la Tolva Diseñada.....	44
Figura 3.13 Eje de Poleas Intermedias.....	45
Figura 3.14 DCL en el plano xy	45
Figura 3.15 Diagrama de fuerza Cortante en el plano xy	46
Figura 3.16 Diagrama de Momento Flector en el plano xy	46
Figura 3.17 DCL en el plano xz	47
Figura 3.18 Diagrama de fuerza Cortante en el plano xz	47
Figura 3.19 Diagrama de Momento Flector en el plano xz	48
Figura 3.20 FEA Torque aplicado en la cuchilla.	49
Figura 3.21 FEA Esfuerzos de Von Mises.	49
Figura 3.22 FEA Esfuerzos de Von Mises.	50
Figura 3.23 FEA Deformación total del elemento	50
Figura 3.24 FEA Factor de seguridad del elemento.	51
Figura 3.25 FEA Fuerza aplicada en la cuchilla fija.	52
Figura 3.26 FEA Esfuerzo de Von Mises del elemento.	52

Figura 3.27 FEA Deformación total del elemento	53
Figura 3.28 FEA Factor de seguridad del elemento	53
Figura 3.29 Esfuerzos Von Mises sobre la viga con carga critica	54
Figura 3.30 Deformación de la viga con carga critica	55
Figura 3.31 Modelo del perfil para sostener caja de trituración	56
Figura 3.32 Esfuerzo de Von Mises del perfil para sostener caja de trituración	56
Figura 3.33 Deformación del perfil para sostener caja de trituración.....	56
Figura 3.34 Factor de seguridad del perfil para sostener caja de trituración	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Requisitos Mínimos para Reprocesamiento de PET	8
Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la máquina trituradora	12
Tabla 2.2 Benchmarking de Modelos de Trituradoras	26
Tabla 3.1 Matriz de decisión de ejes	31
Tabla 3.2 Matriz de Decisión de Cribas	32
Tabla 3.3 Matriz de Decisión del Sistema de Transmisión	33
Tabla 3.4 Matriz de Decisión del Diseño de Forma	34
Tabla 3.5 Resultados de fuerza de corte y torque individual y grupal.....	35
Tabla 3.6 Resultados del cálculo del eje de trituración.....	38
Tabla 3.7 Resultados de la Selección de Bandas y Poleas.....	40
Tabla 3.8 Resultados de la Selección de Rodamientos.....	41
Tabla 3.9 Dimensiones de las Chavetas Diseñadas.....	43
Tabla 3.10 Dimensiones de la Tolva.....	44
Tabla 3.11 Resultados del eje de Poleas Intermedias.....	45
Tabla 3.12 Costos de los Materiales de la Trituradora	58
Tabla 3.13 Costos del Circuito Eléctrico	59
Tabla 3.14 Costos de mano de obra para la Trituradora	60

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Despiece Máquina Trituradora
PLANO 2	Cuchilla Móvil
PLANO 3	Acople Caja Trituradora
PLANO 4	Acople Tolva
PLANO 5	Cuchillas Fijas
PLANO 6	Separador de Cuchillas Fijas
PLANO 7	Separador de Cuchillas Móviles
PLANO 8	Ángulo de Chavetero en Cuchillas Móviles
PLANO 9	Sujeción de Caja Trituradora
PLANO 10	Chaveta Sección de Trituración
PLANO 11	Eje de trituración
PLANO 12	Pared Frontal de Caja de Trituración
PLANO 13	Pared Trasera de Caja de Trituración
PLANO 14	Pared Lateral de Caja de Trituración
PLANO 15	Tubo de Descarga de Triturados
PLANO 16	Tolva de Alimentación
PLANO 17	Pared Frontal Tolva
PLANO 18	Pared Lateral Tolva
PLANO 19	Chavetas Tren de Poleas Intermedias
PLANO 20	Eje Tren de Poleas Intermedias
PLANO 21	Despiece Tren de Poleas Intermedias
PLANO 22	Sistema de Transmisión de Poleas Número 1
PLANO 23	Sistema de Transmisión de Poleas Número 2

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del Problema

Punta La Piedra, es una comuna marginal de la ciudad de Guayaquil, que se encuentra aledaña al río Guayas latitud $2^{\circ} 25' 41.8685''$ del hemisferio sur y longitud $79^{\circ} 51' 34.1066''$ del hemisferio oeste, donde se acumulan desechos plásticos de todo tipo. Esto contribuye a la generación de residuos plásticos que desemboca en mares y océanos dado que los esteros son conductores principales de este material. Adicionalmente, estos desechos son recolectados por los moradores de la comuna para ser reciclados como una fuente económica de ingresos, la cantidad que reciclan en la actualidad es de 2200 Kg por mes aproximadamente. Sin embargo, la cantidad de plástico acumulada representa un volumen considerable para ser transportado de manera fácil a los centros de acopio. Sin mencionar que no agregan valor al material reciclado. La contaminación por plástico es una problemática ambiental a escala mundial que requiere de soluciones tecnológicas. En el presente proyecto, se busca diseñar de una máquina trituradora de plástico para la obtención de resinas poliolefinas, y así mejorar la competitividad en los procesos de reciclado fomentando una economía circular y agregando valor al material reciclado.

1.2 Justificación del problema

El proceso de triturado es crítico para incrementar el valor de la actividad de reciclaje de la comuna. La materia prima en este caso corresponde al plástico colectado por la comuna punta de piedra en el rio Guayas. Adicionalmente se debe cumplir con los requerimientos del mercado para que el proceso de reciclaje de plástico sea viable y beneficioso para la comuna contribuyendo a su vez con el medio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar una máquina trituradora de materia prima para el reciclaje de resinas plásticas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Simular el comportamiento de elementos mecánicos
- Crear planos de fabricación de la máquina
- Analizar la factibilidad económica del proyecto.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Contaminación de Plástico

La producción del plástico ha superado a la de casi cualquier material en el mundo ya que es barato, liviano y fácil de fabricar por lo que la mayor parte termina en vertederos, basureros o en el medio ambiente. Según la ONU más de 9000 millones de toneladas de plásticos terminan en los océanos de los cuales solo el 9% se ha reciclado volviéndolo un gran problema en la contaminación de ecosistemas (ONU, 2018).



Figura 1.1 Contaminación de los Plásticos (ComunicarSe, 2018).

Con la llegada del COVID 19 la fabricación de plásticos se ha incrementado y los programas de reciclaje se han detenido o disminuido debido a las restricciones por la pandemia agravando la situación (Sturzenegger, 2020).

Entre los años 2015 y 2017 se realizaron campañas de recolección a nivel nacional donde se recolectaron aproximadamente 499.33 toneladas con lo cual se pudo constatar que la contaminación por botellas plásticas se concentraba en la región

costa con 92.292 unidades y además que la mayor cantidad de residuos eran los plásticos con un total del 40% (El Universo, 2019).



Figura 1.2 Portadas de Campañas de Reciclaje (Oberndorfer, 2015).

En Guayaquil el problema empieza desde la degradación del Estero Salado que conectan los ríos Guayas, Daule, Babahoyo y el Golfo de Guayaquil desembocando en el Océano Pacífico. El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAE) ha determinado que principales causas de su deterioro se deben a la contaminación provocada por las descargas directas e indirectas de industrias y residenciales donde existen 18 cuencas de sistema de alcantarillado pluvial en el Estero Salado, por otra parte, en el río Daule se ha identificado a 202 fábricas que desembocan sus efluentes deteriorando la situación. (MAE, 2013)

Cabe mencionar que la mala disposición de los desechos del hogar, sectores industriales y en los negocios de alimentos causa que estos se dirijan al alcantarillado pluvial ocasionando contaminación e inundaciones que provocan el traslado de estos desechos a ecosistemas protegidos y a las calles de las zonas urbanas causando afectaciones mucho más graves. Mediante estadísticas proporcionadas por el INEC como se muestra en la figura 1.3 en el 2019 el 48% de los municipios no cuentan con alcantarillado pluvial y el 3.6% no cuentan con ningún alcantarillado en lo absoluto provocando así contaminación de los ecosistemas y

del entorno en general. De ahí la importancia de fomentar el cuidado del medio ambiente en comunas cercanas al río Guayas como Punta de Piedra creando una economía circular y mejorando la calidad de vida de sus 180 habitantes. (INEC, 2019).

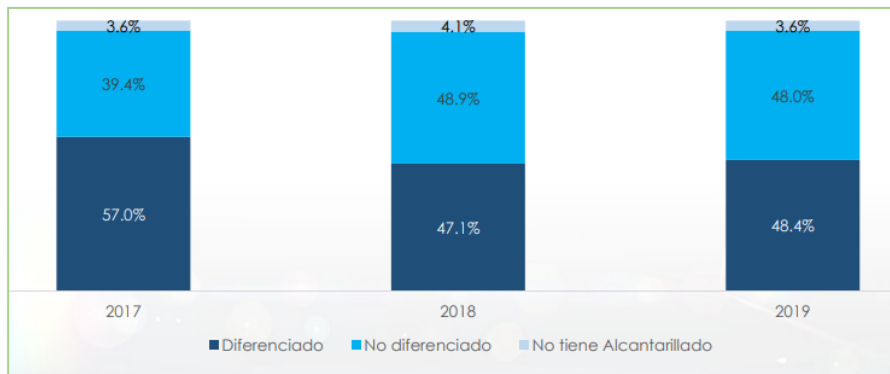


Figura 1.3 Tipos de Alcantarillados en los GAD Municipios (INEC, 2019).

1.4.2. Tereftalato de Polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno, más conocido como PET, en 1941 fue patentado por Whinfield y Dickson como un polímero para fibra. En 1955 comenzó la comercialización alta de poliéster y desde aquel entonces el tereftalato de polietileno fue ganando mercado, teniendo una alta comercialización y desarrollo tecnológico logrando tener un nivel de crecimiento grande en la demanda de este a nivel mundial gracias a sus diversas posibilidades de aplicaciones, a partir de 1976 se empieza a usar para fabricar envases ligeros y transparentes (QUIMINET, 2005).



Figura 1.4 Tereftalato de Polietileno (Aguilar, Gaston , & Luis Angel, 2018)

La materia prima del tereftalato de polietileno se deriva de dos compuestos del petróleo como lo son el paraxileno y el etileno, después de un tratamiento químico y mecánico se obtienen pequeños objetos que serán la materia prima para las máquinas de extrusión e inyección que dan como resultado final los envases PET (Ruggeri, 2013).

1.4.2.1 Propiedades del PET

El desarrollo de la ingeniería sobre el tereftalato de polietileno (PET) ha sido tan grande que la cantidad de aplicaciones que tiene es gigante y de todo este tipo de aplicaciones se obtienen grandes ventajas, en la figura 1.5 se tiene las propiedades del tereftalato de polietileno virgen junto con sus respectivos valores.

<i>Propiedades</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor típico</i>
Viscosidad Intrínseca	dl/g	0,783
Densidad	g/cm ³	1,33 – 1,34
Color	-	Cristal
Forma física	N/A	Hojuela (flakes)
Tamaño	cm.	1.25
Origen	N/A	Botellas
Temperatura de transición vítrea	°C	69 – 115
Resistencia a la tracción	kgf/cm ²	55,89
Módulo de elasticidad	kgf/cm ²	599,96
Resistencia al impacto		No rompe.
Valor límite de la viscosidad medido en ácido dicloroacético a 25°C		1.07
Punto de fusión °C		aprox. 252/260
Acetaldehído		ppm < 1
Contenido en grupos carboxílicos		mval/kg 20
Densidad aparente [g/cm ³] aprox.		0.85

Figura 1.5 Propiedades del Tereftalato de Polietileno (Juarez, Santiago, & Vera, 2010).

El tereftalato de polietileno tiene un valor de 40 MPa como límite elástico o límite a la fluencia (Samavedi, Poindexter, Van Dyke, & Goldstein, 2014), este dato es de suma importancia a la hora de realizar cualquier tipo de diseños o investigaciones donde las propiedades mecánicas de este material estén involucradas.

Desde la invención del plástico, su uso ha ido incrementando dramáticamente. Dando lugar a la preocupación mundial por el manejo de desperdicios plásticos. Cada año se producen entre 350 – 400 toneladas métricas de polímeros sintéticos entre los cuales el tereftalato de polietileno (PET) es uno de los más producidos e importantes debido a su versatilidad (Danso, Chow, & Streit, 2019). En el 2017, la capacidad de producción de PET fue de 30.3 millones de toneladas a nivel mundial, siendo América del sur responsable del 4.1% (Baeyens, Vandecasteele, & Diablo, 2011).

El reciclaje de PET post consumo es un proceso que involucra varias disciplinas de la ciencia como la física y química de los polímeros, además de procesos y manufactura de ingeniería. El reciclaje de este polímero nace como una necesidad ante la presión medioambiental del manejo de desperdicios plásticos considerando

que el PET no se degrada de forma natural. Se pueden aplicar dos tipos de procesos para reciclar el PET: químico y mecánico. En la primera, se logra la total o parcial despolimerización de la cadena en monómeros u oligómeros respectivamente, a través de reacciones químicas como hidrólisis (uso de agua), metanólisis (uso de metanol) o glicolisis (uso de etilen glicol). Por otro lado, el reciclaje en procesos mecánicos consiste en la remoción de contaminantes mediante la clasificación, trituración, lavado, secado y procesamiento de fusión tal como se muestra en la figura 1.6 el diagrama de reciclado mecánico (Awaja & Pavel, 2005).

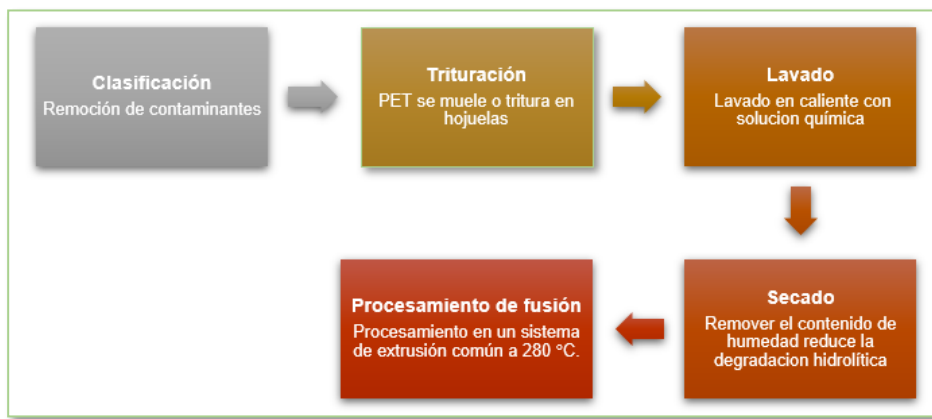


Figura 1.6 Proceso de reciclaje mecánico de botellas PET (Awaja & Pavel, 2005).

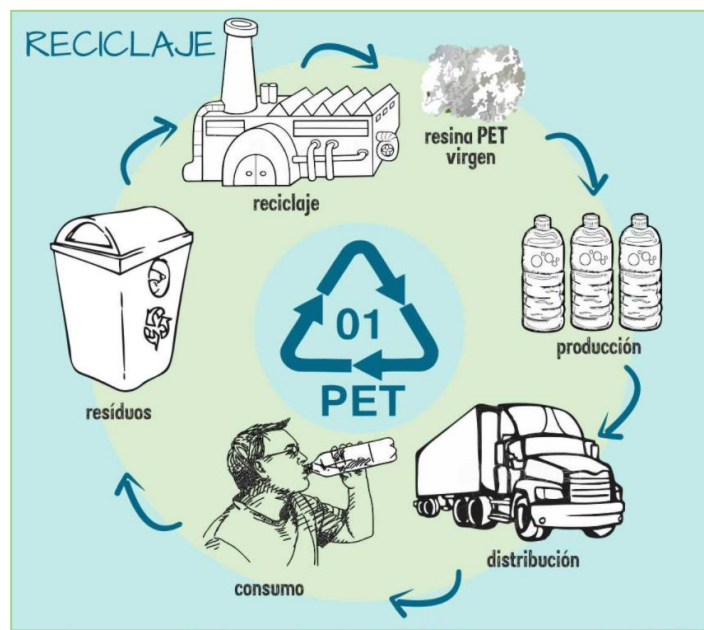


Figura 1.7 Cadena de Movimientos del Plástico (Tecnologic.com, s.f.)

Para obtener un reciclaje exitoso, existen ciertas especificaciones que las partículas del polímero deben cumplir con lo indicado en la tabla 1, en especial, la cantidad y naturaleza de contaminantes presentes, dado que es la principal causa de deterioro de PET durante el reproceso (Peloso, O'Connor, Bigger, & Scheirs, 1998).

Tabla 1.1. Requisitos Mínimos para Reprocesamiento de PET (Awaja & Pavel, 2005)
[Elaboración propia].

Propiedad	Valor
$[\eta]$	$>0.7 \text{ dl g}^{-1}$
T_m	$>240 \text{ C}$
Contenido de agua	$<0.02 \text{ wt.}\%$
Tamaño de hojuela	$0.4 \text{ mm} < D < 8 \text{ mm}$
Contenido de colorante	$<10 \text{ ppm}$
Índice de amarilleo	<20
Contenido de metales	$<3 \text{ ppm}$
Contenido de PVC	$<50 \text{ ppm}$
Contenido de poliolefina	$<10 \text{ ppm}$

1.4.3. Máquinas Trituradoras en la Industria del Reciclaje

La trituradora de plástico es una máquina diseñada para cortar o reducir un material en trozos más pequeños para facilitar el manejo de este. Entre los materiales que se pueden triturar están jeringas, botellas de agua, nylon entre otros. Este proceso es una parte integral de una planta de reciclaje de plástico.

Los tipos más comunes de trituradoras de plástico en la industria son: trituradoras de plástico de un solo eje, trituradoras de plástico de múltiples ejes, trituradoras de plástico de alta velocidad y bajo torque, trituradoras de plástico de baja velocidad y alto torque, trituradoras de plástico simples y trituradoras de plástico industrial (Obanoyen & Adepo, 2017).

1.4.4 Maquinas Trituradoras y sus Componentes

Las máquinas trituradoras están diseñadas para reducir desechos sólidos de gran tamaño a volúmenes más pequeños; entre los principales criterios de diseño que deben cumplir se encuentra la durabilidad, eficiencia y sostenibilidad a lo largo de su periodo de uso. A partir de investigar los diferentes tipos de trituradoras existentes en el mercado se pudo constatar que todas están compuestas de 4 secciones principales, las cuales corresponden al mecanismo de trituración, el sistema de transmisión de potencia, la fuerza motriz y la estructura mecánica. Se puede agregar un apartado eléctrico donde incluirían componentes como interruptores de seguridad, cajas eléctricas, circuitos y microcontroladores dándole valor agregado al producto. El mecanismo de trituración es el que interactúa directamente con el plástico este se compone de cuchillas, portacuchillas, eje, criba y cámara de molienda o trituración como se observa en la figura 1.8 y estos componentes trabajan con el objetivo de reducirlo en proporciones pequeñas uniformes (Ravindran & Otros, 2019). El sistema de transmisión tiene como finalidad transmitir la energía mecánica al mecanismo. La fuerza motriz es el sistema que provee la potencia a la máquina, y por último se tiene al bastidor el cual será la estructura que deberá soportar todos los componentes (Espinosa & Tatamues, 2016).

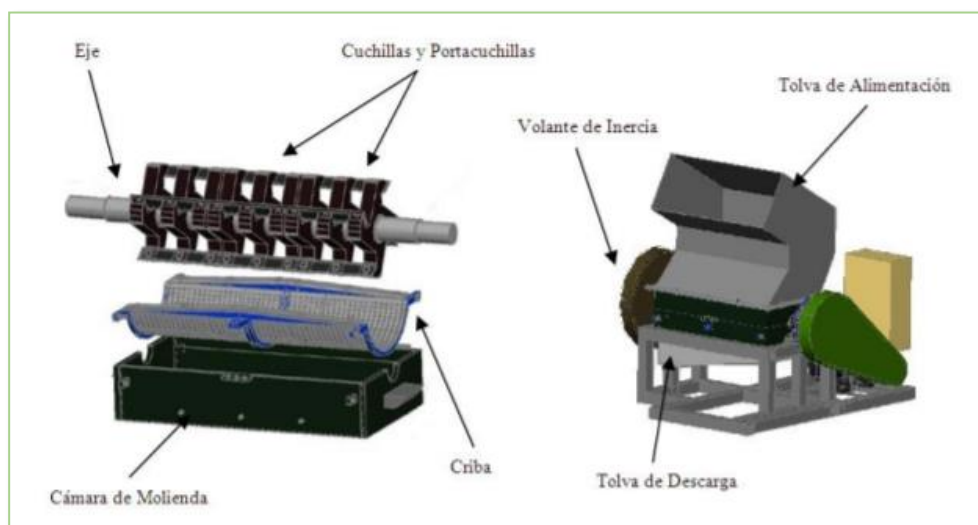


Figura 1.8 Componentes de Una Trituradora (Medina, Saldaña, Hernandez , & Becerra, 2011).

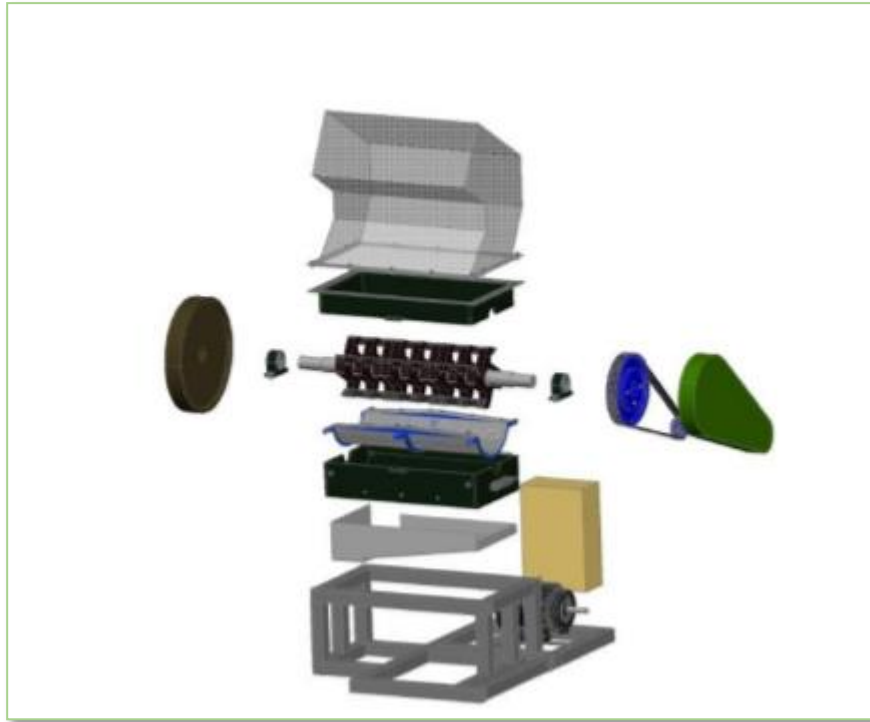


Figura 1.9 Vista Explotada de Una Trituradora (Medina, Saldaña, Hernandez , & Becerra, 2011).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el CAPÍTULO 1 se describió el problema en el que se encuentra la comuna Punta de Piedra y se establecieron los objetivos del presente proyecto. Se analizó los diversos factores que influyen en la contaminación del ecosistema del manglar y los principales desechos encontrados en el Río Guayas, además de las características generales de las trituradoras aplicables a este proyecto. En el CAPÍTULO 2 se describe la metodología empleada para el desarrollo del proyecto. Para esto se siguió la siguiente metodología la cual se presenta esquemáticamente en la figura 2.1.

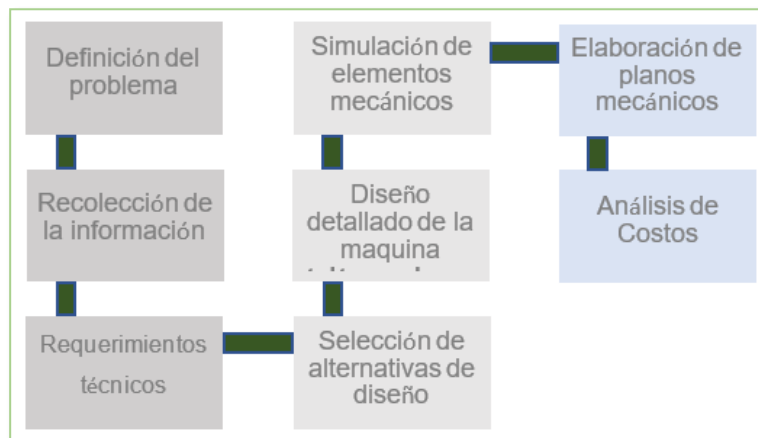


Figura 2.1. Metodología Para el Diseño de la Máquina Trituradora [Elaboración propia].

Ya que en el Capítulo 1 fue tratada la definición del problema la cual es parte de la metodología, se procede a la explicación del resto de la metodología usada en el presente proyecto:

2.1 Recolección de la Información

La información recolectada para obtener los requerimientos técnicos de la máquina trituradora de PET se obtuvo por medio de entrevistas a los comuneros y visitas a la comuna, en estas entrevistas se pudo reconocer el gran problema que existe y la cantidad abismal de plásticos que se puede recolectar y la forma en cómo se apila el plástico reciclado tal como se aprecia en la figura 2.2.



Figura 2.2 Área de Recolección de Plástico Reciclado en la Comuna [Elaboración propia].

2.2 Requerimientos Técnicos

En esta sección se describieron todos los requerimientos técnicos que sirvieron de base para la fabricación de la máquina trituradora junto con la selección y diseño de sus componentes, esta información fue recibida por parte de los comuneros en entrevistas, tal como se lo mencionó en el apartado de recolección de la información y estos requerimientos técnicos se encuentran en la tabla 2.1 presentada a continuación:

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la máquina trituradora [Elaboración propia]

Empresa Escuela Superior Politécnica del Litoral	Producto Diseño de una máquina trituradora de plásticos de 87.5 lb/h o 40 kg/h	Fecha inicial: 07/10/2021
Diseñador Jorge Velasco Jonathan Capelo		Última revisión: N/A
		Página 1/1
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Concepto	Fecha	Descripción

Función		Que triture aproximadamente 87.5 lb/h
		El almacenamiento y capacidad de carga dependerá del dimensionamiento y el material seleccionado para su fabricación
		Carga laboral de alrededor de 8 horas diarios
Características del Producto		Hojuelas de 10-12 mm de diámetro
		Material PET, PEAD y PP
Vida útil y mantenimiento		Vida de 10 años en operación. Realizar un mantenimiento periódico.
Costos		Bajo costo de producción y mantenimiento

2.3 Selección de las Alternativas de Diseño

2.3.1. Diseño de la Casa de Calidad

Se realizó una comparación de los requerimientos técnicos de las diferentes alternativas en los sistemas de la máquina trituradora. Para esto se elaboraron varias matrices de decisión, de las cuales sus pesos se calcularon mediante la casa de calidad (HOQ). En la casa de calidad se compararon 12 aspectos importantes obtenidos a partir de las necesidades del cliente con 11 requerimientos de diseño, considerados principales para el funcionamiento de la máquina trituradora.

Los pesos de las necesidades del cliente se establecieron del 1 que es la importancia más baja, hasta el 15 siendo esta la más alta. Además, se colocaron simbologías con diferentes valores de importancia con el objetivo de obtener pesos de los requerimientos de diseño en porcentajes para así determinar la prioridad de cada uno y poder realizar las matrices de decisión con criterio. Se colocó también los aspectos que son proporcionales entre sí en el tejado de la casa con los signos positivos y negativos respectivamente, dándonos como resultado si la relación entre los requerimientos de diseño es positiva o negativa. Vale mencionar que las flechas de la columna de dirección de la mejora indican si se desea que el aspecto

aumente o se reduzca, todo esto indicado se puede observar en la figura 2.3 (Yacuzzi & Martín).

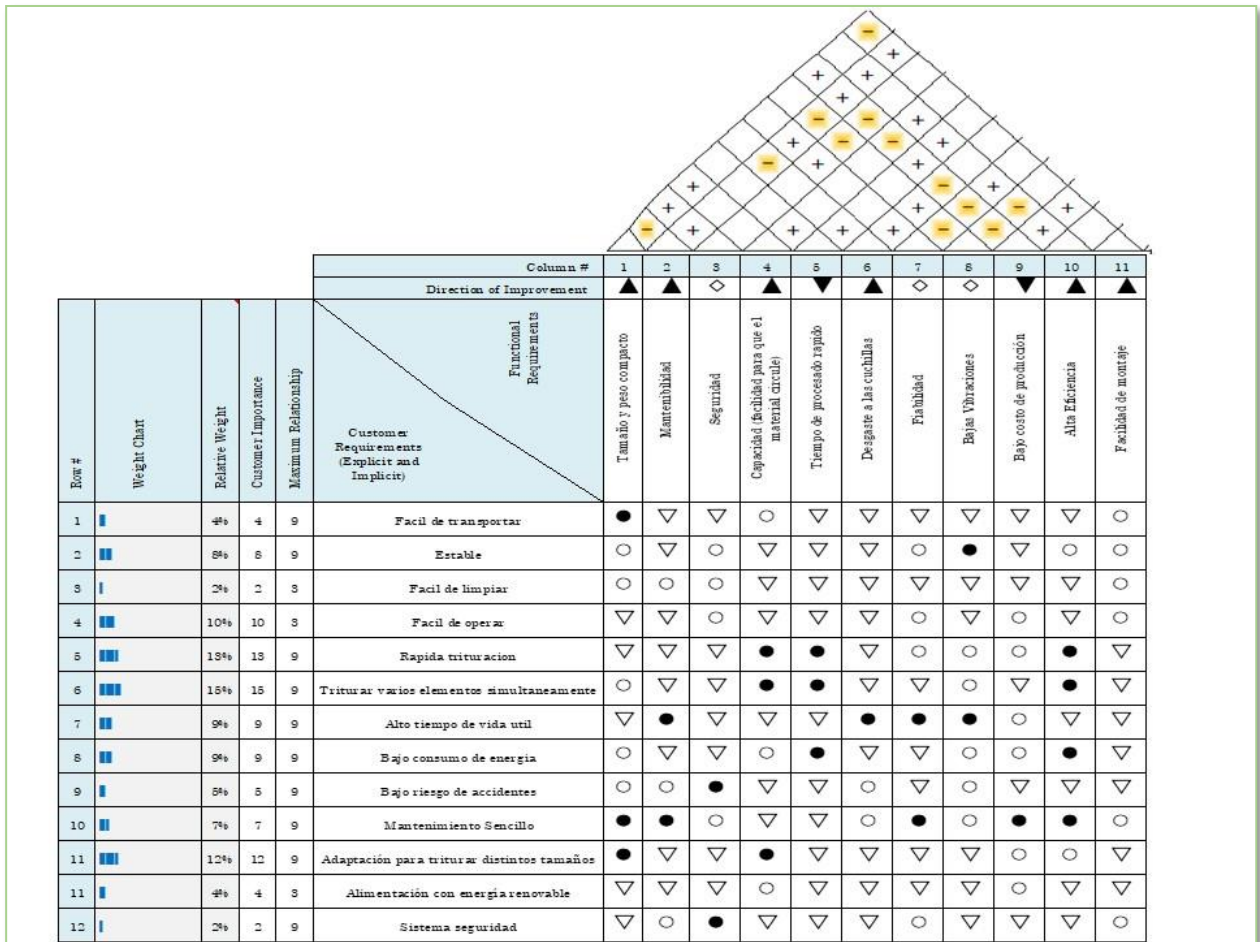


Figura 2.3 Casa de Calidad (HQ) (Yacuzzi & Martín)

Correlations	Relationships	Direction of Improvement
Positive +	Strong ●	Maximize ▲
Negative -	Moderate ○	Target ◆
No Correlation	Weak ∇	Minimize ▼

Figura 2.4. Significado de la simbología (Yacuzzi & Martín)

Target	Tamaño y peso	Mantenibilidad	Seguridad	Capacidad (facilidad para que el material circule)	Tiempo de procesado rápido	Desgaste a las cuchillas	Fiabilidad	Bajas Vibraciones	Bajo costo de Producción	Alta Eficiencia	Facilidad de montaje
Max Relationship	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3
Technical Importance Rating	362	246	210	454	396	196	294	334	270	492	166
Relative Weight	11%	7%	6%	13%	12%	6%	9%	10%	8%	14%	5%
Weight Chart											

Figura 2.5. Casa de calidad - Peso de los requerimientos técnicos escogidos [Elaboración propia].

2.3.2. Alternativas de Diseño de los Componentes

A la hora de realizar el diseño de la máquina trituradora se realizó un análisis de los componentes más importantes e influyentes en el tipo de trituradora que se va a diseñar, estos componentes son los siguientes:

- ✓ La cantidad de ejes necesarios en una máquina trituradora es uno de ellos, a mayor número de ejes la máquina se vuelve más cara, de la misma manera la mantenibilidad baja.
- ✓ La forma de la criba es otro componente de suma importancia, debido a que esto va en función de la cantidad de ejes y este determina el diámetro del plástico o el tamaño del plástico que va a pasar triturado a la tolva de salida.
- ✓ El sistema de transmisión es importante su correcta selección ya que representa altos costos tener sistemas donde el consumo eléctrico sea alto y la mantenibilidad baje.
- ✓ La forma de la tolva es un componente importante, ya que esta permite mantener el requerimiento de seguridad el operario o usuario.

A continuación, se detallan las alternativas de los tipos de ejes, cribas y sistema de transmisión de potencia:

2.3.2.1 Alternativas de Diseño de Ejes

Dos ejes con cuchillas distribuidas

La trituradora con dos ejes nos proporciona un mayor flujo de corte, esto debido a que en esta los ejes giran en sentido contrario logrando dirigir las cuchillas de la misma manera y esto a su vez logra un corte oportuno en una sola revolución comparado con una trituradora de un eje (Vásconez, 2013).

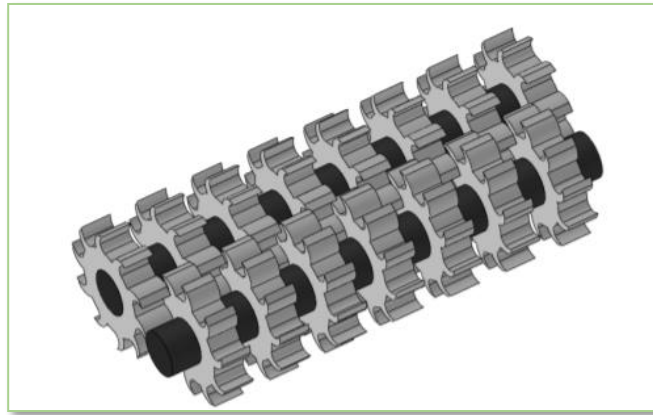


Figura 2.6 Dos ejes con cuchillas distribuidas (Vásconez, 2013)

Un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo

Es un eje con cuchillas con una distribución de forma helicoidal, lo que permite llevar el material a un área específica del mecanismo de corte y a su vez atrapar el material y realizar el corte del plástico haciendo uso de estas cuchillas que giran y las cuchillas inmóviles que van en sentidos diferentes el corte, este tipo de cuchillas son más efectivas y el costo es medio (Vásconez, 2013).



