



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE MÁQUINA RECICLADORA
DE PLÁSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE
FILAMENTOS PET**

Autor:

Luis Miguel Bueno Gómez.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE MÁQUINA RECICLADORA DE PLÁSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE
FILAMENTOS PET**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor:

Luis Miguel Bueno Gómez.

Tutora:

Ing. Yndira Rodríguez A.

San Diego, enero de 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Diseño de una maquina recicladora de Plastico para la obtención de filamentos PET

Realizado por el (la) Br. Luis Bueno

C.I. N° 26727050 cursante de la carrera de Mecánica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

[Signature]

Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Andrés Rodríguez
C.I.: 11547002

[Signature]

Jurado
Nombre: GIOVANNI PIZZELLA P.
C.I.: 4455859

[Signature]

Jurado
Nombre:
C.I.: 3476801

Fecha: 07/07/23

[Signature]





REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Mediante la presente hago constar que he leído el Proyecto de Trabajo de Grado, elaborado por el ciudadano Bueno G. Luis M, titular de la cédula de identidad N° 26.727.650, para optar al grado académico de Ingeniero Mecánico, cuyo título es "**DISEÑO DE MÁQUINA RECICLADORA DE PLÁSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FILAMENTOS PET**", adscrito a la línea de investigación: Desarrollo de nuevas tecnologías de la información y comunicación., y declaro que acepto la tutoría del mencionado Proyecto de Trabajo de Grado durante su etapa de desarrollo hasta su presentación y evaluación por el jurado evaluador que se designe; según las condiciones del Reglamento de Estudios de la Universidad José Antonio Páez.

En San Diego a los 30 días del mes de enero del año dos mil veintitrés.

Ing. Yndira Rodríguez Aguirre.
C.I.: 11.547.002



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

FI N 006 2022-3CR TG

Valencia, 14 de abril de 2023

Ciudadano:
BUENO GOMEZ, LUIS MIGUEL
26.727.650
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2023 de fecha 08/02/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

Diseño de máquina recicladora de plástico para la obtención de filamentos PET.

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Dra. Yndira Deyanira Rodríguez Aguirre, titular de la cédula de identidad V-11.547.002

Atentamente

Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

DEDICATORIA

Quiero agradecerle a **Dios** por haberme permitido vivir este momento inigualable, por darme de su fortaleza y perseverancia para seguir adelante y nunca permitir rendirme, le agradezco por bendecirme y cuidarme cada día.

Dedico este trabajo de grado a las personas más importantes de mi vida, mis padres **Luis Bueno** y **Luisa Gómez** puesto que ellos han sido el pilar invaluable de que yo esté hoy aquí, primeramente, por darme la vida y segundo todo el apoyo en todo momento para que yo pudiera formarme como un profesional y todos los valores que en mí inculcaron.

A mis hermanos **Luis Eduardo** y **Eduardo Luis** por ser mis mejores amigos desde siempre, por todo ese cariño y apoyo que me han brindado y ser las personas con las que siempre cuento en todo momento.

A mi tía **Minerva** por ser como otra abuela para mí por todo el cariño y la ayuda inmensa en mi etapa universitaria.

A mi querida **Ludmila**, Por ser ese enorme apoyo en las buenas y en las malas, por su compañía y ánimos constantes que me ayudaban a seguir en todo momento y por todo su amor y cariño que atesoro con el corazón.

A mis grandes amigos **José, Sergio, Jesús y Bibi** que tuve la dicha de conocer en la carrera primeramente como compañeros de clase unos y que actualmente todos son mi familia.

LUIS BUENO

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a la Universidad José Antonio Páez, por haberme permitido formarme como un profesional en el área de la ingeniería, y ser el hogar donde cumplí este sueño que tomó años de esfuerzo y dedicación, siempre estará en mi corazón.

A mi Tutora la Ing. Yndira Rodríguez, por haberme acompañado, guiado y aconsejado durante el desarrollo de este proyecto. Por estar a mi lado sin nunca dudarle desde el primer momento y brindarme todo su apoyo.

A los profesores Ing. Fredy Barragán, Ing Alicia de Pizella, Ing. Giovanni Pizella, Ing Donato Romanello, Ing. Luis Ortega, Ing, Ana Avendaño, y a todos los profesores que gracias a su vocación y conocimiento hoy estoy aquí como un nuevo profesional, estoy infinitamente agradecido de haberme formado con ustedes.

A los increíbles amigos que pude hacer a lo largo de la carrera, con los que sé que siempre podré contar y ellos contar conmigo.

A mis familiares, por brindarme todo su apoyo y ánimos durante esta etapa.

LUIS BUENO

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiv
RESUMEN INFORMATIVO	xv
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.1.2 Formulación del Problema.....	6
1.2 Objetivos de la Investigación.....	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 Justificación.....	6
1.4 Alcance y Limitaciones.....	7
 II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	10
2.2.1. Teoría central de la investigación.....	10
2.2.2. Proceso de triturado de plásticos en la industria de inyección.....	11
2.2.3. Diferentes tipos de equipos de trituración y aplicaciones.....	11
2.2.4. Tipos de máquinas recicladoras más empleadas.....	14
2.2.5. Proceso de obtención del PET y sus ventajas.....	17
2.2.6. Características del PET.....	17
2.2.7. Fabricación de filamento PLA y ABS.....	18
2.3 Bases Legales.....	24
2.4 Definición de Términos.....	27

III	MARCO METODOLÓGICO	
	3.1 Tipo de Investigación.....	28
	3.2 Diseño de la Investigación.....	28
	3.3 Nivel de la investigación.....	29
	3.4. Población y muestra.....	30
	3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	30
	3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	30
	3.5.2. Instrumentos de recolección de datos.....	31
	3.6. Técnicas de análisis de resultados.....	32
	3.7. Fases metodológicas.....	32
	3.8. Cuadro de Operacionalización de Variables.....	34
IV	RESULTADOS	
	4.1 Fase I.....	35
	4.2 Fase II.....	41
	4.3 Fase III.....	42
	4.4 Fase IV.....	55
	4.5 Fase V.....	105
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
	Conclusiones.....	108
	Recomendaciones.....	109
	REFERENCIAS	110
	ANEXOS	
	Anexo A Validación del instrumento.....	113
	Anexo B Respuestas entrevistas.....	118
	Anexo C Catálogo chumaceras cuadradas.....	122
	Anexo D Catálogo planchas de acero ASTM A36.....	124
	Anexo E Catálogo resistencias tipo abrazaderas.....	126
	Anexo F Catálogo motores trifásicos.....	128
	Anexo G Catálogo cajas reductoras.....	130
	Anexo H Planos de diseño.....	132

LISTA DE CUADROS

DESCRIPCIÓN

CUADRO		pp.
1	Cuadro de Operacionalización de Variables	34
2	Alternativas para la selección del reciclado	38
3	Restricciones y Criterios	38
4	Cuadro comparativo de entrevista dirigida a expertos	40
5	Alternativas de los métodos de lavado y secado del plástico PET	43
6	Restricciones y criterios de selección de los métodos de lavado y secado del PET	44
7	Cuadro comparativo de diseños de trituradoras.	47
8	Cuadro comparativo de formas de ejes para trituradoras.	49
9	Comparación sistema de extrusión de un solo tornillo y de dos tornillos	53
10	Propiedades del PET	57
11	Comparación de dimensiones de botellas de refresco.	67
12	Parámetros de diseño del husillo.	76

LISTA DE FIGURAS

DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Almacenamiento de residuos plásticos para su reciclado	4
2	Contaminación del plástico en el medio ambiente	4
3	Molino triturador de altas revoluciones	12
4	Molino de pie de máquina de bajas revoluciones	13
5	Molino desgarrador	13
6	Trituradoras serie Combi	14
7	Compactadora embaladora	14
8	Prensa vertical MacFab 100	15
9	Prensa Horizontal MacFab HZ50T	16
10	Línea de producción de reciclaje de PET	17
11	Botellas de plástico PET	18
12	Filamentos PLA y ABS	18
13	Producción De Biocarbón mediante pirólisis	19
14	Gasificación de biomasa	20
15	Reciclado Químico	20
16	Proceso de reciclaje biológico	21
17	Reciclado mecánico de plásticos	22
18	Botellas de plástico lavas por cepillado con agua y jabón	22
19	Lavabotellas por medio de vapor	23
20	Solventes de limpieza	23
21	Limpieza de moldes por Ultrasonido	24
22	Proceso de pirolisis del plástico	36
23	Proceso de reciclado mecánico	37
24	Diagrama de Causa y Efecto.	41
25	Cuchilla trituradora.	48

26	Tolva de alimentación cuadrada.	50
27	Bobinas de calentamiento	54
28	Cabezal de extrusión	55
29	Tabla de propiedades físicas de algunos aceros.	56
30	Diseño de cuchillas móviles	58
31	de las fuerzas cortantes en la cuchilla móvil.	59
32	Modelo de cuchilla móvil.	61
33	Modelo de cuchilla fija.	62
34	Tensiones de Von Mises cuchilla fija.	62
35	Separador de cuchillas.	63
36	Distribución cuchillas y separadores.	63
37	Eje de la trituradora.	64
38	Análisis de Von Mises sobre el eje.	64
39	Caja de la trituradora.	65
40	Caja de la trituradora.	66
41	Vista de la criba, parte inferior de la caja.	66
42	Diseño de la tolva.	67
43	Montaje triturador.	68
44	Renderizado de la trituradora	68
45	Partes del husillo	69
46	Catálogo barras de acero AISI 4140.	70
47	Longitud del husillo.	71
48	Paso del husillo.	71
49	Ángulo de paso.	72
50	Espesor del filete.	72
51	Ancho del canal.	73
52	Altura del filete en la zona de alimentación.	73
53	Diámetro interno del husillo.	74
54	Longitudes de zonas del husillo	75
55	Diseño del husillo.	76
56	Diagrama de fuerzas de un husillo	77

57	Propiedades físicas del husillo.	79
58	Cañón con husillo.	82
59	Vista de corte del Cañón con husillo.	83
60	Propiedades del PET.	84
61	Dimensiones para el diseño de la tolva.	84
62	Modelo de la tolva.	86
63	Llenado de la tolva.	87
64	Capacidad volumétrica de la tolva.	87
65	Análisis de tensiones dentro la tolva.	88
66	Resistencias de tipo abrazaderas.	89
67	Propiedades físicas y térmicas del PET.	92
68	Boquilla de extrusión.	95
69	Boquilla de la máquina extrusora.	96
70	Vista de corte lateral boquilla.	97
71	Termocupla tipo arandela.	98
72	Controlador de temperatura ITC-100VH	99
73	Vista de corte lateral boquilla.	99
74	Montaje de la extrusora.	100
75	Análisis de tensiones de Von Mises en la extrusora.	100
76	Renderizado de la extrusora.	101
77	Tubo estructural cuadrado	101
78	Estructura tubular.	102
79	Estructura de soporte.	102
80	Análisis de esfuerzos en la estructura	103
81	Lámina inclinada.	103
82	Renderizado del sistema de reciclaje.	104

LISTA DE TABLAS

DESCRIPCIÓN

TABLA		pp.
1	Comparación de Restricciones vs Alternativas	39
2	Restricciones vs Alternativas Método de lavado	44
3	Ponderación de criterios (métodos de lavado)	45
4	Parámetros de puntuación (métodos de lavado)	45
5	Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección (métodos de lavado)	45
6	Evaluación de soluciones (métodos de lavado)	45
7	Restricciones vs Alternativas (Triturado)	46
8	Ponderación de criterios (Triturado)	46
9	Parámetros de puntuación (Triturado)	46
10	Evaluación de soluciones (Selección de tritadora)	48
11	Evaluación de soluciones (Forma de eje)	50
12	Evaluación de soluciones (Número de ejes extrusora)	53
13	Costos de fabricación de la tritadora	105
14	Costos de fabricación de la extrusora	105
15	Costos de fabricación de la estructura	106



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DISEÑO DE MÁQUINA RECICLADORA DE PLÁSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FILAMENTOS PET

Autor: Luis Miguel Bueno Gómez

Tutora: Yndira Rodríguez Aguirre.

Fecha: enero 2023

RESUMEN INFORMATIVO

La realización del presente trabajo de investigación, propone diseñar una máquina recicladora de plástico PET para la obtención de filamentos requeridos en las impresiones 3D, buscando realizar los planos de fabricación y ensamblaje de una máquina capaz de procesar el Polietileno Tereftalato (PET) en un proceso de triturado y posterior extrusión, y así poder obtener como resultado filamentos PET que puedan ser utilizados en una impresora 3D como materia prima, a la vez que ayuda a reducir la contaminación ambiental con el reciclaje del plástico. La metodología se fundamenta en un proyecto factible con observación directa, y documentado en un diario de campo, en un nivel descriptivo, tomando como población las distintas máquinas recicladoras de plástico del estado Carabobo, y como muestra las maquinas recicladora de plásticos PET. Se realizaron entrevistas a los expertos en el área de procesamiento del material de carácter no estructurada. Se procedió a realizar el análisis de los datos recogidos, y la obtención de la mejor solución del diseño y destacando soluciones factibles al problema de la contaminación medioambiental del plástico, así como de los altos costos de la materia prima para impresión 3D. Se estudió la viabilidad, técnica, económica, medioambiental y social del proyecto a realizarse. El estudio está enmarcado en la Línea de investigación: Ciencias cognitivas y aplicadas.

Descriptor: Recicladora, PET y Filamento 3D

INTRODUCCIÓN

El reciclaje es un proceso que tiene como objetivo convertir los residuos en nuevos productos o materias primas para su uso posterior, de esta forma se evita el desuso de materiales potencialmente útiles, se reduce el consumo de nuevas materias primas y el uso de energía. Es así una actividad muy importante a nivel medioambiental al convertir los productos ya catalogados como residuos en un nuevo aprovechamiento. A su vez que también implica un ahorro económico al reducir la materia prima necesaria para la fabricación del nuevo producto y aun así lograr un resultado de calidad. Por tales motivos, es importante el impulso de esta actividad a nivel mundial.

Sin embargo, en Venezuela esta es una actividad que no tiene la prioridad que merece, donde el plástico es uno de los menos reciclado y que ofrece una gran variedad de usos dicho material, también al reciclarse podría significar un abaratamiento de los costos de producción y por tanto que los productos finales sean más accesibles económicamente que pueden generar un significativo ahorro tanto para la empresa como para el usuario final. Por su parte, ellos pueden utilizarse como materia prima a la hora de realizar impresión 3D, donde dicha impresora funde lo conocido como filamento de plástico para poder construir una pieza previamente diseñada digitalmente. Significando así un gran ahorro económico debido a que este plástico, concretamente el PET, se puede adquirir a bajo costo, a diferencia de comprar filamentos 3D de otros materiales.

En el presente trabajo se llevó a cabo el diseño una máquina que pueda procesar el plástico PET, primero triturándolo mediante un sistema de cuchillas, luego siendo transportado a una extrusora que, por medio de un tornillo sin fin, donde se calentará y moldeará al diámetro y a la forma necesaria para obtener el filamento para posterior uso en impresión de tres dimensiones y garantizando en él un buen resultado final. Buscando en su diseño un óptimo funcionamiento de las herramientas que realizan dichas acciones, así como también un costo de fabricación ideal, que permita una gran viabilidad a la hora de llevar en marcha la creación en físico de los planos presentes en este proyecto de investigación.

El estudio fue distribuido en 4 capítulos que se describen a continuación:

Capítulo I: El problema, donde se explica a detalle la situación actual mediante el planteamiento del problema, los objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo de este proyecto, la justificación de la investigación el alcance y las limitaciones que presentó el mismo.

Capítulo II: Marco teórico, aquí se muestra una recopilación de investigaciones previas, así como conceptos importantes para el proyecto, es el marco Teórico, dentro del cual se encuentran:

los antecedentes de la investigación, bases teóricas, el cuadro de variables, y conceptos o términos básicos.

Capítulo III: Marco metodológico, en esta área se presentan los pasos a seguir para el diseño del dispositivo, explicando con detalles cada uno, para la obtención de excelentes resultados.

Capítulo IV: Resultados, en esta parte se llevan a cabo las fases de la investigación, cuyo objetivo es dar solución a la problemática mediante la elección justificada de las variables para el diseño de los componentes de la máquina recicladora de plástico PET.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, a la tecnología digital se le considera como la protagonista de la próxima revolución industrial puesto que no solo existe una demanda creciente para fines académicos como se puede observar en las universidades donde se requieren mayor variedad de equipos e instrumentos para la preparación de los estudiantes, profesionales para poder llevar a cabo diferentes proyectos, e industriales para suplir las necesidades de distintos productos, sino también se considera que puede generar consecuencias profundas en la manufactura, el comercio y el consumo. Esto se debe a que constantemente se están desarrollando nuevas tecnologías que buscan atender estos sectores para ofrecer productos que puedan satisfacer las distintas necesidades, ocasionando así un mayor requerimiento de materia prima que permita la fabricación de los mismos, provocando una mayor explotación de los materiales del planeta.

Al mismo tiempo, al crear nuevos productos estos generan desechos en el medioambiente, ya que muchas veces estos no se reutilizan mediante el reciclado, a pesar de que los mismos lo permiten y esto conlleva no solo a la contaminación ambiental sino además a un desaprovechamiento de los recursos disponibles que podrían significar un abaratamiento de los costos de producción y por tanto que los productos finales sean más accesibles económicamente que pueden generar un significativo ahorro tanto para la empresa como para el usuario final. Por otro lado, en el mundo poco a poco se ha ido tomando conciencia acerca del aprovechamiento de los desechos plásticos los cuales han venido causando un gran daño al medio ambiente, debido a que su descomposición tarda aproximadamente 700 años, gracias a acuerdos o incentivos por parte de algunos gobiernos se ha podido motivar a las personas a que separen y clasifiquen los desechos para que así sea más fácil para las empresas reutilizar estos desechos en otras aplicaciones.