Figura 2.7 Eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo (Vásconez, 2013).

Un eje con cuchillas distribuidas a lo largo del mismo y separadas 180° entre si

Es un eje que se encuentra soldado a dos cuchillas que se encuentran separadas en 180°, este tipo de cuchillas es da facilidad para afilar y para un mantenimiento, pero en caso de daño de alguna cuchilla se requiere el cambio completo del mecanismo eje y cuchillas (Vásconez, 2013).

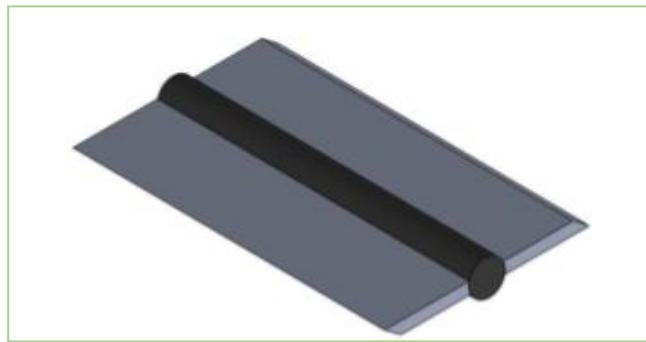


Figura 2.8 Eje con cuchillas distribuidas a lo largo del mismo y separadas 180° (Vásconez, 2013).

2.3.2.2 Alternativas de Diseño de la Criba

Criba media luna

Esta reduce la holgura entre las cuchillas y la criba permitiendo optimizar el proceso de trituración, con un mayor índice de seguridad al limitar a gran escala el acceso al área de trituración (Vásconez, 2013).



Figura 2.9 Criba media luna (Vásconez, 2013).

Criba plana

Esta criba permite mayor seguridad al personal operario al no permitir el contacto directo y esta limita el tamaño del plástico triturado, su ensamble es sencillo (Vásconez, 2013).

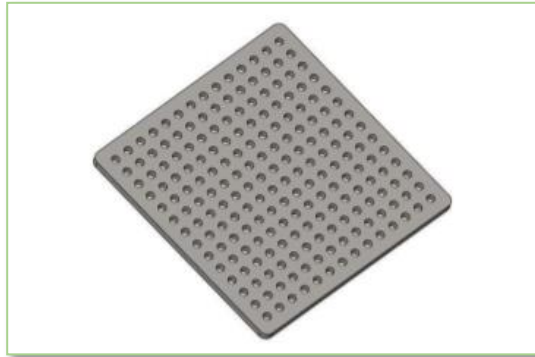


Figura 2.10 Criba plana (Vásconez, 2013).

Criba media luna doble

Las funciones de este tipo de criba son relativamente igual a la criba media luna simple, la diferencia se da en que la criba media luna simple se usa para trituradoras con un solo eje y la criba media luna doble se usa para trituradores de dos ejes (Vásconez, 2013).



Figura 2.11 Criba media luna doble (Vásconez, 2013).

2.3.2.3 Alternativas de Diseño del Sistema de Transmisión

Sistema de poleas

El sistema de transmisión de poleas permite adoptar dos ejes distintos separados a cierta distancia, se transmite la transmisión debido al rozamiento entre las poleas

y las bandas adecuadas en el sistema, este sistema se necesita cuando se requiere potencias bajas de un eje a otro pudiendo multiplicar su velocidad.



Figura 2.12 Sistema de transmisión de potencia banda-poleas (Vásconez, 2013)

Reductor

Este mecanismo nos proporciona una mayor eficiencia a la hora de transmitir la potencia, se trata de un motor conectado a un juego de engranes para adaptar la velocidad del motor a la velocidad y torque requeridas por el diseñador.



Figura 2.13 Sistema de transmisión de potencia motorreductor (Vásconez, 2013)

2.3.2.4 Alternativas de Diseño del Diseño de Forma

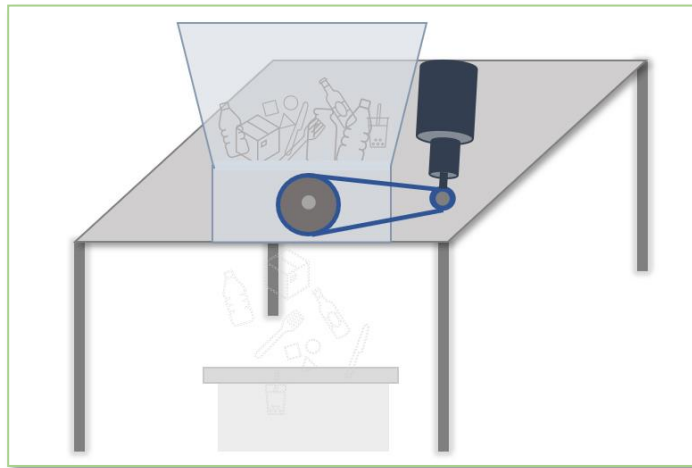


Figura 2.14 Diseño de Forma 1 [Elaboración propia].

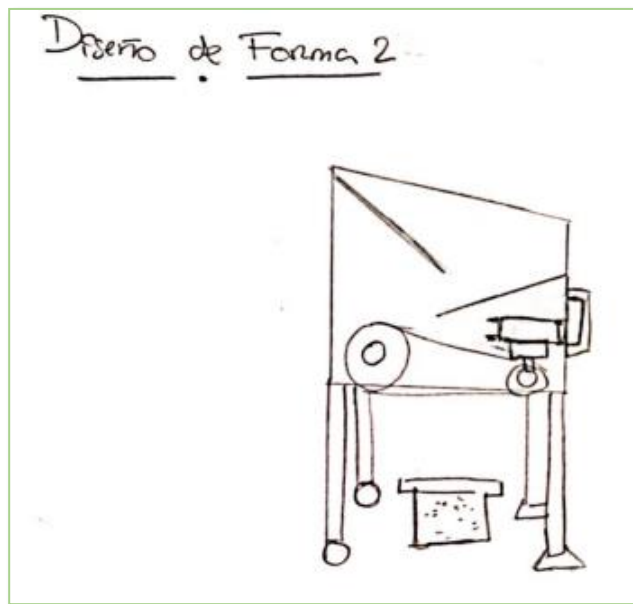


Figura 2.15 Diseño de Forma 2 [Elaboración propia].

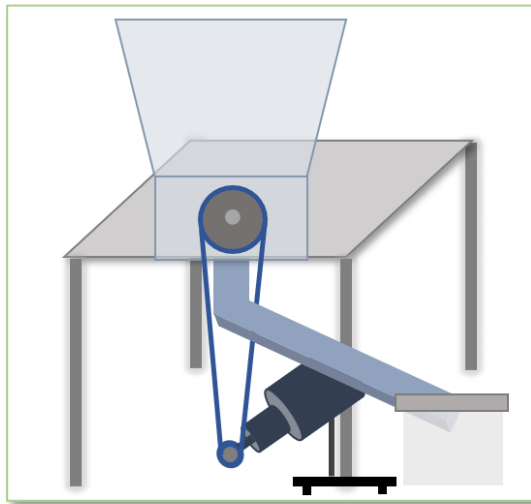


Figura 2.16 Diseño de Forma 3 [Elaboración propia].

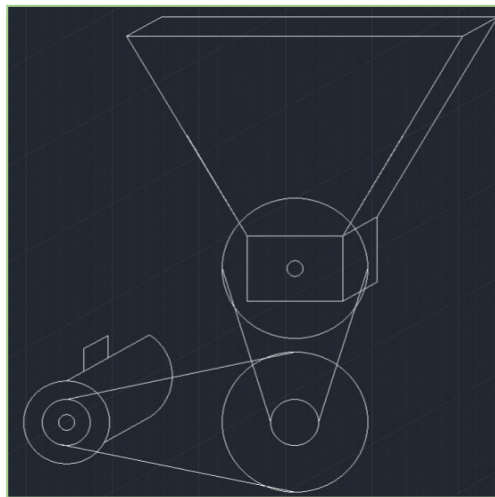


Figura 2.17 Diseño de Forma 4 [Elaboración propia].

2.4 Diseño Detallado de la Máquina

2.4.1 Selección de la Geometría de la Cuchilla

En el proceso de selección de la geometría de la cuchilla se usó del contenido del artículo “Utilization of Upgraded Shredder Blade and Recycling the Waste Plastic and Rubber Tyre” El cual tiene como metodología actualizar las cuchillas comunes ya que estas tienen varios filos de corte, el motivo de tantos filos de corte es porque se requiere una alta velocidad de trituración pero esto ocasiona sobre esfuerzos en

las cuchillas ocasionando daños, las cuchillas utilizadas para este diseño tienen dos filos de corte, estos filos proporcionan mayor área de corte gracias a las dimensiones de estos y como consecuencia proporcionan una mayor fuerza sobre el material a cortar dando resultados de trituración más óptimos, además la cuchilla es fabricada con acero de altas capacidades mecánicas a las cuales se les adiciona un tratamiento térmico para que estas soporten el desgaste. La cantidad de etapas de trituración son la cantidad de cuchillas utilizadas y ensambladas desfasadas a lo largo del eje proporcionando mayor funcionalidad. Las cuchillas seleccionadas tienen como objetivo usarse para procesos de reciclaje y son cuchillas mejoradas en su geometría, la forma de la cuchilla proporcionada por este es una “S” la cual permite un agarre a las botellas gracias al diámetro de esta y dos filos, esta cuchilla se adapta en ejes giratorios y los bordes de la geometría de estas se obtienen por corte con láser ya que debido a la complejidad de mecanizar no se puede lograr con máquinas como fresadoras (Ravi, 2018). El espesor de la cuchilla se seleccionó con base en el espesor de planchas de acero en el mercado, la cantidad de cuchillas se seleccionó en función del largo de la botella más grande que la comuna recicla, en este caso envases de 3 litros y el radio de la cuchilla se seleccionó basado en el diámetro del envase más grande que se recepta en la comuna, en este caso botellas de tres litros, como referencia botellas de Coca-Cola.

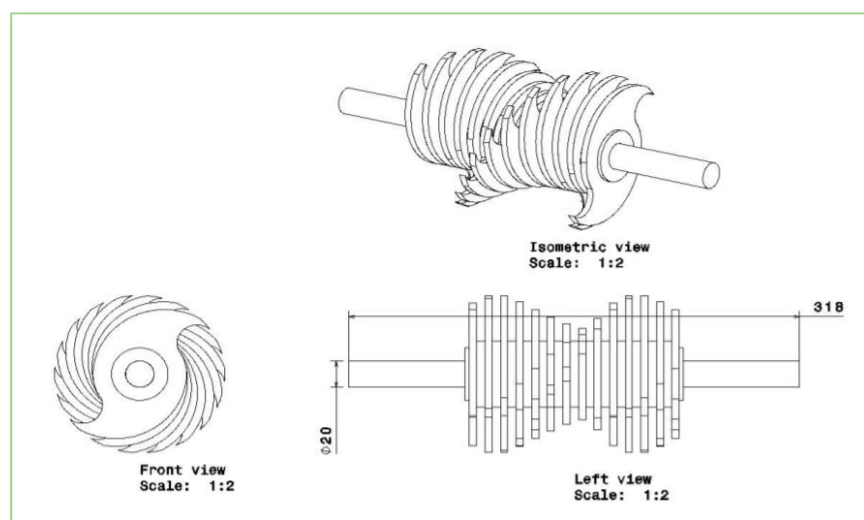


Figura 2.18 Geometría de la cuchilla y configuración del ensamblaje (Ravi, 2018).

2.4.2. Cálculo del Torque y Fuerza de Corte de las Cuchillas

Para el cálculo de la fuerza de corte se usó la resistencia al cortante del PET, la cual se calculó tomando un 80% aproximadamente del límite de elasticidad del PET (Hakkens, 2017).

Luego de obtener la resistencia al cortante, se calculó la fuerza requerida para cortar el PET y las fórmulas para esto se presentan a continuación (Nasr & Yehia, 2019):

$$F_c = \tau * A \quad (3.1)$$

Donde:

A : Área transversal de corte [m²]

τ : Resistencia al cortante del PET [MPa]

Para el cálculo del área transversal de corte se usó de la fórmula:

$$A = w * t \quad (3.2)$$

Donde:

w : Sección de corte de la cuchilla [m]

t : Espesor del material a cortar [m]

2.4.3. Diseño del Eje de Trituración

Para el cálculo del eje de trituración se realizó un análisis a la fatiga del eje, por lo cual se usó de los métodos de diseño de árbol de Goodman el cual es más conservador, la metodología de diseño de árbol se basó en escoger un diámetro de eje disponible en el mercado y de esta manera se realizaba una revisión del factor de seguridad obtenido, se realizó varias pruebas para de esta manera asegurar la optimización del eje seleccionado, para el cálculo de este se hizo uso de las siguientes fórmulas (Budynas & Nisbett, 2012):

El método de Goodman para el diseño de ejes y tenemos la siguiente fórmula (Budynas & Nisbett, 2012):

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2(K_f M_a)}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3} \quad (3.3)$$

Donde:

n : Factor de seguridad

K_f : Factor de concentración de esfuerzo

M_a : Momento alternante

K_{fs} : Factor de concentración de esfuerzo al cortante

T_m : Torque medio

S_{ut} : Resistencia última

S_e : Resistencia a la fatiga

El límite de resistencia a la fatiga y tenemos la siguiente fórmula (Budynas & Nisbett, 2012):

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e \quad (3.4)$$

Donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga de partes

K_a : Factor de condición superficial

K_b : Factor del tamaño

K_c : Factor de la carga

K_d : Factor de la temperatura

K_e : Factor de confiabilidad

K_f : Factor de efectos varios

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

Adicional se realiza un análisis del eje para verificar si soporta las cargas estáticas.

Se calcula con el método del análisis de energía de distorsión, haciendo uso de la siguiente fórmula (Budynas & Nisbett, 2012):

Esfuerzo Von Misses:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + (3 * \tau_{max}^2)} \quad (3.5)$$

Donde:

σ_x : Esfuerzo máximo en x

τ_{max} : Esfuerzo Cortante máximo

σ' : Esfuerzo Von Misses

2.4.4. Selección del Sistema de Transmisión de Potencia

2.4.4.1. Selección de las Bandas y Poleas

Para la selección de las bandas y poleas se realizó el uso del catálogo de INTERMEC SA, el cual solicita cierta cantidad de datos necesarios para realizar la correcta selección, estos datos son: Potencia nominal del motor, velocidad angular del motor, velocidad angular deseada, factor de servicio del motor. Con estos valores se pueden seleccionar la cantidad de poleas y bandas necesarias para realizar la correcta transmisión de potencia.

Se hicieron uso de las siguientes fórmulas:

Potencia de diseño del motor (INTERMEC S.A., 2013):

$$P_{diseño} = P_{motor} * Fs \quad (3.6)$$

Donde:

P_{motor} : Potencia de motor [HP]

Fs : Factor de servicio del motor

Número de canales en la polea (INTERMEC S.A., 2013):

$$\# \text{ Canales} = \frac{P_{diseño}}{\text{Intersección}} \quad (3.7)$$

Donde:

$P_{diseño}$: Potencia de diseño [HP]

Relación de reducción de velocidad (INTERMEC S.A., 2013):

$$\text{relación} = \frac{d_{conducida}}{d_{motriz}} \quad (3.8)$$

Donde:

$d_{conducida}$: Diámetro de la polea conducida [m]

d_{motriz} : Diámetro de la polea motriz [m]

Distancia entre centros de las poleas (INTERMEC S.A., 2013):

$$C = 1.5 * (D + d) \quad (3.9)$$

Donde:

D : Diámetro polea grande [m]

d : Diámetro polea pequeña [m]

Longitud de la banda (INTERMEC S.A., 2013):

$$L_p = 2 * C + 1.57(D + d) + \frac{(D+d)^2}{4C} \quad (3.10)$$

2.4.4.2. Selección del Motor

La metodología usada para la selección del motor se realizó con un benchmarking de los distintos tipos de trituradoras, tomando en cuenta la capacidad de producción de estas, la potencia del motor de estas, la velocidad angular y el modelo, gracias a este benchmarking de la marca WITTMAN se escogió el motor más adecuado (Vásconez, 2013).

Tabla 2.2 Benchmarking de Modelos de Trituradoras (Vásconez, 2013).

Modelo	Potencia [HP]	W [rad/s]	Capacidad [Kg/h]
Minor 1	1	2.83	7
Minor 2	1.5	2.83	12
Junior 1	2	2.83	10
Junior 2	3	2.83	20
Junior 3	3	2.83	30
JD4	2x3	2.83	40
JD6	2x3	2.83	60
JD8	2x3	2.83	70
MAS 1	3	20.94	30
MAS 2	5.4	20.94	70
MAS 3	5.4	20.94	80

Para calcular la potencia del motor real nos basamos en la selección de la tabla 2.2 y tomando en cuenta las pérdidas del sistema de poleas, de la eficiencia del motor y por pérdidas generales, se tiene la ecuación: (Budynas, Nisbett, & Otros, 2008)

$$P_{motor} = \frac{P_{maquina}}{\eta_{motor} * \eta_{sist\ poleas} * \eta_{pérdidas}} \quad (3.11)$$

2.4.5. Selección de los Rodamientos

Para la selección de rodamientos se hizo uso de los catálogos de SKF y NTN, la cantidad de rodamientos seleccionados serán 4 ya que, según el diseño de forma, se tiene un eje de trituración en este se usan dos rodamientos y se tiene un eje para sostener las poleas intermedias del tren de poleas, en este eje para sostener se usarán dos rodamientos. La selección de los rodamientos está basada en el cálculo de una sola carga, esta es la carga dinámica equivalente que soporta cada

rodamiento, esta carga está en función de la fuerza sobre los rodamientos, es decir la resultante de las reacciones en cada rodamiento y en función de la vida útil del rodamiento y el tipo de rodamiento seleccionado, en nuestro caso rodamiento de bolas, para esto se usó (Budynas, Nisbett, & Otros, 2008).

Capacidad básica de carga dinámica (Budynas, Nisbett, & Otros, 2008):

$$C_r = \left[\frac{60 * n * L_{10h}}{10^6} \right]^{\frac{1}{p}} * P_r \quad (3.12)$$

Donde:

n : velocidad angular [rpm]

L_{10h} : Vida nominal básica [rev]

p : constante de rodamiento de bola

P_r : Carga dinámica equivalente [N]

2.4.6 Diseño de la Tolva

Para el diseño de la tolva se estableció que dentro de esta entren 40 botellas, bajo esta premisa se calculó el volumen que se requiere en la tolva, se usó la siguiente fórmula:

$$\# \text{ botellas tolva llena} = \frac{V_{tolva}}{V_{Botella}} \quad (3.13)$$

A continuación, haciendo uso de la fórmula del volumen de una pirámide trapezoidal se calculó la altura de la pirámide con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{(B+b)*h}{2} * H \quad (3.14)$$

Una vez que se conoce la geometría de la tolva, se calculan los esfuerzos sobre las paredes y sobre el fondo de la tolva con la siguiente ecuación (Paredes, 2017):

2.4.6.1 Cálculo Presión en el Fondo de la Tolva

$$P_v = \frac{\rho_{PET} g b}{4\mu K g_c} \left[1 - \exp\left(-\frac{4h\mu K}{b}\right) \right] \quad (3.15)$$

Donde:

ρ_{PET} : Densidad del PET [Kg/m³]

$g b$: Gravedad Local [m/s²]

g_c : Constante 1 [kgm/Ns²]

μ : Coeficiente de fricción

h : Altura mayor de la tolva [m]

b : Base de la tolva [m]

2.4.6.2 Cálculo Presión en los Laterales de la Tolva

$$P_w = K * P_v \quad (3.16)$$

Donde:

K : constante 0.4

Después que se han calculado los esfuerzos, se calculó el espesor de la plancha a usarse con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{P_w * r}{\sigma_f} \quad (3.17)$$

Donde:

r : radio de la tolva

σ_f : Esfuerzo de fluencia del material [Pa]

Ya que la forma de la tolva no es circular, sino que es una pirámide trapezoidal se requiere calcular el diámetro hidráulico de esta, porque la función del espesor se encuentra en función del radio de la tolva, la fórmula es la siguiente:

$$D_h = \frac{2ab}{a+b} \quad (3.18)$$

Donde:

a : Es la base menor de la pirámide trapezoidal [m]

b : Es la altura Mayor de la pirámide trapezoidal [m]

2.4.7 Selección de los Pernos de Sujeción

Para la selección de pernos se hizo uso del catálogo de PERNERÍA Y FIJACIÓN DE PROMESA, se seleccionó el perno de cabeza hexagonal de acero galvanizado SAE/UNC de grado 2, como se desconoce información acerca de la fuerza de precarga se seleccionaron mediante la teoría del cono de presión de Rotscher y las dimensiones de estos se calcularon y se tienen los resultados con las siguientes fórmulas (Budynas, Nisbett, & Otros, 2008):

El Esfuerzo de Diseño se calcula:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_b}{n_d} \quad (3.19)$$

Donde:

σ_b : Resistencia del Material [PSI]

n_d : Factor de Seguridad

Ya que se escogió un perno de 5/8", se calcula la longitud del perno con las siguientes fórmulas:

$$h = \text{Espesor}_{\text{arandela}} * \text{Espesor}_{\text{pared}} \quad (3.20)$$

Longitud Mínima del Sujetador

$$L > h + 1.5 * d \quad (3.21)$$

Donde:

d : Diámetro del perno [mm]

2.4.8 Diseño del Eje de Poleas Intermedias

Para el diseño del eje de poleas intermedias, que es el que va a sostener las poleas 2 y 3 del mecanismo, se realizó el mismo procedimiento del eje de trituración mencionado anteriormente, con la variante que en este eje las únicas fuerzas que actúan son las del peso de las poleas y las tensiones ejercidas por las bandas, logrando tener en el plano horizontal la tensión de las bandas y en el plano vertical la tensión de las bandas y el peso de las poleas.

2.4.9 Selección del Circuito Eléctrico

El motor seleccionado para la máquina trituradora es el SIMOTIC trifásico IE1 modelo 1LE0142-1CC26-4AA4-Z de 5hp a 60 Hz con la capacidad de trabajar a distintas variaciones de voltaje, estos son de 220V, 380V y 440V. Debido a que los requerimientos del cliente son que trabaje a bajo voltaje, es decir a 220V y 16 A, se usara una conexión en delta en el motor. Para que este entre en funcionamiento se propuso un circuito de arranque directo el cual comprenderá dispositivos de protección, control y potencia con el fin de que se efectué de forma segura.

2.5. Simulación de Elementos Mecánicos.

Se usó ANSYS como software para verificar el correcto funcionamiento de los distintos elementos mecánicos, se verificó cómo se comporta la deformación, los esfuerzos sobre estos y el factor de seguridad obtenido. Los elementos mecánicos a los que se le realizará la simulación serán la estructura total de la máquina para soportar la carga estática, las cuchillas móviles y las cuchillas fijas.

Para simular los distintos elementos mecánicos, el software solicita ciertas entradas de datos, estos datos fueron calculados en la sección de diseño detallado de la máquina trituradora, para la simulación de la cuchilla móvil se requiere como dato de entrada la fuerza necesaria para cortar los envases de PET y esta fuerza será aplicada en el modelo de la cuchilla sobre el área de corte, asimismo para la cuchilla fija se solicita la misma fuerza de corte pero ésta se aplicará sobre el área de corte

que es mucho más grande comparado con la cuchilla móvil, de esta forma obtendremos la simulación tomando en cuenta estos datos de entrada.

2.6. Elaboración de Planos Mecánicos

Para elaborar los planos mecánicos de toda la máquina trituradora se usó el software INVENTOR de AUTODESK, los planos de la máquina se construyeron paso a paso, en un inicio se construyeron por separado cada uno de los distintos elementos y a continuación, se ensamblaron elemento por elemento para luego tener los planos finales.

2.7. Análisis de Costos

Para esta sección se realizó las cotizaciones y proformas respectivas de todos los elementos y partes mecánicas, cabe recalcar que para realizar esta sección se diseñó la máquina con elementos y materiales disponibles en el mercado local, de esta manera facilitará la logística en caso de que se fabrique la máquina y asimismo reducirá costos por importaciones ya que los elementos seleccionados se encuentran en el mercado, para realizar esta sección el dato de entrada son los planos finales de la máquina para de esta forma realizar una lista con los elementos y partes necesarios para la construcción y de esta forma simplificar el análisis de costo, a continuación se cotizó en los distintos centros de distribución o proveedores para tener los valores del costo de partes. Para obtener el dato de costos de mano de obra como soldadura, corte por láser o hilo, mecanizado con fresadora, entre otros, se hizo un acercamiento a distintos talleres de la ciudad para obtener el costo óptimo.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al seguir el proceso de la metodología anteriormente descrita, se tienen cálculos teóricos, simulaciones, resultados del análisis de los costos y los planos obtenidos de la máquina diseñada.

3.1 Resultados de las Alternativas de Diseño

Las alternativas de diseño proporcionadas en el capítulo 2 fueron seleccionadas por medio de una matriz de decisión y las opciones escogidas fueron:

3.1.1 Resultados Matriz de Decisión de Ejes

En la tabla 3.1 se puede apreciar que se seleccionó la opción de un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo tomando en cuenta los distintos requerimientos técnicos, estos requerimientos donde predomina la selección de esta opción son la mantenibilidad, el tamaño, el peso y bajo desgaste de las cuchillas.

Tabla 3.1 Matriz de decisión de ejes [Elaboración propia].

Requerimientos técnicos	%	Dos ejes con cuchillas distribuidas separadas	Un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo	Un eje con cuchillas distribuidas a lo largo del mismo y separadas 180° entre si
Tamaño y peso compacto	11	2	6	5
Mantenibilidad	7	5	7	7
Tiempo de procesado rápido	12	6	5	3
Bajo desgaste a las cuchillas	6	3	5	5
Fiabilidad	9	6	3	
Bajas Vibraciones	10	3	4	4
Bajo costo de producción	8	2	4	6
Alta eficiencia	14	7	3	3
Facilidad de montaje	5	4	5	7
Total	82	3.65	3.71	3.35

3.1.2 Resultados Matriz de Decisión de Cribas

En la tabla 3.2 se puede apreciar que se seleccionó la opción de Criba media luna tomando en cuenta los distintos requerimientos técnicos, esta selección esta regida en la forma del eje seleccionado en el apartado anterior, ya que para un eje no serviría una criba media luna doble ya que se tendría como consecuencia una caja de trituración más grande y la criba plana retiene producto triturado debido a su forma, es por esto que la criba media luna es la opción más viable.

Tabla 3.2 Matriz de Decisión de Cribas [Elaboración propia].

Requerimientos técnicos	%	Criba Plana	Criba media luna	Criba media luna doble
Tamaño y peso compacto	11	7	5	2
Mantenibilidad	7	6	5	4
Capacidad	13	3	6	7
Tiempo de procesado rápido	12	2	6	7
Fiabilidad	9	3	6	4
Bajo costo de producción	8	7	4	2
Facilidad de montaje	5	7	6	3
Total	65	3	3.56	2.92

3.1.3 Resultados Matriz de Decisión del Sistema de Transmisión

En la tabla 3.3 se aprecia los parámetros para tomar la decisión de que sistema de transmisión usar, como resultado se obtiene un sistema de transmisión de potencia

por bandas y poleas, tomando en cuenta factores importantes como la mantenibilidad, el costo y la seguridad que esta proporciona.

Tabla 3.3 Matriz de Decisión del Sistema de Transmisión [Elaboración propia].

Requerimientos técnicos	%	Sistema de Poleas	Reductor
Tamaño y peso Compacto	11	4	7
Mantenibilidad	7	7	4
Seguridad	6	6	3
Capacidad	13	4	5
Fiabilidad	9	4	6
Bajo costo de producción	8	7	2
Facilidad de montaje	5	4	5
Total	59	2.93	2.83

3.1.4 Resultados Matriz de Decisión del Diseño de Forma

En la tabla 3.4 se proporciona información de la opción del diseño de forma seleccionado, la opción escogida es el diseño de forma 4 que se encuentra en la figura 2.17, este diseño de forma fue seleccionado basado en las distintas matrices de decisión realizadas, debido a que se usan bandas y poleas y la reducción de las rpm es de 1200 a 78 se usa un tren de poleas y este diseño de forma permite una mayor mantenibilidad.

Tabla 3.4 Matriz de Decisión del Diseño de Forma [Elaboración propia].

Requerimientos técnicos	%	Diseño de forma 1	Diseño de forma 2	Diseño de forma 3	Diseño de forma 4
Tamaño y peso compacto	11	4	7	5	6
Mantenibilidad	7	6	4	5	5
Capacidad	13	6	6	6	6
Bajo costo de producción	8	5	4	7	7
Facilidad de montaje	5	7	3	4	6
Total	44	2.39	2.3	2.44	2.65

3.2 Resultados de la Cuchilla Seleccionada.

La cuchilla seleccionada fue bajo la metodología del artículo mencionado en el capítulo 2, las dimensiones principales son el espesor de 8 mm y el diámetro 265 mm suficientes para que la cuchilla abarque las botellas más grandes de PET recicladas en la comuna, el material de estas cuchillas es acero AISI D2.



Figura 3.1 Geometría de la cuchilla seleccionada [Elaboración propia].

3.3 Resultados de la Fuerza de Corte y Torque

El esfuerzo de fluencia del PET es de 40 MPa y la resistencia al cortante del PET es un 80% del esfuerzo de fluencia de éste. (Hakkens, Calculations Required for Shredder, 2017)

$$\tau = 40 \text{ MPa} * 0.80 = 32 \text{ MPa}$$

Haciendo uso de la ecuación 3.1 y 3.2 tenemos:

$$A = w * t = 0.008 * 0.0025 = 20 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$F_c = \tau * A = 32 \times 10^6 * 20 \times 10^{-6} = 640 \text{ N}$$

$$T = 640 * 0.1325 = 84.8 \text{ Nm}$$

Los resultados de fuerza de corte y torque obtenidos son para una sola cuchilla, debido a que tenemos 23 cuchillas en el eje y estas se encuentran desfasadas en este eje a 20 grados, se tiene que 3 cuchillas tocarán al mismo tiempo el material a triturar, por lo tanto, se tiene:

Tabla 3.5 Resultados de fuerza de corte y torque individual y grupal [Elaboración propia].

Variable Calculada	1 cuchilla	3 cuchillas	Unidades
Fuerza de corte	640	1920	[N]
Torque	84.8	254.4	[N.m]

3.4 Resultados del Eje de Trituración

Los valores de las fuerzas a las que está sometido el eje son calculados detalladamente en el APENDICE A, de estas fuerzas se obtiene el DCL del eje:

Free Body Diagram (FBD)

Show Equivalent Loads

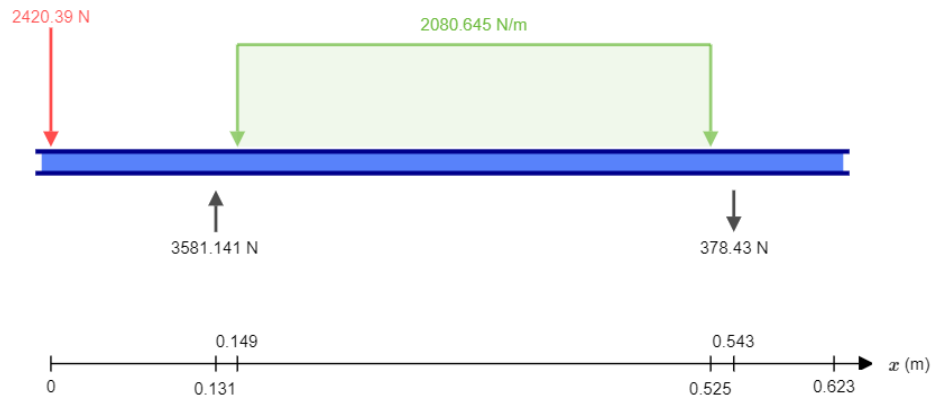


Figura 3.2 DCL del eje de trituración en el plano xy [Elaboración propia].

A partir del DCL se obtuvo el diagrama de fuerza cortante y momento flector presentado a continuación:

Shear Force Diagram (SFD)

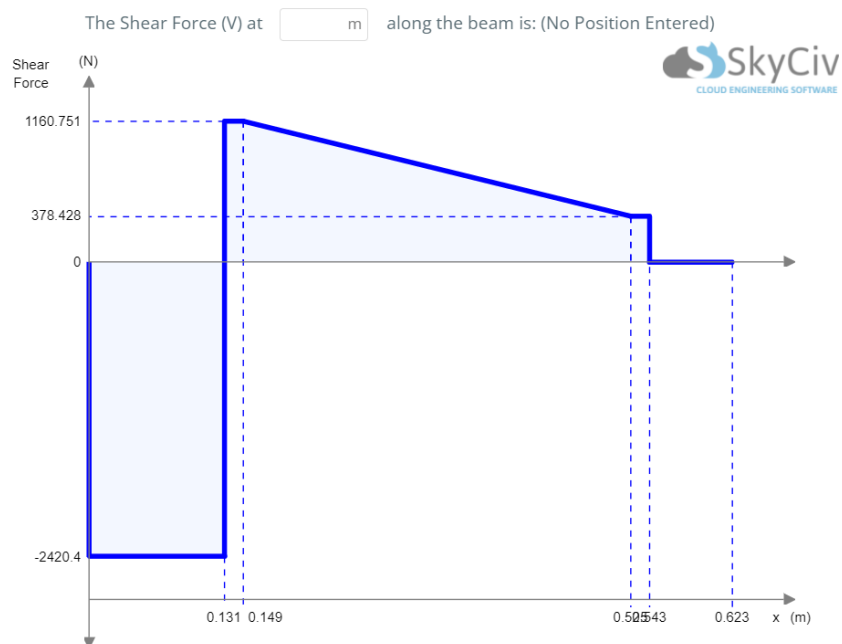
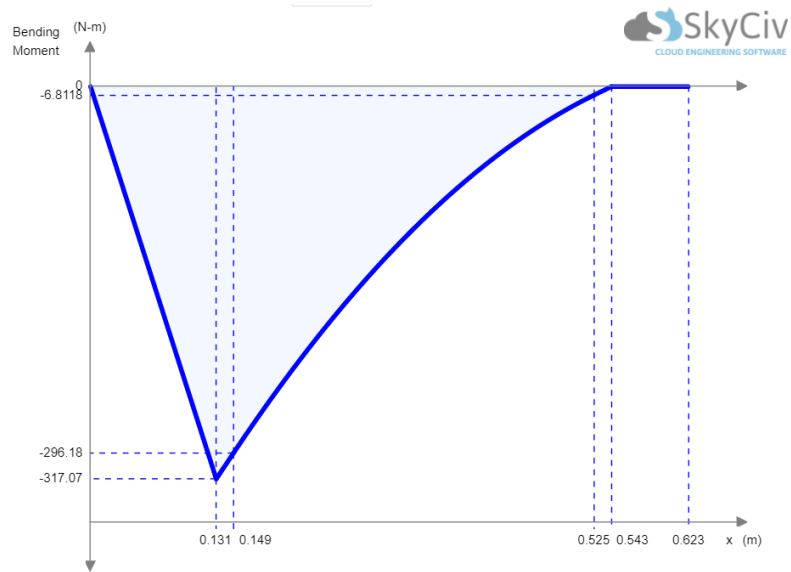


Figura 3.3 Diagrama de Fuerza Cortante del Eje de Trituración en el plano xy [Elaboración propia].



**Figura 3.4 Diagrama del Momento Flector del Eje de Trituración en el plano xy
[Elaboración propia].**

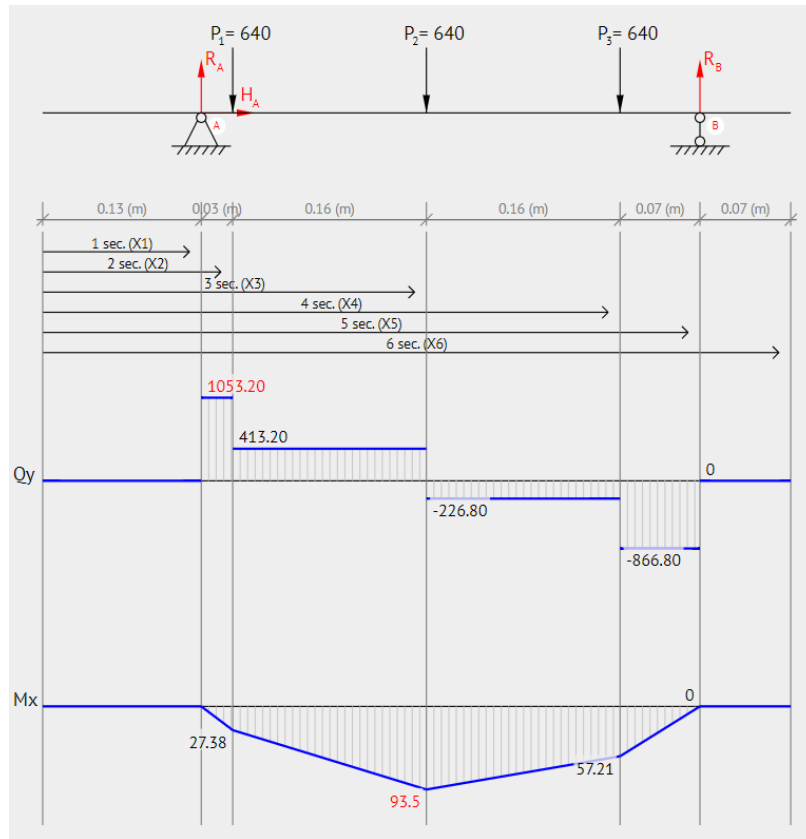


Figura 3.5 DCL-Diagrama de Fuerza Cortante-Diagrama Momento Flector plano xz [Elaboración propia].

Haciendo uso de la ecuación 3.3 y 3.4 se logra obtener los siguientes resultados:

Tabla 3.6 Resultados del cálculo del eje de trituración [Elaboración propia].

Variable Calculada	Dato Obtenido	Unidad
Resistencia a la Fatiga	37.10	Kpsi
Diámetro del Eje	40	mm
Factor de Seguridad Fatiga	2	-
Esfuerzo Von Mises	9143.08	PSI
Factor de Seguridad Estático	17	-
Diámetro de eje seleccionado	50	mm

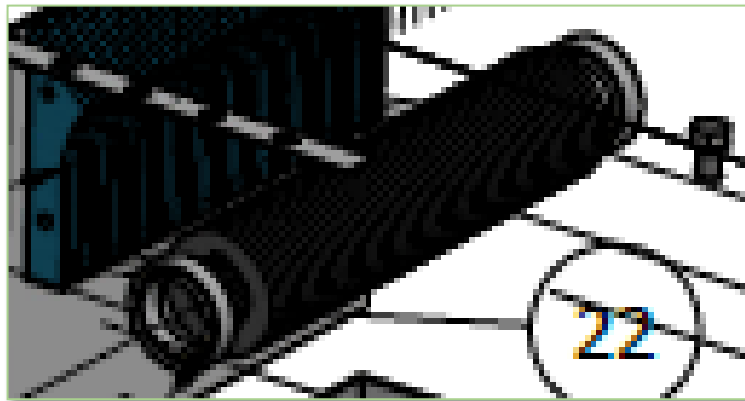


Figura 3.6 Eje de Trituración (Hakkens, Calculations Required for Shredder, 2017)

El valor de la resistencia a la fatiga se obtuvo calculando los distintos factores a los que se somete el eje de trituración y el límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria tomando en cuenta la resistencia última a la tensión (cálculos en el APÉNDICE A).

Para diseñar el eje, se determinó que se obtuvo un factor de seguridad $n = 2$ con un diámetro de 40 mm con el cual podemos asegurar el correcto funcionamiento sin sufrir fracturas.

Para analizar si el eje falla por carga estática se realizó el análisis por energía de distorsión, donde se calculó el esfuerzo de Von Mises y al relacionarlo con el esfuerzo de fluencia de 156 Kpsi del material del eje que es el acero AISI 4340, se obtuvo un factor de seguridad de 17 (cálculos en el APÉNDICE A).

3.5 Resultados del Sistema de Transmisión de Potencia

3.5.1 Resultados de la Selección de Bandas y Poleas

Para la selección de bandas y poleas, tal como se especificó en la metodología, se usó catálogos de INTERMEC SA, dentro de estos catálogos se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 3.7.

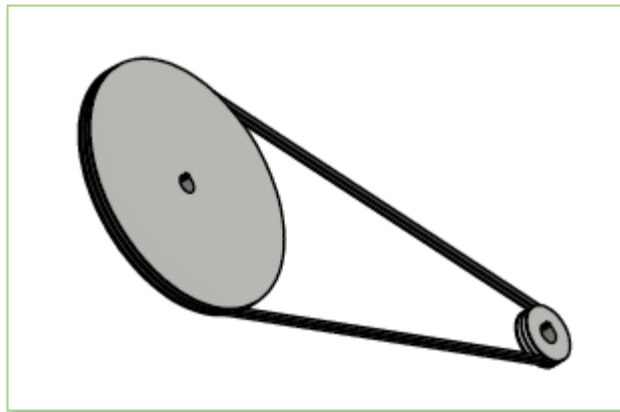


Figura 3.7 Sistema de Transmisión de Potencia [Elaboración propia].

Tabla 3.7 Resultados de la Selección de Bandas y Poleas [Elaboración propia].

Elemento	Modelo	Diámetro Exterior
Polea 1	PQ 2-3V-105	105 mm
Polea 2	PQ 2-3V-485	485 mm
Polea 3	PQ 2-3V-105	105 mm
Polea 4	PQ 2-3V-350	350 mm
Banda	3V-2845 mm	-
Banda	3V-2845 mm	-

Para mayor entendimiento sobre la selección de las poleas se tiene la información de la figura 3.7

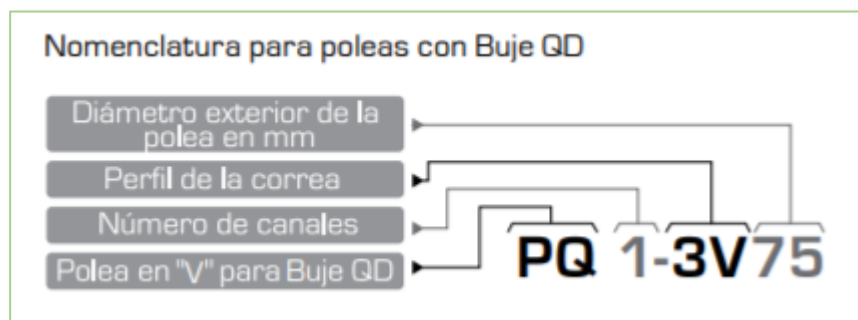


Figura 3.8 Nomenclatura de las Poleas Seleccionadas (Hakkens, Calculations Required for Shredder, 2017)

Las poleas seleccionadas nos proporcionan una relación de reducción de la velocidad angular en 4.62 veces y 3.33 respectivamente, esto es debido a que las dos poleas conducidas son de diferente diámetro y las dos poleas conductoras son

del mismo diámetro, cabe recalcar que se implementó un tren de poleas ya que la velocidad angular entregada por el motor es de 1200 rpm y la velocidad requerida por la máquina era de 78 rpm, para la selección de las bandas se usaron 4 debido a que las poleas seleccionadas son de dos canales, la longitud de las bandas son estándares 2845 mm y 2645 mm el tipo de estas es de 3V.

Los cálculos de este apartado se encuentran con mayor detalle en el APÉNDICE A.

3.5.2 Resultados de la Selección del Motor

Teniendo en cuenta que una botella de 3 L tiene una masa de 56 g y en base a los datos de la tabla 2.2 se puede deducir que toma aproximadamente 20 s triturar una botella de plástico a 2.83 rad/s a 2 hp, esto significa que a esa velocidad la capacidad de trituración de una botella es equivalente a 10.08 kg/h. Por lo que si se requiere una capacidad de 40 kg/h la velocidad requerida sería de 11.6 rad/s. Debido a que si se realiza la respectiva reducción el torque requerido para poder triturar el plástico disminuye por debajo del mismo, se seleccionó una velocidad de 8.16 rad/s a 2 HP.

$$P_{motor} = \frac{P_{maquina}}{\eta_{motor} * \eta_{sist\ poleas} * \eta_{pérdidas}} = \frac{2\ HP}{0.90 * 0.95 * 0.80} = 2.92\ HP$$

Debido a que en el mercado no se encuentran motores de 2.92 HP, se procedió a seleccionar un motor de 3 HP y 1200 rpm de la marca Siemens

3.6 Resultados de la Selección de Rodamientos

Para la selección de los rodamientos se hizo uso de dos catálogos, el de SKF y NTN, ambos trabajan con rodamientos y chumaceras estándares, los resultados se presentan en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Resultados de la Selección de Rodamientos [Elaboración propia].

Elemento	Modelo Rodamiento de Bolas Rígidas
Rodamiento 1-Tren de Poleas	P35F Manual SKF o 6007 Manual NTN
Rodamiento 2- Tren de Poleas	P35F Manual SKF o 6007 Manual NTN
Rodamiento 1- Eje de Trituración	6010 Manual NTN
Rodamiento 2- Eje de Trituración	6010 Manual NTN

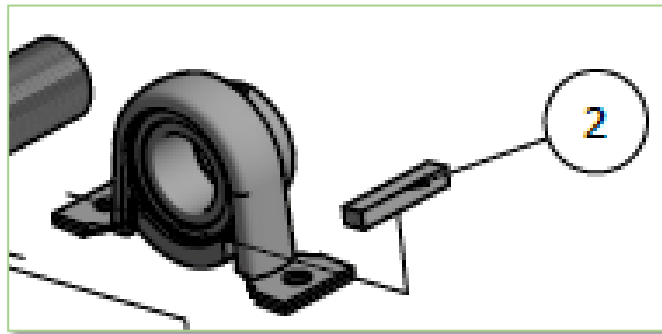


Figura 3.9 Rodamientos Seleccionados (Hakkens, Calculations Required for Shredder, 2017)

Los dos rodamientos para el tren de poleas fueron seleccionados para el eje que sostiene las poleas intermedias, estos rodamientos cuentan con un eje de 35 mm y se tiene para elegir dos tipos de rodamientos disponibles en el mercado de los manuales de SKF y NTN, para los rodamientos del eje de trituración son del eje central de la máquina, este eje es el que soporta la mayor cantidad de cargas, las cargas por el peso de las cuchillas, las fuerzas sobre las cuchillas y el torque generado sobre este, el eje de trituración tiene un diámetro de 50 mm por lo que los rodamientos seleccionados son diferentes, estos rodamientos fueron seleccionados del manual de NTN. Los cálculos detallados de la selección de los 4 rodamientos se presentan en el APÉNDICE A

3.7 Resultados del Diseño de las Chavetas

Para el diseño de las chavetas se garantizó que el elemento resista al cortante y al aplastamiento, se tiene la verificación de la chaveta del eje del motor que esta viene instalada y se tienen 4 chavetas diseñadas, 3 chavetas para las poleas y una chaveta larga que conectará el eje de trituración con las cuchillas, en la tabla 3.9 se presentan las dimensiones de las chavetas seleccionadas:

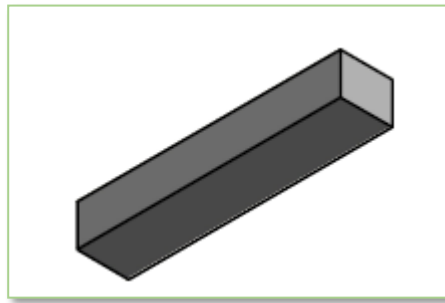


Figura 3.10 Chaveta Diseñada [Elaboración propia].

Tabla 3.9 Dimensiones de las Chavetas Diseñadas [Elaboración propia].

Elemento	Dimensiones	Material
Chaveta de polea 2	[10x8x35] mm	AISI 1045 Rolado en Caliente
Chaveta de polea 3	[10x8x51] mm	AISI 1045 Rolado en Caliente
Chaveta de polea 4	[10x8x35] mm	AISI 1045 Rolado en Caliente
Chaveta de eje de trituración	[10x8x376] mm	AISI 1045 Rolado en Caliente

Los cálculos detallados del diseño de las chavetas para la transmisión de potencia se encuentran en el APÉNDICE A

3.8 Resultados del Diseño de la Tolva

Según la referencia (Okunola, Oyebade, & Olanrewaju, 2019) el volumen de una botella de PET de 600 ml es de 0.0005 metros cúbicos, gracias a este dato se obtuvo el volumen de la tolva que en este caso es una pirámide trapezoidal, donde se obtuvieron las siguientes dimensiones tomando en cuenta un ángulo recomendado de 60 grados respecto a la superficie (TerraSource Global).

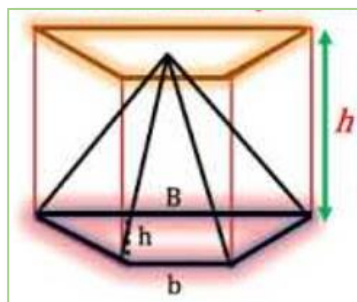


Figura 3.11 Forma de Pirámide Trapezoidal para la Tolva (Okunola, Oyebade, & Olanrewaju, 2019)

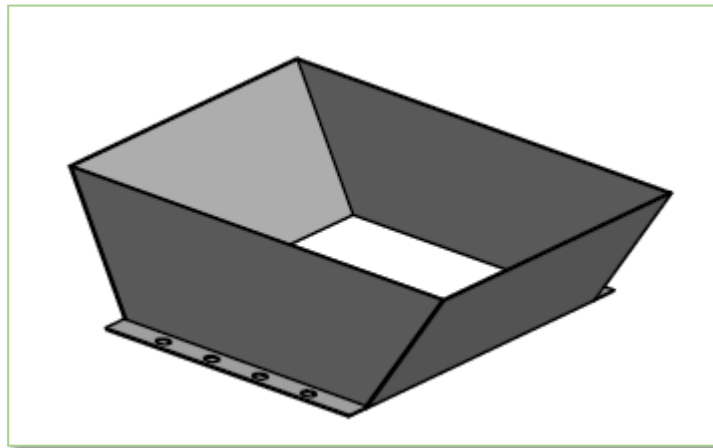


Figura 3.12 Estructura de la Tolva Diseñada [Elaboración propia].

Tabla 3.10 Dimensiones de la Tolva [Elaboración propia].

Variable	Cantidad
B	483.2 mm
H	402 mm
h	150 mm
Base Menor b	310 mm
Espesor de la plancha [t]	2 mm
Esfuerzo Fondo Tolva P_v	1596.51 Pa
Esfuerzo Pared Tolva P_w	638.6 Pa

Los cálculos detallados de las dimensiones, los esfuerzos sobre las paredes laterales, el fondo de la tolva y el espesor de la plancha, se encuentran en la sección de APÉNDICE A.

Cabe recalcar que el espesor de la plancha para la tolva obtenido es tan pequeño que se optó por seleccionar una plancha disponible en el mercado y este espesor es de 2 milímetros tal como se observa en la tabla 3.10

3.9 Resultados del Eje de Poleas Intermedias

Para el eje de poleas intermedias se realizó así mismo un análisis para soportar la fatiga, este también fue analizado para verificar que soporte las cargas estáticas, teniendo como resultados lo siguiente tomando en cuenta las fuerzas que actúan

en direcciones verticales y horizontales (plano xy y xz), en la figura a continuación se indica donde está ubicado el Eje de Poleas Intermedias

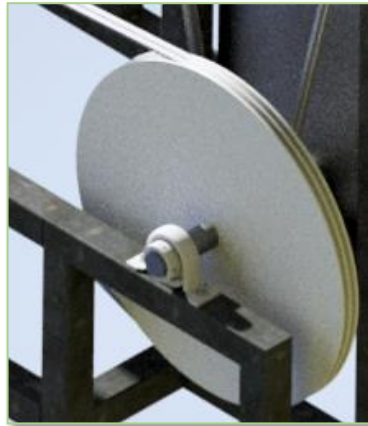


Figura 3.13 Eje de Poleas Intermedias (Okunola, Oyebade, & Olanrewaju, 2019)

Tabla 3.11 Resultados del eje de Poleas Intermedias [Elaboración propia].

Variable	Valor
Diámetro del eje	35 mm
Factor de Seguridad a la fatiga	3
Factor de seguridad Estática	27

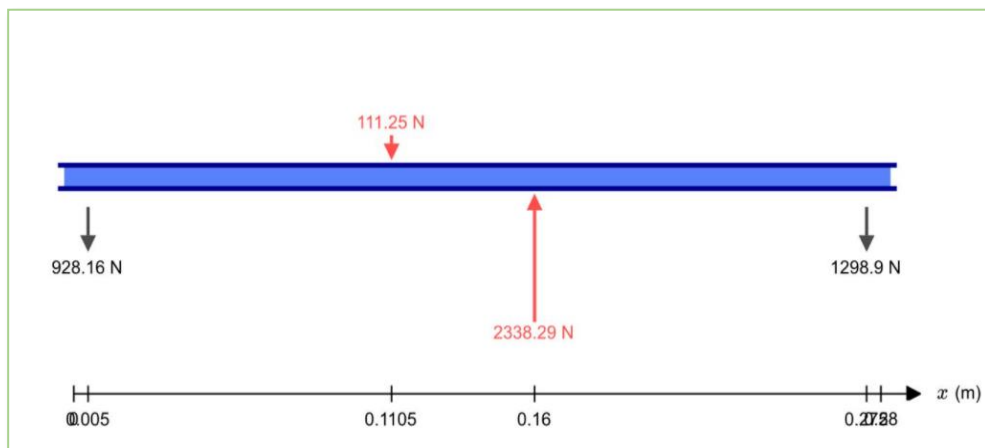


Figura 3.14 DCL en el plano xy [Elaboración propia].



Figura 3.15 Diagrama de fuerza Cortante en el plano xy [Elaboración propia].

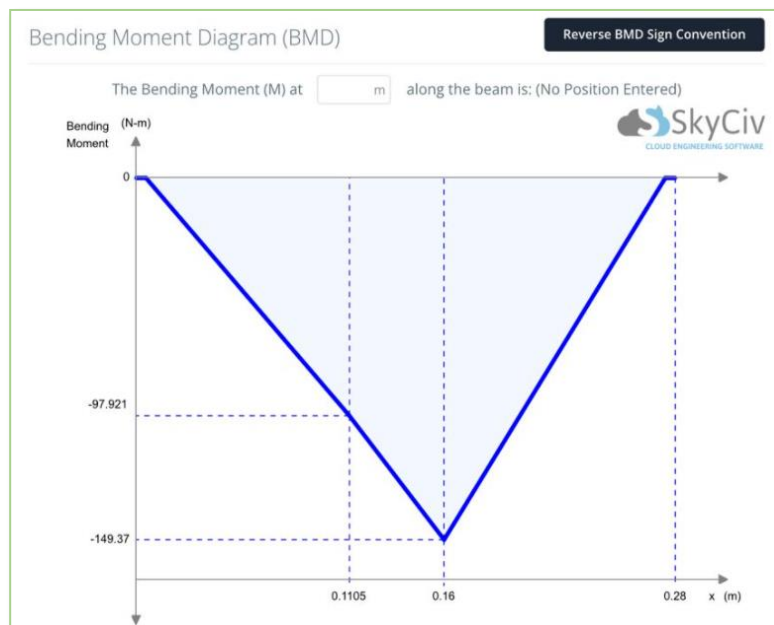


Figura 3.16 Diagrama de Momento Flector en el plano xy [Elaboración propia].

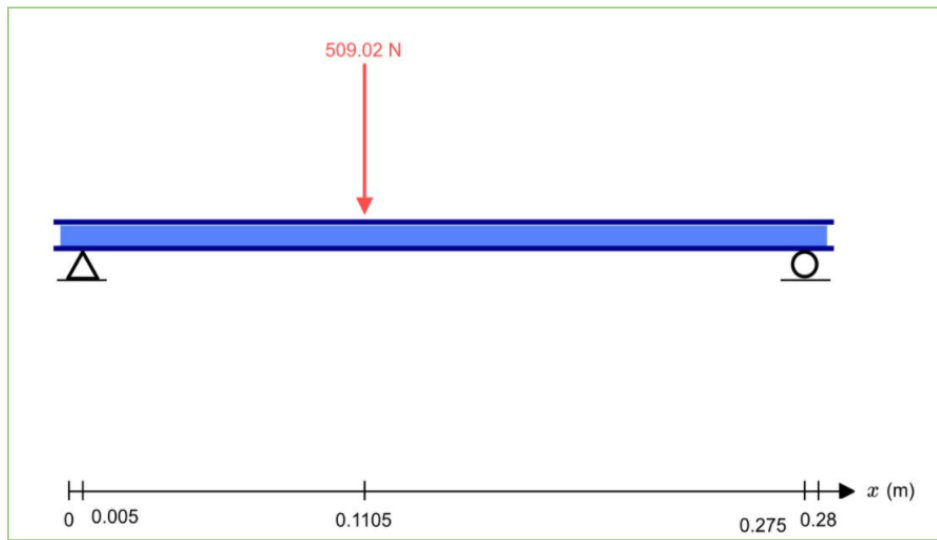


Figura 3.17 DCL en el plano xz [Elaboración propia].

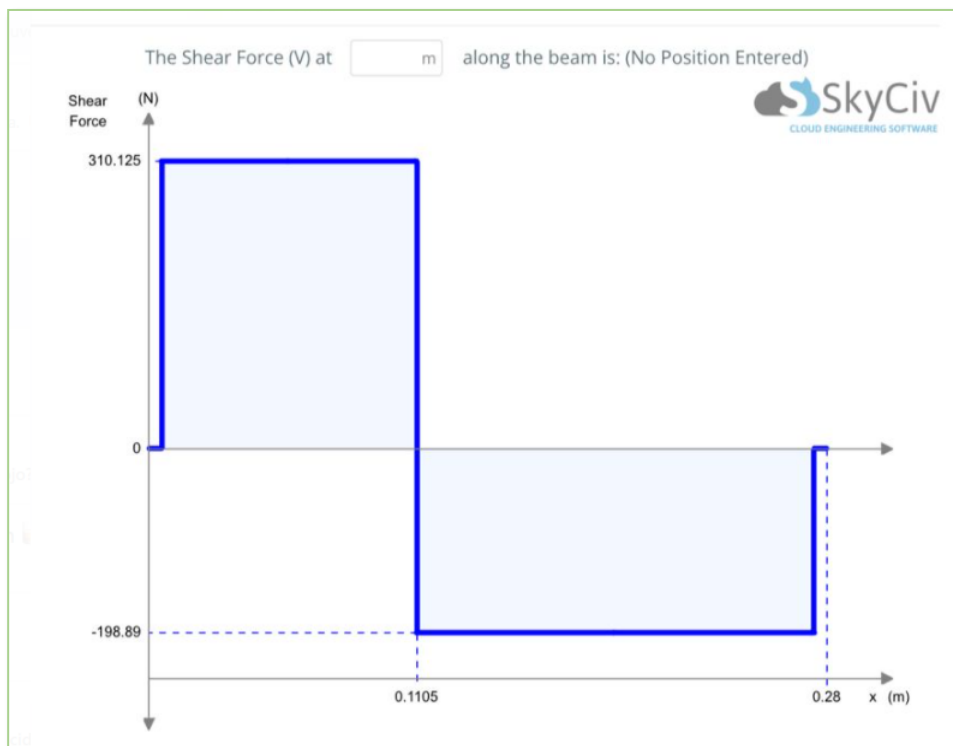


Figura 3.18 Diagrama de fuerza Cortante en el plano xz [Elaboración propia].



Figura 3.19 Diagrama de Momento Flector en el plano xz [Elaboración propia].

3.10 Resultados de la Selección de Pernos

Los cálculos desarrollados en la selección de pernos se presentan de forma detallada en el APÉNDICE A, basados en los cálculos obtenidos se tiene que a lo largo de la caja de trituración se colocaron 5 pernos para permitir el agarre necesario, este perno de cabeza y tuerca hexagonal de acero galvanizado SAE/UNC de grado 2 tienen el diámetro de 5/8" con una longitud de 2"

3.11 Resultados de las Simulaciones

3.11.1 Simulación de la Cuchilla de Móvil AISI D2

Para realizar la simulación se tuvo que obtener la fuerza de corte que deberá ser aplicada para que corte el material la cual corresponde a los 640 N.

Debido a las restricciones del software, para simular el comportamiento de la cuchilla al ejercer la carga de 640 N se tuvo que realizar una relación entre la fuerza y el torque. La cuchilla se la fijó en ambos filos, y al centro de la cuchilla se le aplicó un torque generado por los 640 N tomando en cuenta el radio de la cuchilla, de esta

manera se calculó los esfuerzos de Von Mises, los máximos y mínimos y también el valor de la deformación de esta.

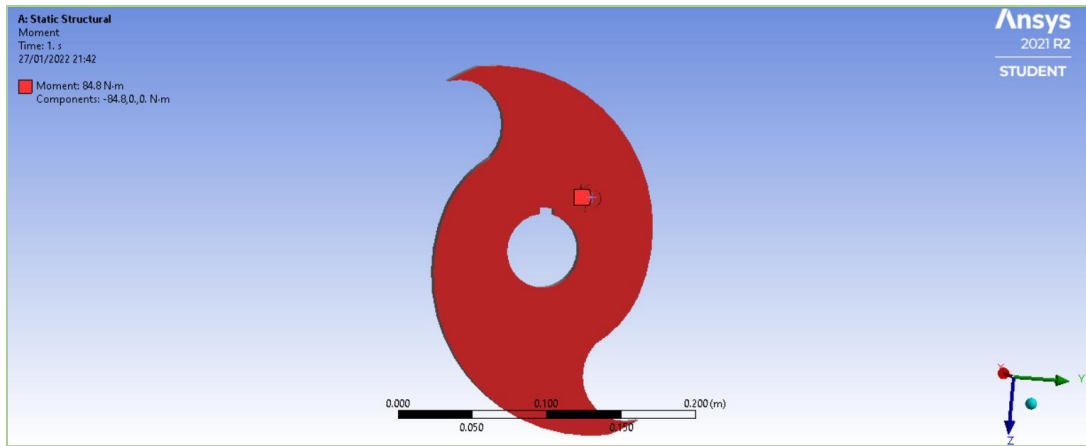


Figura 3.20 FEA Torque aplicado en la cuchilla [Elaboración propia].

El material seleccionado para el mecanizado de la cuchilla corresponde al AISI D2 utilizado usualmente para herramientas de corte y deformado con una resistencia a la fluencia de 1650 MPa (MATWEB, s.f.) con la ventaja de que posee una buena resistencia al desgaste y gran tenacidad.

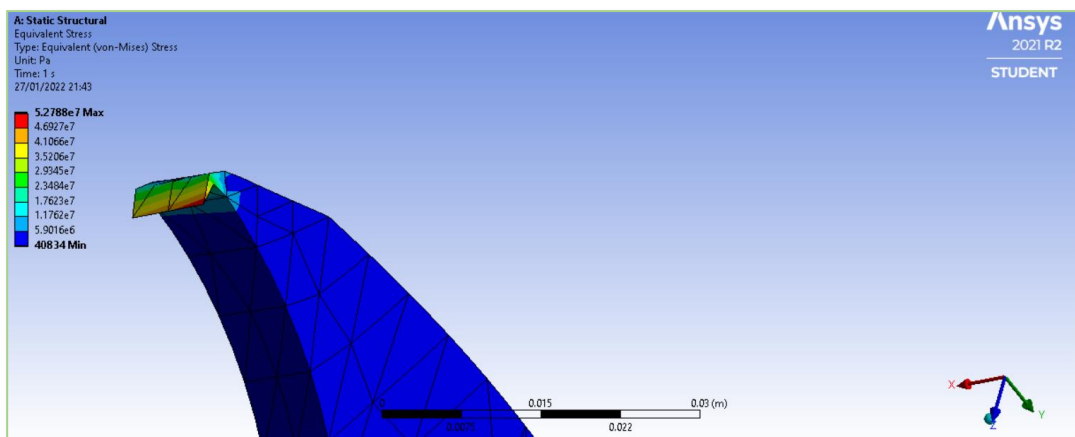


Figura 3.21 FEA Esfuerzos de Von Mises [Elaboración propia].

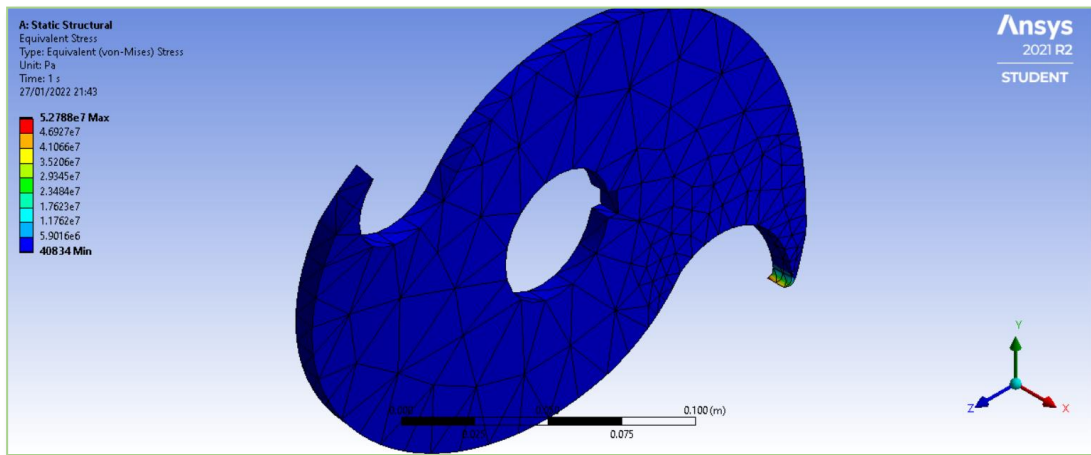


Figura 3.22 FEA Esfuerzos de Von Mises [Elaboración propia].

A partir del análisis realizado en Ansys Student versión 2021 R2 se obtuvo que el máximo esfuerzo equivalente de Von Mises le corresponde a 52.78 MPa lo cual es inferior a la resistencia a la fluencia del material por lo que utilizar dicho material para el funcionamiento es una buena elección y garantiza el funcionamiento correcto sin problema alguno.

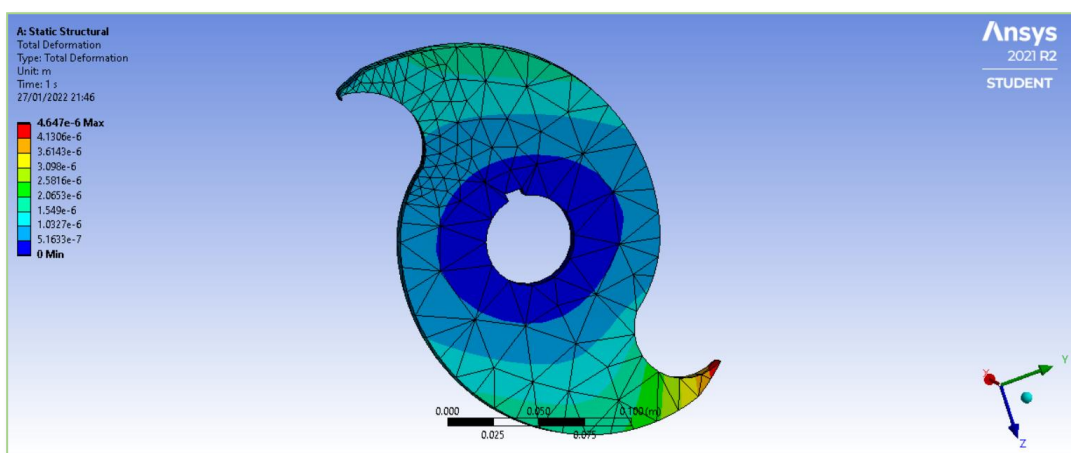


Figura 3.23 FEA Deformación total del elemento [Elaboración propia].

Se obtuvo la deformación total de la pieza mediante la simulación donde se puede constatar que el valor máximo de deformación se produce en la punta de la cuchilla de trabajo, pero como esto ocurre en la zona elástica del material esto no causaría mayores inconvenientes durante su implementación ya que se deforma 4.64×10^{-7} m, cantidad donde no se aprecia una deformación a simple vista y sin exceder el límite elástico de esta, otorgando seguridad en el funcionamiento de la cuchilla.