Sin embargo, en Venezuela no se aprovecha el desecho plástico que se genera, muy a pesar que hoy en día se crean nuevas empresas las cuales ven en el negocio del reciclaje una oportunidad para mejorar el medio ambiente y contribuir a la reutilización de estos desechos, como se muestra en la figura 1. De allí que para este proyecto se tomará como referencia el PET para obtener la materia prima utilizada en impresiones 3D, ya que la misma tiene un alto costo, sin embargo, uno de los tipos de material que usan esas máquinas es el PET.



Figura 1: Almacenamiento de residuos plásticos para su reciclado
Fuente: Alta Densidad (2021)

Así mismo, estos diversos envases plásticos son empleados constantemente por todo el mundo por las ventajas de almacenamiento que suponen, ya que en ellos se pueden preservar tanto líquidos como sólidos. Particularmente el Tereftalato de Polietileno, mejor conocido como PET, permite esta contención de productos de manera hermética y se puede encontrar en presentaciones como son bandejas, envases plásticos, vasos o botellas. Es por su eficiencia y la demanda de productos contenidos en estos envases que constantemente crece la necesidad de usar estos mismos, pero esto a su vez va generando una contaminación por parte de este material (ver figura 2), que a pesar de contar con la ventaja de que puede ser reciclado, en el país no se incita, por medio de políticas, a favorecer esta opción amigable para el medioambiente.



Figura 2: Contaminación del plástico en el medio ambiente
Fuente: Infobae (2019)

Igualmente, los avances tecnológicos de las últimas décadas han permitido no solo la aparición, sino también la constante mejora de la impresión 3D, donde partiendo de un modelo de una pieza hecha en computadora, se le puede dar instrucciones a una máquina para replicar dicho modelo hecho de un material previamente seleccionado y compatible con el tipo de impresora 3D. La necesidad de innovación fomenta cada vez más a la creación de piezas únicas fabricadas mediante este proceso y por lo tanto surge la demanda del material para llevarlo a cabo, el cual puede poseer un costo un poco elevado, sobre todo dependiendo del tamaño de la pieza a ser fabricada. La problemática de la acumulación del PET al no reciclarse, debido a su largo tiempo de degradación es la contaminación que este produce, que afecta al planeta entero. Además, no se estaría aprovechando, ya que se tendría este plástico como un desecho y no como una materia prima para un nuevo uso.

Por otro lado, el problema de los costos de los filamentos es que limitan las constantes pruebas de diseño que se deseen realizar, ya sea para fines educativos o en la industria, sobre todo si estas son piezas de gran tamaño que pueden acarrear altos costos de fabricación. En Venezuela hay varias compañías encargadas de reciclar, mismas que realizan grandes esfuerzos para lograr este fin. Sin embargo, no hay datos oficiales respecto a la generación, composición y reciclaje de residuos y desechos, aunque se puede estimar, por medio de la ONG Vitalis, que aproximadamente se produce un total de 19 a 25 mil toneladas de residuos, y que de los mismos solo el 10 a 19% puede estarse aprovechando mediante el reciclaje. Entre los materiales reciclados solo se observa un 2% correspondiente a los plásticos, donde, por medio de mejores políticas podría duplicarse o triplicarse esta cifra.

De manera similar, en Venezuela cada vez se observa un crecimiento mayor en la tecnología de Impresión 3D, sin embargo, no se aprecia el uso de filamentos de PET reciclado, si no que se prefiere el uso de otro tipo de filamentos como pueden ser el ABS, PLA y PETG. Si no se crea y fabrica una herramienta que permita aprovechar los plásticos, su reciclaje irá en disminución, haciendo que haya una mayor contaminación ambiental en Venezuela y por ende en el mundo. Además, los altos costos que suponen las alternativas de filamentos, impiden que pueda incrementar el uso de esta tecnología 3D, que en los últimos años ha brindado una gran serie de ventajas y que pueden impulsar el desarrollo tecnológico del país. Por lo tanto, la problemática nos afectaría a todos, no solo al sector de la manufactura, debido a lo que implica una cada vez más amplia acumulación de desechos plásticos y como su desuso significa un desaprovechamiento.

Así pues, la problemática del reciclaje también se puede encontrar con otros materiales, pero se observa como las distintas empresas hacen uso de estos materiales para su reaprovechamiento, como se puede ver en los cuadernos cuyas portadas son hechas de cartón reciclado así también como los empaques de cereales.

1.1.2 Formulación del problema

Para dar una posible solución a la problemática antes expuesta, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo se puede obtener plástico reciclado PET para realizar impresiones en 3D?

1. 2. Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General

Diseñar una máquina recicladora de plástico PET para la obtención de filamentos requeridos en las impresiones 3D.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar los actuales procedimientos de reciclaje de plástico
- Analizar las variables involucradas en el proceso de reciclaje de plástico para la obtención de materia prima PET utilizadas en impresoras 3D.
- Seleccionar una alternativa de solución viable que cumpla con los tipos de materia prima requerida en las impresoras 3D
- Diseñar una máquina recicladora de plástico PET para la obtención de filamentos requeridos en las impresiones 3D.
- Evaluar la viabilidad económica, técnica, operativa y ambiental del diseño seleccionado.

1.3 Justificación

Este trabajo de investigación está enfocado en el diseño de una máquina capaz de reciclar y reconvertir plástico en filamento que pueda ser utilizado en impresión 3D. La incidencia que se procura generar con este proyecto tiene dos aristas. En primer lugar, en el ámbito social logrará disminuir la contaminación producida en nuestro país y generar un producto que a su vez sea cien por ciento reciclable. Segundo, en el ámbito económico, permitirá dar uso a las impresoras 3D ya que, al reducir los costos del insumo principal, y de ser posible con posterioridad se podrá producir materia prima para cubrir la demanda de dicho producto a nivel nacional partiendo de un producto de origen 100% reciclado.

Se justifica a nivel económico ya que obtener la materia prima para las impresoras 3D a partir de material de reciclaje se supone un enorme ahorro financiero en comparación a emplear

los filamentos comerciales a la vez que supone un reaprovechamiento del material. Del mismo modo se justifica académicamente, porque el estudio tendrá la oportunidad para el desarrollo de producto de alto impacto e innovación tecnológica y los estudiantes podrán transformar el reciclaje y contribuir con el medio ambiente. Se justifica a nivel ambiental ya que debemos ser conscientes de que el respeto por el medio ambiente es una necesidad y obligación para todos. Y con este trabajo de investigación hay muchas formas de aportar en beneficio de este.

1.4 Alcance y limitaciones

En cuanto al alcance, el estudio toma como referencia el PET de las botellas de consumo de bebidas azucaradas o de agua. Por otro lado, la principal limitación es no contar con un presupuesto adecuado para construir la máquina que, a partir de desechos, soportes o piezas formadas con polímeros, sean capaces de generar un filamento para las impresoras 3D.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Según Arias (2016, p. 106) el marco teórico es “el producto de la revisión documental-bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar” Es decir, se enmarcan aquellas leyes, métodos y fundamentos en los que se basa la investigación, para así sustentar el problema planteado.

2.1 Antecedentes

Según Bavaresco (2001), “Los antecedentes de la investigación crean referencia al conocimiento previamente elaborado de la variable o el tema de la investigación, buscando proporcionar soporte a la investigación. En otras palabras, todos los trabajos de investigación en donde se manejen objetivos o variables similares dan sustento a la información que hay en la misma.

Por su parte, Porras, Jean (2018), en su trabajo de grado titulado “*Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3d en la PUCP*”, realizado en la Pontificia universidad católica del Perú, para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico. En este se llevó a cabo una investigación para diseñar una máquina con funcionalidad similar al presente proyecto, pero utilizando plástico de tipo ABS, en él explica cuáles son los requerimientos para lograr todo el proceso de conversión del plástico ABS a los filamentos. El objetivo principal de esta investigación fue el de diseñar una máquina automática compacta que permita reciclar plástico ABS, proveniente de las piezas funcionales en desuso de los laboratorios de la PUCP, y convertirlo en filamentos para impresión 3D.

Los procedimientos requeridos son: el reciclaje mediante la trituración del material plástico, el resultado obtenido del proceso anterior se extruye para producir el filamento. Asimismo, permite la obtención de filamentos, debido a la intercambiabilidad de sus boquillas permitiendo tamaños en un rango de 1,75 a 3,00 mm de diámetro. En el trabajo de investigación de Porras se obtuvo correctamente un diseño funcional de la máquina planteada con pequeñas dimensiones para su funcionamiento en espacios reducidos. Esta investigación contribuye al trabajo de grado con una amplia variedad de alternativas en cuanto al diseño de los sistemas de encargados de la labor de reciclaje, a su vez que aporta un mecanismo de cambio de boquilla que permite obtener diferentes diámetros de filamentos, dependiendo de cuál sea de necesaria producción.

De manera similar, Balza, García y Hernández (2020) en su trabajo de grado titulado *“Diseño de una máquina automatizada recicladora de polímeros termoplásticos PEAD y PEBD”*, realizado en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico, cuyo objetivo general es diseñar una máquina recicladora automatizada capaz de triturar y extruir polímeros termoplásticos PEAD y PEBD. En el mismo se emplearon módulos electrónicos, mecánicos, informáticos y de control, donde se implementó un proceso de trituración de plásticos con el uso de cuchillas giratorias donde posteriormente fue pasado a un proceso de fundición en el cual unas resistencias eléctricas conectadas al exterior de un cilindro donde es transportado mediante un tornillo sin fin, se procede a eliminar las fugas de aire y por último hay una extrusión del material por medio de un dado mecánico que produce la materia prima reciclada.

Por su parte, este trabajo aporta a la investigación las cuchillas giratorias para el triturado del plástico que posteriormente se transformará en pellets, el diseño de las cuchillas está constituido por ejes giratorios los cuales ayudaran a triturar y cortar el plástico a fin de poder posteriormente procesarlo.

A su vez, Naranjo y García (2016) en su trabajo de grado titulado *“Impresora 3D por inyección para la creación de figuras geométricas simples”*, realizado en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José De Sucre, para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico, cuyo objetivo era la creación de un prototipo capaz de crear figuras geométricas en el material ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), el cual es un polímero muy resistente al impacto, muy usado, a partir de diseños desarrollados en CAD. Este proyecto proporciona información muy valiosa para el diseño de una máquina de reciclaje de polímeros termoplásticos como lo es el PET, ya que utiliza métodos de manipulación y moldeo de plásticos, proporcionando excelentes referencias para el equipo y las temperaturas utilizadas para procesar y moldear el polímero.

Por otra parte, Castro (2019) en su trabajo de grado titulado *“Rediseño del sistema de trituración en una planta de producción de sulfato de aluminio”*, realizado en la Universidad José Antonio Páez, para optar por el título de Ingeniero Mecánico, donde se consiguió una mejor alternativa en cuanto al sistema de triturado para el sulfato de aluminio. En este trabajo se observan diferentes alternativas de trituradoras, tanto de martillos como de rodillos, que pueden aportar un mayor número de opciones a la hora de crear el diseño de la trituradora de plástico de este trabajo de investigación.

Además, Nieto (2017) en su trabajo de grado titulado “*Instalación de servicios y obras complementarias para el montaje de peletizadora en alimentos Super S, C.A.*”, realizado en la Universidad José Antonio Páez, para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en donde se realizó un montaje de una peletizadora en la empresa anteriormente mencionada, y donde se observa y se toma para el trabajo de investigación el mecanismo para la formación del peletizado, ya que después de haber triturado el plástico es necesario que el resultado esté en gránulos más pequeños para su posterior proceso de extrusión, y esto es garantizado con la malla de la máquina peletizadora.

2.2 Bases Teóricas

Según explica Pérez, (2006) las bases teóricas son "el conjunto actualizado de conceptos, definiciones, nociones, principios que explican las teorías principales del tópico a investigar" (p. 69). Por lo tanto, es una amplia variedad de ejes temáticos y teorías que sustentan este proyecto. Es importante recalcar que, a la hora de fundamentar una investigación, es importante establecer una sistematización conceptual del campo de conocimiento, que refiera al objeto de estudio. Luego se analizan los diversos términos asociados a este concepto y se define el contexto en desarrollo.

2.2.1 Teoría central de la investigación

- **Teoría ambientalista**

Nightingale (1859) en su teoría ambientalista se basa en cinco puntos, que ella consideraba esenciales para obtener un hogar saludable, como agua y aire limpios, saneamiento básico, limpieza y luz, ya que creía que un ambiente saludable era fundamental para la curación. Se basa la investigación en esta teoría puesto que se busca una mejora ambiental y por consiguiente de las personas al ofrecer una herramienta de reciclaje que pueda favorecer a tener ambientes y espacios más despejados de desechos.

- **Energía de deformación de Von Mises**

La tensión de Von Mises es un escalar proporcional a la energía de deformación elástica de distorsión que puede expresarse en función de las componentes del tensor tensión. La energía de deformación de un sólido deformable, iguala al trabajo exterior de las fuerzas que provocan dicha deformación. Dicho trabajo puede descomponerse, entre el trabajo invertido en cambiar la forma del cuerpo o energía de distorsión y el trabajo invertido en comprimir o dilatar el cuerpo manteniendo constantes las relaciones geométricas o energía elástica volumétrica. Es empleada en la investigación debido al proceso de transformación a los que son sometidos los plásticos.

- **Teoría Cinético Molecular**

Describe que la materia está formada por partículas, que pueden ser átomos o moléculas, cuyo tamaño y forma característicos permanecen en estado sólido, líquido o gaseoso. Estas partículas están en constante movimiento aleatorio. El movimiento de sólidos y líquidos está limitado por fuerzas cohesivas que deben superarse para derretir un sólido o vaporizar un líquido. La energía depende de la temperatura. A mayor temperatura, mayor movimiento y mayor energía cinética. Las colisiones entre partículas son elásticas. En una colisión, la energía cinética de una partícula se transfiere a la otra sin pérdida de energía total. Esta teoría se usará en la investigación para describir el proceso de extrusión necesaria para obtener los filamentos PET.

2.2.2 Proceso de triturado de plásticos en la industria de inyección

Su finalidad es el de reducir el volumen de las coladas, así como los restos que se crean mediante el moldeo de las piezas inyectadas, además de la destrucción de piezas defectuosas. La reducción del volumen de las diferentes piezas, que poseen diversas formas y tamaños, se logra al hacer pasar las mismas por un sistema de trituración, donde dichas piezas pasan a tener un tamaño más pequeño y uniforme que permite su fácil transporte, almacenado o dosificado. Esta aplicación hace más fácil la tarea de desechar estos residuos, debido a que es más rentable el transporte y el almacenamiento del material triturado.

A su vez, dicho material triturado puede ser aprovechado mediante su reciclado, ya sea incorporándolo al material virgen, o por otro lado puede ser el material principal en piezas donde tanto su apariencia, así como sus características físicas lo permitan. Mediante esta aplicación se consigue un ahorro en cuanto a los materiales, pudiendo aprovecharlos al máximo, haciendo rentable en poco tiempo este tipo de inversiones de equipo de triturado.

2.2.3 Diferentes tipos de equipos de trituración y aplicaciones

- **Molinos a altas revoluciones**

Los molinos de altas revoluciones son las máquinas con una gran aplicación en la industria del plástico. Son equipos de gran simpleza y economía, orientados a trabajar con materiales standard y con alta capacidad de producción. El problema de estos equipos es que a su vez son aquellos que necesitan más mantenimiento, su limpieza resulta más complicado, además posee un consumo de energía y produce mucho ruido. Estos equipos poseen una boca de entrada, que tiene las mismas medidas que la cámara de trituración, esto limita el tamaño máximo de las piezas que se puedan introducir en la máquina. Continuando por la boca de la máquina se encuentra una tolva

de caída a la cámara de trituración, donde la longitud de la misma está establecida en las normas de seguridad para evitar que alguna extremidad del operario.

Así mismo, dentro de esta cámara se encuentra un rotor central que incorpora tres o más cuchillas que giran adheridas a él y en los extremos se encuentran cuchillas fijas que están graduadas para que al paso de con las cuchillas giratorias, se genere un efecto en forma de tijera, para así cortar el material. En estas máquinas el rotor gira entre 250 a 350 R.P.M.



Figura 3: Molinos triturador de altas revoluciones
Fuente: Interempresas (2021)

- **Trituradores de bajas revoluciones**

Este tipo de trituradoras tienen menor capacidad de triturado frente a la de altas revoluciones, sin embargo, permiten obtener una mejor calidad en cuanto al producto resultante. Cuentan igualmente con una boca de entrada y la tolva de alimentación, pero gira solamente a 25 R.P.M. No posee cuchillas rotativas ni fijas, si no que implementa palas rompedoras que cortan en pedazos más pequeños las piezas introducidas en el sistema, posteriormente estos trozos pasan a través de unos rodillos con dientes que, en un modo de fresa, van mordiendo el material, produciendo un triturado sin una generación de polvo a su vez que es uniforme. Al poseer una potencia menor, debido a la utilización de un motor eléctrico y un reductor, que produce un alto par por una baja velocidad. Logra reducir el consumo de energía, el ruido y también el mantenimiento necesario.



Figura 4: Molino de pie de máquina de bajas revoluciones
Fuente: Maqui-Chen

- **Desgarradores**

Son máquinas que únicamente permiten reducir piezas de gran tamaño en trozos más o menos grandes. Para posteriormente ser trituradas o por otro lado para destruir la pieza reduciendo su tamaño.



Figura 5: Molino desgarrador
Fuente: Interempresas (2021)

- **Sistemas combinados**

Son equipos que combinan dos tecnologías distintas, uniendo un desgarrador, que reduce el tamaño de las piezas, y un molino de altas revoluciones que realiza el triturado de estas. Lo que permite el triturado de piezas de gran tamaño una máquina relativamente compacta y sin necesidad de tener una gran potencia instalada.

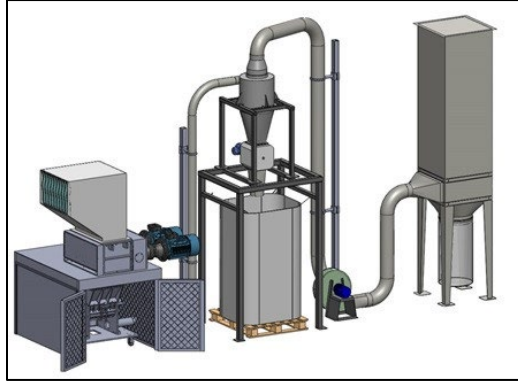


Figura 6: Trituradoras serie Combi
Fuente: Isve Recycling (2021)

2.2.4 Tipos de máquinas recicladoras más empleadas

- **Compactadoras**

Es la más empleada a nivel mundial, permite un reciclaje fácil y rápido al poder reutilizar, el realizar un compactado o aplastado y dar forma al plástico, cartón y otros materiales. Está pensada para ser empleada para el plástico, cartón y el aluminio, sin embargo, hay tipo de máquinas compactadoras que permiten compactar material orgánico, en grandes cantidades y en un tiempo mínimo. Un uso extendido de esta máquina está a la hora de compactar plástico procedente de cables empleados en la industria de electrodomésticos.



Figura 7: Compactadora embaladora
Fuente: Logística inversa

- **Retro compactadoras**

A diferencia de la compactadora manual, esta automatiza todo el proceso de compactación de la basura, tanto orgánica como inorgánica. Posee muchas ventajas, donde se puede destacar la gran autonomía que posee a nivel de operarios humanos que requiere, una alta cantidad de potencia

que máxima el compactado, la poca cantidad de ruido que producen y su gran capacidad de carga de material a ser compactado. Además, no necesitan una gran zona para poder operar, por eso suelen encontrarse ubicadas cerca de los contenedores de reciclajes, porque lo que el tiempo del proceso desde el material a reciclar al compactado se reduce considerablemente.

Poseen un costo mayor al de las compactadoras manuales, sin embargo, poseen un retorno de la inversión mucho mayor, a su vez que aumentan mucho los tiempos de producción, haciendo que sean la opción preferida dentro de la industria del reciclaje.

- **Prensas de reciclaje vertical**

Son prensas de residuos que permiten compactar y achicar al máximo el material, en cuanto a volumen, que se quiere reutilizar. Entre las características de la misma se tiene que presente una gran eficiencia de la energía empleada, puesto que consume poco para el trabajo que realiza. Poseen un pequeño tamaño que le permite poder colocarse en cualquier ambiente. Tienen poca generación de ruido. Y es una opción más económica que la retro compactadora.



Figura 8: Prensa vertical MacFab 100
Fuente: Machemac

- **Prensas de reciclaje horizontal**

Es otra alternativa a la hora de la automatización del reciclaje de productos. Comparándolas con las verticales, estas poseen un mayor tamaño, lo cual puede representar un problema a la hora de ubicarlas. Pero por otro lado poseen un mayor rendimiento en cuanto a producción que las verticales, así como ofrecer mayor cantidad de formas automatizadas o estáticas para compactar los residuos.



Figura 9: Prensa Horizontal MacFab HZ50T
Fuente: Machemac

- **Maquinaria de reciclaje de PET**

El reciclaje de Tereftalato de polietileno, por sus siglas en inglés PET, es uno de los más extendidos a nivel mundial. Donde en este reciclaje se reutiliza este material, el cual es un tipo de plástico, que se puede encontrar en diversos productos como pueden ser tanto en botellas de agua, de refresco, entre otros, y a su vez en textiles. Para poder realizar su reciclaje se requiere de las máquinas recicladoras de este material. Y no solo favorecen a la preservación medioambiental al reaprovechar este recurso, sino que también presenta un beneficio económico a las empresas que emplean este tipo de plástico como su materia prima.

Las máquinas recicladoras de PET poseen 3 procesos:

- Trituración
- Secado
- Compactado

Y en la actualidad se encuentran equipos con la capacidad de reciclaje de 600 a 1000kg de botellas cada hora.



Figura 10: Línea de producción de reciclaje de PET
Fuente: Interempresas

2.2.5 Proceso de obtención del PET y sus ventajas

El Tereftalato de polietileno es un tipo de polímero plástico que se puede obtener a través de un proceso de polimerización del ácido tereftálico con el monoetilenglicol. Es un polímero lineal, que posee un gran nivel de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, características que lo hacen adecuado para poder ser transformados mediante los diversos métodos como son la inyección, extrusión y termoformado.

2.2.6 Características del PET

- Es un material que puede ser reciclado en su totalidad.
- Posee cristalinidad y transparencia, además de que permite la incorporación de cargas de colorantes.
- Al estar sometido bajo cargas de esfuerzo permanente responde bien.
- Tiene una gran resistencia al desgaste.
- Tiene un coeficiente de deslizamiento.
- Gran resistencia química.

Debido a las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir con diversas especificaciones técnicas, este material ha tenido un gran avance en la producción de fibras textiles y la producción de una amplia variedad de envases, especialmente botellas, bandejas, flejes y láminas.



Figura 11: Botellas de plástico PET
Fuente: Soluciones packaging

2.2.7 Fabricación de filamento PLA y ABS

Primeramente, en el proceso para la fabricación de estos filamentos, es tomar la resina ya sea de PLA o de ABS, que se encuentra en una forma granulada y cuyo color frecuentemente es blanco, y se deposita en una licuadora que mezcla esta resina con diferentes aditivos o pigmentos con el fin de brindarle propiedades estructurales tales como lo son el color, resistencia o magnetismo. Posteriormente se debe secar en una temperatura comprendida entre 60 a 280 °C, por un tiempo de dos horas. De no realizarse este paso el resultado obtenido presentaría una calidad muy baja. Se pasa entonces por una máquina extrusora de husillo simple, donde incrementará su temperatura y se moldearan en forma de monofilamento sólido. Por último, se enfriará el plástico obtenido en un tanque de agua y se procederá a enrollar.



Figura 12: Filamentos PLA y ABS
Fuente: Impresoras3D

2.2.8 Métodos de reciclaje

- **Pirólisis:** Es un proceso de degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, mediante el cual los materiales se descomponen mediante calor, sin que se produzcan reacciones de combustión. En la pirólisis, los plásticos son calentados en una cámara cerrada a temperaturas que oscilan entre 300°C y 800°C, lo que convierte los plásticos en gases y líquidos. Los gases producidos pueden ser capturados y utilizados como combustible, mientras que los líquidos pueden ser refinados y utilizados como productos químicos o combustibles. Los residuos sólidos que resultan del proceso pueden utilizarse como combustible en instalaciones industriales, mientras que los residuos líquidos y gaseosos pueden ser aprovechados mediante combustión para producir energía eléctrica.

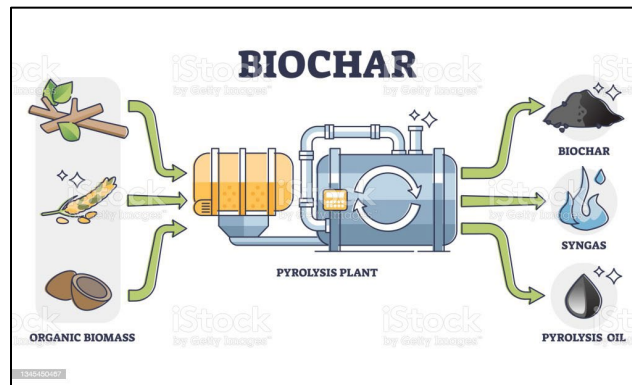


Figura 13: Producción De Biocarbón mediante pirólisis

Fuente: iStock

- **Gasificación:** Es un proceso de reciclaje químico en el que se trata térmicamente los residuos plásticos en una cámara de gasificación en presencia limitada de oxígeno y altas temperaturas. Durante este proceso, los residuos plásticos se descomponen en un gas sintético que se puede utilizar como combustible. La gasificación es similar al de pirólisis, pero se diferencia en que involucra la presencia limitada de oxígeno. El proceso de gasificación produce menos emisiones que la combustión directa de plásticos, lo que lo hace más respetuoso con el medio ambiente. Además, se ha demostrado que una técnica combinada de gasificación y pirólisis es más eficiente energéticamente y más respetuosa con el medio ambiente que otros procesos de gestión de residuos sólidos urbanos. En general, el proceso de gasificación para la extracción de energía a partir de una fuente de carbono sólido implica dos reacciones simultáneas o competitivas, pirólisis y gasificación.

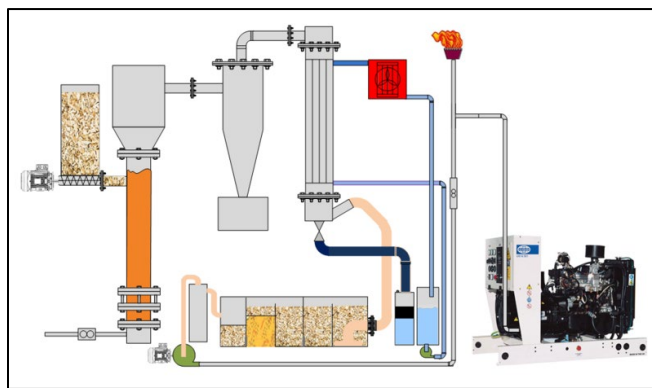


Figura 14: Gasificación de biomasa

Fuente: Wikipedia

- **Reciclaje químico:** Es una técnica de reciclaje de plásticos que implica la descomposición de los materiales en sus componentes químicos básicos mediante el uso de calor, presión, oxígeno empobrecido, catalizadores y/o disolventes. Esta técnica se utiliza para convertir los plásticos en productos químicos y materiales útiles, como polímeros y resinas, que pueden ser utilizados para producir nuevos productos. El proceso de reciclaje químico puede producir combustibles y plásticos nuevos a partir de plásticos que no se pueden reciclar mecánicamente, como películas y láminas plásticas. Aunque todavía no está ampliamente implantado a escala comercial, el reciclaje químico se considera una técnica prometedora para reducir la cantidad de residuos plásticos y mejorar la sostenibilidad del sector de los plásticos.

En el país este método es poco empleado, sin embargo, se está desarrollando una Ley de Pirólisis del Plástico anunciada en enero del presente año 2023, donde se buscará promover la utilización de este procedimiento para combatir la gran cantidad de desechos plásticos existente en Venezuela.



Figura 15: Reciclado Químico

Fuente: Todo En Polímeros

- **Reciclaje biológico:** El reciclaje biológico es una técnica que permite el aprovechamiento y reutilización de los materiales plásticos, mediante la utilización de microorganismos que degradan los compuestos químicos del plástico. Los microorganismos utilizados en el reciclaje biológico son capaces de descomponer los plásticos y convertirlos en compuestos más simples, como agua y dióxido de carbono, que son menos dañinos para el medio ambiente. Esta técnica de reciclaje no solo ayuda a reducir la cantidad de residuos plásticos en el medio ambiente, sino que también permite el aprovechamiento de los materiales plásticos de forma ilimitada y sin perder su calidad inicial.



Figura 16: Proceso de reciclaje biológico
Fuente: Istock

- **Reciclaje mecánico:** Según Liu y Wu (2021), el reciclaje mecánico es un proceso de dos etapas que incluye la recuperación de materiales y la fabricación de nuevos productos. En la primera etapa, los plásticos se clasifican por tipo y se limpian para eliminar cualquier contaminante, como etiquetas o restos de alimentos. A continuación, los plásticos se trituran en pequeños pedazos o escamas y se someten a una serie de procesos de lavado y secado para eliminar cualquier residuo restante. En la segunda etapa, los pedazos de plástico se funden y se moldean en nuevos productos utilizando diferentes técnicas de moldeo, como la extrusión, el moldeo por soplado o la inyección. Los plásticos reciclados pueden utilizarse para fabricar una amplia variedad de productos, como botellas, contenedores, bolsas, tuberías y otros objetos plásticos.

El reciclaje mecánico es uno de los métodos más comunes de reciclaje de plásticos y es esencial para cerrar el ciclo de vida de los materiales y reducir la cantidad de residuos plásticos que se envían a los vertederos. Además, el reciclaje mecánico puede tener un

impacto positivo en el medio ambiente y la economía, ya que reduce la necesidad de utilizar recursos naturales y disminuye la cantidad de residuos plásticos que se generan.



Figura 17: Reciclado mecánico de plásticos

Fuente: Ecoplas

2.2.9 Método utilizado para lavar y secar el plástico PET

- **Lavado con agua y jabón:** Este método es el más común y sencillo, donde se emplea un jabón suave junto con agua caliente, esta combinación permite descomponer los residuos superficiales de los plásticos, siendo importante que tanto el agua empleada esté libre de microorganismos y que el proceso de enjuagado se realice de la mejor manera para evitar cualquier tipo de contaminación. El tipo de secado que se podría emplear para este lavado es tanto utilizar toallas de papel como el dejarlas secando al aire libre.



Figura 18: Botellas de plástico lavadas por cepillado con agua y jabón

Fuente: 123RF

- **Lavado con vapor:** Es una forma eficaz de limpiar plásticos con residuos endurecidos. El vapor caliente elimina efectivamente la suciedad y la mugre. El plástico PET se coloca en una cámara de vapor y se expone a alta presión y temperatura durante un período de tiempo para eliminar las impurezas. Este método es particularmente útil para limpiar residuos de

aceite o grasa del plástico. Después de la limpieza con vapor, se debe dejar que el plástico PET se enfríe a temperatura ambiente y luego secarlo completamente con aire comprimido o toallas de papel para eliminar cualquier condensación que se haya formado en la superficie durante el enfriamiento.



Figura 19: Lavabotellas por medio de vapor
Fuente: Czech Brewery System

- **Lavado con solventes:** Los solventes como el alcohol, la acetona y el metanol se utilizan a menudo para eliminar las impurezas en los plásticos. Este método es particularmente efectivo para eliminar pegamento, adhesivos y pintura. Sin embargo, se debe tener precaución al utilizar solventes, ya que algunos plásticos pueden dañarse o derretirse. Se debe verificar la compatibilidad de los solventes con el plástico PET antes de utilizarlos. Después de lavar el plástico PET con solventes, se debe enjuagar cuidadosamente para eliminar cualquier residuo de solvente y luego secarlo completamente con aire comprimido o dejarlo secar al aire libre. No se recomienda el uso de calor para secar el plástico PET después de este método de lavado debido al riesgo de ignición del solvente.



Figura 20: Solventes de limpieza
Fuente: Opteon

- **Limpieza ultrasónica:** La limpieza ultrasónica utiliza ondas sonoras para eliminar la suciedad y los contaminantes de los plásticos. Este método es especialmente útil para la limpieza de piezas pequeñas y complicadas. Se sumerge el plástico PET en un tanque de limpieza lleno de un líquido especial y se somete a ondas sonoras de alta frecuencia. Estas ondas sonoras crean burbujas en el líquido, que explotan alrededor del plástico y eliminan la suciedad y las impurezas. Después de la limpieza ultrasónica, se debe enjuagar cuidadosamente el plástico PET para eliminar cualquier residuo del líquido de limpieza y luego secarlo completamente con aire comprimido o toallas de papel. También se puede utilizar un secador de aire caliente para acelerar el proceso de secado, pero se debe tener cuidado de no exceder la temperatura de secado recomendada para el plástico PET.



Figura 21: Limpieza de moldes por Ultrasonido

Fuente: Privarsa (2017)

2.3 Bases Legales

Una buena investigación deber estar respaldada por leyes, normas y códigos oficiales los cuales regulen el área de la misma, en este sentido, Pérez (2008), expresa que las bases legales son “el conjunto de leyes, reglamentos, normas y decretos que establecen el basamiento jurídico sobre el cual se sustenta la investigación”. A continuación, se presentan algunos instrumentos jurídicos para apoyar la información contenida en esta investigación, relacionados con el proyecto de diseño de diseño de máquina recicladora de plástico para la obtención de filamentos PET:

- **En la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°6017**

Se decreta la Ley de Gestión Integral de la Basura donde “se establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y

ambientalmente segura”. Donde se fomentan las actividades de reciclaje en el país para el reaprovechamiento de los materiales residuales, acción que se realiza en el trabajo mediante la reutilización del plástico PET, posteriormente a su recolección, para convertirlos en filamentos.

- **Ley de gestión integral de la basura (2010)**

Artículo 1:

La presente Ley establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura

Artículo 3:

Se declara de utilidad pública e interés social todo lo relativo a la gestión integral de los residuos y desechos sólidos.

Artículo 6:

A los efectos de lo dispuesto en esta ley se entenderá por:

1. Biodegradable: material que se descompone por la acción de microorganismos.
2. Desecho sólido: todo material o conjunto de materiales remanentes de cualquier actividad, proceso u operación, para los cuales no se prevé otro uso o destino inmediato o posible, y debe ser eliminado, aislado o dispuesto en forma permanente.
3. Recipiente recuperable: envase elaborado con cualquier tipo de material que, por sus características físicas y químicas, puede ser aprovechado con un fin igual o distinto para el que fue fabricado.
4. Lixiviado: productos altamente contaminantes que resultan de la degradación de los componentes orgánicos presentes en los residuos y desechos sólidos, y de la incorporación de parte de sus elementos al agua que circula por ellos.
5. Reciclaje: proceso mediante el cual los materiales aprovechables segregados de los residuos son reincorporados como materia prima al ciclo productivo.
6. Residuo sólido: material remanente o sobrante de actividades humanas, que por sus características físicas, químicas y biológicas puede ser utilizado en otros procesos.
7. Segregador o recuperador: persona que se dedica a separar, en forma clasificada, residuos sólidos que puedan ser aprovechables.

- **Ley de residuos y desechos sólidos (2004)**

Artículo 1

La presente Ley tiene por objeto el establecimiento y aplicación de un régimen jurídico a la producción y gestión responsable de los residuos y desechos sólidos, cuyo contenido normativo y utilidad práctica deberá generar la reducción de los desperdicios al mínimo, y evitará situaciones de riesgo para la salud humana y calidad ambiental.