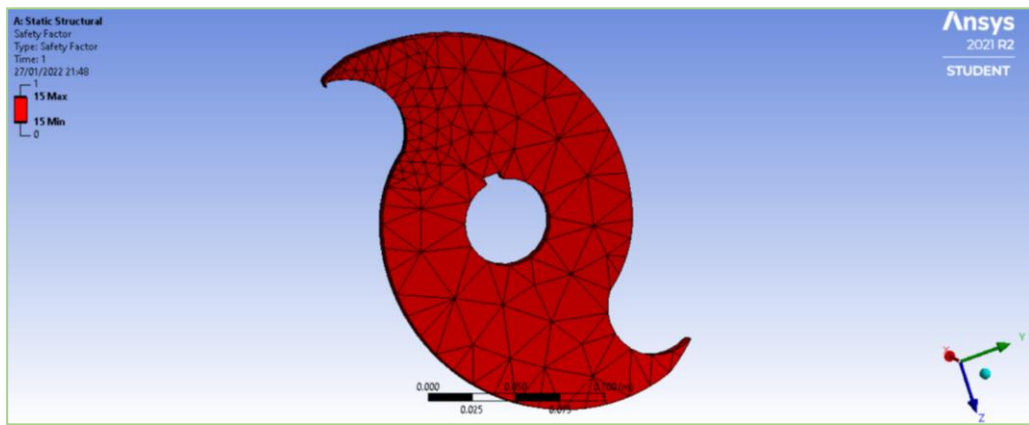


Figura 3.24 FEA Factor de seguridad del elemento [Elaboración propia].

El factor de seguridad mínimo obtenido se encuentra por arriba de 1, este valor es de 15, de esta forma otorga un funcionamiento correcto alargando la vida de la cuchilla lo suficiente para altos intervalos de trabajo.

3.11.2 Simulación de las Cuchillas Fijas

Debido a que las cuchillas fijas soportan una mayor área de corte, el esfuerzo sobre estas tiene a bajar, el material con el cual están diseñadas estas es de acero A36, es un acero comercial y disponible en el mercado. La sección crítica en este caso corresponde al filo de la cuchilla.

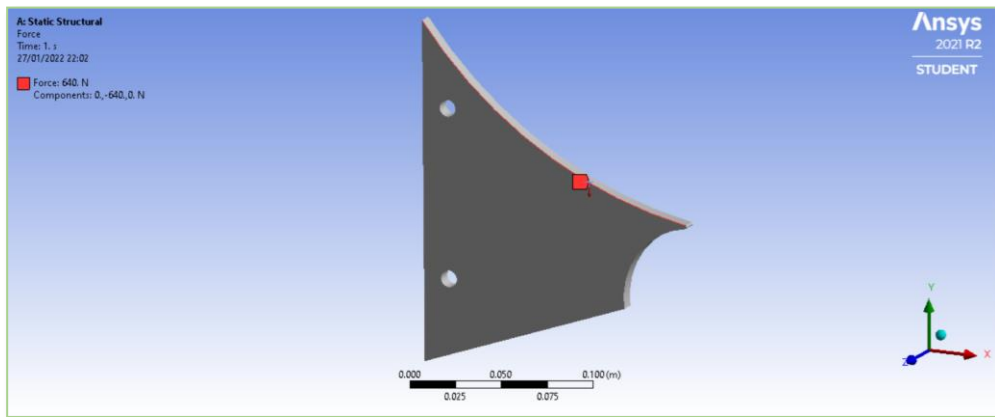


Figura 3.25 FEA Fuerza aplicada en la cuchilla fija [Elaboración propia].

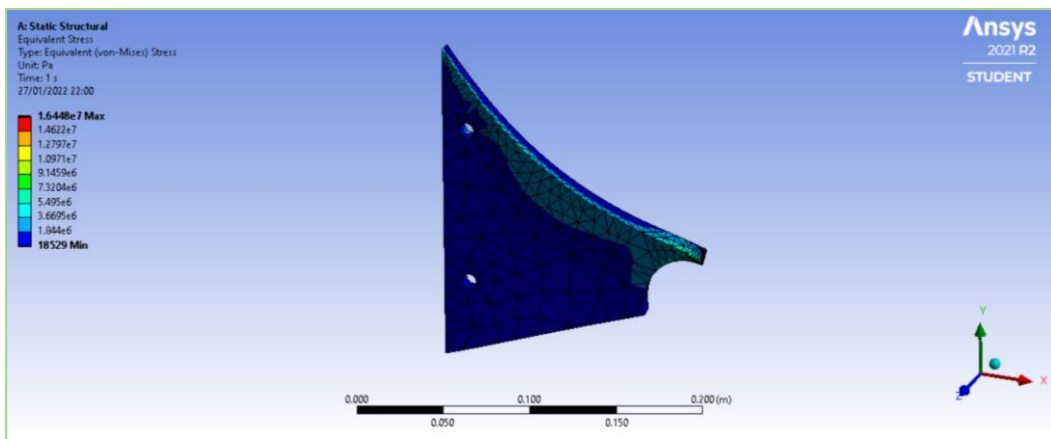


Figura 3.26 FEA Esfuerzo de Von Mises del elemento [Elaboración propia].

El esfuerzo máximo que soporta la cuchilla es de 16.4 MPa logrando de esta manera comprobar que la cuchilla soportará las fuerzas aplicadas ya que el esfuerzo de fluencia del acero A36 es de 250 MPa.

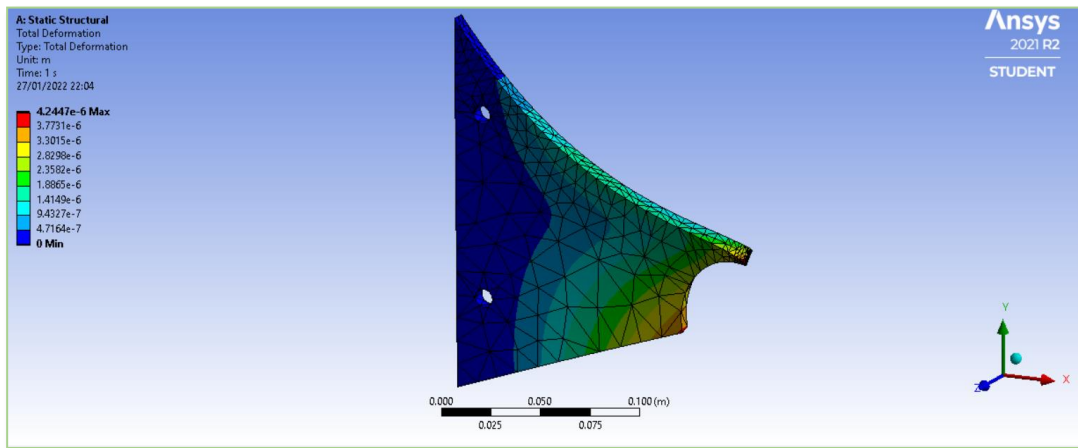


Figura 3.27 FEA Deformación total del elemento [Elaboración propia].

La deformación sobre el elemento fijo es de 4.24×10^{-6} m lo cual nos proporciona un correcto funcionamiento de la cuchilla sin fracturarse o sin deformarse a tal punto de llegar a generar fuerzas adicionales que perjudiquen el funcionamiento.

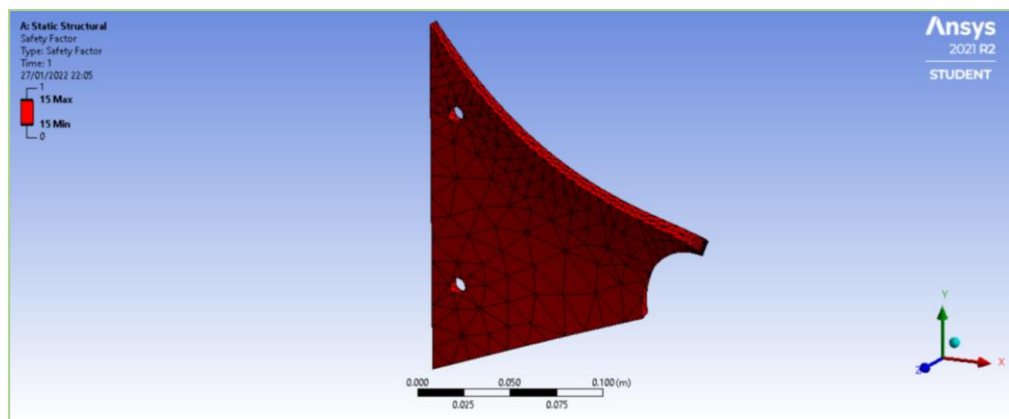


Figura 3.28 FEA Factor de seguridad del elemento [Elaboración propia].

El factor de seguridad mínimo para esta pieza fija, a pesar de las fuerzas aplicadas y por consiguiente los esfuerzos sobre esta es de 15, logrando tener un correcto funcionamiento de esta, el color rojo de toda la pieza es representado porque tiene valores de mínimo y máximo iguales.

3.11.3 Simulación de la Estructura en la Sección Crítica

La estructura fue diseñada de tal forma que las poleas sean ajustadas con las distancias recomendadas entre centros para garantizar una eficiencia adecuada del sistema, y además garantizar el flujo correcto del material triturado de la caja de trituración. El componente utilizado para su ensamble son tubos cuadrados de 50x50 con 2 mm de espesor cada uno y el material corresponde al acero comercial A36.

Para realizar la simulación de análisis estático fue necesario sumar los pesos que componen la máquina trituradora los cuales son, las cuchillas fijas, separadores, tolva, agarres, eje, rodamientos, pies de rodamientos, cuchillas móviles, y se asumió que esta tendrá la cantidad máxima de botellas sobre los perfiles que soportan la máquina trituradora.

Para el caso de los rodamientos estos fueron colocados en los perfiles por lo que las fuerzas soportadas tuvieron que ser analizadas. La fuerza fue colocada en la sección donde se ubicará el rodamiento con la fuerza más crítica. La estructura soporto un esfuerzo máximo de Von Mises de 78 MPa y el mínimo es de 0.28 MPa tal como se observa en la figura 3.29.

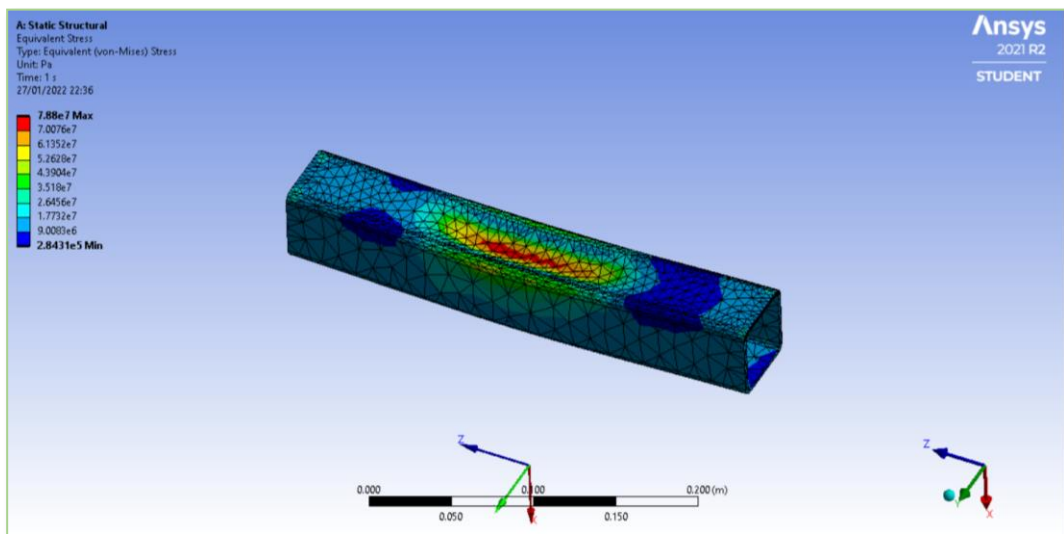


Figura 3.29 Esfuerzos Von Mises sobre la viga con carga crítica [Elaboración propia].

En la figura 3.30 se muestra el análisis de deformación de la estructura el cual es importante para realizar correctamente el acople de los elementos con la finalidad de que estos sean paralelos y concéntricos. Se debe realizar la estructura de tal forma que no existan grandes deflexiones en el soporte ya que si no hay una correcta nivelación se pueden ocasionar vibraciones altas. Se puede observar que la deformación en el caso más crítico es mínima correspondiente a un valor de 7.24×10^{-5} m por lo cual la superficie de trabajo es estable y no se encuentra propensa a vibraciones por deformaciones altas.

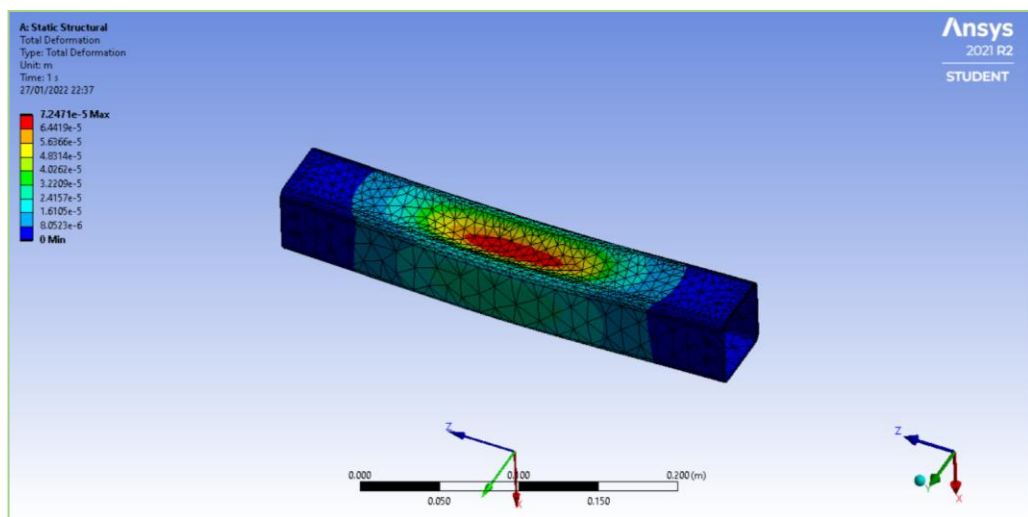


Figura 3.30 Deformación de la viga con carga crítica [Elaboración propia].

3.11.4 Simulación de la Estructura Soporte Caja Trituración

El peso de toda la máquina trituradora 1555.26 N y este se distribuye en los dos soportes por lo tanto habrá 777.63 N en cada uno y la longitud es de 412.

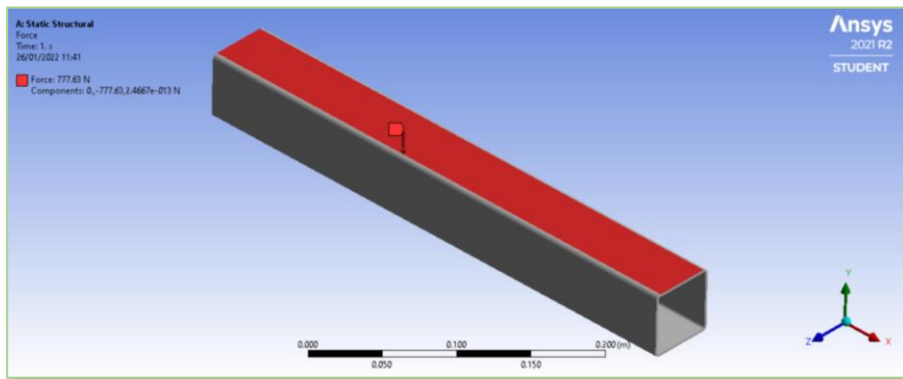


Figura 3.31 Modelo del perfil para sostener caja de trituración [Elaboración propia].

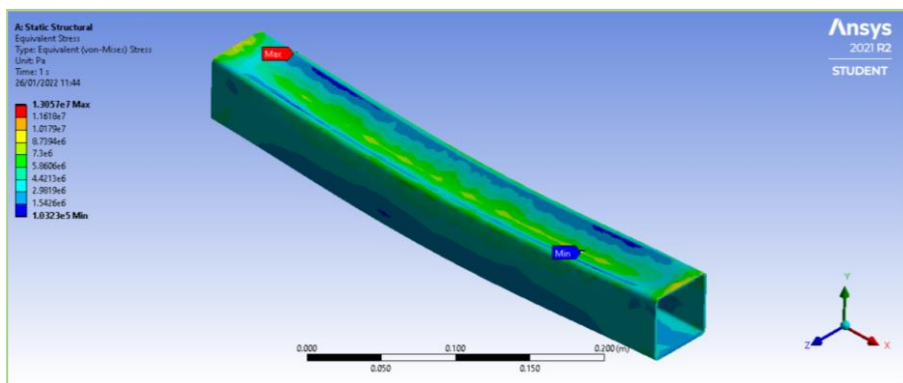


Figura 3.32 Esfuerzo de Von Mises del perfil para sostener caja de trituración [Elaboración propia].

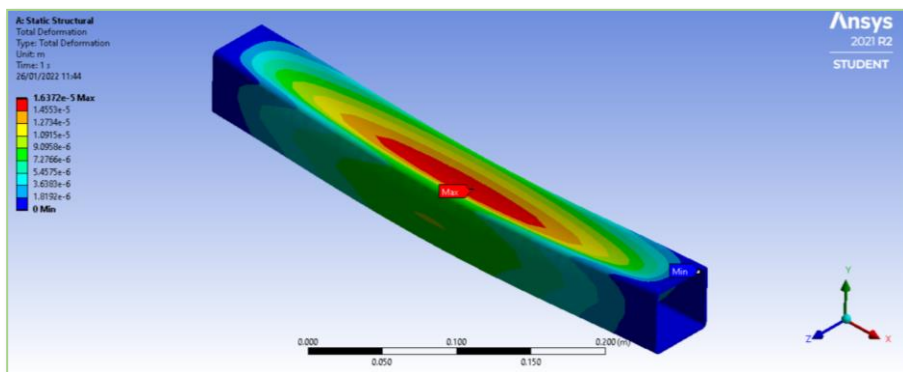


Figura 3.33 Deformación del perfil para sostener caja de trituración [Elaboración propia].

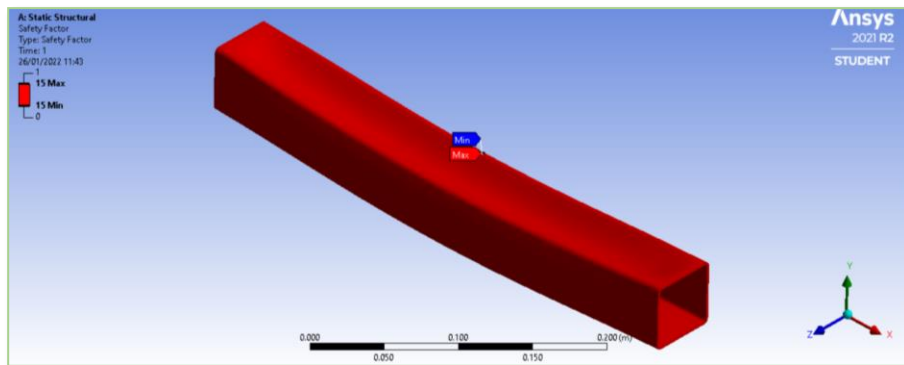


Figura 3.34 Factor de seguridad del perfil para sostener caja de trituración [Elaboración propia].

3.12 Análisis de Costos

En esta sección se presentan los materiales para la fabricación de la máquina trituradora y los costos de estos materiales, cabe recalcar que estos se encuentran disponibles en el mercado, asimismo se tomó en cuenta los valores de mano de obra de un taller en la ciudad de Guayaquil, los materiales usados son los siguientes:

Caja de trituración:

- Eje de 4340 de $D= 50 \text{ mm}$ x $L=623$
- Plancha AISI D2 de espesor 8 mm
- Bridas para separadores en Acero A36 $D= 91 \text{ mm}$ y espesor 8 mm
- Plancha de Acero A36 de 8 mm x 160 mm x 192 mm para Cuchillas Fijas
- Plancha de Acero A36 de 8 mm x 50 mm x 192 mm para Separador Cuchillas Fijas
- Plancha de Acero A36 de 2 mm x 150 mm x 406 para paredes frontales de la tolva
- Ángulos de Acero A36 de 40 mm x 2 mm
- Rodamientos SKF 6010
- Pernos ANSI/ASME B18.2.1 - 5/8 - 11, HBI GALVANIZADOS
- Barra roscada galvanizada

Sistema de Transmisión:

- Eje de Acero 4340 de $D= 35 \text{ mm}$ x $L=280$
- Correas 3V $L=2854 \text{ mm}$

- Polea de 2 Canales en V D= 350 mm
- Polea de 2 Canales en V D=485 mm
- Polea de 2 Canales en V D=105 mm
- Rodamiento SKF P 35 FM
- Motor Siemens de 3 HP y 1200 rpm
- Barra cuadrada de 10 mm x 8 mm x 500 mm

Estructura

- Tubo cuadrado de 50 x 50 x 2mm
- Soldadura

Circuito Eléctrico

- Condensador
- Contactores
- Disyuntores
- Relés Térmicos
- Pulsador Iluminado Rojo
- Pulsador Momentáneo
- Luz Piloto Amarillo
- Luz Piloto Autonics

Los costos de estos se representan en la siguiente tabla de precios:

Tabla 3.12 Costos de los Materiales de la Trituradora [Elaboración propia].

CTD	DESCRIPCION	V. UNITARIO	V. TOTAL
23	MATERIAL PARA CHUCHILLAS DF2 DE 8 MM	\$ 60.90	\$ 1,400.70
1	EJE DE 4340 DE DMT 50 MM X 623 MM	\$ 51.00	\$ 51.00
1	BARRA CUADRADA DE 1045 DE 10 MM X 500 MM	\$ 15.00	\$ 15.00
24	BRIDAS PARA SEPARADORES EN A36 DMT 91 X 8 MM	\$ 2.10	\$ 50.40
2	PL. A36 DE 5 MM X 310 MM X 350 MM (FRONTAL Y TRASERA)	\$ 15.80	\$ 31.60
2	PL. A36 DE 5 MM X 350 MM X 412 MM (LATERALES)	\$ 21.40	\$ 42.80
24	PL. A36 DE 8 MM X 160 X 192 MM (CUCHILLAS FIJAS)	\$ 7.80	\$ 187.20
23	PL. A36 DE 8 MM X 50 MM X 192 MM (SEPARADOR DE CUCHILLAS FIJAS)	\$ 4.90	\$ 112.70
2	PL. A36 DE 2 MM X 150 MM X 485 MM (PAREDES FRONTAL TOLVA)	\$ 4.90	\$ 9.80
2	PL. A36 DE 2 MM X 150 MM X 406 MM (PAREDES FRONTAL TOLVA)	\$ 3.10	\$ 6.20
1	ANGULO DE A36 DE 40 MM X 2 MM	\$ 21.00	\$ 21.00
4	PL. A36 DE 2 MM X 390 MM X 800 MM	\$ 22.60	\$ 90.40
2	SKF 6010	\$ 25.00	\$ 50.00

18	ANSI/ASME B18.2.1 - 5/8 - 11,HBI GALVANIZADOS	\$ 0.90	\$ 16.20
12	ANSI B18.2.1 - 5/8 - 11,HCSI GALVANIZADOS	\$ 0.90	\$ 10.80
1	BARRA ROSCADA GALVANIZADA DE 3/8 X 1000 MM	\$ 5.00	\$ 5.00
1	PLATINA DE 30 MM X 2 MM	\$ 10.90	\$ 10.90
2	SKF_P 35 FM	\$ 25.00	\$ 50.00
1	EJE DE 4340 DE DMT 35 MM X 280 MM	\$ 23.00	\$ 23.00
3	TUBO CUADRADO DE 50 X 50 X 2 MM	\$ 36.00	\$ 108.00
4	CORREAS 3V X 2854 MM	\$ 43.00	\$ 172.00
2	POLEA DE 2 CANALES PARA BANDA 3V DE DMT 485 MM	\$ 100.00	\$ 200.00
2	POLEA DE 2 CANALES PARA BANDA 3V DE DMT 105 MM	\$ 70.00	\$ 140.00
1	5 KILOS DE SOLDADURA	\$ 21.00	\$ 21.00
1	PINTURA ANTICORROSIVA	\$ 22.00	\$ 22.00
1	THINNER O DILUYENTE	\$ 12.00	\$ 12.00
1	MOTOR TRIFÁSICO DE 3 HP Y 1200 RPM SIEMENS	\$ 421.00	\$ 421.00

Tabla 3.13 Costos del Circuito Eléctrico [Elaboración propia].

Descripción	Ctd	Valor
Condensador Trifásico 5 Kvar 220V	1	\$ 48
Contactador arranque de motor eléctrico	1	\$90
Disyuntor Trifásico 20 A tipo c	1	\$30
Relé Térmico Ls ls Mt32 12 A	1	\$28
Pulsador Iluminador rojo 220 VAC	1	\$14
Pulsador Momentáneo 3A/250V	1	\$15
Luz Piloto metálico amarillo220 VAC	1	\$16
Luz piloto led autonics 12-24 vdc- 220 VAC	1	\$8

Los ítems para la mano de obra fueron los siguientes:

- Corte por hilo
- Corte por plasma
- Torneado
- Soldadura
- Desbastado

Los costos y descripción de los ítems de mano de obra se presentan a continuación:

Tabla 3.14 Costos de mano de obra para la Trituradora [Elaboración propia].

Ctd	DESCRIPCION	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	Torneado de eje_618 mm en acero AISI 4340 con sus respectivos chaveteros según plano 1.	\$90.00	\$90.00
1	Desbastar cara de chaveta de 10 mm a 8 mm x 35 mm de largo según plano.	\$10.00	\$10.00
1	Desbastar cara de chaveta de 10 mm a 8 mm x 376 mm de largo según plano.	\$45.00	\$45.00
23	Corte de cuchillas en maquina plasma en acero D2 con su respectivo chavetero y perforación según los planos	\$90.00	\$2,070.00
24	Torneado de separadores_35 mm en A36 de diámetro 91 mm x 8 mm espesor con chavetero de 10 mm según requerimientos del plano.	\$24.00	\$576.00
1	Hacer hueco en centro de placa de pared frontal de dmt 50 mm y 2 perforaciones de 3/8" según plano (esp. Pl 5 mm)	\$10.00	\$10.00
10	Hacer huecos en placa de pared lateral de 3/8" según plano (esp. Pl. 5 mm)	\$2.00	\$20.00
22	Hacer huecos de 5/8" en placa agarre de caja trituradora según plano (2 agarre de caja trituradora)	\$3.50	\$77.00
1	Hacer hueco en centro de placa de pared trasera de dmt 50 mm y 2 perforaciones de 3/8" según plano. (esp. Pl. 5 mm)	\$15.00	\$15.00
24	corte de cuchillas fija en maquina plasma en A36 con sus respectivas perforaciones según plano en espesor de 8 mm.	\$45.00	\$1,080.00
23	Corte de separador de cuchilla en maquina plasma en A36 de espesor 8 mm con 2 perforaciones 3/8"	\$38.00	\$874.00
1	Acoplar tolva final con respectivas paredes frontales, laterales y el acople de caja-tolva con huecos según planos.	\$60.00	\$60.00
1	Acoplar tubo de material en A36 con respectivas perforaciones y medidas según plano.	\$87.00	\$87.00
1	Fabricación y soldada de estructura de trituradora según medidas de planos	\$390.00	\$390.00
1	Torneado de eje en acero AISI 4340 de dmt 35 mm x 280 mm largo con chaveteros de 10 mm según planos.	\$60.00	\$60.00
1	Desbastar cara de chaveta de 10 mm a 8 mm x 35 mm de largo según plano.	\$10.00	\$10.00
1	Desbastar cara de chaveta de 10 mm a 8 mm x 51 mm de largo según plano.	\$10.00	\$10.00
2	Fabricar chavetero de 10 mm y perforación en polea ranurada de dmt 485 mm (2 poleas)	\$60.00	\$120.00
2	Fabricar chavetero 10 mm y perforación en polea ranurada de dmt 105 mm (2 poleas)	\$45.00	\$90.00

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Las entrevistas realizadas a los comuneros durante la visita a la comuna fueron de gran ayuda para determinar un flujo aproximado de botellas PET a triturar, en la actualidad se recolectan aproximadamente 1200 sacos de plástico al mes, este dato relevante nos ayudó a determinar los elementos a usarse en la máquina y a dimensionar la misma, ya que teniendo en la comuna una máquina trituradora, la cantidad de sacos recolectados mensuales se triplicaría debido a que se recolectaría tres veces por semana los plásticos, cabe recalcar que en la actualidad se recolecta 2 veces al mes.
- La herramienta de la Casa de Calidad nos ayudó a proporcionar los requerimientos técnicos de los clientes, en nuestro caso los comuneros del sector Punta La Piedra, estos requerimientos técnicos fueron tomados en cuenta como base para el diseño de la máquina.
- La máquina consta de tres secciones importantes, la estructura que sostiene todo, la caja de trituración que contiene el eje de trituración, las cuchillas fijas y móviles y los recubrimientos de estas y la sección de la transmisión de potencia que contiene el motor, bandas y poleas.
- La máquina se diseñó con un motor de 3 HP y para transmitir la potencia se usó un tren de bandas y poleas que permiten generar el torque suficiente al eje de trituración para el corte del plástico por medio de las cuchillas, esta máquina tiene un flujo de triturado aproximado a 40 Kg/h de PET.
- Para el diseño de la maquina se realizó un análisis inicial de cuanta fuerza se requiere para cortar el PET, bajo esta fuerza que fue 640 Newtons se desarrolló el proceso para calcular el resto de las partes y elementos mecánicos para su respectivo diseño y selección.
- La sección de la caja de trituración se desarrolló seleccionando la geometría más óptima de la cuchilla móvil para el corte, se tomó en cuenta para la geometría de la cuchilla el diámetro de la botella más grande que se recicla, para que la cuchilla

abrace la botella y el largo de esta con el objetivo de dimensionar la longitud de la caja de trituración, para las cuchillas móviles de acero AISI D2 seleccionadas se tienen como dimensiones importantes el espesor de 8 milímetros y el diámetro de 265 milímetros y estas se encuentran distanciadas por separadores de acero A36 del mismo espesor 8 milímetros.

- Para la sección de la transmisión de potencia se seleccionó un sistema de bandas y poleas debido a su bajo costo, en este sistema se redujo de 1200 rpm a 78 rpm usando cuatro poleas, cada una con dos canales y de tipo V, la relación de reducción real entre cada polea conductora y cada polea conducida fue de 4.62 y 3.33 en donde se usó dos veces esa reducción. Las bandas seleccionadas para este sistema de transmisión de potencia fueron de tipo 3V del catálogo INTERMEC.
- Para la sección de la estructura se dimensionó las distancias importantes entre cada uno de los elementos de la máquina, las ubicaciones establecen las dimensiones de la estructura fueron la longitud de las bandas de las poleas, el diámetro de las poleas y el largo de la botella más grande a triturar y así mismo el diámetro de las botellas a triturar debido a que al cambiar una de estas las distancias cambiaban de manera que la estructura debía ser modificada.
- Los cálculos teóricos o analíticos fueron corroborados bajo simulaciones en el software ANSYS, donde se simularon elementos mecánicos o partes de la máquina para la verificación del correcto funcionamiento de estos, se pudo corroborar características o propiedades como la deformación, el esfuerzo que soportan estos elementos teniendo como resultado valores de factores de seguridad que garantizaban el correcto funcionamiento de estos.
- Los costos de mano de obra se encuentran explotados, estos son el corte por hilo de las cuchillas móviles, el corte por plasma de las cuchillas inmóviles y sus separadores y además el torneado del separador de las cuchillas móviles, llegando a sumar entre estos cuatro ítems un costo total de 4600 dólares para la máquina
- Las cuchillas por tener una geometría compleja y una resistencia alta debido a la propiedad del material hacen que las opciones de obtenerlas sean reducidas, por ende, el costo de mano de obra para fabricar cada cuchilla es de 90 dólares, ya

que se cortarán con hilo y el costo total de las 23 cuchillas del sistema de corte móvil es de 2070 dólares.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda revisar la lubricación de los rodamientos, esto lo puede realizar cualquier persona con noción básica en de mecánica, la lubricación de los rodamientos del eje de trituración y el eje de poleas intermedias es esencial para una larga vida útil de la trituradora.
- Desarrollar un cheklist de inicio al momento de usar la máquina y un checklist al momento de dejarla de usar, esto con el afán de salvaguardar la seguridad del operador u operadores.
- Mejorar u optimizar el proceso de recepción y separación de los distintos tipos de partes de los plásticos, tapas, etiquetas y botellas para realizar una trituración uniforme o con un solo tipo de material
- Diseñar en un futuro un sistema para atrapar el polvillo generado al momento de triturar los plásticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J., Gaston , A., & Luis Angel. (2018). *Desechos*. Obtenido de ¿Cuál es la problemática con el PET?: <https://desechos.neocities.org/P1.html>
- Awaja, F., & Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005>
- Baeyens, J., Vandecasteele, C., & Diablo, R. (2011). Polymeric Cracking of Waste Polyethylene Terephthalate to Chemicals and Energy. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 8. doi:<https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.7.721>
- Budynas , R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: Mc Graw-Hill.
- Budynas, R., Nisbett, J., & Otros. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8 ed.). España: McGraw-Hill.
- ComunicarSe. (10 de 2018). *ComunicarSe*. Obtenido de Presentan plataforma global contra la contaminación por plásticos: <https://www.comunicarseweb.com/noticia/presentan-plataforma-global-contra-la-contaminacion-por-plasticos>
- Danso, D., Chow, J., & Streit, W. (2019). Plastics: Environmental and Biotechnological Perspectives on Microbial Degradation. *American Society for Microbiology*. doi:<https://doi.org/10.1128/AEM.01095-19>
- El Universo. (12 de Febrero de 2019). *Iniciativas para frenar la contaminación del mar con residuos plásticos en Ecuador*. Obtenido de La Revista: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/02/12/nota/7186112/iniciativas-disminuir-contaminacion-mares-rios-ecuador/>
- Espinosa, W., & Tatamues, R. (2016). *Diseño y simulación de una máquina trituradora de llantas de una tonelada por hora de capacidad para la empresa OPTRA-SEMBRES*. Quito: EPN. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16318>

Hakkens, D. (18 de 10 de 2017). *Calculations Required for Shredder*. Obtenido de Precious Plastic: <https://davehakkens.nl/community/forums/topic/calculations-required-for-shredder/>

Hakkens, D. (18 de 10 de 2017). *Calculations Required for Shredder*. Obtenido de Dave Hakkens: <https://davehakkens.nl/community/forums/topic/calculations-required-for-shredder/>

Hernández, J., & Fonseca, D. (2017). *Diseño de una Trituradora de Residuos Sólidos tipo PET para la Fundación Alianza Forestal de Colombia E.S.P.* Escuela de Ingeniería Electromecánica. Obtenido de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2640/1/TGT_1254.pdf

INEC. (2019). *Gestión de Agua Potable y Saneamiento*. INEC.