Artículo 2

Los intereses generales del objeto son:

1. Garantizar que los residuos y desechos sólidos se gestionen sin poner en peligro la salud y el ambiente, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.
2. Dar prioridad a las actuaciones tendentes a prevenir y reducir la cantidad de residuos y desechos sólidos, así como evitar el peligro que puedan causar a la salud y al ambiente.
3. Promover la implementación de instrumentos de planificación, inspección y control, que favorezcan la seguridad y eficiencia de las actividades de gestión del manejo de los residuos y desechos sólidos.
4. Asegurar a los ciudadanos el acceso a la información sobre la acción pública en materia de gestión de los residuos y desechos sólidos, promoviendo su participación en el desarrollo de las acciones previstas.
5. Mejorar el ambiente y la calidad de vida, con disposiciones eficientes en cuanto a la seguridad sanitaria.

- **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) según la ONU**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son 17 objetivos globales interconectados diseñados como un plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos, que fueron establecidos en el año 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas (AG-ONU) que pretende alcanzarlos en 2030. Están incluidos en una resolución de la AG-ONU llamada 2030 Agenda o lo que se conoce coloquialmente como Agenda 2030. Los ODS se desarrollaron en la Agenda de Desarrollo después de 2015 como el futuro marco de desarrollo global para suceder a los Objetivos de Desarrollo del Milenio en 2015.

Los 17 objetivos son: Fin de la pobreza, Hambre cero, Salud y bienestar, Educación de calidad., Igualdad de género, Agua limpia y saneamiento, Energía asequible y no contaminante, Trabajo decente y crecimiento económico, Industria, innovación e infraestructura, Reducción de la

desigualdades, Ciudades y comunidades sostenibles, Producción y consumo responsables, Acción por el clima, Vida submarina, Vida de ecosistemas terrestres, Paz, justicia e instituciones sólidas, Alianzas para los objetivos. En el mismo orden de ideas, para esta investigación es útil resaltar los objetivos 14 y 15, debido a que guardan relación con la conservación del medio ambiente, y es lo que se desea conseguir reutilizando el plástico PET al convertir desechos sólidos (es decir, objetos sin uso) a objetos con una mayor vida útil.

2.4 Definición de Términos

Impresora: Es un accesorio para el computador que permite la creación de copias permanentes de texto o gráficos a partir de documentos almacenados en formato electrónico mediante la impresión en medios físicos (generalmente papel o transparencias) utilizando cartuchos de tinta o tecnología láser.

Impresora 3D: Se define como una máquina que posee la capacidad de imprimir figuras que poseen un volumen partiendo previamente de un diseño hecho en computadora, replicando las mismas en un formato físico partiendo de diversos materiales previamente seleccionados.

Mecanismos: Es la combinación de cuerpos conectados por juntas móviles que forman una cadena cinemática cerrada con eslabones fijos con el propósito de convertir el movimiento (Reulaux).

Máquina: Reulaux lo define como un conjunto de cuerpos resistentes que se combinan entre sí para generar fuerzas mecánicas que permitan la realización de un trabajo mediante unos movimientos determinados.

Reciclaje: Según Barrientos (2010), define el reciclaje como un proceso de tratamiento fisicoquímico mecánico de trabajo donde tanto un producto como material se somete a un procedimiento para lograr una obtención de una materia prima que sirve como base para la fabricación de un nuevo producto. Por otra parte, Eche y Sánchez (2016) explica que para el reciclado del plástico se tiene una fabricación que requiere menos recursos que otros casos, su ligereza y resistencia medioambiental aportan claras ventajas a su eficiencia (transporte, embalaje, etc.). Una vez un producto cumple su función y se convierte en un residuo las dos opciones son desecharlo

Tereftalato de polietileno: Para Olivares (2006, p. 148), Se puede definir como un material de poliéster resistente, liviano y transparente que se utiliza para fabricar envases para refrescos, jugos, agua, bebidas alcohólicas, aceites de cocina, productos de limpieza para el hogar, etc.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Franco (2011 p.118) define al marco metodológico como el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, determinando el “cómo” se realizará el estudio, esta tarea consiste en hacer operativa los conceptos y elementos del problema que estudiamos, del mismo modo, Sabino (2008 p. 25) nos dice: “en cuanto a los elementos del marco metodológico que es necesario operacionalizar pueden dividirse en dos grandes campos que requieren un tratamiento diferenciado por su propia naturaleza: el universo y las variables”. En otras palabras, son procedimientos que describen y analizan el problema mediante técnicas de recolección de datos que determinan como realizar el estudio.

3.1 Tipo de Investigación

Según Balestrini (2002, p. 9), expresa: “los proyectos factibles son aquellos proyectos o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática real planteada, la cual fue sometida con anterioridad o estudios de las necesidades a satisfacer”. De acuerdo a lo indicado este estudio se identifica y adapta según los tipos de investigación, como un proyecto factible, debido a lo anterior esta investigación se considera como el más apropiado ya que se busca proponer una solución a un problema práctico a corto plazo, como lo es el diseño de una máquina cuya función logre dar soluciones tanto para la problemática ambiental como la de cubrir las necesidades de materia prima más accesible económicamente para impresiones 3D.

3.2 Diseño de la Investigación

Arias (2016) define al diseño de investigación como “la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, y de campo” (p. 27). La presente investigación recolecta datos directamente de los sujetos de estudio, con lo cual, la misma tiene un diseño apoyado en una investigación de campo. Arias (2016) se refiere a la investigación de campo de la siguiente manera:

“La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes.” (p. 31).

De igual manera, la investigación se encuentra apoyada a su vez de un diseño documental, ya que para la misma recolecta datos obtenidos por otros investigadores con el fin de adquirir nuevos conocimientos. En relación a esto, Arias (2016) dicen que el diseño documental en un “proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas” (p. 27).

Es por esto que la investigación presenta un diseño apoyado en una investigación de campo y documental, ya que se recolectaran datos directo del sujeto de estudio y de fuentes documentales secundarias como registros previos que existan en la investigación sobre el caso de estudio.

3.3 Nivel de la investigación.

Arias (2006) explica que el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio. A su vez Hurtado (2002), infiere que la investigación descriptiva tiene como objetivo la descripción precisa del evento de estudio, este tipo de investigación se asocia al diagnóstico; el propósito es exponer el evento estudiado, haciendo una enumeración detallada de sus características, de modo tal que en los resultados se pueda obtener dos niveles de análisis; dependiendo del fenómeno o del propósito del investigador; estas investigaciones trabajan con uno o con varios eventos de estudio en un contexto determinado, pero su intención no es establecer relaciones de causalidad entre ellos, por tal razón no ameritan de la formulación de hipótesis.

Por lo tanto, la presente investigación tiene un nivel descriptivo, ya que la misma busca comprender la realidad sobre un grupo, persona o cosa en la actualidad. En relación con esto, Palella y Martins (2012) afirman lo siguiente:

“El propósito de este nivel es el de interpretar realidades de hecho. Incluye descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. El nivel descriptivo hace énfasis sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente” (p. 92).

Es por esto que se le asigna este nivel al presente trabajo de investigación, debido a que se busca una descripción justificativa antes de implementar el diseño de una máquina recicladora de plástico PET para la obtención de filamentos requeridos en las impresiones 3D.

3.4. Población y muestra

3.4.1 Población

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población es: “el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (p.174). A su vez, para Arias (2012) lo define como “...población un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación...” (p.81). También expresa Palella y Martins (2008), que la población es: “un conjunto de unidades de las que desea obtener información sobre las que se va a generar conclusiones” (p.83).

Con base en lo anterior, los autores coinciden en que la población es el conjunto del fenómeno en estudio, donde sus unidades tienen una característica común, que se estudia y a partir del cual se crea el material de investigación. Por lo anterior citado, en el caso de esta investigación, las poblaciones estudiadas son todas las máquinas que trabajen con el reciclado de distintos plásticos en el estado Carabobo.

3.4.2 Muestra

El autor Tamayo (1997), afirma que: “La muestra es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico” (Pág. 38). Del mismo modo, Tamayo y Tamayo (2006), definen la muestra como "El conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en totalidad de una población universo, o colectivo partiendo de la observación de una fracción de la población considerada" (p. 176). Además, en el caso de Palella y Martins (2008), definen la muestra como: "...una parte o el subconjunto de la población dentro de la cual deben poseer características reproducen de la manera más exacta posible” (p.93). Por lo tanto, como muestra se tomó las maquinas que trabajen solo con el reciclado de plásticos PET en el estado Carabobo,

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Según Arias (2006) define las técnicas de recolección de datos como “distintas formas de obtener la información en diferentes modalidades como son oral y escrita” (p.53). A su vez, Hurtado (2000), expresa que las técnicas de recolección de datos comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación, mientras que los instrumentos constituyen la vía mediante la cual es posible aplicar una determinada técnica de recolección de información. Por lo tanto, las técnicas

de recopilación de datos se refieren a los métodos utilizados para recopilar y analizar diferentes tipos de datos.

Las técnicas comunes de recopilación de datos incluyen el examen de documentos relacionados con el tema y la realización de entrevistas y observaciones. Para el acopio de los datos necesarios para el desarrollo de la investigación se describen a continuación:

- **Observación directa:** Hernández y otros (2006), definen la observación como aquella donde los “observadores registran lo que perciben siguiendo reglas que se aplican invariablemente y deben minimizar su efecto sobre los registros e interacciones con los participantes observados”. (p.374). Además, Tamayo (2007, p. 193), la expresa como “aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”.

Finalmente, Palella y Martins (2012) explican que es “observar un objetivo claro y preciso, donde el investigador sabe lo que sea notar y para que quiere hacerlo, por lo que previamente se prepara antes del proceso de observación” (p. 116). Por lo tanto, no se precisa de un tercero para recolectar los datos puesto que los mismos pueden ser tomados por el autor mediante su propia observación.

- **Entrevista estructurada:** Según el autor Folgueiras (2016), la entrevista estructurada se decide de antemano que tipo de información se quiere y en base a ello se establece un guion de entrevista fijo y secuencial. El entrevistador sigue el orden marcado y las preguntas están pensadas para ser contestadas brevemente. El entrevistado debe acotarse a este guion preestablecido a priori (p. 3). Esto permite obtener respuesta ante las interrogantes planteadas por parte de la experiencia del profesional en el área a ser entrevistado

- **3.5.2. Instrumentos de recolección de datos**

De acuerdo a lo expuesto por Tamayo y Tamayo (2007), el instrumento se define como una ayuda o una serie de elementos que el investigador construye con la finalidad de obtener información, facilitando así la medición de los mismos. También lo explica Sabino (1992), como un instrumento de recolección de datos es en principio, cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información.

Por lo tanto, en la investigación se empleará:

- **Cuaderno de notas** el cual permite recolectar datos confiables y veraces según lo observado.

- **Guion de entrevista estructurada:** En este, todas las preguntas y temas deben estar escritos tal como serán formulados y con un orden determinado, porque el entrevistador debe seguir guion, es decir, que no puede improvisar en el diálogo. De esta forma se obtiene respuestas precisas sobre el tema planteado.

3.6. Técnicas de análisis de resultados

Según Arias (2004), "en este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan" (p. 99). A su vez, Tamayo y Tamayo (2007), explican que "una vez recopilados los datos por los instrumentos diseñados para este fin es necesario procesarlos, es decir, elaborarlos matemáticamente, ya que la cuantificación y su tratamiento estadístico permitirá llegar a conclusiones en relación con las hipótesis planteadas". Por lo tanto, una vez aplicada la entrevista se procederá a realizar un cuadro comparativo de las respuestas obtenidas a fin de analizar sus diferencias y semejanzas, y de esa forma conseguir las diferentes ideas y puntos de vistas de los entrevistados y emplearlas para el desarrollo de la investigación.

3.7. Fases metodológicas

Para el presente estudio se toman en consideración, de manera fundamental, los procedimientos o fases metodológicas que se llevarán a cabo para realizar el mismo. Por lo tanto, a continuación, se presentan las diferentes etapas a seguir para la construcción del objeto de estudio, la observación, comprobación o verificación empírica, así como también la interpretación de los resultados y las conclusiones del proceso investigativo.

Fase I: Diagnóstico de los actuales procedimientos de reciclaje de plástico.

Se examinan los procesos actuales de reciclaje de plástico donde el método más tradicional y extendido a su vez es el de reciclaje mecánico, en el cual el plástico pasa por un proceso de fragmentación o molienda donde al pasarse por un molino, el mismo reduce su tamaño. Luego los fragmentos del proceso anterior, llamados escamas, son lavados con agua donde a su vez se separan, hundiéndose los más densos y flotando los más livianos. Se hacen pasar luego por grandes secadores con circulación de aire caliente y por último este material seco se hace pasar por una extrusora, donde se derrite por el calentamiento de esta, donde un tornillo sin fin mueve el material a una matriz donde se forman filamentos continuos.

Fase II: Análisis de las variables involucradas en el proceso de reciclaje de plástico para la obtención de materia prima PET utilizadas en impresoras 3D.

En esta fase, se analizan las variables que forman parte del proceso para obtener el filamento

de la impresora 3D, entre ellos están las propiedades físicas del material donde este debe ser maleable a altas temperaturas duro a temperatura ambiente para que el resultado obtenido tenga rigidez. A su vez el diámetro del filamento debe ser de una medida estándar asociada a la impresora 3D a ser utilizada.

Fase III: Selección una alternativa de solución viable que cumpla con los tipos de materia prima requerida en las impresoras 3D.

Para esta parte, se determinaron las variables y elementos necesarios para llevar a cabo todo el diseño del sistema, utilizando el método de Vilchez para la selección de las mejores alternativas para cada caso.

Fase IV: Diseño de una máquina recicladora de plástico PET para la obtención de filamentos requeridos en las impresiones 3D.

Llegados a este punto se diseña la maquina encargada de obtener los filamentos a partir de plástico PET suministrado, la misma cuenta con una tolva que permite contener el plástico a reciclar, un sistema de hojillas de triturado, accionadas por un motor, que tritura el plástico, posteriormente este material resultante pasa a un recipiente de almacenaje donde mediante un tornillo sin fin es desplazado hacia una boquilla caliente donde es presionado a fin de que adopte una forma cilíndrica del diámetro de la boquilla adecuada para obtener filamentos PET. Tanto los planos como los ensamblajes para la fabricación de esta máquina se realizaron por medio del software de diseño SolidWorks.

Fase V: Evaluación de la viabilidad económica, técnica, operativa y ambiental del diseño seleccionado.

Por último, se evaluó si es posible poner en marcha el proyecto, analizando si su desarrollo resulta económico y que así sea monetariamente accesible para el usuario u organismo que desee llevar a cabo la construcción de la máquina. También que su desarrollo y operación tenga un impacto ambiental positivo al lograr su objetivo de reciclar el plástico PET de desecho. Y garantizar de forma crucial un entorno seguro en su empleo a fin de minimizar los riesgos que pueda surgir al momento de usar la máquina.

3.8. Cuadro de Operacionalización de Variables

OBJETIVO ESPECÍFICO 1	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	FUENTE DE INFORMACIÓN
Diagnosticar los actuales procedimientos de reciclaje de plástico	Materia prima	Plástico PET	Acondicionamiento del PET	1	Técnica: Entrevista
			Tamaño del PET	2	
	Proceso de corte	Triturado	Forma de la cuchilla de corte	3	
			Velocidad de triturado	4	
	Proceso de formación	Extrusión	Velocidad de extrusión	5	

Cuadro 1. Cuadro de Operacionalización de Variables

Fuente. Bueno, L. (2023)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el presente capítulo se llevaron a cabo las fases propuestas, comenzando por el diagnóstico de los actuales procedimientos de reciclaje de plástico, dónde se realiza un estudio de los procesos existentes en la actualidad para el reciclaje de dicho material y se selecciona el más adecuado para el proyecto. Posteriormente, se ejecutó un análisis de las variables involucradas en el proceso de reciclado para la obtención de materia prima PET utilizadas en impresoras 3D, con el fin de tener una visión más amplia a la hora de abordar la solución de la problemática. Siguiendo a eso, se hizo la selección más adecuada de las alternativas para el diseño del sistema de reciclaje. Continuando por el diseño de los componentes de cada máquina requerida para llevar a cabo el proceso. Por último, se hizo un análisis de costos para evaluar la viabilidad de la fabricación de las máquinas, además del beneficio económico que aportará y el impacto ambiental positivo que generará.

4.1 Fase I: Diagnóstico de los actuales procedimientos de reciclaje de plástico.

A continuación, en esta fase se procede a ejecutar un estudio detallado de los tipos de reciclaje de plástico, así como también a identificar todas las partes involucradas en los procedimientos y cuál es su papel en el proceso.

4.1.1 Análisis de los procedimientos.

En la actualidad, la problemática ambiental relacionada con la acumulación de desechos plásticos ha llevado a la implementación de diferentes estrategias de gestión de residuos, entre las cuales destaca el reciclaje de plásticos como una de las alternativas más efectivas para reducir el impacto negativo en el medio ambiente. Gracias a los avances tecnológicos y la creciente conciencia ambiental de la sociedad, hoy en día existen diversas formas en las que los elementos plásticos pueden reutilizarse a través de procesos de reciclaje, haciendo posible aprovechar al máximo sus propiedades y generar nuevos productos de calidad sin necesidad de recurrir a nuevas materias primas.