Intermec. (2013). Poleas en "V". *Productos Mecánicos para Transmisión de Potencia*. Bogotá, Colombia. Obtenido de www.intermec.com.co

INTERMEC S.A. (2013). *PRODUCTOS MECÁNICOS PARA TRANSMISIÓN DE POTENCIA*.

Juarez, M., Santiago, M., & Vera, J. (2010). FEASIBILITY STUDY FOR THE MANUFACTURING OF GRIPS OF RECYCLED PET. *e-Gnosis*, 2.

MAE. (2013). *Industrias con presunción de contaminación al Estero Salado deben revisar el destino de sus descargas*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <https://www.ambiente.gob.ec/industrias-con-presuncion-de-contaminacion-al-estero-salado-deben-revisar-el-destino-de-sus-descargas/>

MATWEB. (s.f.). *Acero para Herramientas de trabajo en frios AISI D2 de Bohler-Uddeholm*. Obtenido de http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=bcbf506c860444a08a1ff23635b6815f

Medina, J., Saldaña, C., Hernandez, V., & Becerra, S. (2011). *Diseño de una trituradora para plástico Polietileno de Tereftalato*.

Nasr, M., & Yehia, K. (2019). Stress Analysis of a Shredder Blade for Cutting Waste Plastics. *Journal of International Society for Science and Engineering*, 10.

- Nasr, M., & Yehia, K. (2019). Stress Analysis of a Shredder Blade for Cutting Waste Plastics. *Journal of International Society for Science and Engineering*, 1(1), 09-12. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/338284770_Stress_Analysis_of_a_Shredder_Blade_for_Cutting_Waste_Plastics
- Obanoyen, N., & Adepo, S. (2017). Design And Construction Of A Plastic Shredding Machine. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*.
- Oberndorfer, J. C. (10 de 2015). *Tecnología del Plástico*. Obtenido de EL RECICLAJE DE PLÁSTICOS: LA SOLUCIÓN MÁS AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE: <https://www.plastico.com/temas/El-reciclaje-de-plasticos,-la-solucion-mas-amigable-con-el-medio-ambiente+108182>
- Okunola, O., Oyebade, D., & Olanrewaju, O. (2019). DEVELOPMENT OF SHREDDING AND WASHING MACHINE FOR POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) BOTTLES PELLETIZER. *INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING SCIENCE AND APPLICATION*. Obtenido de <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/747529>
- Okunola, O., Oyebade, D., & Olanrewaju, O. (2019). Development of Shredding and Washing Machine for Polyethylene Terephthalate(PET) Bottles Pelletizer. *International Journal of Engineering Science and Application*, 3(2). Obtenido de <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/747529>
- ONU. (2018). *El Estado de los Plásticos: Perspectiva del Día Mundial del Medio Ambiente 2018*. ONU.
- OPAC Components. (1 de septiembre de 2015). DIN 6885 A. *Chavetas*. Obtenido de <https://www.opac.net/pdf/DIN%206885%20A.pdf>
- Paredes, A. (04 de 2017). *Mecanotecnia*. Obtenido de DISEÑO MECÁNICO DE TOLVAS INDUSTRIALES (TERCERA PARTE): <http://mecanotecnia.blogspot.com/2017/04/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html?m=1>
- Peloso, C., O'Connor, M., Bigger, S., & Scheirs, J. (1998). Characterising the degradation of the polymer slip additive erucamide in the presence of inorganic antiblock agents. *Elsevier*. doi:[https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(98\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(98)00009-3)

- QUIMINET. (22 de Noviembre de 2005). *Historia del PET*. Obtenido de QUIMINET: <https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm>
- Ravi, S. (2018). Utilization of Upgraded Shredder Blade and Recycling the Waste Plastic and Rubber Tyre. *IEOM Society International*, 3208-3214.
- Ravindran, A., & Otros. (2019). Open Source Waste Plastic Granulator. *MDPI*. doi:<https://doi.org/10.3390/technologies7040074>
- Ruggeri, P. (28 de Enero de 2013). *¿QUÉ ES EL PET Y COMO SE RECICLA?* Obtenido de Espacio Sustentable: <https://espaciosustentable.com/que-es-el-pet-y-como-se-recicla/>
- Samavedi, S., Poindexter , L., Van Dyke, M., & Goldstein, A. (2014). Synthetic Biomaterials for Regenerative Medicine Applications. *Elsevier*, 86.
- Skyciv. (2021). Structural Analysis and Design Software. *Cloud Engineering Software*. Obtenido de <https://skyciv.com/>
- Sturzenegger, G. (18 de Mayo de 2020). *Reciclaje en tiempos de pandemia*. Obtenido de Volvamos a la Fuente: <https://blogs.iadb.org/agua/es/reciclaje-en-tiempos-de-pandemia/>
- Tecnologic.com. (s.f.). *Tecnologic.com*. Obtenido de Reciclaje del PET: <https://www.ecoologic.com/reciclaje-de-pet>
- TerraSource. (31 de Mayo de 2017). *RECOMMENDED HOPPER DESIGN*. Obtenido de TerraSourceGlobal: https://terrasource.com/wp-content/uploads/2017/05/recommended_hopper_design.pdf
- TerraSource Global. (s.f.). *TerraSource Global*. Obtenido de RECOMMENDED HOPPER DESIGN: https://terrasource.com/wp-content/uploads/2017/05/recommended_hopper_design.pdf
- Vásconez, A. (2013). *Diseño y Simulación de Una Máquina Trituradora de Plásticos de 15 Kg/H Para el Laboratorio de Conformado de la Facultad de Ingeniería Mecánica*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5901/1/CD-4717.pdf>

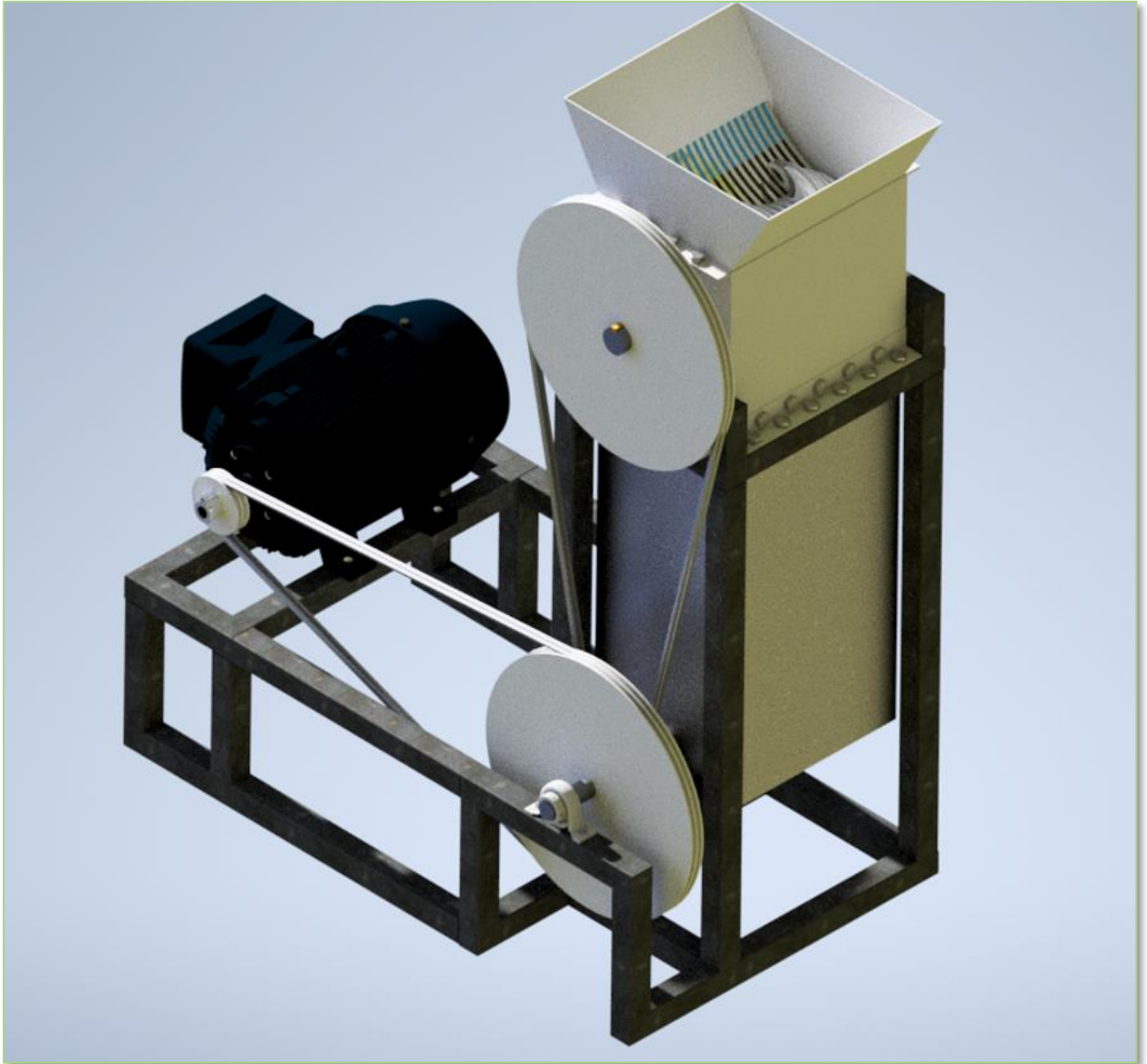
Yacuzzi, E., & Martín , F. (s.f.). *QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS
DESARROLLOS.* Obtenido de

<https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/234.pdf>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Diseño Final de la Máquina Trituradora



APÉNDICE B

Cálculos del eje de trituración

Para diseñar el eje de trituración primero se deben conocer las fuerzas que actúan sobre este, se obtuvo las fuerzas debido al peso de las cuchillas, los separadores y el eje; y la fuerza que ejerce la polea sobre el eje.

Para calcular las fuerzas de la sección de trituración primero se debe calcular el peso de las cuchillas y los separadores.

El volumen de una cuchilla es de 0.0002 m³ y la densidad del material de la cuchilla es de 7700 kg/m³ (AISI D2) y al separador le corresponde el acero A36 con densidad de 7850 y un volumen de 0.00004 m³

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m_{cuchilla} = \rho * V = 7700 * 0.00020 = 1.547 \text{ Kg}$$

$$F_{total-cuchillas} = No. \text{cuchillas} * m_{cuchilla} * 9.8 = 23 * 1.547 * 9.8 = 348.77 \text{ N}$$

$$m_{separador} = \rho * V = 7800 * 0.00004407 = 0.346 \text{ Kg}$$

$$F_{total-separadores} = No. \text{separadores} * m_{separadores} * 9.8 = 24 * 0.346 * 9.8 = 81.37 \text{ N}$$

$$F_{TOTAL-SIST} = F_{total-separadores} + F_{total-cuchillas} = 348.77 + 81.37 = 430.15 \text{ N}$$

El peso del sistema se encuentra a continuación:

$$P_{sist} = (F_{TOTAL-SIST}) + (P_{botell-tolva})$$

$$P_{sist} = 759.43 \text{ N}$$

Considerando que esta actuara como una carga distribuida a lo largo de la sección de trituración su valor corresponde a 2080.645 N/m.

El peso de la polea sobre el eje de trituración es de 69.8N

Para determinar la fuerza total de la polea se debe determinar la flexión ejercida por esta.

La fuerza tangencial de una polea está dada como:

$$F_t = T / \left(\frac{D}{2}\right)$$

Conociendo que el par torsor medio en esa sección corresponde a:

$$T = \frac{HP}{RPM} * 63025$$

$$T = \frac{3 \text{ hp}}{78} * 63025 = 2426.21 \text{ Lbf.in} = 274.235 \text{ Nm}$$

$$F_t = 274.235 / \left(\frac{0.35}{2}\right)$$

$$F_t = 1567.06 \text{ N}$$

La fuerza de flexión en poleas trapezoidales está dada como:

$$F_f = 1.5 * F_t$$

$$F_f = 1.5 * 1567.06 \text{ N}$$

$$F_f = 2350.5919 \text{ N}$$

Por lo tanto la fuerza total de la polea es:

$$F_p = F_f + W_{polea}$$

$$F_p = 2420.39 \text{ N}$$

Considerando que para los ejes se usó el material AISI 4340 se procede a realizar su análisis.

Se obtiene el DCL del eje de la siguiente manera

Free Body Diagram (FBD)

Show Equivalent Loads

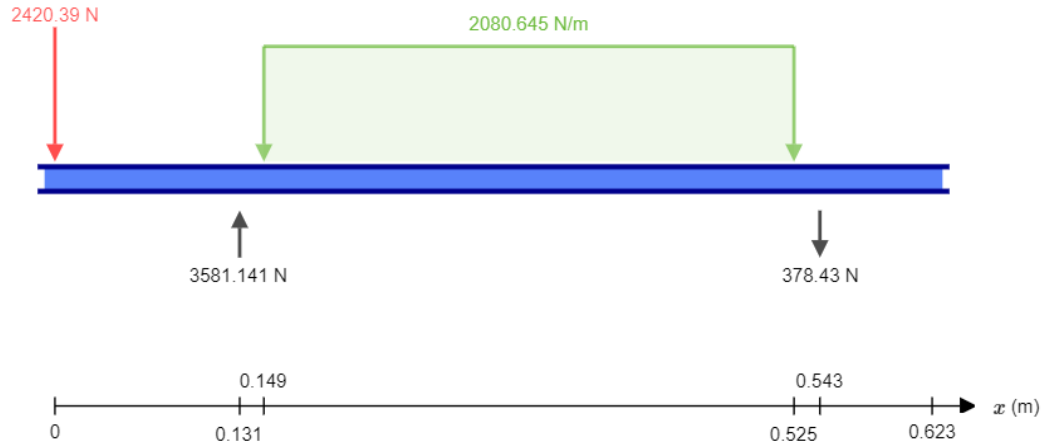


Figura . DCL del eje en el plano xy (Skyciv, 2021)

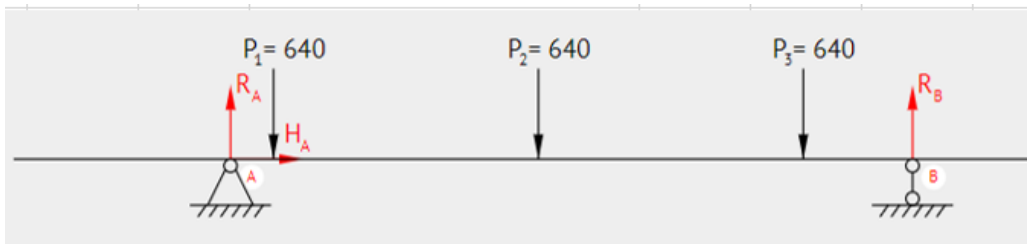


Figura. DCL del eje en el plano xz (Skyciv, 2021)

Se calculó el valor del límite de resistencia a la fatiga bajo la siguiente formula:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e$$

Para calcular K_a se tiene:

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

Tabla 6. Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
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

$$K_a = 2.7 * (170 \text{ kpsi})^{-0.265} = 0.692$$

Para calcular K_b se tiene:

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

$$K_b = 0.879 * d^{-0.107}$$

$$K_b = 0.879 * 1.57^{-0.107} = 0.837$$

Para calcular K_c se tiene:

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

$$K_c = 1; \text{ eje sometido a flexión}$$

Para calcular K_d se tiene:

$$K_d = \frac{S_T}{S_{TR}}$$

Tabla 6.4 Efecto de la Temperatura en la Resistencia a la Tensión del Acero

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		

Se escogen los datos a 20 grados Celsius, por ende:

$$K_d = 1$$

Para calcular K_e se tiene:

Tabla 6.5 Factores de confiabilidad

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

Usando una confiabilidad de 99.9, se tiene:

$$K_e = 0.753$$

Para calcular S'_e se tiene:

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} = 0.5 * 170 \text{ Kpsi} = 85 \text{ Kpsi}$$

A continuación, se puede calcular el valor de resistencia a la fatiga:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e$$

$$S_e = 0.692 * 0.849 * 1 * 1 * 0.753 * 85 = 37.10 \text{ Kpsi}$$

A continuación, aplicamos el método de Goodman para el diseño de ejes y tenemos la siguiente fórmula:

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

Para diseñar el eje, se obtuvo un diámetro de 40 mm para garantizar un factor $n = 2$ con el cual podemos asegurar el correcto funcionamiento sin sufrir fracturas. La longitud del eje es de 623 mm y se seleccionó un eje con diámetro de 50 mm.

Análisis por energía de distorsión de la sección de trituración

Se calcula el esfuerzo máximo en x

$$M_a = 317.07 \text{ Nm} = 2806.18 \text{ Lbf. in}$$

$$\sigma_x = \frac{4 * M_a}{\pi * \left(\frac{D}{2}\right)^3}$$

$$\sigma_x = \frac{4 * 2806.18 \text{ Lbf. in}}{\pi * \left(\frac{1.574 \text{ in}}{2}\right)^3}$$

$$\sigma_x = 7318.81 \text{ PSI}$$

Se calcula el esfuerzo cortante máximo

$$T_{max} = 274.235 \text{ Nm} = 2426.21 \text{ Lbf. in}$$

$$\tau_{max} = \frac{2 * 2426.21 \text{ Lbf. in}}{\pi * \left(\frac{1.578 \text{ in}}{2}\right)^3}$$

$$\tau_{max} = 3163.90 \text{ PSI}$$

Se obtiene el esfuerzo de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{7318.81^2 + (3 * 3163.90^2)}$$

$$\sigma' = 9143.08 \text{ PSI}$$

Para finalizar se determina el factor de seguridad estático:

S_y del aisi 4340

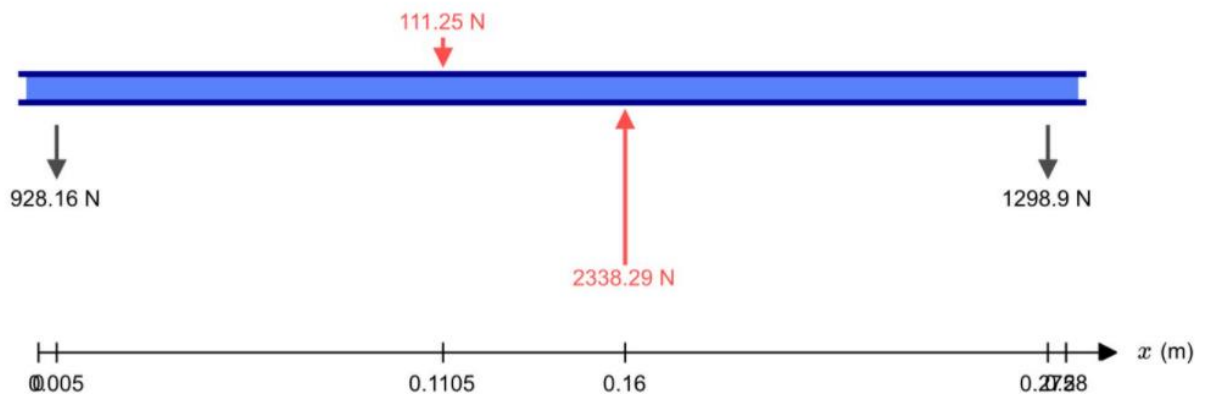
$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$N = \frac{156 \text{ KPSI}}{9143.08 \text{ PSI}}$$

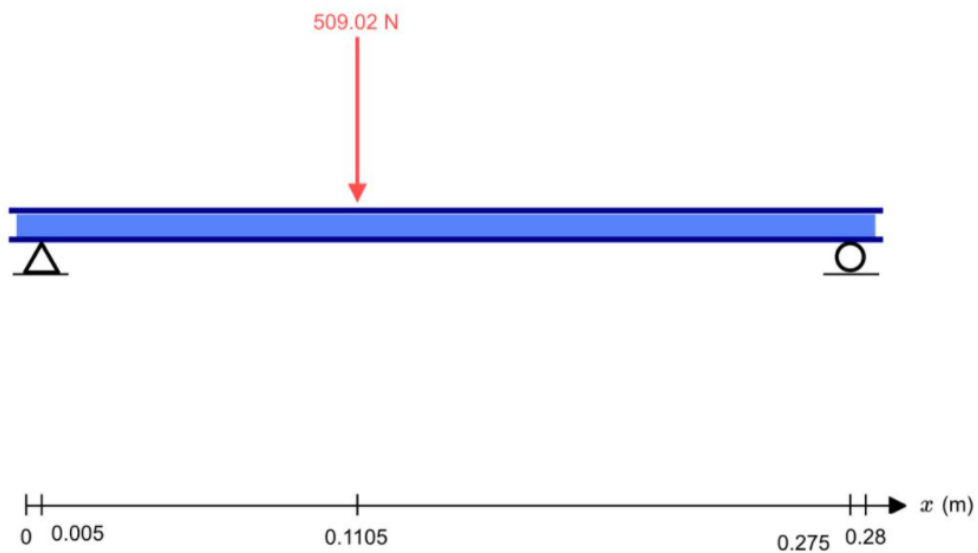
Se obtuvo por lo tanto $N=17$ asegurando que no fallara estáticamente.

Cálculos del Eje del Tren de Poleas

Determinando que la fuerza de flexión de la polea menor está actuando en el plano xy con un valor de 2338.29 N y la polea mayor en el plano xz con un valor de 509.03 N se realiza el análisis.



DCL plano xy



DCL plano xz

Se seleccionó un eje de 35 mm del material 4340 obteniendo como factor de seguridad $n=3$.

Cálculos de la Selección de Bandas y Poleas

Para seleccionar las poleas del sistema de transmisión se usó el catálogo de INTERMEC, en donde se obtuvo lo siguiente:

- Motor eléctrico de 3 HP
- 1200 rpm velocidad angular del motor
- 78 rpm velocidad angular requerida para el sistema
- Diámetro del eje del motor

Para obtener la potencia de diseño del sistema de transmisión se hace uso del factor de servicio dado por el catálogo del motor Siemens seleccionado

Tipo	Tamaño Constructivo	Potencia HP	kW	F.Servicio FS	Corriente (A)				
					220 V	380 V	440 V		
VELOCIDAD 1.200 rpm (6 polos)									
100350250	1LE0142-1CC26-4AA4-Z	132M	5.0	3.73	1.15	16.10	9.30	8.00	666,00

Figura. Tabla Factor seguridad

El factor de servicio del motor es de 1.15

$$P_{diseño} = P_{motor} * Fs = 3 \text{ HP} * 1.15 = 3.45 \text{ HP} \quad (3.10)$$

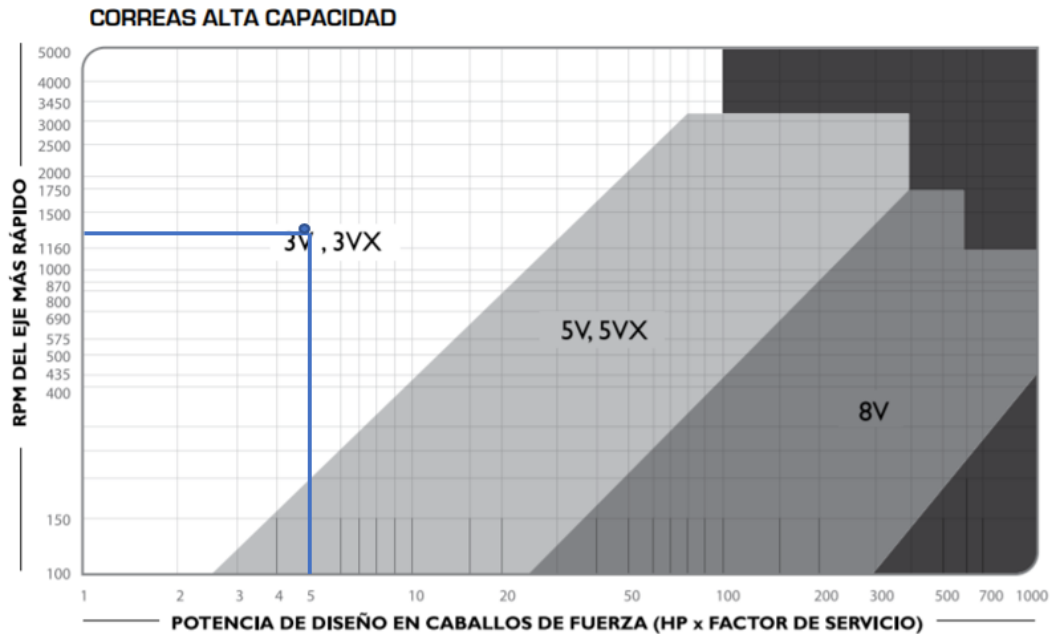
Diámetros mínimos en mm				
Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0.50	65	-	-	-
0.75	65	65	-	-
1.00	65	65	60	-
1.50	75	65	65	60
2.00	75	65	65	65
3.00	75	75	65	65
5.00	100	75	75	65
7.50	115	100	75	75
10.00	115	115	100	75
15.00	135	115	115	100
20.00	155	135	115	115
25.00	170	155	115	115
30.00	170	170	135	-
40.00	210	170	155	-
50.00	230	210	170	-
60.00	260	230	190	-
75.00	260	260	230	-
100.00	350	350	250	-
125.00	380	350	280	-
150.00	465	350	-	-
200.00	550	-	-	-
250.00	-	-	-	-
300.00	-	-	-	-

Figura 3.2. Diámetros mínimos de poleas recomendados para motores eléctricos (Intermec, 2013)

Según la figura de los diámetros mínimos de poleas recomendados para motores eléctricos, se escoge la opción de 3 HP, la cual nos da como diámetro mínimo 100 mm

A continuación, se selecciona el tipo de perfil de la correa a utilizarse:

Tabla para selección del tipo de correa.



Según la figura 3.4 la intersección entre la potencia de diseño y los rpm del motor indica que tipo de perfil se debe usar para el sistema, en este se obtiene un perfil de tipo 3V o 3VX, se seleccionó un perfil 3V entre las dos opciones para el sistema.

Tabla de capacidad de transmisión por canal

CORREAS TIPO 3V

TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)									
	55	60	65	67	70	75	80	85	90	105
100	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,27	0,33
200	0,16	0,20	0,24	0,27	0,31	0,35	0,39	0,43	0,50	0,61
300	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,50	0,55	0,62	0,72	0,88
400	0,28	0,35	0,42	0,49	0,55	0,64	0,71	0,80	0,93	1,14
500	0,34	0,42	0,50	0,59	0,67	0,78	0,86	0,97	1,13	1,38
575	0,37	0,47	0,56	0,66	0,75	0,88	0,97	1,10	1,28	1,57
600	0,38	0,49	0,58	0,68	0,78	0,91	1,00	1,14	1,33	1,63
690	0,43	0,54	0,65	0,76	0,88	1,02	1,13	1,28	1,50	1,84
700	0,43	0,55	0,66	0,77	0,89	1,04	1,15	1,30	1,52	1,86
725	0,44	0,56	0,68	0,80	0,91	1,07	1,18	1,34	1,57	1,92
800	0,47	0,60	0,73	0,86	0,99	1,16	1,30	1,45	1,70	2,10
870	0,50	0,64	0,78	0,92	1,06	1,24	1,38	1,56	1,83	2,25
900	0,52	0,66	0,80	0,95	1,10	1,28	1,42	1,60	1,90	2,32
950	0,54	0,69	0,84	0,99	1,14	1,34	1,50	1,68	1,98	2,43
1000	0,56	0,72	0,87	1,03	1,20	1,40	1,55	1,76	2,07	2,54
1100	0,59	0,77	0,94	1,10	1,28	1,50	1,68	1,90	2,24	2,76
1160	0,62	0,80	0,98	1,16	1,34	1,58	1,76	2,00	2,35	2,90
1200	0,63	0,82	1,00	1,20	1,38	1,62	1,80	2,05	2,40	2,98
1300	0,66	0,87	1,07	1,27	1,47	1,73	1,93	2,20	2,58	3,20
1400	0,70	0,91	1,13	1,35	1,56	1,84	2,05	2,33	2,75	3,40

Según la figura 3.5 se escoge un diámetro exterior de la polea de 105 mm con un buje QD de modelo SH, se obtuvieron los canales requeridos para la correa a usarse, donde estos se calculan sacando la intersección entre las Rpm del motor seleccionado y el

diámetro exterior de la polea en la figura 3.5, este valor sacado con la intersección debe dividir al valor de la potencia de diseño:

$$\# \text{ Canales} = \frac{P_{\text{diseño}}}{\text{Intersección}} = \frac{3.45}{2.98} = 1.15 = 2 \text{ canales}$$

Nomenclatura para poleas con Buje QD

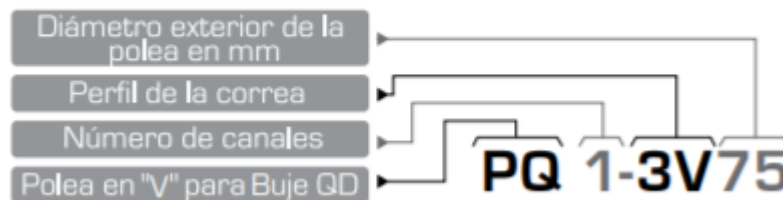


Figura. Nomenclatura para selección de poleas

Basado en la nomenclatura para poleas y haciendo uso de los datos ya obtenidos, el modelo de la polea motriz es el siguiente PQ-2-3V-105 y se presenta en la tabla a continuación:

Tabla de Modelos de Poleas de Dos Canales en V.

2 CANALES									
Ancho (F) = 27.8 mm									
Diámetro Exterior (D)		Referencia Polea	Ref. Buje	Hueco máximo con cuñero estándar (d)		Longitud del Buje en mm (L)	Diámetro del buje en mm (M)	Modelo	Peso sin Buje en Lb
pulg	mm			mm	pulg				
2,2	55	PQ 2-3V55	JA	25,4	1	27	50	T1	0,9
2,3	60	PQ 2-3V60	JA	25,4	1	27	50	T1	1,0
2,5	65	PQ 2-3V65	JA	25,4	1	27	50	T1	1,2
2,6	67	PQ 2-3V67	JA	25,4	1	27	50	T1	1,3
2,8	70	PQ 2-3V70	JA	25,4	1	27	50	T1	1,4
3,0	75	PQ 2-3V75	JA	25,4	1	27	50	T1	1,6
3,1	80	PQ 2-3V80	JA	25,4	1	27	50	T1	1,8
3,3	85	PQ 2-3V85	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,0
3,6	90	PQ 2-3V90	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,4
3,9	100	PQ 2-3V100	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,6
4,1	105	PQ 2-3V105	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,7
4,3	110	PQ 2-3V110	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,8
4,5	115	PQ 2-3V115	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,9
4,7	120	PQ 2-3V120	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	3,1
5,0	125	PQ 2-3V125	SH	34,9	1-3/8	33	70	T2	3,6

A continuación, la relación de reducción que se seleccionó entre la polea motriz y la polea conducida fue de 5, entonces el diámetro de la polea motriz debe multiplicarse por 4 y ese será el diámetro por buscarse para la nueva polea, en este caso 420 mm, se busca

la polea con el diámetro más cerca a este para seleccionarla y con esto obtenemos la relación de reducción real con la polea escogida.

Tabla de Modelos de Poleas de Dos Canales en V.

2 CANALES									
Ancho (F) = 27.8 mm									
Diámetro Exterior (D)		Referencia Polea	Ref. Buje	Huevo máximo con cuñero estándar (d)		Longitud del Buje en mm (L)	Diámetro del buje en mm (M)	Modelo	Peso sin Buje en Lb
pulg	mm			mm	pulg				
2,2	55	PQ 2-3V55	JA	25,4	1	27	50	T1	0,9
2,3	60	PQ 2-3V60	JA	25,4	1	27	50	T1	1,0
2,5	65	PQ 2-3V65	JA	25,4	1	27	50	T1	1,2
2,6	67	PQ 2-3V67	JA	25,4	1	27	50	T1	1,3
2,8	70	PQ 2-3V70	JA	25,4	1	27	50	T1	1,4
3,0	75	PQ 2-3V75	JA	25,4	1	27	50	T1	1,6
3,1	80	PQ 2-3V80	JA	25,4	1	27	50	T1	1,8
3,3	85	PQ 2-3V85	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,0
3,6	90	PQ 2-3V90	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,4
3,9	100	PQ 2-3V100	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,6
4,1	105	PQ 2-3V105	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,7
4,3	110	PQ 2-3V110	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,8
4,5	115	PQ 2-3V115	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,9
4,7	120	PQ 2-3V120	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	3,1
5,0	125	PQ 2-3V125	SH	34,9	1-3/8	33	70	T2	3,6
5,1	130	PQ 2-3V130	SH	34,9	1-3/8	33	70	T2	4,3
5,3	135	PQ 2-3V135	SH	34,9	1-3/8	33	70	T2	4,5
5,6	140	PQ 2-3V140	SH	34,9	1-3/8	33	70	T2	5,0
6,0	150	PQ 2-3V150	SH	34,9	1-3/8	33	70	T2	5,5
6,3	160	PQ 2-3V160	SH	34,9	1-3/8	33	70	T2	5,8
6,5	165	PQ 2-3V165	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T2	6,2
6,7	170	PQ 2-3V170	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T2	6,4
6,9	175	PQ 2-3V175	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T2	6,6
7,0	180	PQ 2-3V180	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T2	6,7
7,5	190	PQ 2-3V190	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T2	6,8
8,0	200	PQ 2-3V200	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T3	7,0
9,0	230	PQ 2-3V230	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	7,9
9,9	250	PQ 2-3V250	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	8,7
10,6	270	PQ 2-3V270	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	10,0
11,0	280	PQ 2-3V280	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	10,4
11,8	300	PQ 2-3V300	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	13,5
12,5	320	PQ 2-3V320	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	14,3
13,7	350	PQ 2-3V350	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	15,7
14,0	355	PQ 2-3V355	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	16,0
15,7	400	PQ 2-3V400	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	18,0
19,0	485	PQ 2-3V485	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	25,0
25,0	635	PQ 2-3V635	SF	57,1	2-1/4	52	120	T3	28,0

Se escogió la polea de 485 mm de diámetro exterior y de esta forma la relación de reducción del sistema motriz-conducido es:

$$relacion_{TREN 1} = \frac{d_{conducida}}{d_{motriz}} = \frac{485}{105} = 4.619$$

Las Rpm a las que se redujo con el primer tren de poleas es:

$$RPM_{TREN 1} = \frac{RPM_{Motor}}{relacion_{TREN 1}} = \frac{1200}{4.619} = 259.796 RPMs$$

La distancia entre centro recomendada para el primer tren de poleas se obtiene de la siguiente manera, donde D es el diámetro exterior de polea grande y d es el diámetro exterior de la polea pequeña:

$$C = 1.5 * (D + d) = 1.5 * (485 + 105) = 885 \text{ mm}$$

Para calcular la longitud de las correas en V, se hace uso de la siguiente formula, donde D es el diámetro exterior de la polea grande, d es el diámetro exterior de la polea pequeña y C es la distancia entre centros:

$$L_p = 2 * C + 1.57(D + d) + \frac{(D + d)^2}{4C}$$

$$L_p = 2 * 885 + 1.57(485 + 105) + \frac{(485 + 105)^2}{4 * 885} = 2794.6 \text{ mm}$$

Debido a que las RPM de requeridas por la máquina son 78, se procedió a seleccionar otro tren de poleas siguiendo el procedimiento anterior y se obtuvo lo siguiente:

El diámetro de la polea motriz seleccionado fue de 105 mm, con dos canales y el modelo de esta es: **PQ 2-3V105** con un buje QD modelo SH.

El diámetro de la polea conducida del segundo tren de poleas es de 350 mm, con dos canales y el modelo de esta es: **PQ 2-3V350** con un buje QD modelo SK.

Se tiene como factor de reducción real:

$$relacion_{TREN 2} = \frac{d_{conducida}}{d_{motriz}} = \frac{350}{105} = 3.33$$

Las Rpm obtenidas con el segundo tren de poleas para el accionamiento de las cuchillas son:

$$RPM_{TREN 2} = \frac{RPM_{Motor}}{relacion_{TREN 2}} = \frac{259.796}{3.33} = 78.01 \text{ RPMs}$$

Cálculos de la Selección de los Rodamientos

Rodamientos para eje de poleas intermedias

Se realizó el procedimiento para seleccionar los rodamientos que serán los que pertenecen al eje que sostiene las poleas.

$$d = 35\text{mm}$$

$$\omega = n = 259.7 \text{ rpm}$$

$$P_r = F = \text{Fuerza [N]}$$

$$L_{10h} = 20000 \text{ horas. / Sacado del catálogo de rodamientos NTN}$$

Al ser rodamiento de bolas se usa $p=3$

$$C_r = \left[\frac{60 * n * L_{10h}}{10^6} \right]^{\frac{1}{p}} * P_r$$

Rodamiento Exterior

$$F_{xy} = 928.16 \text{ N}$$

$$F_{xz} = 310.125 \text{ N}$$

$$F_T = \sqrt{928.16^2 + 310.125^2} \text{ N} = 969.121 \text{ N}$$

$$C_r = \left[\frac{60 * 259.7 * 20000}{10^6} \right]^{\frac{1}{3}} * 969.121 \text{ N}$$

$$C_r = 6570.459 \text{ N}$$

Soporte de pie con rodamiento de bolas seleccionado: P35F Manual SKF o 6007 manual NTN.

Rodamiento Interior

$$F_{xy} = 1298.9 \text{ N}$$

$$F_{xz} = 198.89 \text{ N}$$

$$F_T = \sqrt{1298.9^2 + 198.89^2} \text{ N} = 1314.038 \text{ N}$$

$$C_r = \left[\frac{60 * 259.7 * 20000}{10^6} \right]^{\frac{1}{3}} * 1314.038 \text{ N}$$

$$C_r = 8908.932 \text{ N}$$

Soporte de pie con rodamiento de bolas seleccionado: P35F Manual SKF o 6007 manual NTN

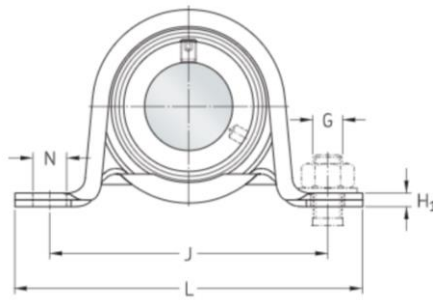


Figura. Forma del soporte de pie de rodamientos manual SKF.

Rodamientos para eje de trituración

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$\omega = n = 78 \text{ rpm}$$

$$P_r = F = \text{Fuerza [N]}$$

$$L_{10h} = 20000 \text{ horas. / Sacado del catálogo de rodamientos NTN}$$

Al ser rodamiento de bolas se usa $p=3$

$$C_r = \left[\frac{60 * n * L_{10h}}{10^6} \right]^{\frac{1}{p}} * P_r$$

Rodamiento Exterior

$$F_{xy} = 3581.141 \text{ N}$$

$$F_{xz} = 1053.20 \text{ N}$$

$$F_T = \sqrt{3581.141^2 + 1053.20^2} = 3732.801 \text{ N}$$

$$C_r = \left[\frac{60 * 78 * 20000}{10^6} \right]^{\frac{1}{3}} * 3732.801 \text{ N}$$

$$C_r = 16948.325 \text{ N}$$

Rodamiento de bola 6010 Manual NTN

Rodamiento Interior

$$F_{xy} = 378.43 \text{ N}$$

$$F_{xz} = 866.80 \text{ N}$$

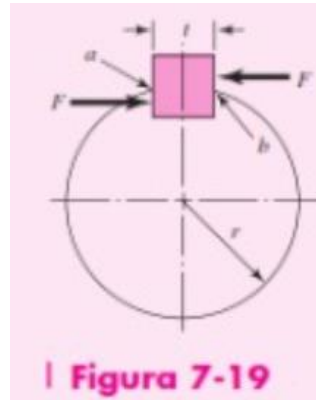
$$F_T = \sqrt{378.43^2 + 866.80^2} \text{ N} = 945.807 \text{ N}$$

$$C_r = \left[\frac{60 * 78 * 20000}{10^6} \right]^{\frac{1}{3}} * 945.07 \text{ N}$$

$$C_r = 4290.97 \text{ N}$$

Rodamiento de bola 6010 manual NTN

Cálculos del Diseño de las Chavetas



Revisión de Chaveta del eje Motriz

Material del eje del motor es acero al carbón 1045

$$S_y = 310 \text{ MPa} \quad S_{s_y} = 155 \text{ MPa}$$

Diámetro del eje es 38 mm

Datos de la chaveta son:

L=70 mm

t= 10 mm

H= 8 mm

Torque generado en el eje es:

$$T_{motor} = \frac{P}{\omega} = \frac{2235 \text{ w}}{125.66 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 17.786 \text{ Nm}$$

Fuerza sobre la chaveta

$$F = \frac{T}{r_{eje}} = \frac{2T}{d_{eje}} = \frac{2 * 17.786}{0.038} = 936.105 \text{ N}$$

Resistencia al aplastamiento

$$n_{ap} = \frac{S_y}{\sigma_{ap}}$$

$$\sigma_{ap} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{h * L}{2}} = \frac{936.105}{(0.004 * 0.07)} = 3.34 \text{ MPa}$$

$$n_{ap} = \frac{310 \text{ MPa}}{3.34 \text{ MPa}} = 92.81$$

Resistencia al cortante

$$n_{cort} = \frac{S_y}{2 * \tau}$$

$$\tau = \frac{F}{bL} = \frac{936.105}{0.01 * 0.07} = 1.34 \text{ MPa}$$

$$n_{cort} = \frac{S_{Sy}}{2 * \tau} = \frac{155 \text{ MPa}}{1.34 \text{ MPa}} = 115$$

La chaveta proporcionada por el motor se encuentra dentro de los límites sin riesgos de aplastamiento o cortante.

Diseño de Chaveta para poleas intermedias

Material de la chaveta es acero 1045

$$S_y = 310 \text{ MPa} \quad S_{Sy} = 155 \text{ MPa}$$

Diámetro del eje intermedio es de 35 mm

Los datos de la chaveta según la norma DIN 6885 A para un diámetro de 35 mm son:

t=10 mm

H= 8 mm

Torque generado en el eje es

$$T_{eje \text{ intermedio}} = \frac{P}{\omega} = \frac{2235 \text{ w}}{\frac{27.23 \text{ rad}}{\text{s}}} = 82.07 \text{ Nm}$$

Fuerza sobre la chaveta

$$F = \frac{T}{r_{eje \text{ intermedio}}} = \frac{2T}{d_{eje \text{ intermedio}}} = \frac{2 * 82.07}{0.035} = 4689.714 \text{ N}$$

Resistencia al aplastamiento

Se asume un factor de seguridad al aplastamiento de 2

$$n_{ap} = \frac{S_y}{\sigma_{ap}}$$

$$\sigma_{ap} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{h * L}{2}}$$

$$L = \frac{n_{ap} * F * 2}{310 \times 10^6 * H} = \frac{2 * 4689.714 * 2}{310 \times 10^6 * 0.008} = 0.00756 \text{ m} = 7.56 \text{ mm}$$

Resistencia al cortante

Se asume un factor de seguridad al cortante de 2

$$n_{cort} = \frac{S_{Sy}}{2 * \tau}$$

$$\tau = \frac{F}{h * L}$$

$$L = \frac{n_{cort} * F}{S_{Sy} * t} = \frac{2 * 4689.714}{155 \times 10^6 * 0.008} = 0.00756 \text{ m} = 7.56 \text{ mm}$$

Se seleccionaron dos chavetas con dimensiones estándar y longitudes diferentes debido a sus Bujes QD correspondientes.

Las chavetas seleccionadas para la polea 2 y polea 3 tienen como dimensiones:

[10x8x35] mm

[10x8x51] mm

Diseño de Chaveta para la Polea 4

Material de la chaveta es acero 1045 rolado en caliente.

$$S_y = 310 \text{ MPa} \quad S_{Sy} = 155 \text{ MPa}$$

Diámetro del eje intermedio es de 50 mm

Los datos de la chaveta según la norma DIN 6885 A para un diámetro de 50 mm son:

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

Torque generado en el eje es

$$T_{eje \text{ impulsado}} = \frac{P}{\omega} = \frac{2235 \text{ W}}{8.16 \text{ rad/s}} = 273.897 \text{ Nm}$$

Fuerza sobre la chaveta

$$F = \frac{T}{r_{eje \text{ impulsado}}} = \frac{2T}{d_{eje \text{ impulsado}}} = \frac{2 * 273.897 \text{ Nm}}{0.050 \text{ m}} = 10955.88 \text{ N}$$

Resistencia al aplastamiento

Se asume un factor de seguridad al aplastamiento de 1.5

$$n_{ap} = \frac{S_y}{\sigma_{ap}}$$

$$\sigma_{ap} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{h * L}{2}}$$

$$L = \frac{n_{ap} * F * 2}{310 \times 10^6 * h} = \frac{1.5 * 10955.88 * 2}{310 \times 10^6 * 0.008} = 0.0132 \text{ m} = 13 \text{ mm}$$

Resistencia al cortante

Se asume un factor de seguridad al cortante de 1.5

$$n_{cort} = \frac{S_{sy}}{2 * \tau}$$

$$\tau = \frac{F}{hL}$$

$$L = \frac{n_{cort} * F}{S_{sy} * h} = \frac{1.5 * 10955.88}{155 \times 10^6 * 0.008} = 0.0132 = 13 \text{ mm}$$

Chaveta seleccionada para la polea 4:

[10x8x35] mm

Diseño de Chaveta para Cuchillas

Material de la chaveta es acero 1045 rolado en caliente.

$$S_y = 310 \text{ MPa} \quad S_{S_y} = 155 \text{ MPa}$$

Diámetro del eje intermedio es de 50 mm

Los datos de la chaveta según la norma DIN 6885 A para un diámetro de 50 mm son:

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

L=376 mm que es el largo de la sección de trituración

Torque generado en el eje es

$$T_{m \text{ seccion de trituracion}} = 19 \text{ Nm}$$

Fuerza sobre la chaveta

$$F = \frac{T}{r_{\text{eje impulsado}}} = \frac{2T}{d_{\text{eje impulsado}}} = \frac{2 * 19}{0.050} = 760 \text{ N}$$

Resistencia al aplastamiento

Se calcula el factor de seguridad

$$n_{ap} = \frac{S_y}{\sigma_{ap}}$$

$$\sigma_{ap} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{h * L}{2}}$$

$$n_{ap} = \frac{L * 310 \times 10^6 * h}{F * 2} = \frac{0.376 * 310 \times 10^6 * 0.008}{760 * 2} = 613$$

Resistencia al cortante

Se asume un factor de seguridad al cortante de 1.5

$$n_{cort} = \frac{S_{S_y}}{2 * \tau}$$

$$\tau = \frac{F}{hL}$$

$$n_{cort} = \frac{L * S_{S_y} * h}{F} = \frac{0.376 * 155 \times 10^6 * 0.008}{760 * 2} = 306$$

La chaveta seleccionada es adecuada para la aplicación.

Cálculos del Diseño de la Tolva

Según la referencia el volumen de una botella de 600 ml de PET es de 5×10^{-4}

$$\# \text{ botellas tolva llena} = \frac{V_{tolva}}{V_{Botella}}$$

Si se estableció tener 40 botellas dentro de la tolva, el volumen de la tolva es:

$$V_{tolva} = \# \text{ botellas tolva llena} * V_{Botella}$$

$$V_{tolva} = 40 * 5 \times 10^{-4} = 0.02 \text{ m}^3$$

Se conoce que el volumen de una pirámide trapezoidal es:

$$V = \frac{(B + b) * h}{2} * H$$

Con un ángulo de 60 grados recomendado con respecto a la superficie, basados en el catálogo TerraSource Global.

Las dimensiones obtenidas son de:

B=483.2 mm, b=310 mm, H=402 mm, h=150 mm.

Esfuerzos ejercidos sobre la Tolva:

Para calcular el esfuerzo ejercido en el fondo de la tolva se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_v = \frac{\rho_{PET} g b}{4 \mu K g_c} \left[1 - \exp\left(-\frac{4 h \mu K}{b}\right) \right]$$

$$\rho_{PET} = 1400 \text{ kg/m}^3$$

$$B = L = 0.483$$

$$\mu = 0.35$$

$$K = 0.4$$

$$g_c = 1 \text{ kgm/Ns}^2$$

$$P_v = \frac{1400 * 9.8 * 0.483}{4 * 0.35 * 0.4 * 1} * \left[1 - \exp\left(-\frac{4 * (0.125) * (0.35) * (0.4)}{0.483}\right) \right]$$

$$P_v = 1596.516$$

Usando el esfuerzo en el fondo de la tolva se puede determinar el esfuerzo en las paredes.

$$P_w = K * P_v$$

$$P_w = 0.4 * 1596.516 \text{ Pa}$$

$$P_w = 638.606 \text{ Pa}$$

Espesor de la plancha de la tolva

Se seleccionó una plancha de acero ASTM A36 y por medio de la ecuación # se halló el espesor mínimo requerido para la plancha.

Como la sección es rectangular se debe determinar el diámetro hidráulico.

$$D_h = \frac{2ab}{a + b}$$

$$D_h = \frac{2 * 0.310 * 0.402}{0.310 + 0.402}$$

$$D_h = 0.35 \text{ m}$$

$$R_h = 0.1718 \text{ m}$$

$$t = \frac{P_w * r}{\sigma_f} = \frac{638.61 \text{ Pa} * 0.35 \text{ m}}{250 \times 10^6 \text{ Pa}}$$

$$t = 8.94 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

Por lo que para el diseño de la tolva se seleccionó un espesor correspondiente a 2 mm de acero ASTM A36.

Cálculos de la Selección de los Pernos

Esfuerzo de diseño del Perno

Se utilizaron perno de cabeza hexagonal de acero galvanizado SAE/UNC de grado 2 ya que no estará sometido a grandes esfuerzos.

El esfuerzo de diseño se encuentra definido de la siguiente manera:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_b}{n_d}$$

$\sigma_b =$ la resistencia del material

$n_d =$ factor de diseño

$\sigma_b = 74\ 000\ PSI$

$n_d = 2$

$$\sigma_d = \frac{74\ 000\ PSI}{2}$$

$$\sigma_d = 37\ 000\ PSI = 255\ MPa$$

Cálculos de Sujeción

Para la unión de la caja de trituración con la estructura se utilizaron pernos que contengan el agarre requerido previniendo que estas se separen. Como se desconoce información acerca de la fuerza de precarga se seleccionaron mediante la teoría del cono de presión de Rotscher a partir del texto de Shigley.

Del catálogo de pernería y fijación Promesa el perno seleccionado es perno de cabeza y tuerca hexagonal de acero galvanizado SAE/UNC de grado 2.



Figura 3.18. Catalogo Pernería y Fijación Promesa.

Para la selección de las arandelas se tomó en consideración el diámetro interno de las mismas por lo cual se seleccionó una arandela plana de acero galvanizado SAE con diámetro interno de 5/8".

Para determinar la longitud de los tornillos requerida se tuvo que sumar el espesor de la arandela con la primera pared.

$$h = 2.5 + 5 = 7.5 \text{ mm}$$

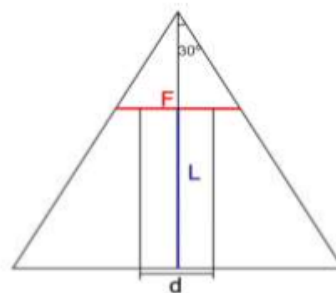
Con el cálculo obtenido se puede determinar la longitud mínima del sujetador

$$L > h + 1.5 * d$$

$$L = 7.5 + 1.5 * (15.875) = 31.33 \text{ mm}$$

Por lo que se seleccionó una longitud de 2" o 50.8 mm.

Para determinar la cobertura que garantice el agarre por perno se implementó el triángulo de agarre.



Triángulo de agarre.

Donde usando un perno de 15.875 mm de diámetro con un F de 23.81 mm y un ángulo de 30 grados que es el recomendado se tiene:

$$y = \frac{\text{Sen}(60)}{\text{Sen}(30)} * \frac{23.81 \text{ mm}}{2}$$

$$y = 20.62 \text{ mm}$$

Se determina la altura del triángulo:

$$h = L + y = 50.8 \text{ mm} + 20.62 \text{ mm} = 71.42 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos se procede a calcular x:

$$x = \frac{\text{Sen}(30)}{\text{Sen}(60)} * 71.42 = 41.23 \text{ mm}$$

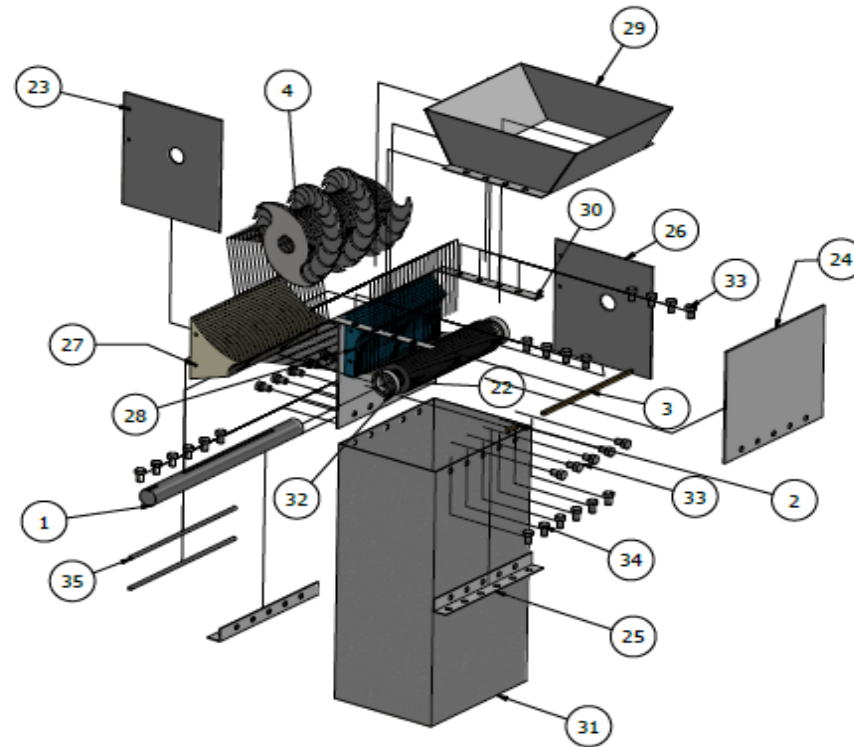
Por lo tanto, el agarre total que tendría el perno seleccionado de estas dimensiones sería de 82.47 mm.

Como el largo de la caja de trituración es de aproximadamente 412 mm al igual que de la tolva la cantidad de pernos necesarios para garantizar un agarre adecuado sería de 5.

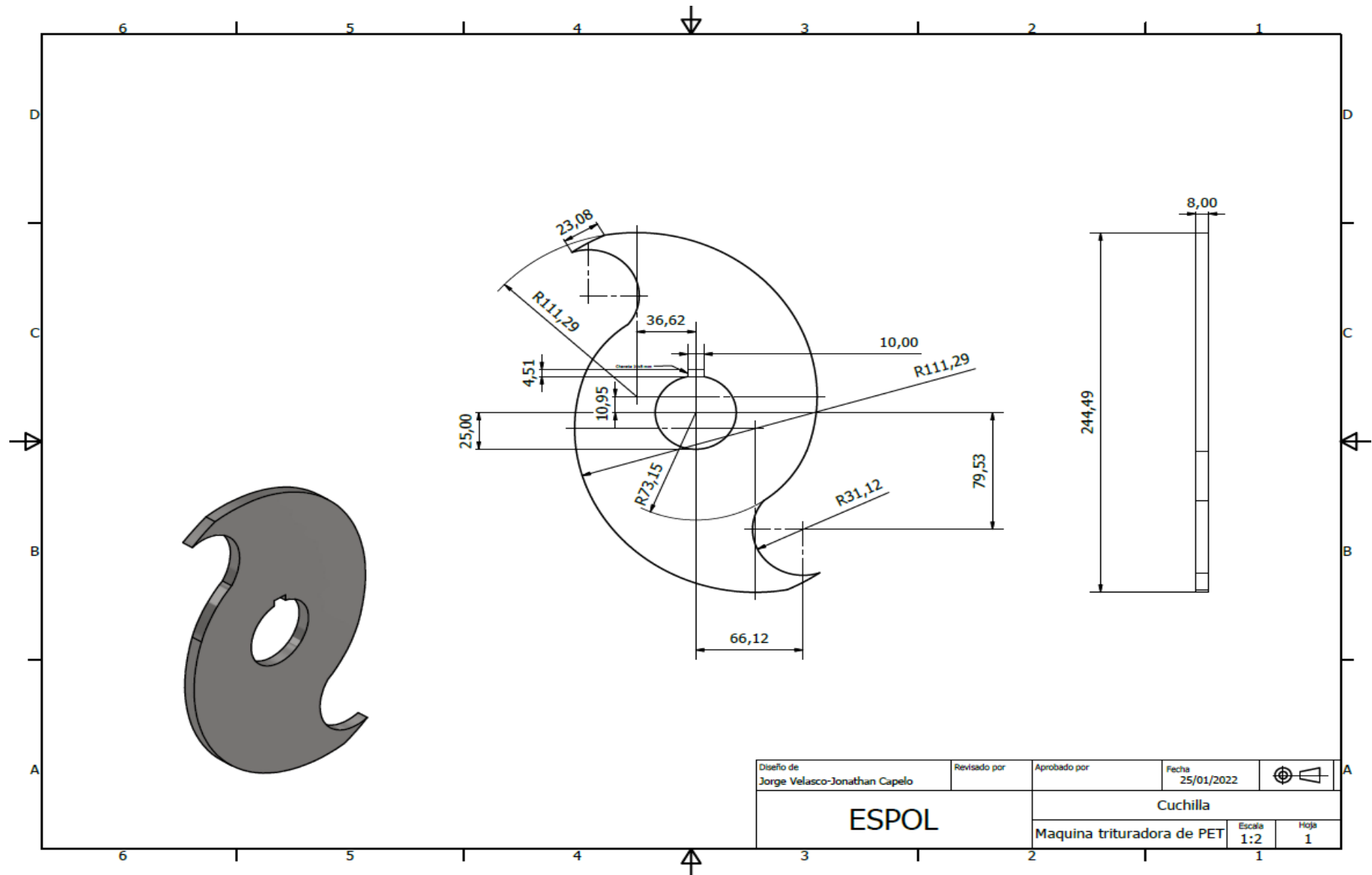
APÉNDICE C


PLANOS

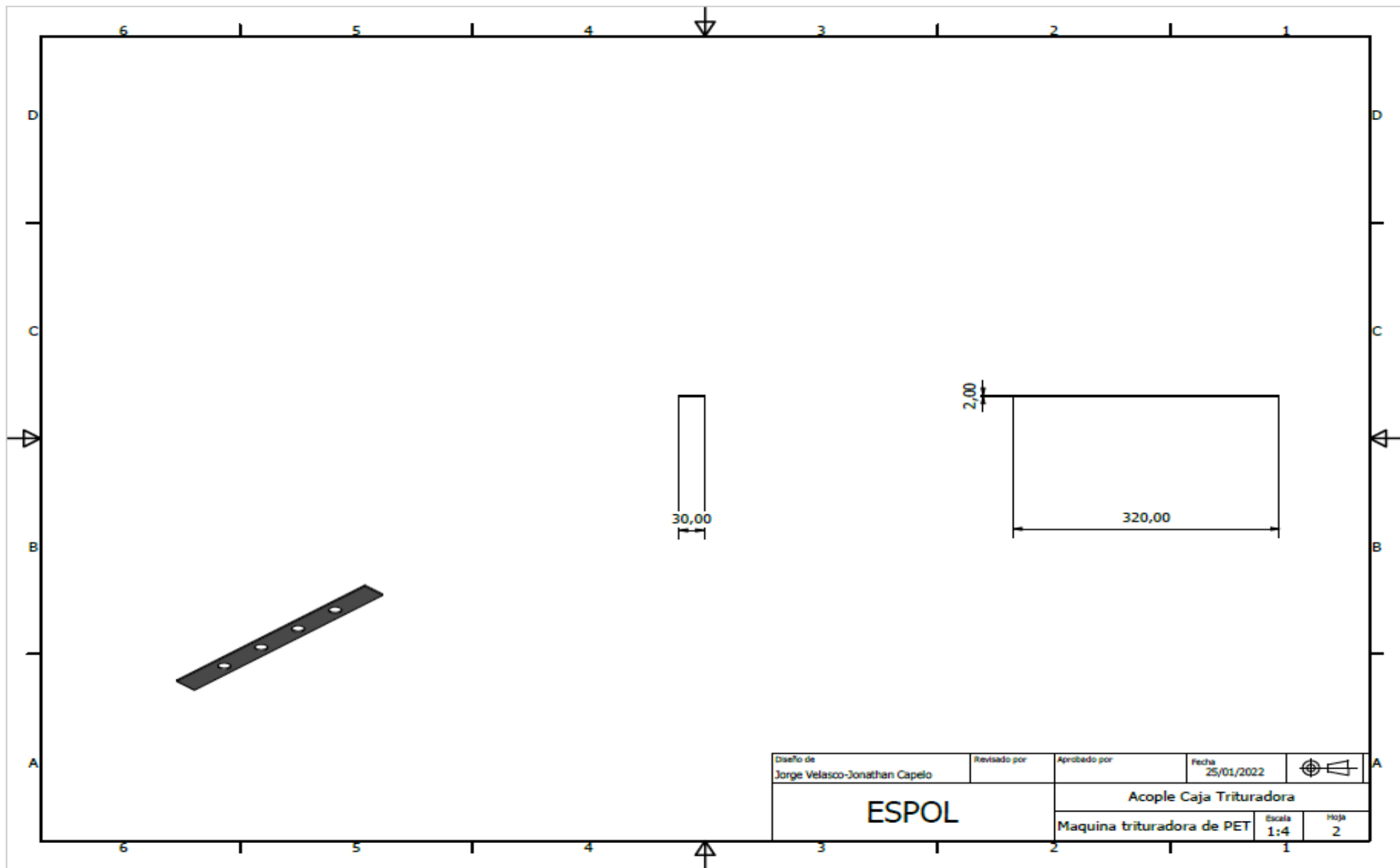
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL
1	1	Eje_618mm	AISI 4340
2	1	Chaveta_35mm	AISI 1045
3	1	Chaveta_376mm	AISI 1045
4	2	Cuchilla_35mm_1	AISI D2
5	2	Cuchilla_35mm_2	AISI D2
6	2	Cuchilla_35mm_3	AISI D2
7	2	Cuchilla_35mm_4	AISI D2
8	2	Cuchilla_35mm_5	AISI D2
9	1	Cuchilla_35mm_6	AISI D2
10	1	Cuchilla_35mm_7	AISI D2
11	1	Cuchilla_35mm_8	AISI D2
12	1	Cuchilla_35mm_9	AISI D2
13	1	Cuchilla_35mm_10	AISI D2
14	1	Cuchilla_35mm_11	AISI D2
15	1	Cuchilla_35mm_12	AISI D2
16	1	Cuchilla_35mm_13	AISI D2
17	1	Cuchilla_35mm_14	AISI D2
18	1	Cuchilla_35mm_15	AISI D2
19	1	Cuchilla_35mm_16	AISI D2
20	1	Cuchilla_35mm_17	AISI D2
21	1	Cuchilla_35mm_18	AISI D2
22	24	Separador_35mm	A 36
23	1	Pared_frontal	A 36
24	2	Pared_lateral	A 36
25	2	Agarre_caja_trituradora	A 36
26	1	Pared Trasera	A 36
27	24	Cuchillas fijas final	A 36
28	23	Separador cuchilla fija	A 36
29	1	Ensamblaje Tolva Final	A 36
30	2	Acople_caja_tolva	A 36
31	1	Tube_material_final	A 36
32	2	SKF_6010	
33	18	ANSI/ASME B18.2.1 - 5/8-11 UNC - 1, HBI	Galvanizado, Grado2
34	12	ANSI B18.2.1 - 5/8-11 UNC - 1, HCSI	Galvanizado, Grado2
35	2	Barra_roscada_galvanizada_grado2	Galvanizada, Grado 2




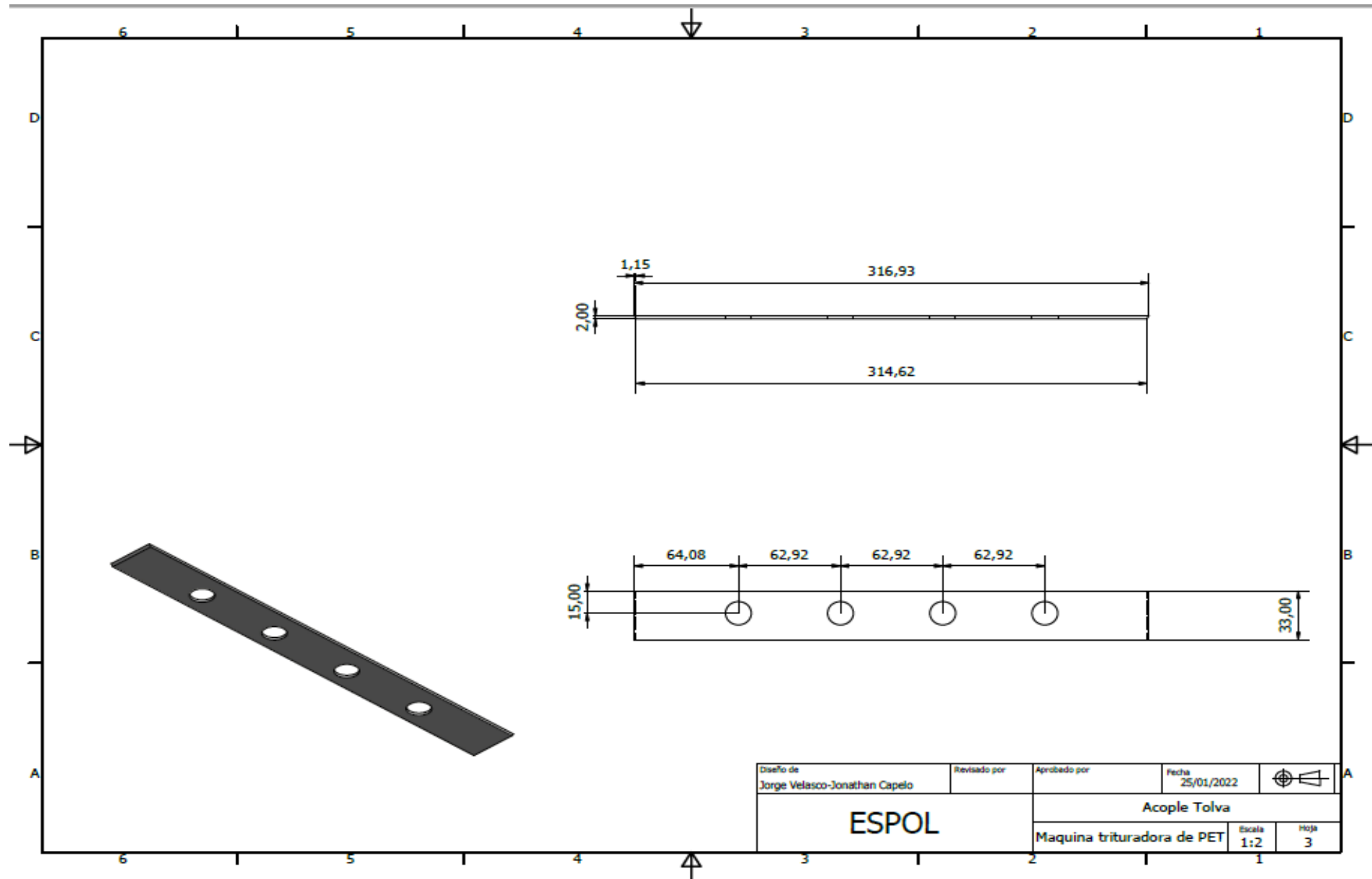
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Despiece Maquina Trituradora		
		Maquina trituradora de PET	Escala 1:11	Hoja