4.1.1.1 Reciclaje químico.

Este es un proceso de reciclaje donde el plástico busca descomponerse para así convertirlo en sus componentes químicos básicos. Entre los métodos de reciclaje químico tenemos al método de pirólisis, en el cual existe una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno sin que en el mismo se produzcan reacciones de combustión. Este mismo proceso permite, partiendo de distintas materias primas como neumáticos usados, entre ellas el plástico de tipo PP, PE y PS y lodos de aceite, obtener productos reciclados como lo son aceite de pirólisis, negro de carbono y alambre de acero

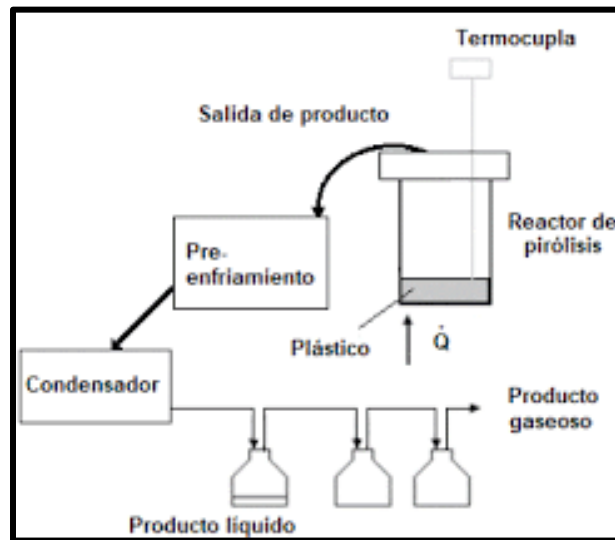


Figura 22: Proceso de pirólisis del plástico

Fuente: Amar, Ardila y Barrera (2019)

Este proceso de reciclaje permite la descomposición del PET para posteriormente transformarlo en nuevos productos como puede ser el caso de filamentos para impresoras 3D, esto se realizaría polimerizando los monómeros resultantes de dicho proceso en condiciones controladas para formar cadenas largas de polímero. Esto implica una gran ventaja puesto que permite recuperar los monómeros de alta calidad, lo que significa que el material reciclado tiene propiedades similares al PET virgen. Además, el reciclaje químico tiene un potencial significativo para reciclar plásticos difíciles de tratar o contaminados, lo que no es posible con el reciclaje mecánico convencional. Sin embargo, a su vez hay que considerar que esta tecnología requiere una infraestructura y equipo especializado que puede ser costosa. A su vez, este tipo de reciclaje sigue en desarrollo y presenta problemas como la generación de gases contaminantes para el ambiente que puede ser perjudicial para el objetivo que se busca por este medio.

4.1.1.2 Reciclaje mecánico.

El reciclado mecánico es en la actualidad el método más utilizado para el reciclaje del plástico, debido a su relativa baja complejidad de proceso y a su vez su costo de producción, consiste en la trituración, fusión y reutilización de los materiales plásticos para crear nuevos productos. Este enfoque se centra en la transformación física de los plásticos sin cambiar su estructura química. Si se busca la fabricación de filamentos para impresoras 3D mediante este procedimiento, se debe primero realizar un triturado del plástico PET, para así obtener las escamas que servirán como materia prima para la siguiente parte del proceso en la extrusora, donde se obtendrán los filamentos.

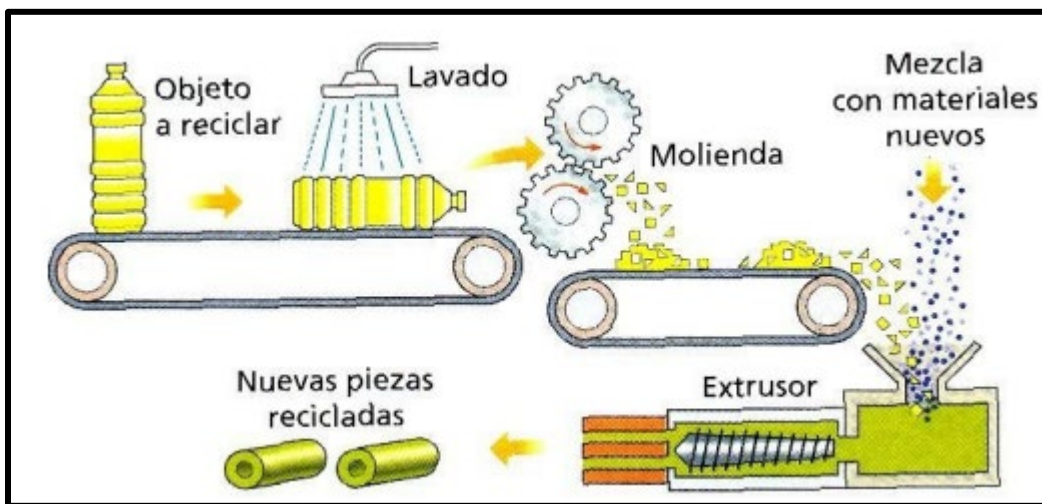


Figura 23: Proceso de reciclado mecánico

Fuente: Xunta de Galicia (2018)

Por lo tanto, presenta grandes ventajas puesto que se logra una reducción de residuos en el medioambiente y este proceso a su vez representa un ahorro energético en comparación con el proceso de fabricación del plástico virgen. Los inconvenientes a considerar son la degradación de la calidad que puede conllevar el proceso, debido también por la contaminación que pueda estar presente en el plástico, hay limitaciones por el color y las propiedades, puesto que cada envase a utilizar puede tener una distinta pigmentación, así como también diferentes propiedades físicas.

4.1.2 Propuesta de alternativas para la selección del tipo de reciclaje a emplear

ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA II
RECICLADO MECÁNICO	RECICLAJE QUÍMICO
<p>VENTAJA</p> <p>Eficacia en la recuperación de PET</p> <p>Bajo costo de funcionamiento y construcción</p> <p>Duradero</p> <p>Facil de utilizar</p> <p>No genera contaminantes nocivos</p> <p>DESVENTAJAS</p> <p>Puede degradar la calidad del plástico</p> <p>Requiere de energía eléctrica para su operación</p>	<p>VENTAJAS</p> <p>Recicla plástico PET aún contaminado con otros productos</p> <p>Producción de PET de alta calidad</p> <p>Tecnología en desarrollo</p> <p>DESVENTAJAS</p> <p>Proceso caro de llevar a cabo</p> <p>Complejo de implementar</p> <p>Reciclado lento</p> <p>Consume gran cantidad de energía y puede generar contaminantes nocivos</p>

Cuadro 2. Alternativas para la selección del reciclado

Fuente. Bueno, L. (2023)

4.1.3 Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta

A continuación, se elaboró una lista de restricciones € y de criterios € para la selección de la fuente de energía alterna más conveniente

RESTRICCIONES (RI)	CRITERIOS (CI)
R1 – Que sea un proceso eficiente	Rápido reciclado
R2 – Que sea accesible económicamente	Bajo costo de fabricación
R3 – De facil implementación	Fácil de diseñar
R4 – De bajo impacto medioambiental	Impacto ambiental mínimo

Cuadro 3. Restricciones y Criterios

Fuente. Bueno, L. (2023)

4.1.3.1 Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución:

Una vez elaborado las restricciones y criterios, se procede a comparar las alternativas de solución con las restricciones planteadas, aquellas que no cumplan con las restricciones serán descartadas (ver tabla 1). Posteriormente aquellas posibles soluciones que sí cumplan con las restricciones serán evaluadas con relación a los criterios y así tomar la decisión de cuál es la mejor solución.

RESTRICCIONES	POSIBLE SOLUCIONES		
		A I	A II
	R1	SI	SI
	R2	SI	No
	R3	SI	No Aplica
R4	SI	No Aplica	

Tabla 1. Comparación de Restricciones vs Alternativas
Fuente. Bueno, L. (2023)

Con referencia a la Tabla 1. Se puede observar que el reciclaje químico no cumple la restricción de accesibilidad económica, ya que, comparados ambos métodos, según un estudio del Laboratorio Nacional de Energías Renovables, el costo del reciclaje químico, debido a que requiere más energía y equipo especializado, es superior hasta tres o cinco veces más. Por lo que el proyecto toma como estudio el reciclaje mecánico con el fin de proporcionar una alternativa de bajo coste para una rápida implementación al mercado.

4.1.4 Cuadro comparativo de entrevista estructurada dirigida a Ingenieros expertos en el área de reciclaje.

Se llevó a cabo entrevistas a tres (3) ingenieros expertos en el área de reciclaje, donde se compararon las respuestas y al final se consideró y se tomó en cuenta estas respuestas como recomendaciones que beneficiaron y facilitaron el proceso del diseño planteado en el presente proyecto.

Ing. Pedro Rincón	Ing. Juan Ramírez	Ing. José Sánchez
1. ¿Qué procesos previos son importantes para el reciclaje del plástico?		
Se necesita clasificar muy bien los plásticos antes de triturarlos.	Separar correctamente los plásticos, lavarlos y secarlos para eliminar cualquier tipo de impureza.	Es importante considerar de que fuente se va a conseguir la materia prima y también observar la calidad de la misma.
Comparación		
Es importante asegurarse que los plásticos a ser utilizados para el reciclaje no cuenten con etiquetas ni otros plásticos.		
2. ¿Cómo influye el tamaño de la materia prima durante el proceso de reciclaje?		
El plástico de menor tamaño favorece la extrusión	No solo la extrusión se facilita, sino que además se obtiene una mejor calidad de filamento.	El PET triturado se vuelve más compacto
Comparación		
Tamaños reducidos del plástico triturado facilitará al proceso de extrusión, a la vez que genera una estructura más compacta y de mayor calidad.		
3. ¿Qué forma de cuchilla de corte es mejor para el triturado del plástico?		
Para el PET comúnmente se usa un diseño en forma de tijera, ese diseño ayuda a que se genere menos polvo.	Cuchilla en V	Las cuchillas con un diseño en V son las más usadas en esta área.
Comparación		
En el área de reciclaje del plástico el tipo de cuchilla más usada es la cuchilla en V la cual tiene una forma que favorece el triturado con poca generación de polvo. Además, se debe considerar no solo la forma si no también el tipo de acero a usar en su diseño.		
4. ¿De qué manera influye la velocidad de triturado en el procesamiento del plástico?		
Es importante porque de él depende la producción de las escamas, triturados más rápidos significan más producto procesado.	Velocidades muy lentas hacen que la producción del plástico triturado sea ineficiente.	Hay que encontrar la velocidad óptima del proceso dependiendo del diseño de la máquina.
Comparación		
La velocidad de triturado influye en gran medida a la producción de las escamas del plástico, velocidades lentas afectan la eficiencia del proceso, mientras que velocidades altas generan calor que genera un degradado de calidad y de propiedades del material.		
5. ¿Cuál es la importancia de la velocidad de extrusión para el acabado superficial del plástico reciclado?		
La extrusora tiene que tener una velocidad adecuada a la hora de producir los filamentos, de forma que los filamentos tengan una estructura uniforme.	Afecta al control del flujo con el que sale el material y si hay problemas con esto, generaría daños en el filamento, como son irregularidades o daños en el material.	Es importante porque se va a tener una homogeneidad del filamento PET que va a garantizar una buena calidad a la hora de usarlo para las impresiones 3D.
Comparación		
La velocidad de extrusión correcta permite lograr una estructura de los filamentos uniforme y libre de irregularidades y daños, así como también una buena calidad en el producto final del proceso.		

Cuadro 4. Cuadro comparativo de entrevista dirigida a expertos.

Fuente. Bueno, L. (2023)

4.2 Fase II: Análisis de las variables involucradas en el proceso de reciclaje de plástico para la obtención de materia prima PET utilizadas en impresoras 3D

Para esta fase se realizó la mención y análisis de cada una de las variables relevantes para el proceso de reciclaje mecánico, de forma que se tuvieron en cuenta para el diseño tanto de las diferentes estructuras como de los procesos para la transformación del plástico PET para reciclaje en filamentos que puedan ser utilizados para la impresión 3D.

4.2.1 Diagrama de Causa y Efecto

A continuación, se llevó a cabo la implementación de un diagrama de causa y efecto, donde se presentaron las variables o causas para lograr el efecto objetivo del trabajo de investigación del reciclaje de plástico PET para la fabricación de filamentos 3D. (Figura 24)

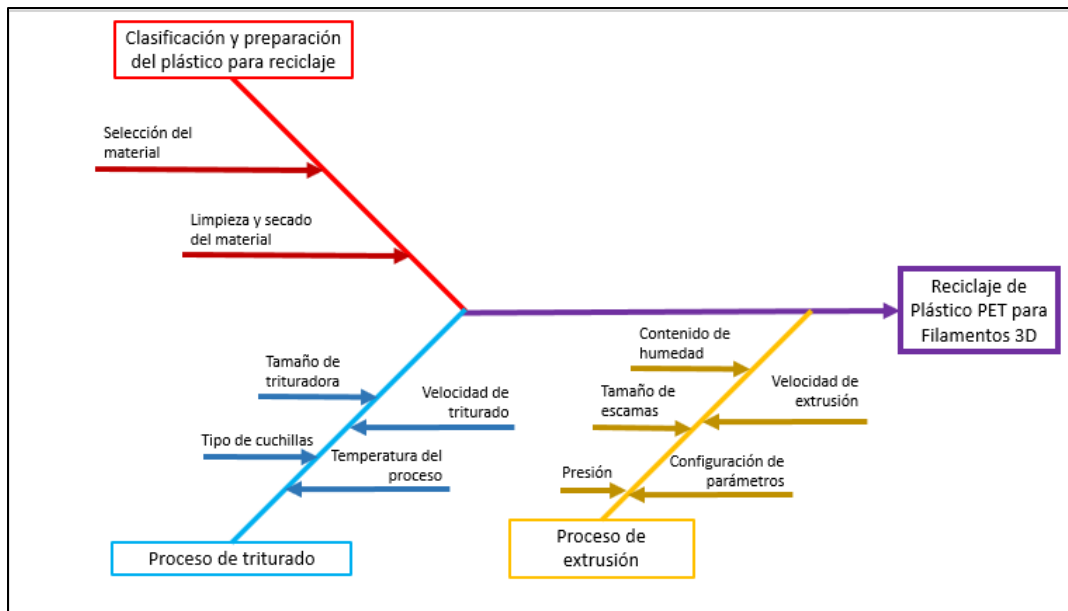


Figura 24: Diagrama de Causa y Efecto.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.2.2 Análisis de las variables del proceso

Con el diagrama anterior se puede observar los requerimientos principales para lograr el proceso objetivo de reciclaje, se analizaron estas variables primarias, así como las variables secundarias que parten de ellas y se explica a continuación.

4.2.2.1 Clasificación y la preparación de los plásticos para reciclaje

Es esencial asegurar que las botellas de PET destinadas a ser utilizadas cumplan con excelentes condiciones, de manera que no se produzca un deterioro en sus propiedades. Para lograrlo, resulta fundamental llevar a cabo un lavado adecuado de las piezas, con el objetivo de

eliminar cualquier impureza que pudiera afectar la calidad del producto final y, al mismo tiempo, perjudicar el funcionamiento de las máquinas involucradas en este proceso. Además, es necesario llevar a cabo un proceso de secado apropiado para eliminar por completo cualquier rastro de humedad. Estos pasos aseguran que las botellas de PET mantengan su integridad y garanticen un resultado final de alta calidad.

4.2.2.2 Proceso de triturado

Es importante la elaboración de un correcto proceso de triturado donde se seleccione un tamaño y un diseño adecuado para la máquina moledora o trituradora empleada, para ser lo más eficiente posible manteniendo un bajo costo. El tipo de cuchilla y la forma que tenga debe garantizar un correcto corte en el material y posterior formación de escamas del plástico, para que tenga un tamaño adecuado para el proceso de extrusión y manteniendo una velocidad de triturado apropiada con el fin de que sea eficiente el procedimiento de corte a su vez una temperatura correcta que no genere gran cantidad de calor ya que este es un factor que podría poner en riesgo las condiciones deseadas de las escamas.

4.2.2.3 Proceso de extrusión

Es fundamental tener precaución al almacenar las escamas, evitando lugares húmedos, y asegurándose de que estén en el tamaño adecuado. Esto es crucial, ya que el tamaño influye directamente en la cantidad de calor y presión necesarios para lograr una suavización y fusión adecuadas en la máquina. La calidad del filamento producido está determinada por la velocidad de extrusión y la presión aplicada. Una extrusión adecuada resulta en una estructura más compacta y propiedades mecánicas superiores, lo que hace que el filamento sea apto para su uso en impresoras 3D. Cuidar estos aspectos es esencial para obtener resultados óptimos y garantizar una impresión 3D de calidad.

4.3 Fase III: Selección de una solución viable que cumpla con los tipos de materia prima requerida en las impresoras 3D.



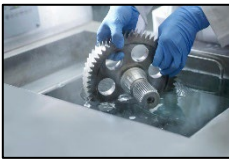

Para esta fase del proyecto, ya conocidas las variables que forman parte de todo el proceso de reciclaje, se procedió a elegir aquellas alternativas de diseño que permiten cumplir con los requerimientos u objetivos planteados en los criterios de diseño considerados para la elaboración de las distintas piezas que forman parte de las máquinas, utilizando como apoyo el método de Vélchez para la correcta selección de la alternativa.

4.3.3 Clasificación, limpieza y secado de las botellas PET.

Para garantizar una selección adecuada de las botellas PET aptas para el proceso de reciclaje, es necesario retirar previamente las etiquetas y tapas que puedan estar presentes, ya que están fabricadas con plásticos de diferentes tipos. Las tapas, por ejemplo, están hechas de plástico número 2, conocido como Polietileno de alta densidad (HDPE). Por otro lado, las etiquetas pueden estar hechas de papel o plástico, como el polietileno de baja densidad (LDPE) o el polipropileno (PP), y a menudo contienen adhesivos que pueden quedar en la botella después de retirar la etiqueta. Dada esta diversidad de materiales, es fundamental llevar a cabo un lavado adecuado de las botellas seleccionadas, una vez se haya verificado que no presentan ningún deterioro. Este lavado tiene como objetivo eliminar cualquier tipo de impurezas u otros elementos que podrían afectar la calidad del filamento que se espera obtener durante el proceso de reciclaje.