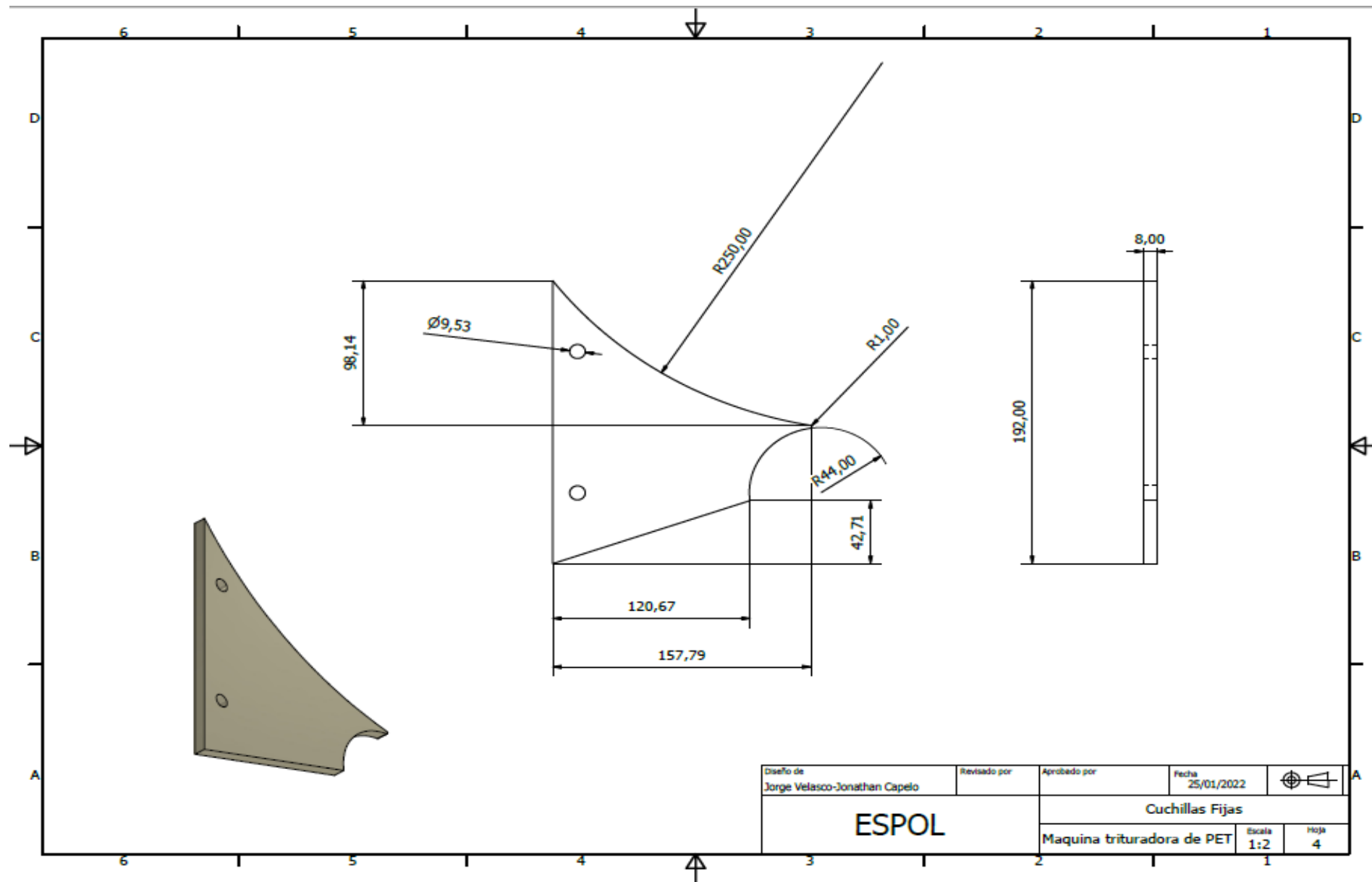
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Cuchilla		
Maquina trituradora de PET		Escala 1:2	Hoja 1	




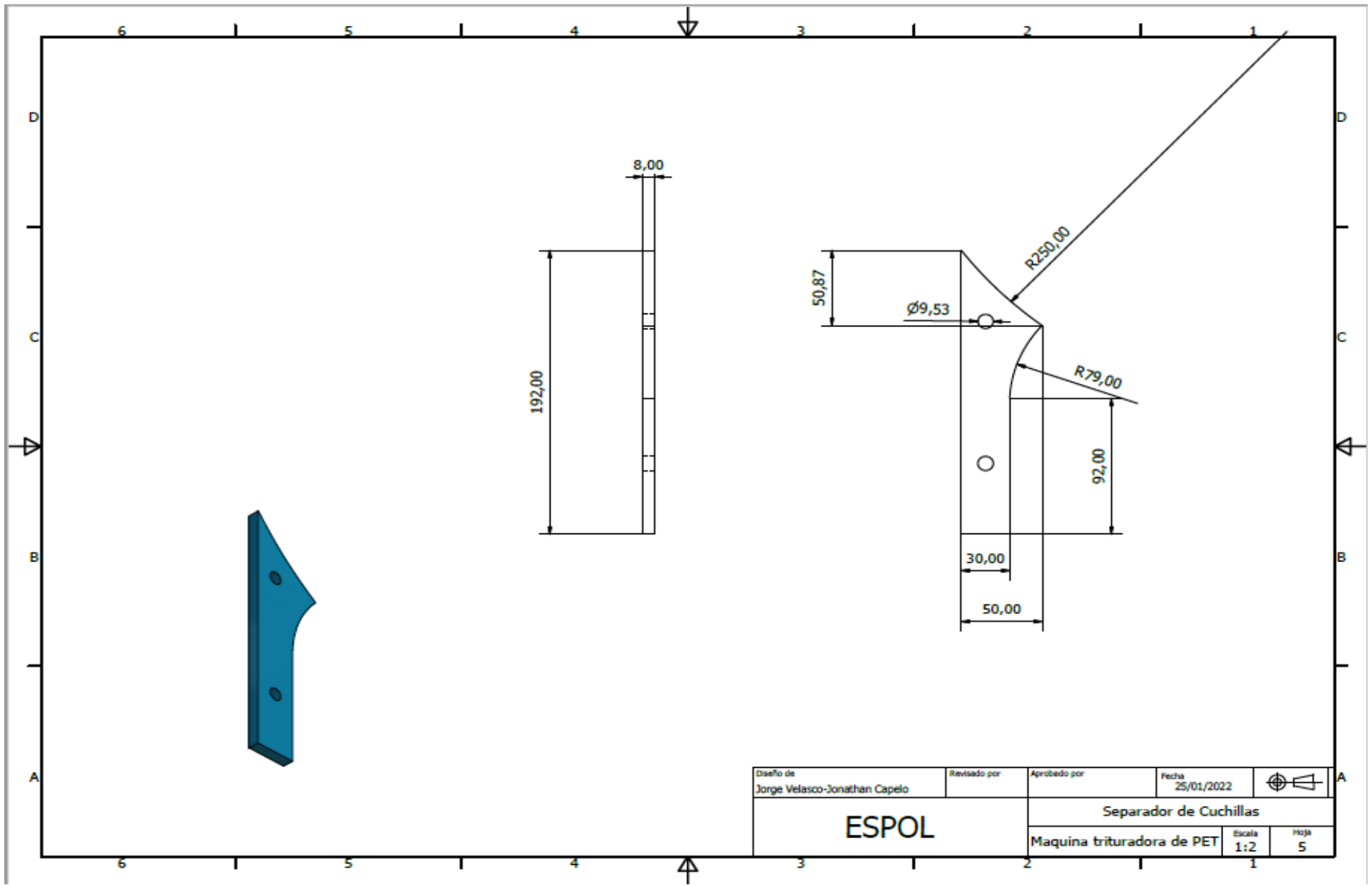
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Acople Caja Trituradora		
		Maquina trituradora de PET	Escala 1:4	Hoja 2




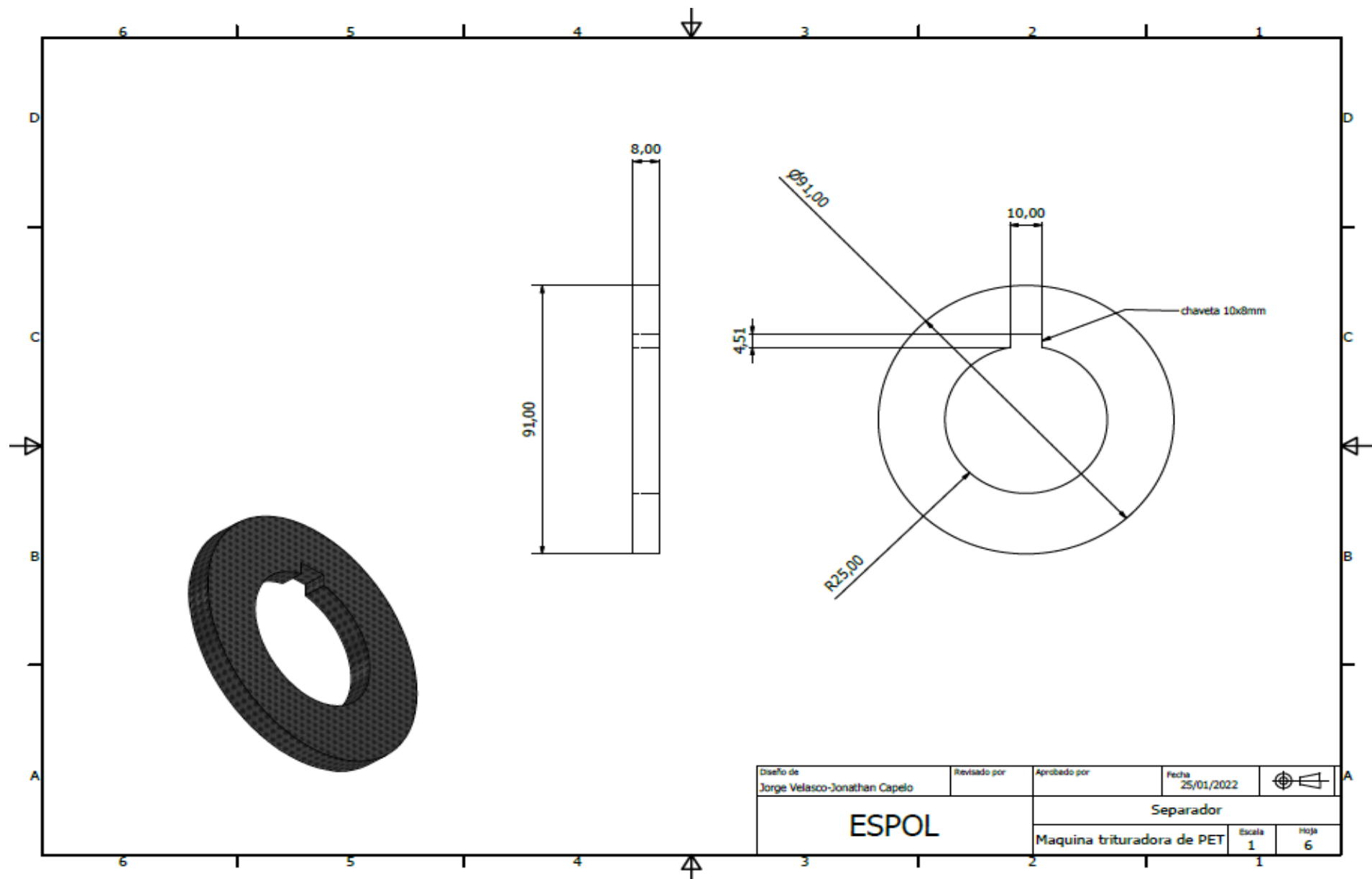
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL			Acople Tolva	
Maquina trituradora de PET			Escala 1:2	Hoja 3




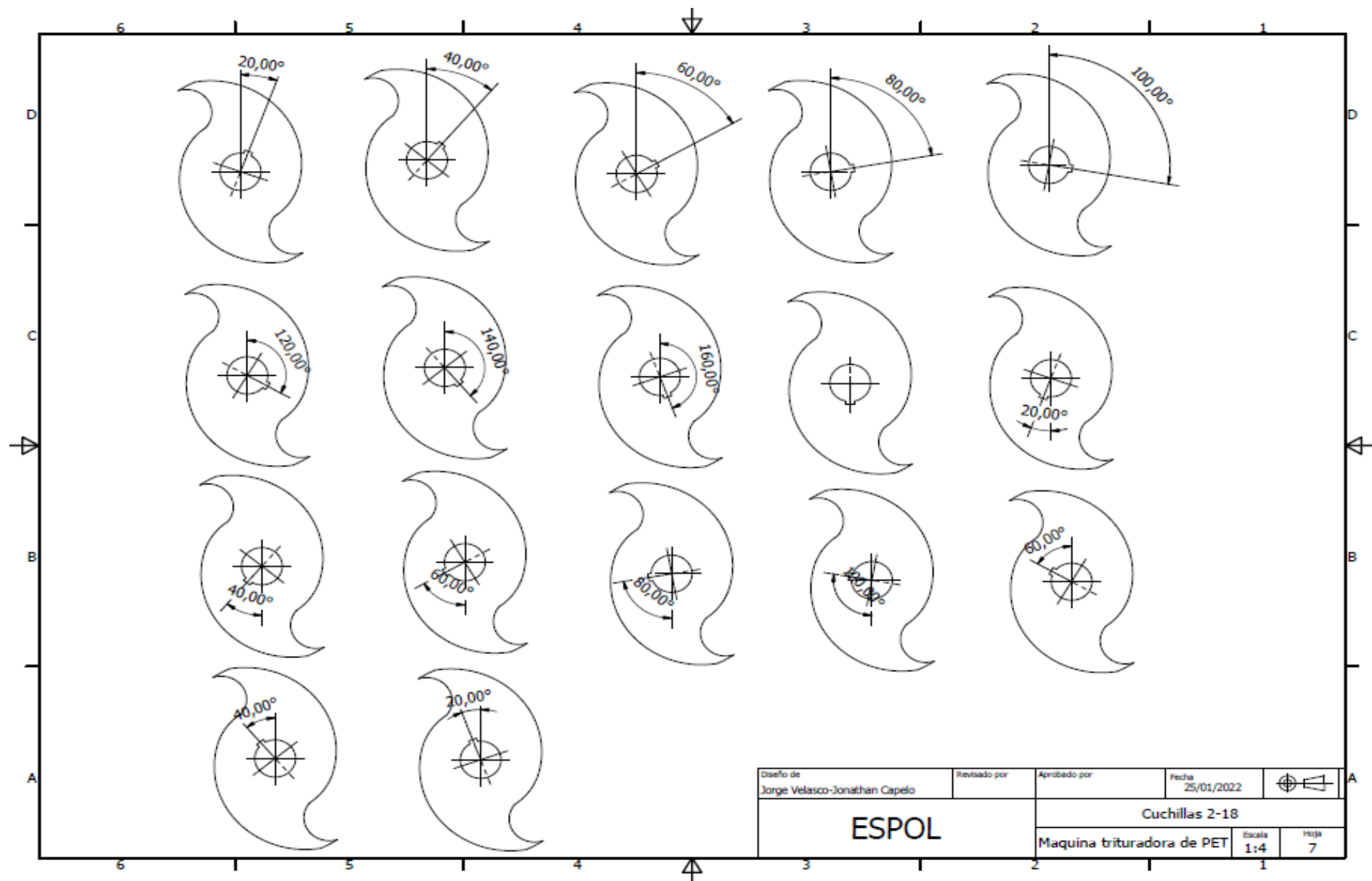
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Cuchillas Fijas		
		Maquina trituradora de PET	Escala 1:2	



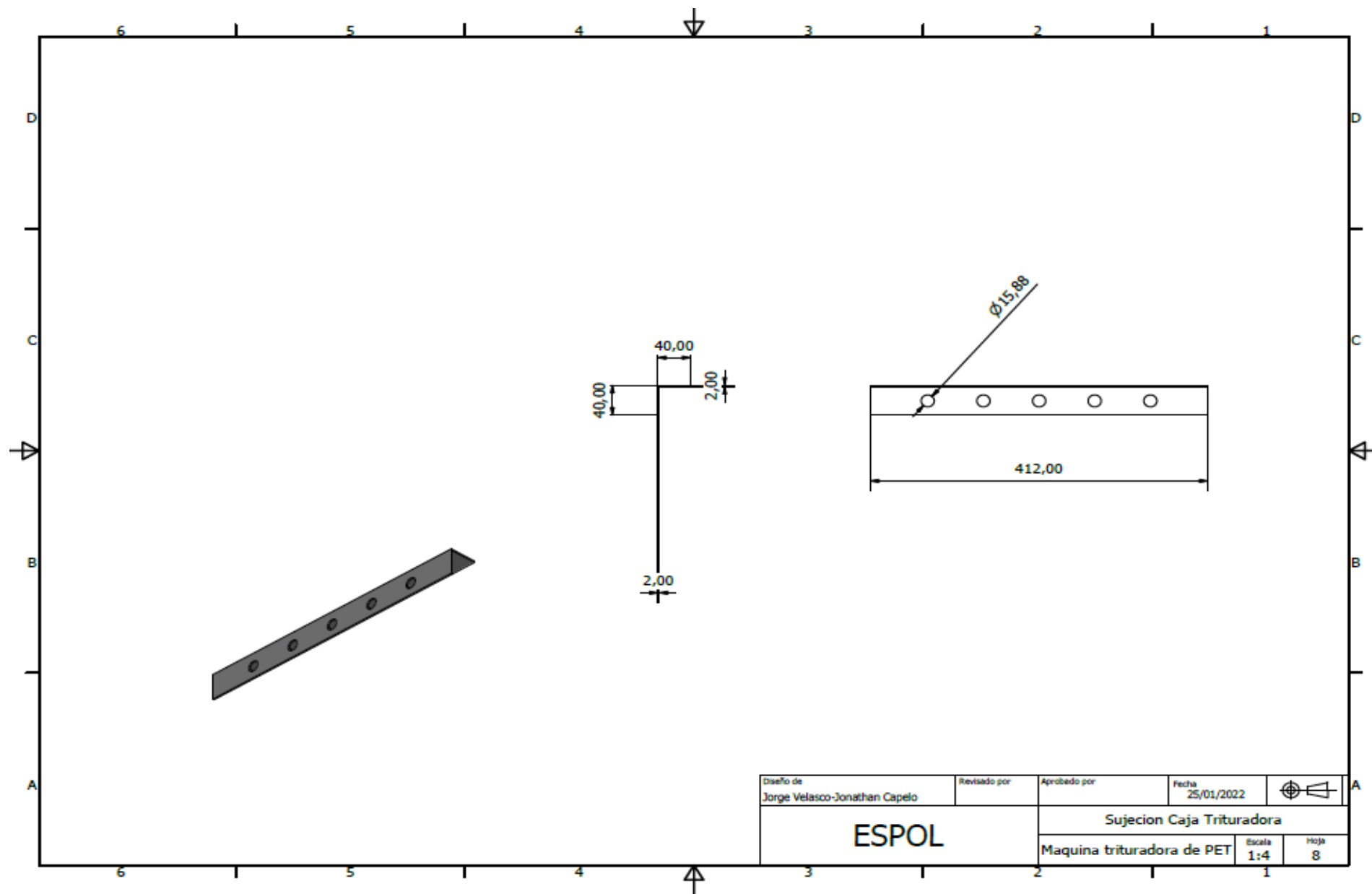
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL			Separador de Cuchillas	
Maquina trituradora de PET			Escala 1:2 Hoja 5	



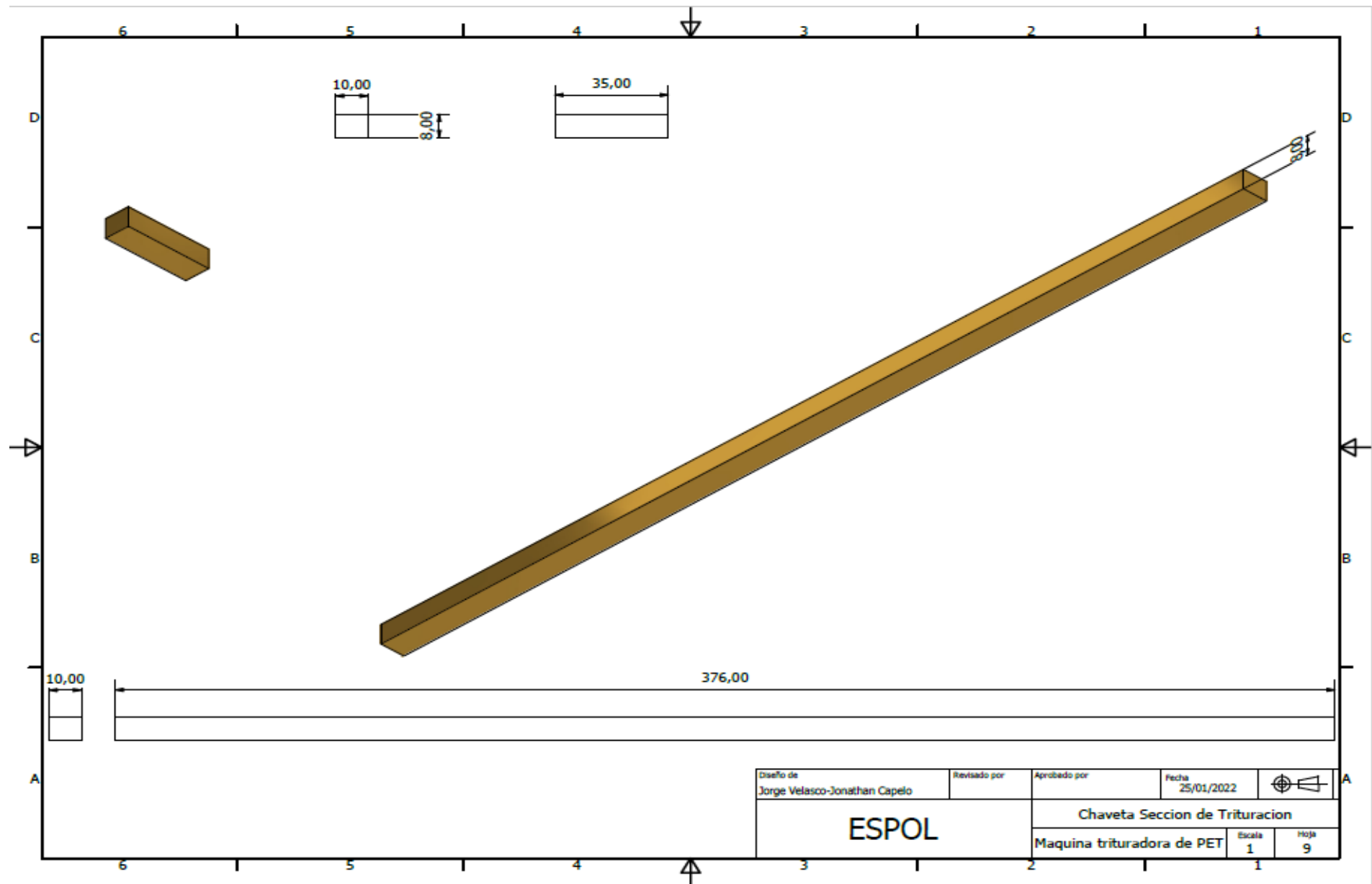
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Separador		
		Maquina trituradora de PET	Escala 1	Hoja 6




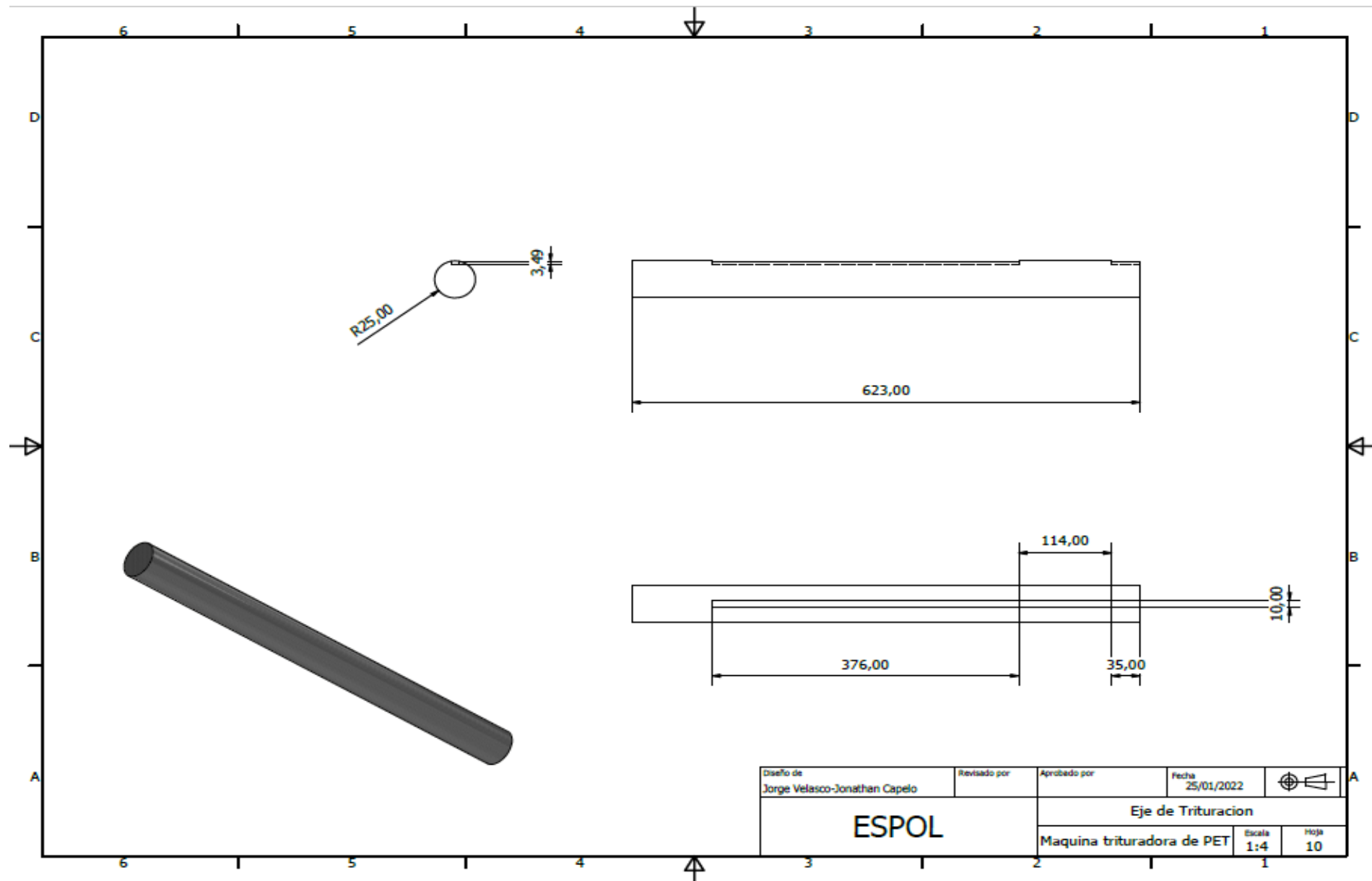
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL			Cuchillas 2-18	
			Maquina trituradora de PET	Escala 1:4




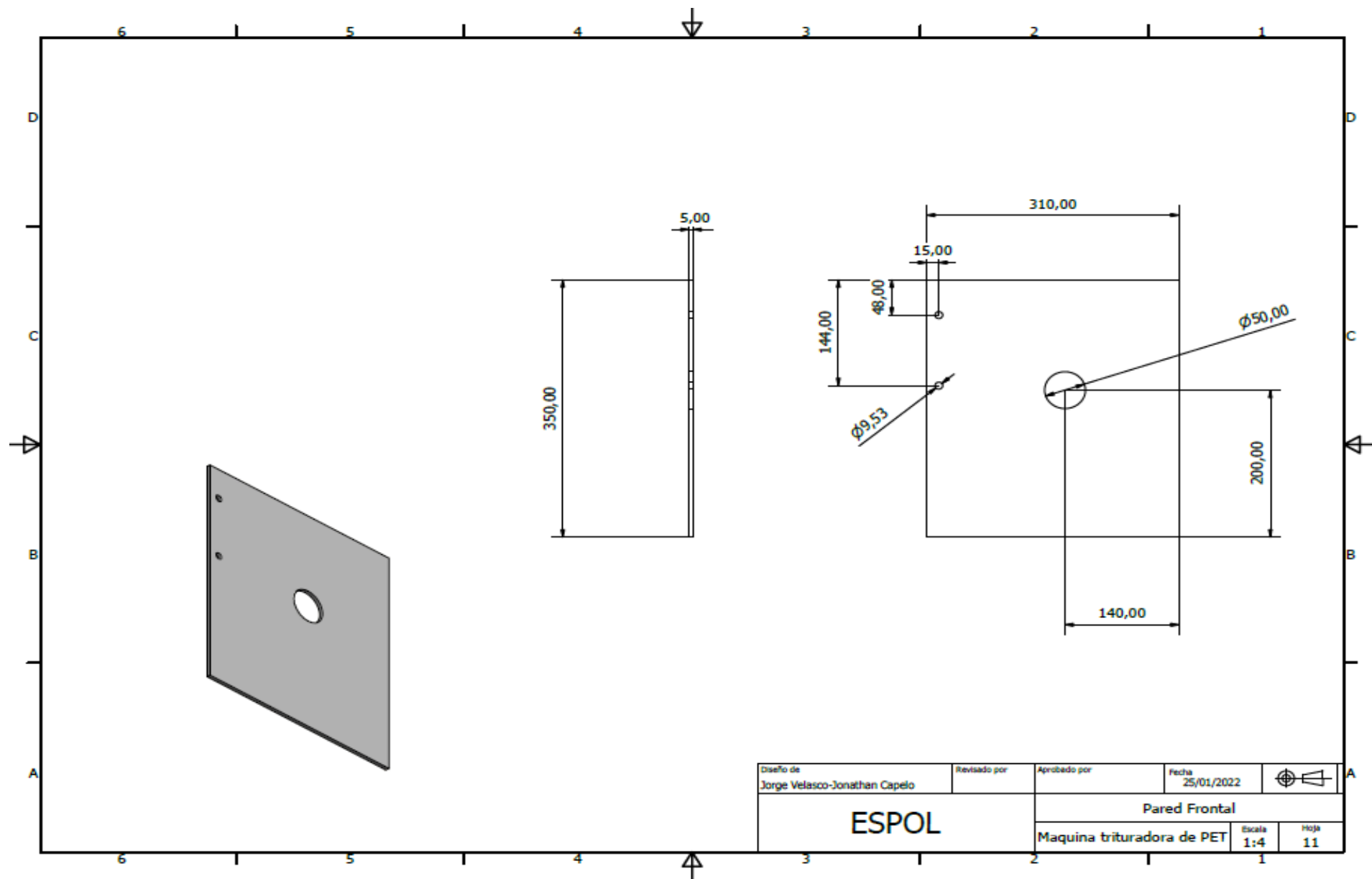
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Sujecion Caja Trituradora		
		Maquina trituradora de PET	Escala 1:4	Hoja 8




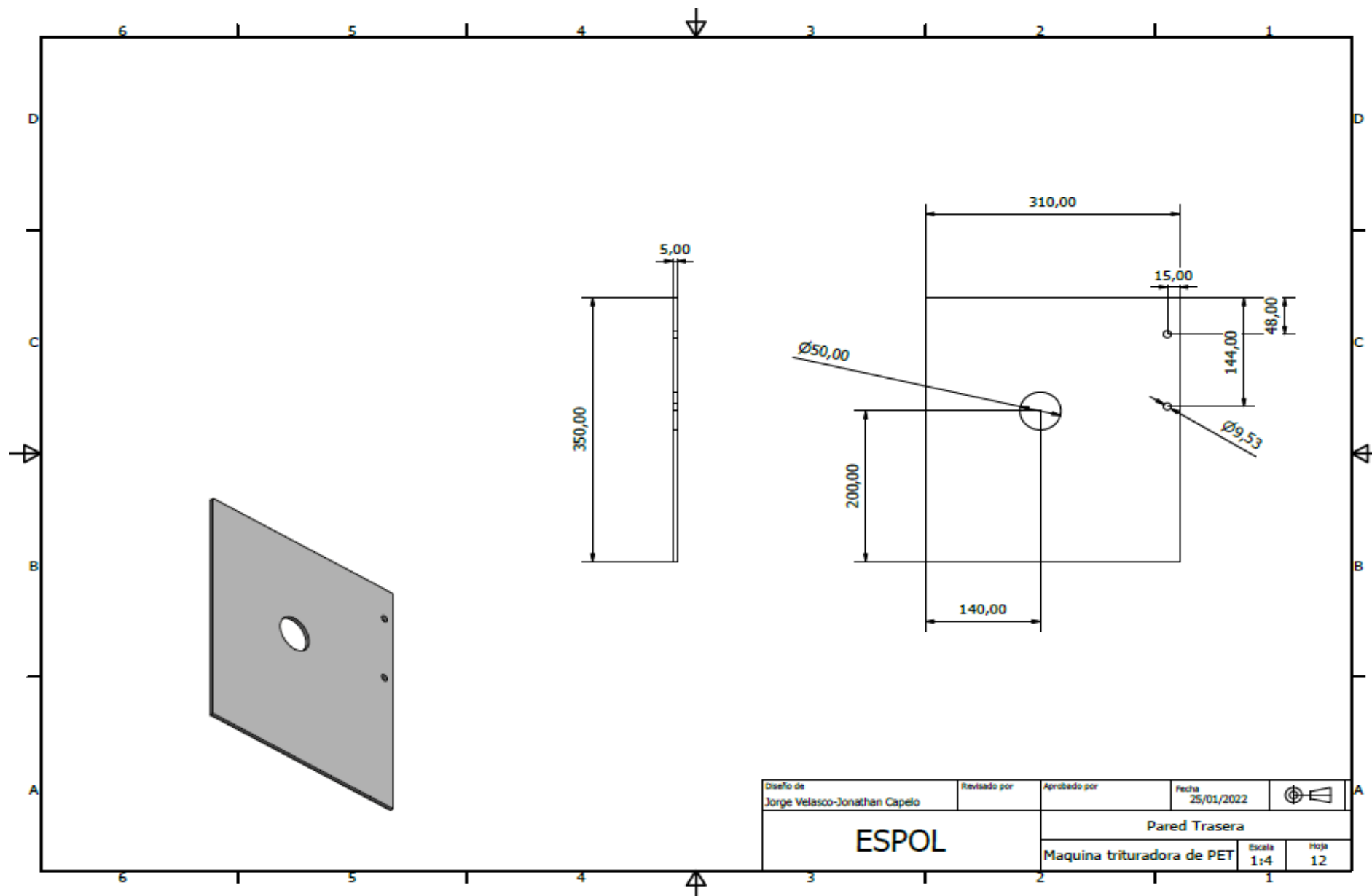
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL			Chaveta Seccion de Trituracion	
Maquina trituradora de PET			Escala 1	Hoja 9

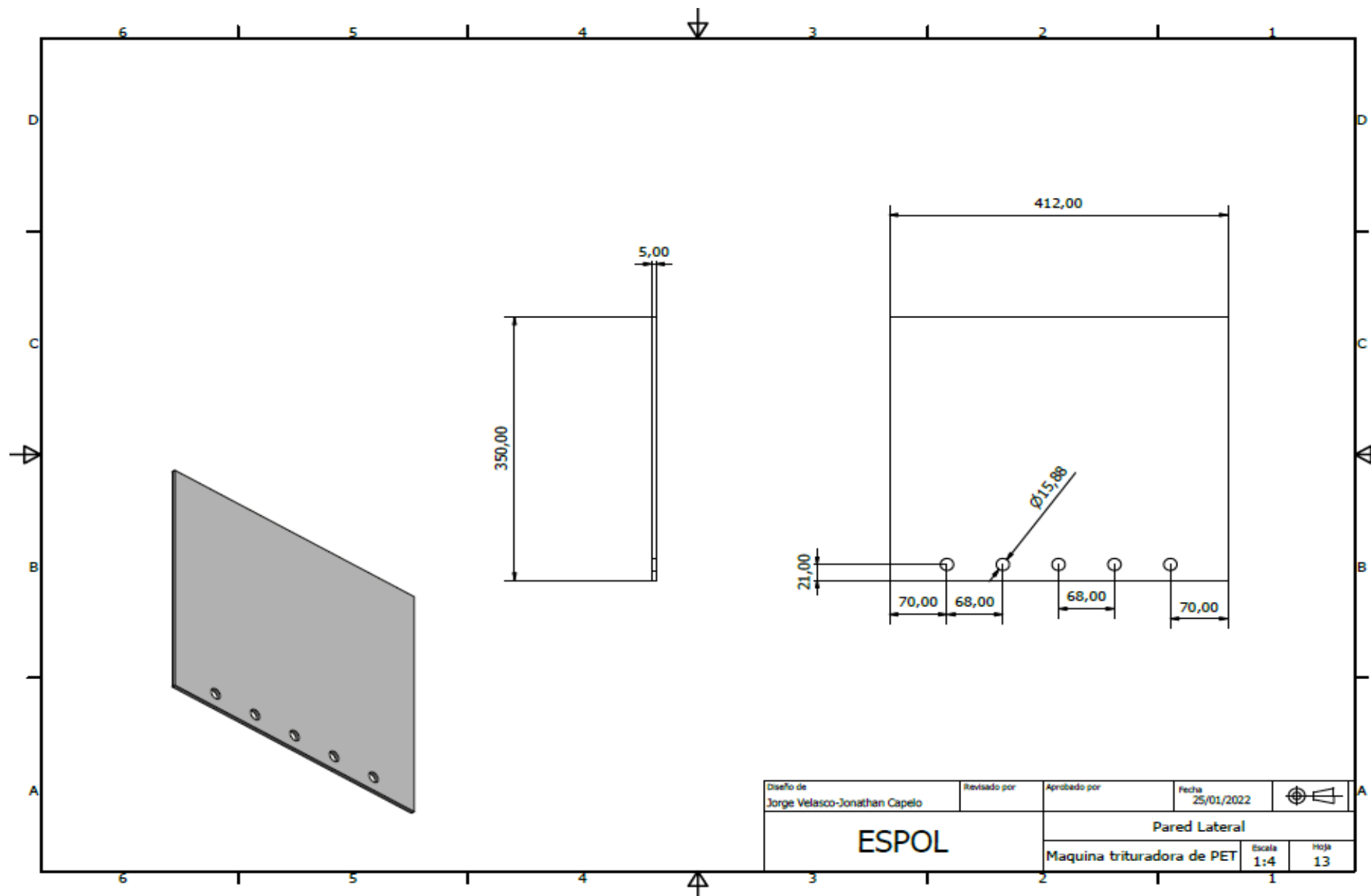


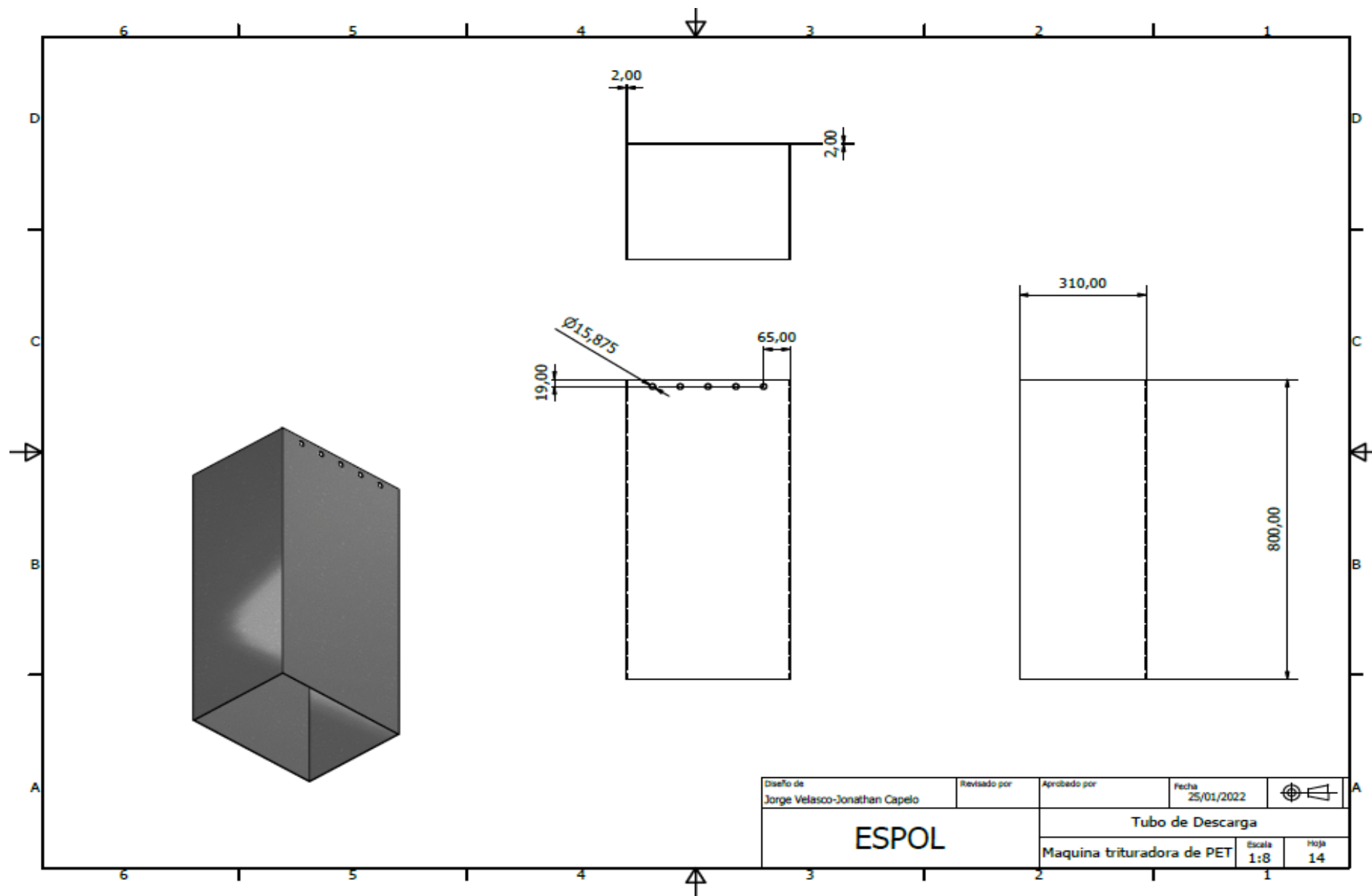
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022		
ESPOL			Eje de Trituración		
			Maquina trituradora de PET	Escala 1:4	Hoja 10




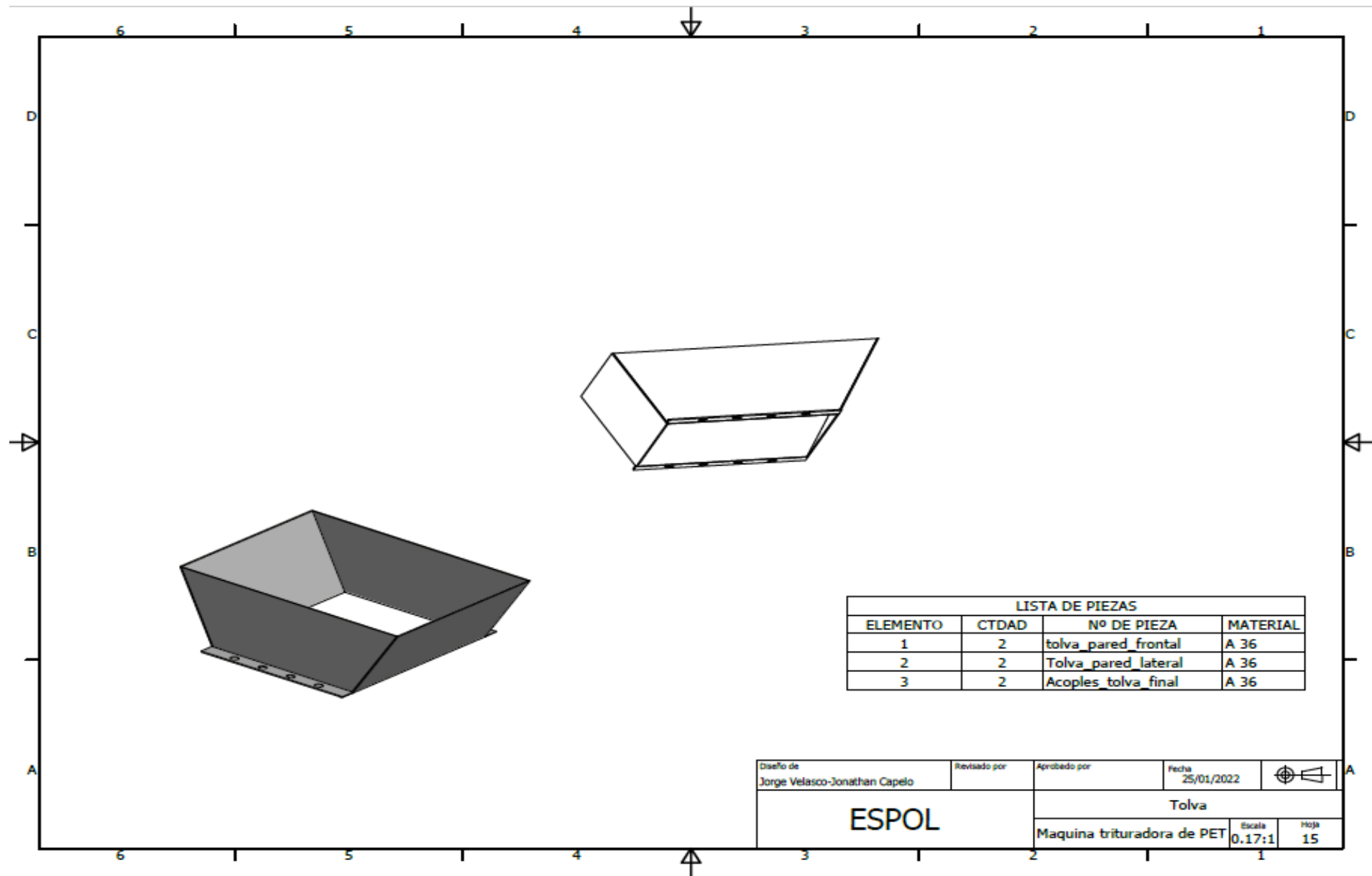
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Pared Frontal		
Maquina trituradora de PET		Escala 1:4	Hoja 11	





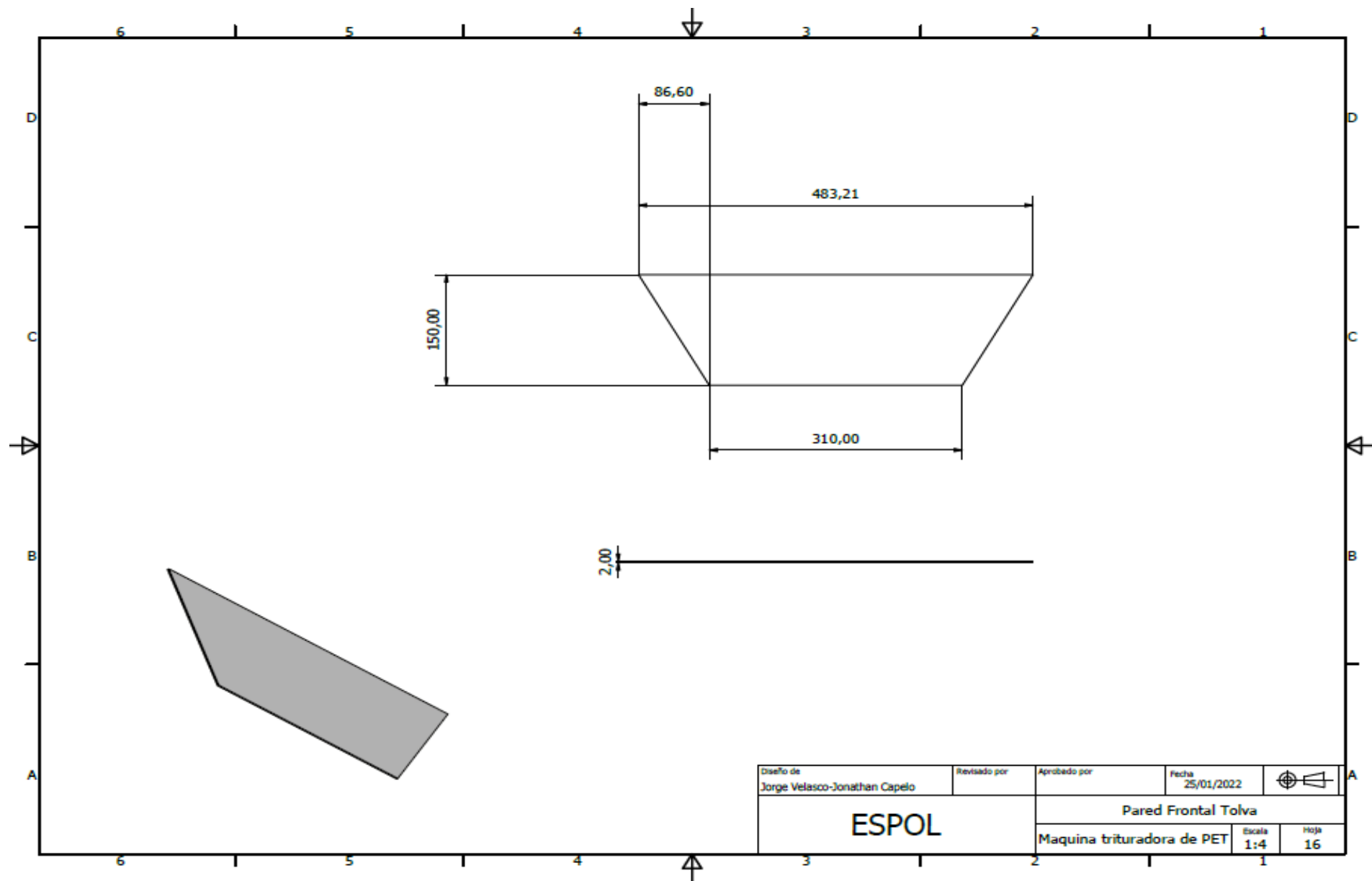


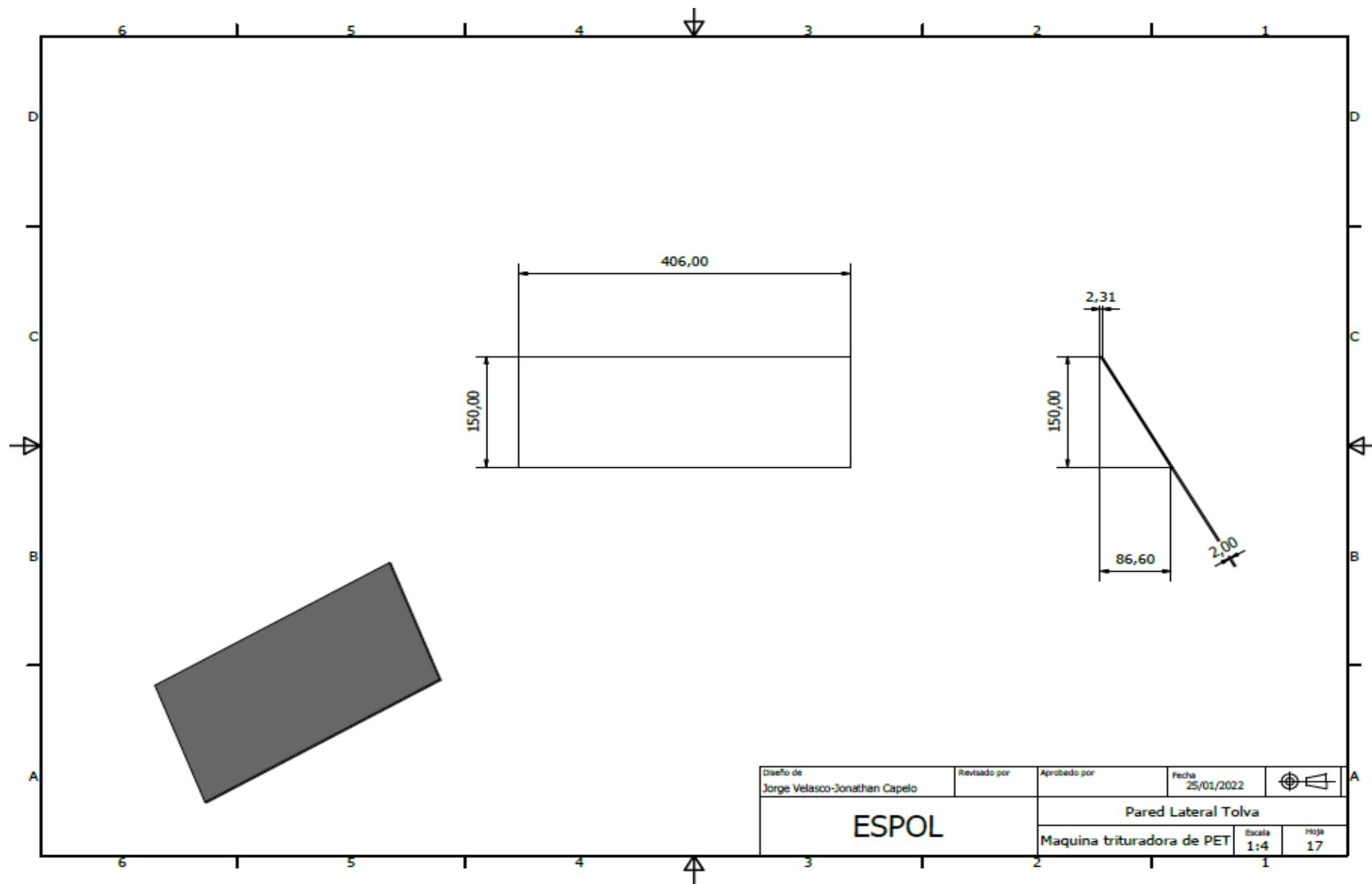
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Tubo de Descarga		
Maquina trituradora de PET			Escala 1:8	Hoja 14

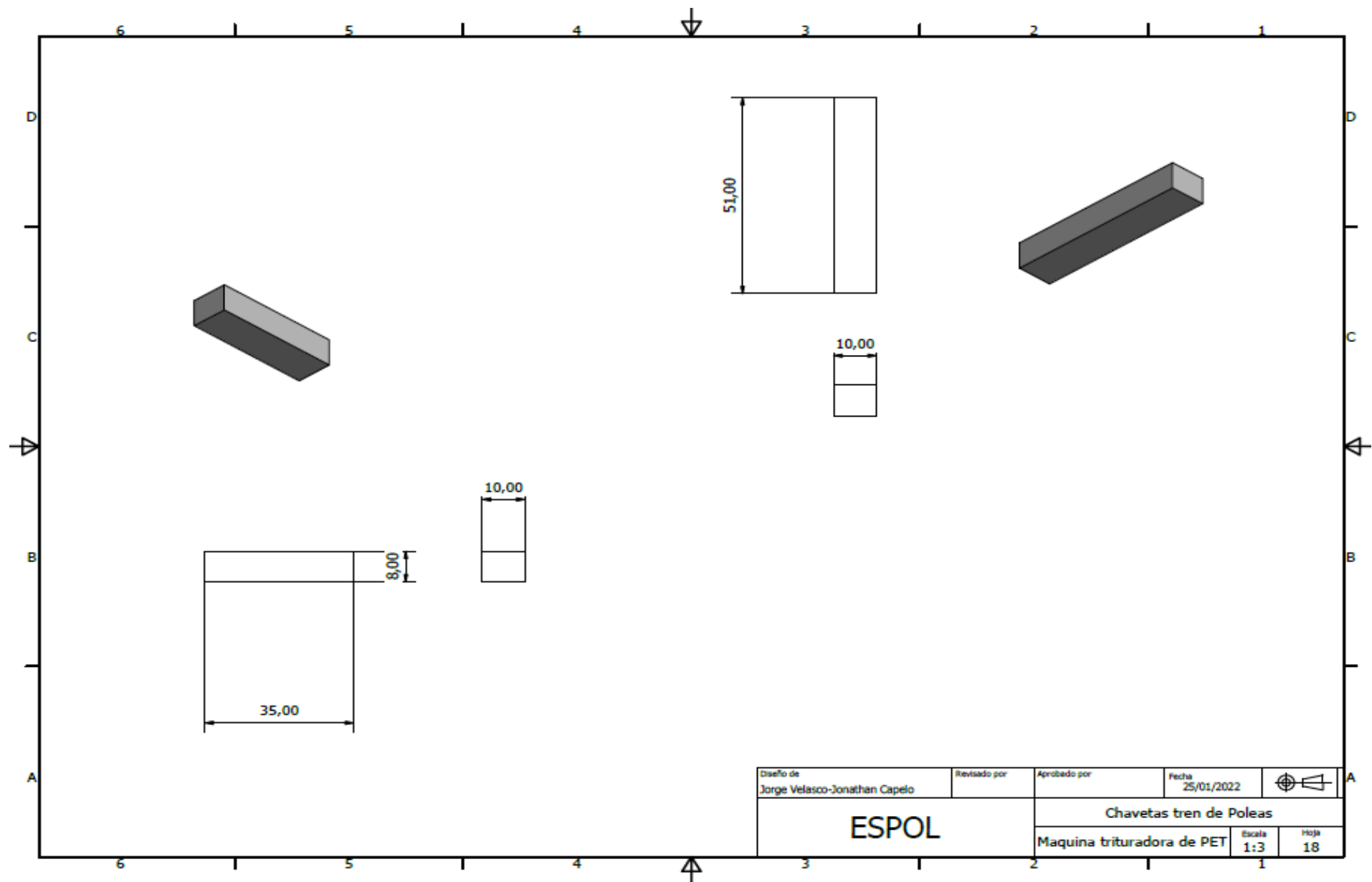



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL
1	2	tolva_pared_frontal	A 36
2	2	Tolva_pared_lateral	A 36
3	2	Acoples_tolva_final	A 36

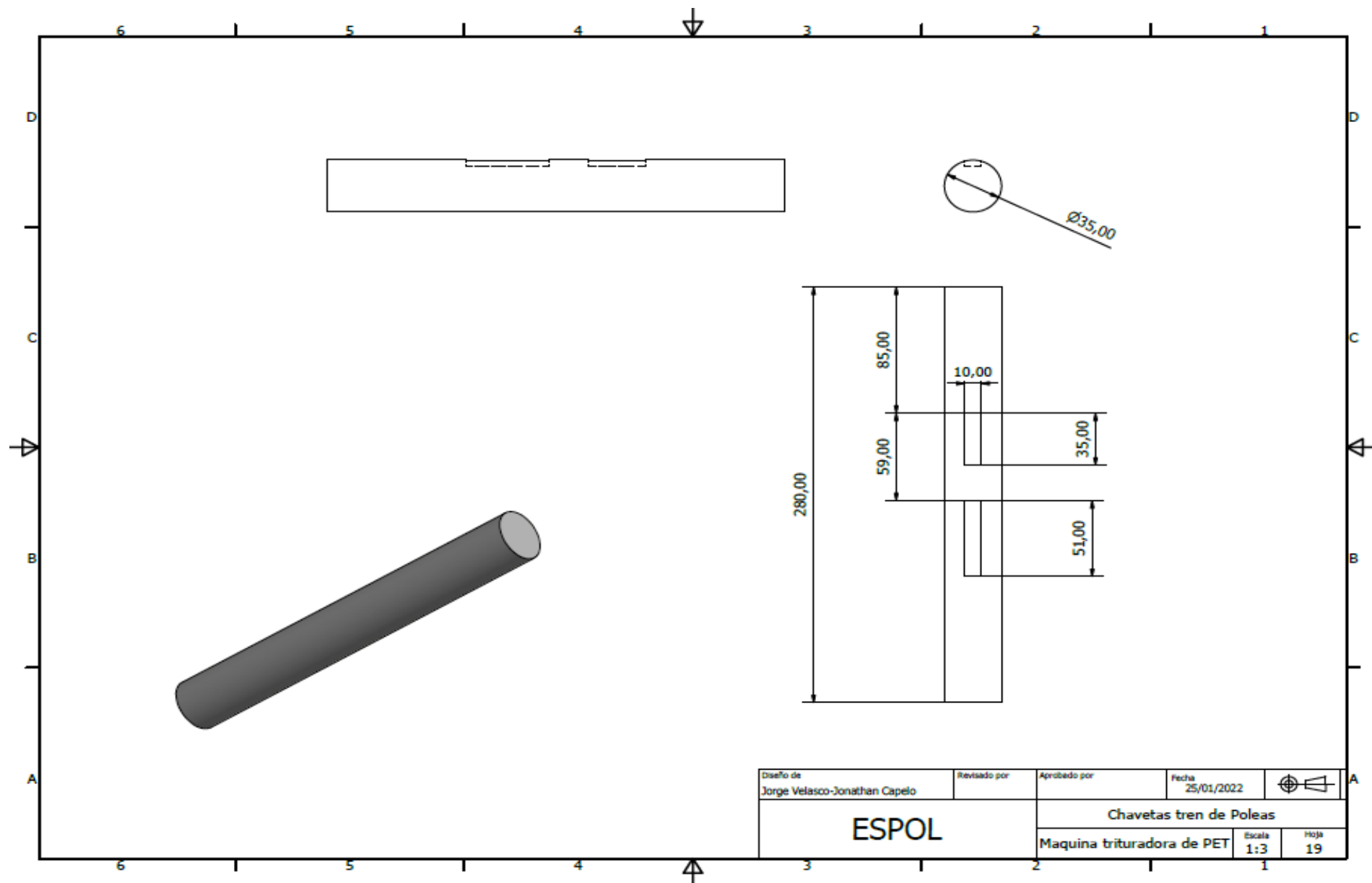
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Tolva		
		Maquina trituradora de PET	Escala 0,17:1	Hoja 15




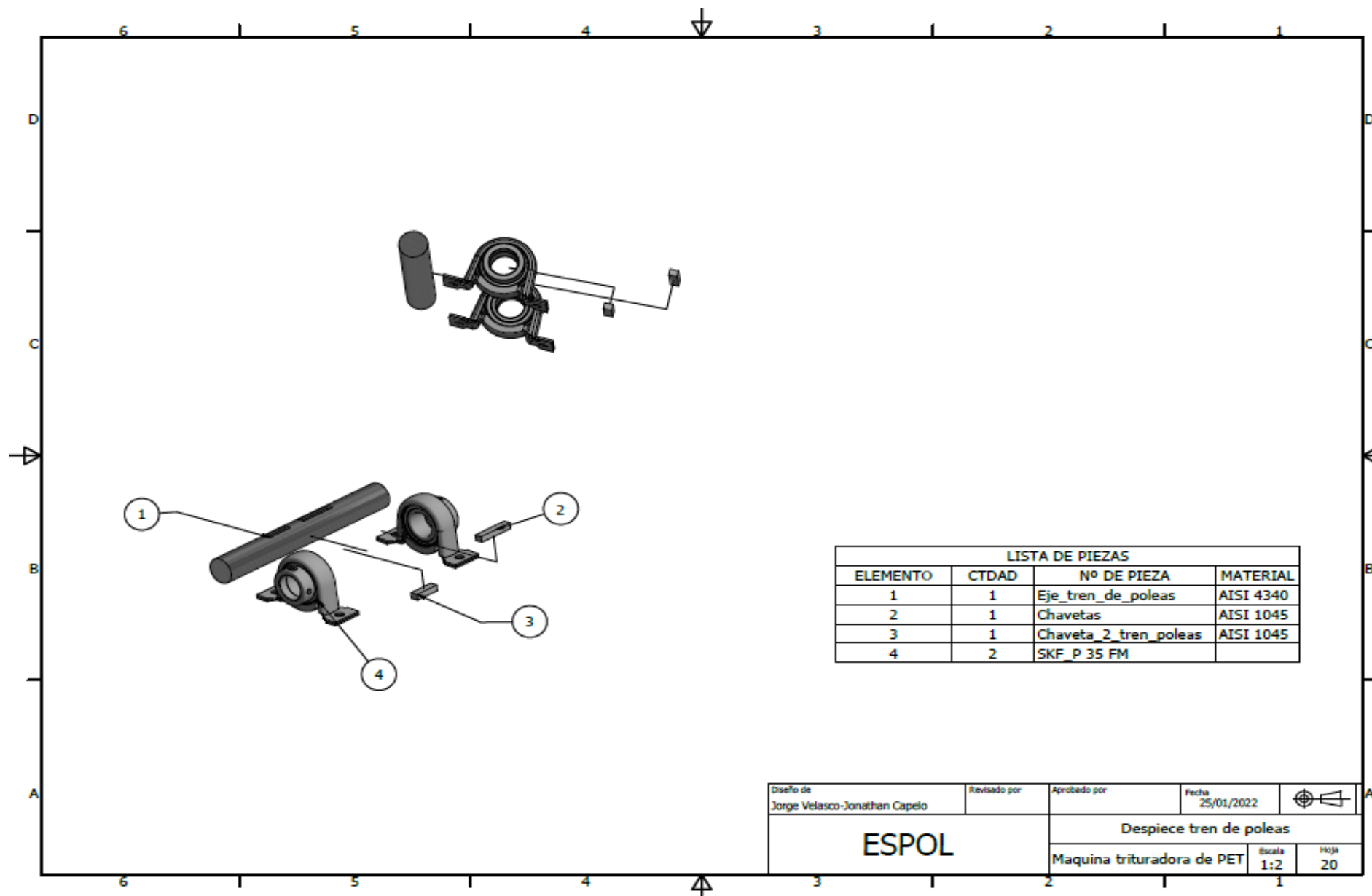




Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL			Chavetas tren de Poleas	
Maquina trituradora de PET			Escala 1:3	Hoja 18



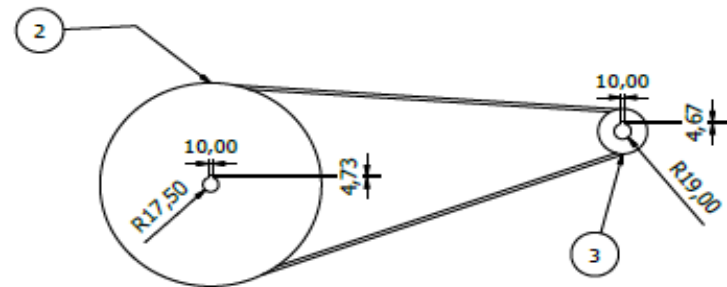
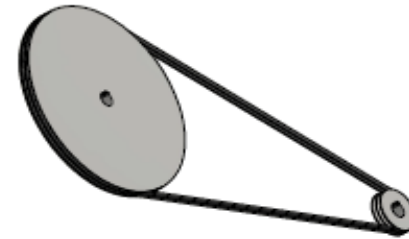
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL			Chavetas tren de Poleas	
			Maquina trituradora de PET	Escala 1:3




LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL
1	1	Eje_tren_de_poleas	AISI 4340
2	1	Chavetas	AISI 1045
3	1	Chaveta_2_tren_poleas	AISI 1045
4	2	SKF_P 35 FM	

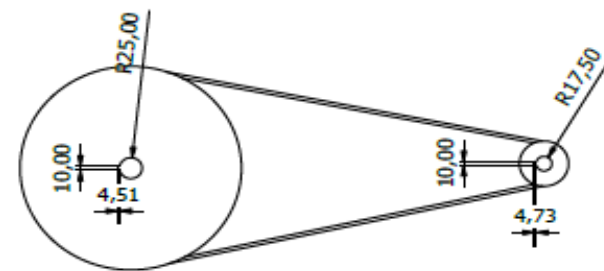
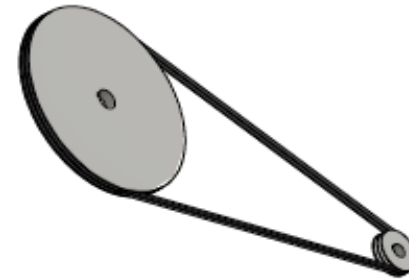
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022		
<h1>ESPOL</h1>			Despiece tren de poleas		
			Maquina trituradora de PET		Escala 1:2

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Correa trapezoidal	3V /2 ranuras/ Longitud estandarizada de 2845 mm
2	1	Polea ranurada1	485 mm
3	1	Polea ranurada2	105 mm



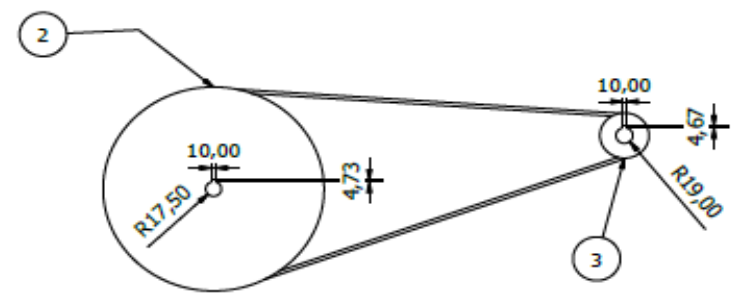
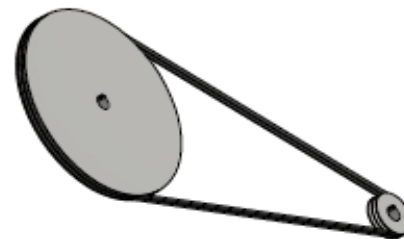
Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Sistema de transmisión de poleas 1		
		Maquina trituradora de PET	Escala 1:10	Hoja 21

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Correa trapezoidal	3V /2 ranuras/ L:2640 mm
2	1	Polea ranurada1	350 mm
3	1	Polea ranurada2	105 mm



Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL			Sistema de transmisión de poleas 2	
			Maquina trituradora de PET	Escala 1:10

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Correa trapezoidal	3V /2 ranuras/ Longitud estandarizada de 2845 mm
2	1	Polea ranurada1	485 mm
3	1	Polea ranurada2	105 mm



Diseño de Jorge Velasco-Jonathan Capelo	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/01/2022	
ESPOL		Sistema de transmisión de poleas 1		
		Maquina trituradora de PET	Escala 1:10	Hoja 21