Por lo tanto, para el proceso de lavado y secado de las botellas se consideraron cuatro opciones o alternativas que permiten dar con la solución a la situación presentada, las mismas fueron definidas con anterioridad y se presentan a continuación (Ver cuadro 5) junto con sus ventajas y desventajas para realizar un análisis de la mejor solución.

4.3.3.1 Propuesta de alternativa para la selección del tipo de lavado y secado

Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	Alternativa IV
<p>Lavado con agua y jabón</p> 	<p>Lavado con vapor</p> 	<p>Lavado con solventes</p> 	<p>Limpieza ultrasónica</p> 
<p>VENTAJA</p> <p>Es un método sencillo y común que no requiere equipo especializado.</p> <p>Es efectivo para limpiar la mayoría de las impurezas superficiales.</p>	<p>VENTAJAS</p> <p>Es efectivo para limpiar residuos de aceite o grasa. No requiere agua y no genera residuos.</p>	<p>VENTAJAS</p> <p>Es efectivo para limpiar impurezas profundas y resistentes.</p>	<p>VENTAJAS</p> <p>Es efectivo para limpiar piezas pequeñas y complicadas. No requiere agua y es menos agresivo que el lavado con solventes.</p>
<p>DESVENTAJAS</p> <p>No es efectivo para limpiar impurezas más profundas o endurecidas.</p>	<p>DESVENTAJAS</p> <p>Requiere equipo especializado y puede ser costoso. El plástico debe enfriarse antes de secarse para evitar la formación de condensación.</p>	<p>DESVENTAJAS</p> <p>Algunos solventes pueden dañar o derretir el plástico. Se debe verificar la compatibilidad antes de utilizarlos.</p>	<p>DESVENTAJAS</p> <p>Requiere equipo especializado y puede ser costoso. Puede requerir líquidos especiales y el proceso puede ser lento.</p>

Cuadro 5. Alternativas de los métodos de lavado y secado del plástico PET.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.3.3.2 Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta

A continuación, se elaboró una lista de restricciones € y de criterios € para la selección del método de lavado más conveniente

RESTRICCIONES (RI)	CRITERIOS (CI)
R1 – Que sea un proceso eficiente	C1 – Poco costoso
R2 – Que sea accesible económicamente	C2 – Impacto ambiental mínimo
R3 – De facil implementación	C3 – Rápida limpieza
R4 – De bajo impacto medioambiental	C4 – Fácil realización

Cuadro 6. Restricciones y criterios de selección de los métodos de lavado y secado del PET.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.3.3.3 Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución:

Una vez elaborado las restricciones y criterios, se procede a comparar las alternativas de solución con las restricciones planteadas, aquellas que no cumplan con las restricciones serán descartadas (ver tabla 2). Posteriormente aquellas posibles soluciones que sí cumplan con las restricciones serán evaluadas con relación a los criterios y así tomar la decisión de cuál es la mejor solución.

RESTRICCIONES	POSIBLE SOLUCIONES				
		A I	A II	A III	A IV
R1	SI	SI	SI	SI	SI
R2	SI	NO	SI	NO	NO
R3	SI	No Aplica	SI	No Aplica	No Aplica
R4	SI	No Aplica	SI	No Aplica	No Aplica

Tabla 2. Restricciones vs Alternativas Método de lavado

Fuente. Bueno, L. (2023)

Con referencia a la Tabla 2. Se puede observar que tanto la alternativa A II y A IV no cumplen la restricción de accesibilidad económica, ya que, estos métodos de lavado requieren de equipo especializado para llevarse a cabo. Por lo tanto, las alternativas A I y A III, serán evaluadas mediante el método de ponderación de criterios (ver tabla 3).

La tabla 4 muestra los parámetros de puntuación. La tabla 5 muestra la ponderación de soluciones de acuerdo a los criterios empleados para la selección de la mejor solución. Y la tabla 6 muestra la evaluación final de la alternativa seleccionada.

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	ORDEN DE IMPORTANCIA
C1	Poco costoso	5
C2	Impacto ambiental mínimo	4
C3	Rápida limpieza	3
C4	Fácil realización	2

Tabla 3. Ponderación de criterios (métodos de lavado)

Fuente. Bueno, L. (2023)

1	No cumple con el criterio a evaluar.
2	No cumple totalmente con la expectativa generada por el criterio.
3	Cumple totalmente con el criterio a evaluar.

Tabla 4. Parámetros de puntuación (métodos de lavado)

Fuente. Bueno, L. (2023)

	C1	C2	C3	C4
A I	3	3	2	3
A III	2	2	3	3

Tabla 5. Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección (métodos de lavado)

Fuente. Bueno, L. (2023)

	EVALUAR SOLUCIONES	TOTAL
A I	$3x5 + 3x4 + 2x3 + 3x2$	39
A III	$2x5 + 2x4 + 3x3 + 3x2$	33

Tabla 6. Evaluación de soluciones (métodos de lavado)

Fuente. Bueno, L. (2023)

Se concluye que la mejor solución en cuanto a procedimiento previo para el reciclado, correspondiente a la limpieza del plástico, es el lavado por medio de agua y jabón, ya que satisface los criterios debido al bajo costo y al bajo impacto ambiental que este genera.

4.3.4 Proceso de triturado y formación de escamas

Con el fin de alcanzar un proceso eficiente y preciso de triturado y formación de escamas, es crucial realizar una selección adecuada tanto del tipo de molino a diseñar como de los componentes que lo conforman, además de definir las especificaciones del motor encargado de generar la energía mecánica necesaria para dicho proceso. A continuación, se presentan las tablas de restricciones y criterios, así como la ponderación y los parámetros de puntuación para la selección de los partes del proceso de triturado.

4.3.4.1 Criterios de evaluación y escogencia de las propuestas de diseño de la trituradora

RESTRICCIONES (RI)	CRITERIOS (CI)
R1 – Que sea un proceso eficiente	Poco costoso
R2 – Que sea accesible económicamente	Muy eficiente
R3 – De fácil fabricación	Fácil de diseñar y fabricar

Tabla 7. Restricciones vs Alternativas (Triturado)

Fuente. Bueno, L. (2023)

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	ORDEN DE IMPORTANCIA
C1	Poco costoso	5
C2	Muy eficiente	4
C3	Fácil de diseñar y fabricar	3

Tabla 8. Ponderación de criterios (Triturado)

Fuente. Bueno, L. (2023)



1	No cumple con el criterio a evaluar.
2	No cumple totalmente con la expectativa generada por el criterio.
3	Cumple totalmente con el criterio a evaluar.

Tabla 9. Parámetros de puntuación (Triturado)

Fuente. Bueno, L. (2023)

4.3.4.2 Cantidad de ejes

Para el diseño del molino, existen tres alternativas comunes en términos del número de ejes: el sistema mono eje, de dos ejes y de cuatro ejes. A medida que se incrementa la cantidad de ejes, tanto la capacidad de procesamiento del plástico como la complejidad del molino aumentan. Se ha elaborado un cuadro comparativo (Ver cuadro 7) de estas tres opciones para analizar las ventajas que ofrece cada diseño.

	ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA II	ALTERNATIVA III
Características	Molino de un eje 	Molino de dos ejes 	Molino de cuatro ejes 
Funcionamiento	Utiliza un solo eje giratorio con cuchillas para triturar el plástico.	Utiliza dos ejes paralelos con cuchillas intercaladas que se mueven en sentido opuesto para triturar y cortar el plástico.	Utiliza cuatro ejes giratorios con cuchillas intercaladas que se mueven en sentido opuesto y en diferentes velocidades para una mayor eficiencia en la trituración del plástico.
Capacidad de trituración	Adecuado para triturar plásticos blandos y algunos plásticos duros como el PET.	Capaz de triturar una amplia variedad de plásticos, incluyendo plásticos duros y resistentes.	Excelente para triturar plásticos resistentes y de alta densidad, como botellas de PET y barriles de plástico.
Eficiencia de trituración	Menor eficiencia en comparación con los otros tipos de molinos.	Mayor eficiencia que el molino de un eje debido a la acción de los dos ejes.	Alta eficiencia debido a la combinación de los cuatro ejes giratorios y las cuchillas intercaladas.
Requerimientos de potencia	Requiere una potencia relativamente menor en comparación con los otros tipos de molinos.	Requiere una potencia mayor que el molino de un eje debido a la presencia de dos ejes.	Requiere una potencia más alta que los otros tipos de molinos debido a los cuatro ejes y la mayor capacidad de trituración.
Mantenimiento	Requiere un mantenimiento relativamente más sencillo debido a su diseño simple.	Requiere un mantenimiento regular debido a la presencia de dos ejes y cuchillas.	Requiere un mantenimiento más frecuente debido a los cuatro ejes y cuchillas, y su mayor capacidad de trituración.
Costo	Generalmente más económico en comparación con los otros tipos de molinos.	Tiende a ser más costoso que el molino de un eje debido a la presencia de dos ejes.	Por lo general, el más costoso debido a los cuatro ejes y su mayor capacidad de trituración.

Cuadro 7. Cuadro comparativo de diseños de trituradoras.

Fuente: Bueno, L. (2023)

	C1 Costo (x5 puntos)	C2 Eficiencia (x4 puntos)	C3 Simpleza (x3 puntos)	Total
A I	3	2	3	32
A II	2	3	2	28
A III	1	3	1	20

Tabla 10. Evaluación de soluciones (Selección de trituradora)

Fuente. Bueno, L. (2023)

En este caso, se seleccionó el molino de un solo eje debido a su capacidad para procesar el plástico PET de las botellas. Este tipo de molino requiere menos potencia para funcionar y su mantenimiento es más sencillo gracias a su diseño menos complejo. Como resultado, se logra una reducción significativa de los costos de fabricación del sistema deseado.

4.3.4.3 Cuchillas de corte

Siguiendo la recomendación de los expertos, se seleccionó un modelo de cuchilla gancho con puntas en forma de V debido a su capacidad de corte fácil. La disposición en forma de espiral de las cuchillas permite un corte suave y consistente en las botellas de plástico, sin dañar el material. Además, esta forma garantiza un corte más limpio y contribuye a preservar la vida útil de las cuchillas, ya que sufren un desgaste menor. Para el diseño de las cuchillas, también se consideró utilizar un tipo de acero resistente, afilado y con un borde liso, adecuado para el tamaño de las botellas PET que se desean triturar. Asimismo, se priorizó la facilidad de instalación y desmontaje para el mantenimiento.

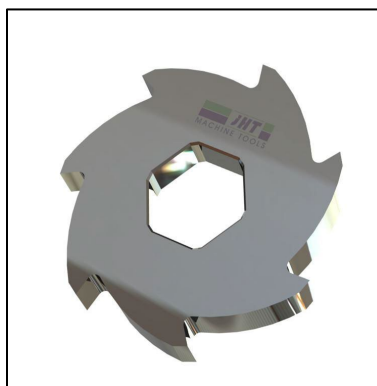





Figura 25: Cuchilla trituradora.

Fuente: Made-in-China

4.3.4.4 Eje

En el diseño del eje, se buscó utilizar un material resistente capaz de soportar tanto el peso como la presión generada por las cuchillas de corte durante el proceso de triturado. Asimismo, se consideró la necesidad de contar con un diseño simple que permita una correcta sujeción de las cuchillas. Con este fin, se evaluaron tres opciones de diseño del eje: cilíndrico, cuadrado y hexagonal. Se elaboró un cuadro comparativo para analizar las ventajas y desventajas de cada opción de manera más clara y precisa. (Ver cuadro 8).

	Forma del eje	Ventajas	Desventajas
Alternativa I	<p>Hexagonal</p> 	La forma de eje más común para las máquinas trituradoras de botellas de refrescos de plástico PET. Es fuerte y duradero, y puede soportar grandes cargas. También es fácil de mecanizar y montar.	Puede ser más difícil de balancear que otras formas de eje.
Alternativa II	<p>Cuadrado</p> 	Es muy resistente y duradero, y puede soportar cargas aún mayores que los ejes hexagonales. También es más resistente a la flexión y la torsión.	Más difíciles de mecanizar y montar que los ejes hexagonales.
Alternativa III	<p>Cilíndrico</p> 	La forma de eje más sencilla y rentable. Es fácil de mecanizar y montar, y puede fabricarse con diversos materiales.	No son tan resistentes ni duraderos como otras formas de eje. Pueden ser más propensos a la vibración y el desgaste.

Cuadro 8. Cuadro comparativo de formas de ejes para trituradoras.

Fuente: Bueno, L. (2023)

	C1 Costo (x5 puntos)	C2 Eficiencia (x4 puntos)	C3 Simpleza (x3 puntos)	Total
A I	3	3	2	33
A II	2	3	1	25
A III	3	1	3	28

Tabla 11. Evaluación de soluciones (Forma de eje)
Fuente. Bueno, L. (2023)

Con base en el cuadro anterior, se obtuvo una visión más clara de la comparativa entre los diferentes tipos de ejes. Tras un análisis de las alternativas y considerando los criterios evaluados, se determinó que el eje hexagonal es la opción más adecuada debido a su eficiencia, resistencia y durabilidad en comparación con la forma cilíndrica. Además, su fabricación es menos compleja en comparación con el eje cuadrado. Por lo tanto, se eligió el eje hexagonal como la elección óptima.

4.3.4.5 Tolva de alimentación

La tolva de alimentación es un componente crucial a tener en cuenta en el diseño, ya que cumple dos funciones fundamentales. En primer lugar, se utiliza para almacenar las botellas y garantizar un suministro constante de plástico a triturar. En segundo lugar, proporciona protección al operario al evitar que el material escape de la trituradora durante el proceso. La forma de la tolva elegida para el diseño de la trituradora es en forma cuadrada, debido a que este diseño sencillo permite ofrecer un soporte seguro para el operario de que no se saldrán las botellas durante el funcionamiento de la máquina y su diseño sin inclinación garantiza un suministro constante, pero en bajas cantidades para una mayor eficiencia de la trituradora, evitando así atascos en la misma.



Figura 26: Tolva de alimentación cuadrada.
Fuente: Comquima

4.3.4.6 Diseño general del sistema de trituración

Después de haber tomado en cuenta las consideraciones previas para el diseño de la máquina trituradora, se logró obtener una comprensión más amplia en relación a la forma de los componentes principales. Esto facilita el proceso de diseño y permite presentar la siguiente descripción detallada: La máquina cuenta con una tolva con forma cuadrada donde se depositan las botellas de plástico PET, las cuales fueron previamente lavadas y secadas. Estas botellas entran en contacto con el sistema de triturado, compuesto por una serie de cuchillas fijas en forma de V y otras cuchillas que rotan mediante un sistema de eje único con forma hexagonal. Una vez triturado, el material cae de forma directa a la extrusora para la continuación del proceso de reciclado y formación de filamentos 3D.

4.3.5 Proceso de extrusión y formación de filamentos.

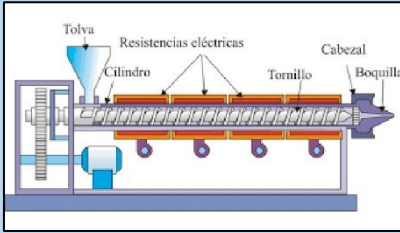
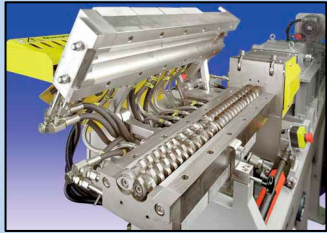
Una vez que se obtuvieron las escamas del proceso de trituración previo, la siguiente etapa del proceso implica la extrusión del material. En esta etapa, el plástico triturado se transporta a través de un cilindro utilizando un tornillo sinfín o husillo. El cilindro cuenta con resistencias eléctricas para calentar el material y lograr su fusión interna. A continuación, el plástico fundido es presionado contra un cabezal con la forma deseada, en este caso particular, el diámetro más común de filamentos para impresoras 3D, que es de 1,75mm. Después, se explican las características generales y el modelo seleccionado para el diseño de la máquina extrusora de plástico, que se ajusta a las dimensiones requeridas para el proyecto de investigación.

4.3.5.1 Tolva de alimentación para la extrusora

Así mismo, al igual que en la etapa anterior, es fundamental utilizar una tolva de alimentación en esta fase del proceso. La tolva contendrá el plástico ya triturado y permite asegurar un suministro constante durante la extrusión. Esto es esencial para garantizar una formación adecuada y una producción eficiente de los filamentos de PET. La tolva de alimentación desempeña un papel crucial al mantener un flujo constante de material hacia el cilindro de extrusión. Esto evita interrupciones en el proceso y asegura que el plástico triturado esté disponible de manera continua para su fusión y conformación en los filamentos deseados. El diseño y la capacidad de la tolva de alimentación buscaron ajustarse al volumen y las características del material a procesar.

4.3.5.2 Tornillo

El tornillo es el componente central de la extrusora, desempeñando un papel fundamental en el proceso. Se trata de un eje largo y giratorio encargado de mezclar y fundir los gránulos de plástico. El tornillo se compone de varias secciones distintas, cada una con una función específica determinada. En el diseño del tornillo, se llevó a cabo una comparación (ver cuadro 10) y selección del sistema a utilizar para el proceso. Se consideraron dos opciones: el sistema de un solo tornillo y el sistema de doble tornillo. Esta evaluación comparativa se realizó mediante el método de Vélchez utilizando los mismos criterios y restricciones que en el diseño del trituradora, por lo cual en la Tabla 12 se lleva a cabo la puntuación de ambas alternativas.

Característica	<p style="text-align: center;">Alternativa I</p> <p style="text-align: center;">Sistema de un tornillo</p> 	<p style="text-align: center;">Alternativa II</p> <p style="text-align: center;">Sistema de doble tornillo</p> 
Eficiencia de mezcla	La eficiencia de mezcla puede ser limitada debido a la acción de arrastre del tornillo.	La acción de mezcla es más eficiente debido a la interacción y movimiento de los dos tornillos, resultando en una mezcla más homogénea y controlada.
Capacidad de procesamiento	Adecuado para aplicaciones de menor capacidad y producción.	Ideal para aplicaciones de alta capacidad y producción continua.
Calidad del producto	La calidad del producto puede variar y ser menos consistente debido a la menor eficiencia de mezcla.	Proporciona una calidad de producto más consistente y controlada debido a la mayor eficiencia de mezcla.
Flexibilidad de procesamiento	Menos flexible en términos de ajustes de proceso y variedad de materiales procesables.	Mayor flexibilidad para ajustar el proceso y procesar una amplia gama de materiales con mayor precisión.

Consumo de energía	El consumo de energía es generalmente menor en comparación con el sistema de dos tornillos.	El consumo de energía es mayor debido a la necesidad de energía adicional para hacer funcionar dos tornillos.
Costo de inversión	El sistema de un solo tornillo tiende a ser más económico en términos de costos de inversión inicial.	El sistema de dos tornillos suele ser más costoso debido a la complejidad y número de componentes adicionales.
Mantenimiento	El mantenimiento es relativamente más sencillo y menos costoso debido a la simplicidad del sistema.	El mantenimiento puede ser más complejo y costoso debido a la presencia de dos tornillos y componentes adicionales.
Aplicaciones comunes	Adecuado para aplicaciones más simples y de menor exigencia en términos de calidad y capacidad.	Ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren una alta calidad de mezcla, producción continua y procesamiento de materiales especializados.

Cuadro 9. Comparación sistema de extrusión de un solo tornillo y de dos tornillos

Fuente: Bueno, L. (2023)

	C1 Costo (x5 puntos)	C2 Eficiencia (x4 puntos)	C3 Simpleza (x3 puntos)	Total
A I	3	2	3	32
A II	1	3	1	20

Tabla 12. Evaluación de soluciones (Número de ejes extrusora)

Fuente. Bueno, L. (2023)

Tras realizar la comparación pertinente, se llegó a la conclusión de que el sistema de un solo tornillo es la mejor opción para los objetivos del proyecto. Esto se debe a que la producción de filamentos de la extrusora es relativamente baja, lo cual descarta la necesidad de utilizar un sistema de doble tornillo. Además, el sistema de un solo tornillo se ajusta perfectamente a las características de diseño deseadas, ya que presenta una menor complejidad y una alta eficiencia. Adicionalmente, esta elección también resulta más favorable desde el punto de vista económico,

debido a que se requiere menos potencia para su funcionamiento y tiene costos de fabricación inferiores en comparación con el otro sistema considerado.

4.3.5.3 Cilindro y sistema de calentamiento

En el diseño del cilindro, se seleccionó un diámetro que permite un flujo adecuado del plástico, lo cual posibilita la producción de una cantidad óptima de filamento. Asimismo, se determinó una longitud que permite un tiempo suficiente para un fundido correcto, garantizando así la máxima calidad del producto final. Además, se ha considerado de suma importancia asegurar una distribución uniforme de las zonas de calentamiento en el cilindro. Esto asegura que el plástico se caliente de manera homogénea en todas las áreas del cilindro, además, la temperatura que el sistema debe alcanzar es de 260°C, ya que coincide con la temperatura de fusión del plástico PET. Esta temperatura es crucial para lograr el correcto moldeado del material plástico.



Figura 27: Bobinas de calentamiento

Fuente: CHE

4.3.5.4 Cabezal

El cabezal es una parte crítica en el diseño del extrusor, ya que debe soportar altas temperaturas y presiones durante el proceso de extrusión. Por esta razón, se utilizó un material de alta calidad diseñado específicamente para aplicaciones de alta temperatura. El cabezal presenta un orificio de 1.75 mm de diámetro, que es el diámetro estándar de los filamentos utilizados en impresoras 3D, asegurando así su funcionalidad para el proyecto. Se consideraron otros aspectos importantes, como mantener la superficie del cabezal lisa para evitar adherencias del plástico. Además, se ha asegurado que el cabezal esté correctamente alineado en el sistema de extrusión, garantizando un funcionamiento óptimo.

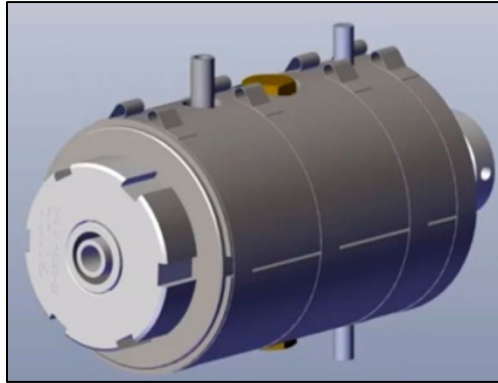


Figura 28: Cabezal de extrusión

Fuente: Plastico.com

4.3.5.5 Diseño general del sistema de extrusión

La extrusora cuenta con una tolva de alimentación donde será suministrado plástico anteriormente triturado, este será recogido y transportado por un sistema de tornillo sinfín que hace pasar este material a través de un cilindro que cuenta con resistencias eléctricas espaciadas de forma uniforme a lo largo de este, para lograr un calentamiento parejo y correcto de las escamas. Una vez alcanzado el punto de fusión del PET, el mismo sistema del tornillo va a presionar contra el cabezal ubicado al final del cilindro, creando así una unión y compactación del material debido a esta presión, donde el material unido sale a través de un orificio adecuado a las medidas de los filamentos para impresoras 3D.

4.4 Fase IV: Diseño de una máquina recicladora de plástico PET para la obtención de filamentos requeridos en las impresiones 3D

Para esta fase del proyecto se hicieron los cálculos y pruebas para determinar el diseño de los diferentes componentes para las máquinas encargadas del proceso de transformación del PET en filamentos aptos para su uso en las impresoras 3D, estas máquinas son la trituradora, encargada de reducir el material plástico de las botellas a una versión de menor tamaño, conocidas como escamas de plástico, que permita su uso en el proceso de extrusión donde estas escamas plásticas serán calentadas a través de una extrusora donde se formará el filamento. Se consideraron la eficiencia, la calidad y la seguridad en el diseño de las máquinas.

4.4.1 Trituradora

El equipo cuenta con una tolva de alimentación diseñada específicamente para evitar que las botellas salgan de la cámara de trituración durante el proceso, garantizando la seguridad del operador. Dentro de la cámara de trituración se encuentran varios componentes fundamentales para su correcto funcionamiento. En primer lugar, destacan las cuchillas, tanto móviles como fijas. Estas cuchillas desempeñan la tarea de triturar las botellas mediante garras afiladas ubicadas en sus extremos. Las garras fijas proporcionan una superficie de agarre que permite el adecuado proceso de trituración por parte de las garras móviles. Para el accionamiento de las cuchillas móviles, se utiliza un eje central que aloja las cuchillas junto con separadores. En los laterales del eje se acoplan chumaceras que facilitan el correcto desplazamiento y funcionamiento del eje. El eje es impulsado por un motor eléctrico con reductor de velocidad, lo que garantiza un corte más lento y preciso, evitando así la generación excesiva de calor que podría afectar la calidad del material plástico triturado.

A su vez, el material seleccionado para los componentes principales de la trituradora fue el AISI 1020 laminado en frío. Este acero se eligió debido a su alta resistencia, que le permite soportar las fuerzas generadas durante el proceso de triturado. Además, presenta una buena maquinabilidad, lo que facilita su fabricación. Otra ventaja del AISI 1020 es su resistencia a la corrosión, lo cual es especialmente importante para proteger las piezas de la trituradora de la humedad tanto ambiental como la presente en las botellas de PET. Por último, este tipo de acero se caracteriza por su bajo costo, lo que permite una fabricación más económica y accesible.

Número SAE/AISI	Condición	Resistencia a la fluencia por tensión (0.2% de deformación remanente)		Resistencia última a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1010	rolado en caliente	26	179	47	324	28	95
	rolado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	rolado en caliente	30	207	55	379	25	111
	rolado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	rolado en caliente	38	259	68	469	20	137
	normalizado @ 1 650 °F	50	345	75	517	32	149
	rolado en frío	64	441	76	524	12	149
	templado y revenido @ 1 000 °F	75	517	97	669	28	255
	templado y revenido @ 800 °F	84	579	106	731	23	302
	templado y revenido @ 400 °F	94	648	123	848	17	495
1035	rolado en caliente	40	276	72	496	18	143
	rolado en frío	67	462	80	552	12	163
1040	rolado en caliente	42	290	76	524	18	149
	normalizado @ 1 650 °F	54	372	86	593	28	170
	rolado en frío	71	490	85	586	12	170
	templado y revenido @ 1 200 °F	63	434	92	634	29	192
	templado y revenido @ 800 °F	80	552	110	758	21	241
	templado y revenido @ 400 °F	86	593	113	779	19	262
1045	rolado en caliente	45	310	82	565	16	163
	rolado en frío	77	531	91	627	12	179

Figura 29: Tabla de propiedades físicas de algunos aceros.

Fuente: Ingemecanica. (2023)

4.4.1.1 Cuchillas de corte

En primer lugar, se tuvo en cuenta las propiedades físicas del material plástico PET de las botellas, lo que ha permitido obtener información relevante sobre aspectos fundamentales, como la resistencia a la tracción. Este parámetro es crucial, ya que representa la máxima capacidad de un material para soportar tensiones antes de sufrir fracturas o rupturas. Este parámetro se utilizó para determinar la fuerza de corte necesaria en el proceso de trituración de las botellas, a la vez que se ha utilizado para calcular la fuerza resultante ejercida sobre las cuchillas, lo que ha sido determinante para el adecuado diseño y selección del material utilizado en dichas cuchillas.

Coeficiente de fricción(μ)	0,2 – 0,4
Dureza (RC)	94 – 101
Coeficiente de Poisson (ν)	0,37 a 0,44
Módulo de tensión (Gpa)	2 – 4
Resistencia a la tracción (Mpa)	80
Límite elástico (Mpa)	64

Cuadro 10: Propiedades del PET

Fuente: JISSE (2019)

Para asegurar un diseño seguro y considerando un margen de tolerancia adecuado, se optó por seleccionar un factor de seguridad de 1,5. Por su parte, la resistencia necesaria para romper el plástico PET, se obtiene al multiplicar dicho factor de seguridad por la resistencia a la tracción del material.

$$\tau_{rot} = Fs * \tau_{tracc}$$

Donde:

τ_{rot} : Resistencia a la rotura del PET

Fs : Factor de seguridad

τ_{tracc} : Resistencia a la tracción del material

$$\tau_{rot} = 1,5 * 80 \text{ MPa} = 120 \text{ MPa}$$

$$\tau_{rot} = 120 \text{ MPa}$$

El área de sección de corte del material es el ancho del filo de corte (w) multiplicado por el espesor de las botellas plásticas (t), como la parte superior de la botella correspondiente a la tapa es la que presenta mayor espesor, fue considerada esta, la cual posee 1mm de espesor.

$$A = w * t$$

Se hizo la propuesta de diseño de una cuchilla de gancho con dos puntas. Esta forma de cuchillas es eficaz a la hora de triturar plástico PET debido que permite agarrar el plástico y desgarrarlo, lo que resulta en una trituración más fina. Esto es importante porque el plástico PET es un material muy resistente y puede resultar difícil triturarlo con cuchillas tradicionales. A su vez este diseño las hace más duraderas que las cuchillas tradicionales ya que los ganchos de las cuchillas ayudan a protegerlas del desgaste. La selección de las dos puntas se debe a que resulta más eficiente que las cuchillas de una sola punta, y a su vez dejan espacio suficiente para la botella en la cámara de triturado, lo cual resultaría difícil para sistemas de tres o más puntas. Además, que presenta un diseño simple facilitando su fabricación.

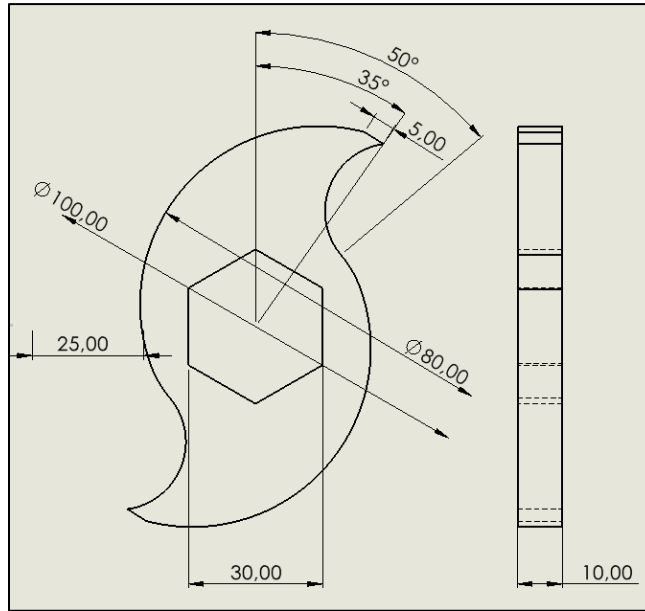


Figura 30: Diseño de cuchillas móviles

Fuente: Bueno, L. (2023)

Partiendo del diseño propuesto, el ancho del filo de corte es de 10mm.

$$w = 10mm$$

$$t = 1mm$$

$$A = 10mm * 1mm$$

$$A = 10mm^2$$

La fuerza requerida para el corte de las botellas (F_c) será el producto entre la resistencia a la rotura del plástico y el área de sección de corte del material.

$$F_c = \tau_{rot} * A$$

$$F_c = 120MPa * 10mm^2$$

$$F_c = 1200N$$

Mediante el programa de diseño SolidWorks, se realizó una simulación estática de la fuerza de corte en la zona del filo, empleando un material para la cuchilla de AISI 1020 y una sujeción fija en la zona central, donde se acopla con el eje. Se obtuvo el siguiente resultado:

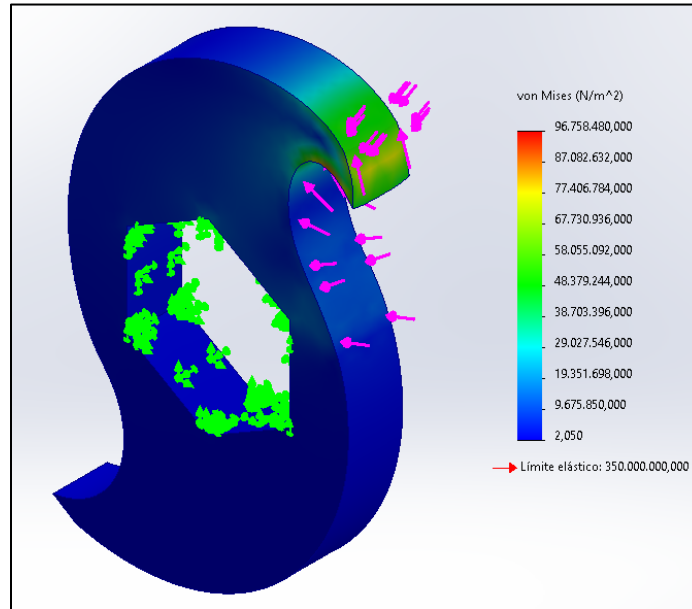


Figura 31: Simulación de las fuerzas cortantes en la cuchilla móvil.

Fuente: Bueno, L. (2023)

Utilizando el criterio de fallo basado en las tensiones máximas de Von Mises, se pudo observar una concentración del esfuerzo mayor en la región inferior de la cuchilla. Se determinó que el límite elástico del material es suficiente para soportar la fuerza de corte. Esto se debe a la excepcional resistencia del material de la cuchilla y la baja densidad del material triturado.

Cálculo del torque de las cuchillas

$$T = \text{Fuerza de corte} * \text{Radio de la cuchilla}$$

$$T = 1200N * 0,005m$$

$$T = 6Nm$$

Utilizando un motor reductor de 1700 RPM con una relación 10:1 obtenemos una velocidad angular de 170 RPM

Aceleración angular

ω : velocidad angular

$$\alpha = \frac{\omega}{2s}$$
$$\alpha = \frac{1700RPM * \frac{2\pi}{60} rad/s}{1 RPM}$$
$$\alpha = 89,01 rad/s^2$$

Inercia de las cuchillas

m : masa de las cuchillas y el eje

l : largo de la cuchilla

b : ancho de la cuchilla

$$m = (213g * 6) + 1080g$$

$$m = 2,358kg$$

$$l = 100mm = 0,1m$$

$$b = 51.5mm = 0,051m$$

$$I_{cuchillas} = \frac{m}{12}(l^2 + b^2)$$

$$I_{cuchillas} = 0,002kgm^2$$

Inercia de la carga

m : masa de botella

d : diametro de la cuchilla

$$I_{carga} = \frac{m * d^2}{8}$$

$$I_{carga} = \frac{0.04kg * 0.1m^2}{8}$$

$$I_{carga} = 0,0005kgm^2$$

Inercia total

$$I_{Total} = I_{cuchillas} + I_{carga}$$

$$I_{Total} = 0,002kgm^2 + 0,0005kgm^2$$

$$I_{Total} = 0,0025kgm^2$$

Momento torsor

$$M = I_{Total} * \alpha$$
$$M = 0,0025kgm^2 * 89,01rad/s^2$$
$$M = 0,223Nm$$

Cálculo de la potencia del motor

$$H = \frac{2 * \pi * \omega * M}{60}$$
$$H = \frac{2 * \pi * 1700RPM * 0,223Nm}{60}$$
$$H = 0.006hp$$

Se observó que un motor con una potencia de ½ hp funciona perfectamente en la máquina, esto es debido al diseño compacto y poco demandante de las cuchillas que permiten el triturado de una botella a la vez, de esta forma se asegura que la máquina no sufra sobrecarga y se evitan atascos a su vez, asegurando un correcto corte de las cuchillas.

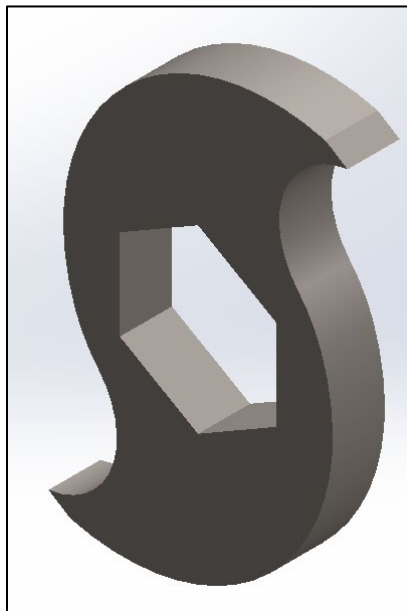


Figura 32: Modelo de cuchilla móvil.

Fuente: Bueno, L. (2023)

Cuchilla fija

Las cuchillas fijas están situadas a corta distancia frente a las cuchillas móviles, estas se mantienen unidas a las paredes de la caja trituradora, y junto a las otras cuchillas permiten realizar un efecto de tijera sobre el plástico a ser reciclado, ya que estas cuentan a su vez con una forma de gancho. Mediante simulación el SolidWorks se pudo comprobar la resistencia de la cuchilla al verse sometido a la fuerza de corte para lograr el desgarrado de las botellas. De la misma forma están fabricadas con el mismo material de las cuchillas móviles, AISI 1020.

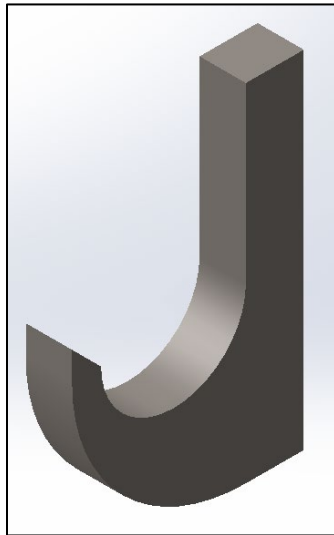


Figura 33: Modelo de cuchilla fija.

Fuente: Bueno, L. (2023)

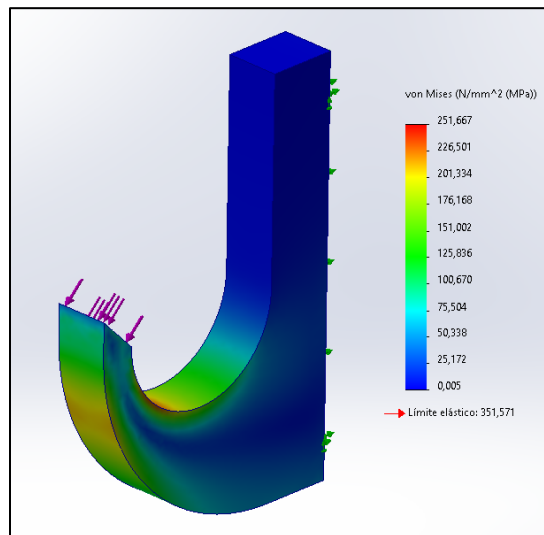


Figura 34: Tensiones de Von Mises cuchilla fija.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.1.2 Separadores

Son aros de acero que se colocan entre las cuchillas móviles para crear una separación entre ellas, de esta forma se evita el roce o contacto del filo de las mismas, a fin de prevenir daños en el sistema. Posee un orificio hexagonal en su centro para su acople al eje.

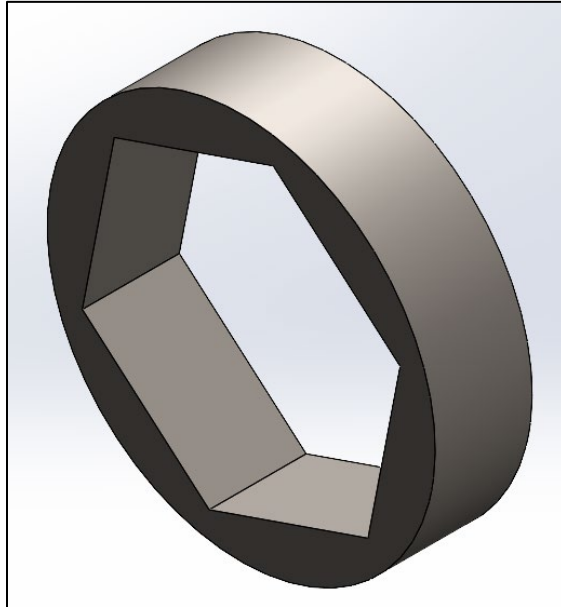


Figura 35: Separador de cuchillas.

Fuente: Bueno, L. (2023)

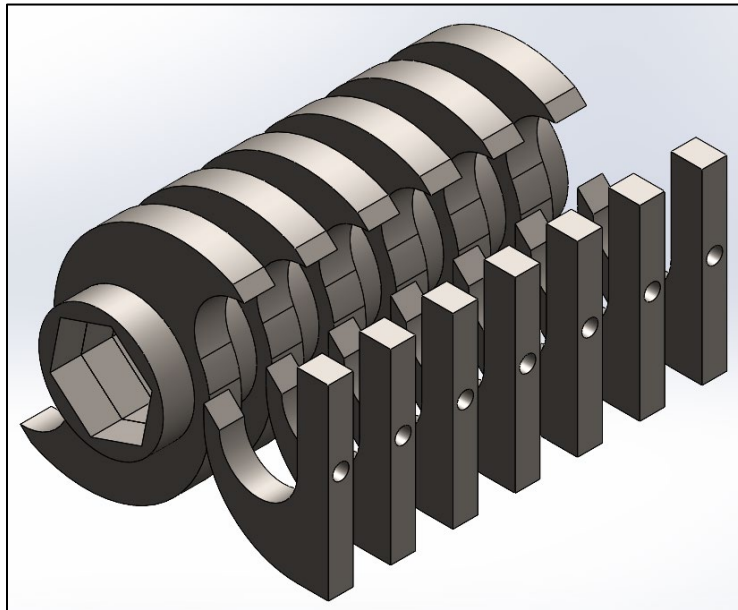


Figura 36: Distribución cuchillas y separadores.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.1.3 Eje

Como se seleccionó con anterioridad, el eje sobre el cual se apoya el sistema de cuchillas rotarias es uno de forma hexagonal, lo cual ayuda a una mejor sujeción de los componentes y una mayor efectividad durante el triturado. Esta diseñado para un acero AISI 1020, debido a su gran resistencia y bajo costo. Mediante simulación estática se corroboró su capacidad de soportar el peso de los componentes y a su vez de torque realizado por el motor.

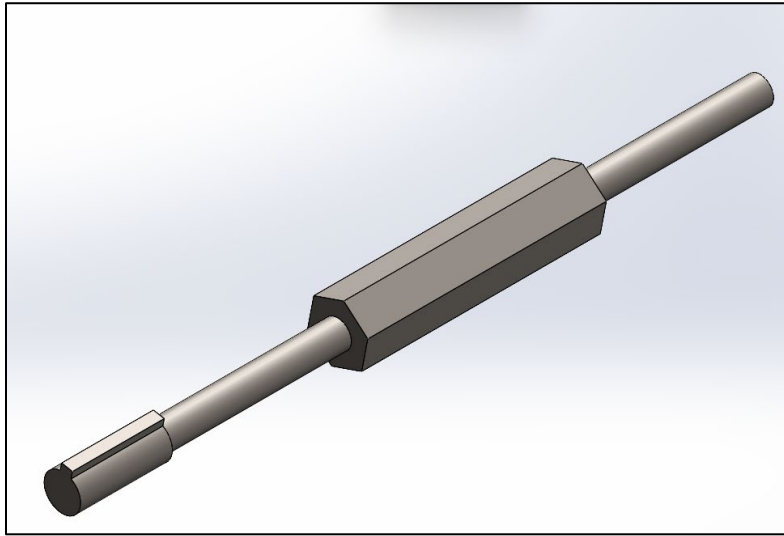


Figura 37: Eje de la trituradora.

Fuente: Bueno, L. (2023)

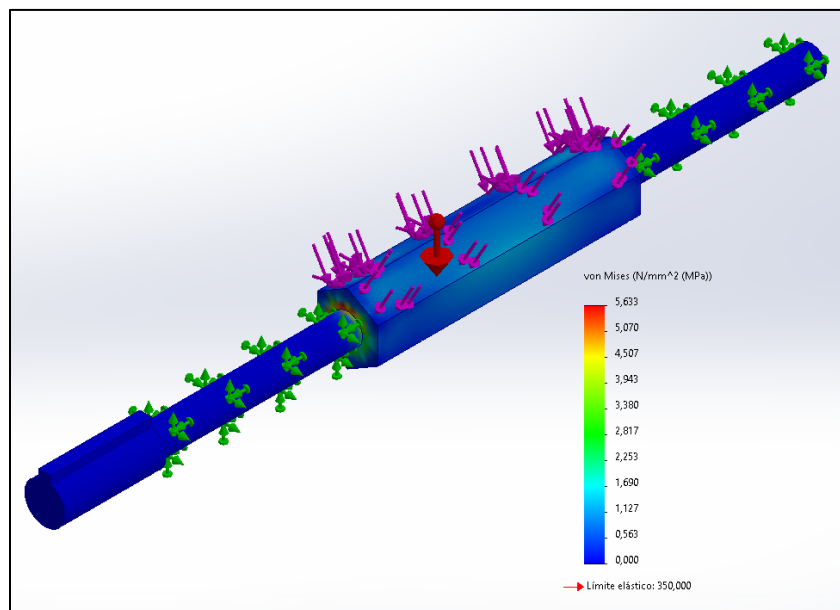


Figura 38: Análisis de Von Mises sobre el eje.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.1.4 Caja trituradora

Es el contenedor de todo el sistema de triturado del plástico, cuenta con una cara removible al frente para poder introducir el eje, el cual se apoya en los agujeros de mayor diámetro como se puede observar en la Figura 39. Para el apoyo del mencionado con respecto a la caja, se utilizan unas chumaceras de pared, el cual permite que el eje se mantenga fijo y al mismo tiempo pueda rotar libremente debido al cojinete interno que este posee, la chumacera elegida, debido a que es el más adecuado para el diámetro de la zona cilíndrica del eje, es la UCF 202 cuyas características son ilustradas en el Anexo C. Además, la caja cuenta con orificios a un lateral para poder acoplar las cuchillas fijas. El ensamblaje de los componentes a la caja se observa en la Figura 40

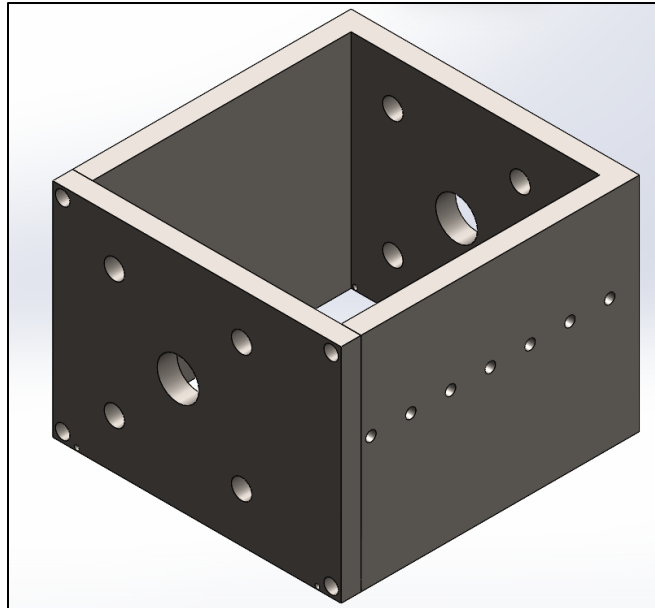


Figura 39: Caja de la trituradora.

Fuente: Bueno, L. (2023)

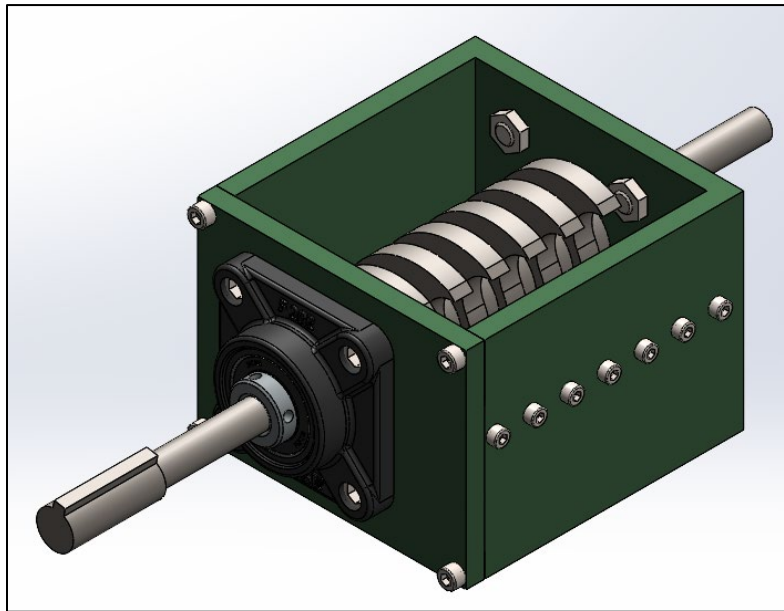


Figura 40: Caja de la trituradora.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.1.5 Criba

Este componente se une a la caja en la parte inferior (ver Figura 41), es una malla metálica cuya función es la de restringir el tamaño de las escamas de plástico, esto con el fin de obtener una materia prima más adecuada para el proceso de extrusión, debido que este requiere trozos pequeños de plástico para su correcto funcionamiento y garantizar la calidad de los filamentos. La criba realizada en el proyecto cuenta con agujeros de 5 mm de diámetro, por lo tanto este será el tamaño final del los trozos de plástico que saldrán del proceso de triturado

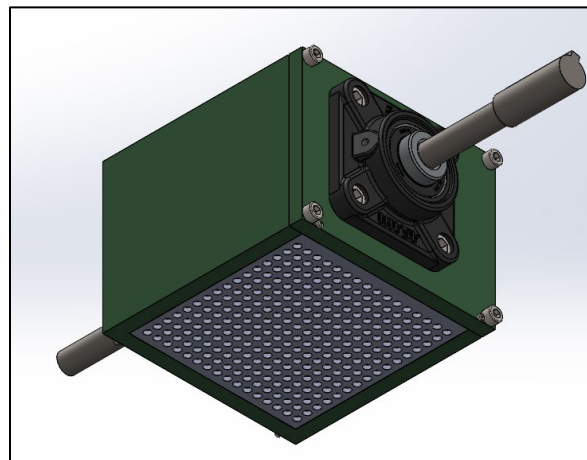


Figura 41: Vista de la criba, parte inferior de la caja.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.1.6 Tolva

Se realizó una tolva cuadrada de 20 cm de altura, longitud suficiente para poder abarcar la mayor parte de una botella de 2 L de refresco, como se observa en el Cuadro 12. Lo cual garantiza que no se salga debido al movimiento de las cuchillas y brinde seguridad al operario, El material de fabricación de la Tolva, fue el AISI 1020 debido a que este acero de bajo carbón posee buenas características por su precio. Y fue soldada a la caja para su unión dentro del sistema.

Volumen	Altura	Diámetro
355 ml	127 mm	54 mm
500 ml	160 mm	62mm
1 L	210 mm	69 mm
1,5 L	255 mm	76 mm
2 L	350 mm	90 mm

Cuadro 11. Comparación de dimensiones de botellas de refresco.

Fuente: Bueno, L. (2023)

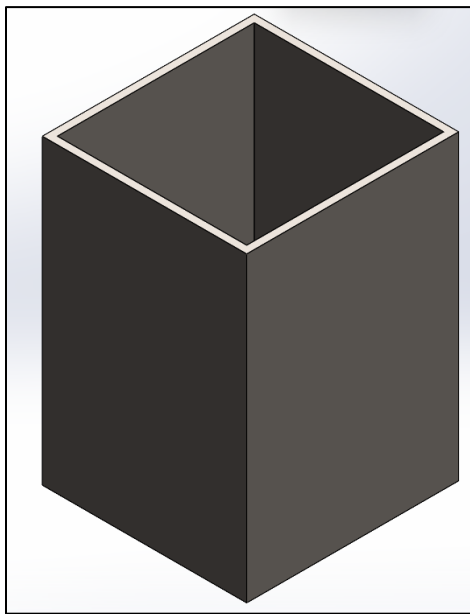


Figura 42: Diseño de la tolva.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.1.7 Montaje final del sistema de triturado

Una vez diseñados todos los componentes de la máquina trituradora, se procede a hacer su representación en SolidWorks, así como también

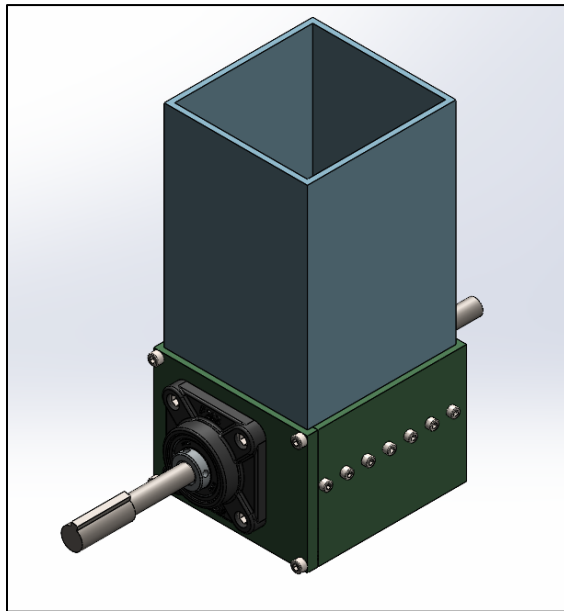


Figura 43: Montaje trituradora.
Fuente: Bueno, L. (2023)

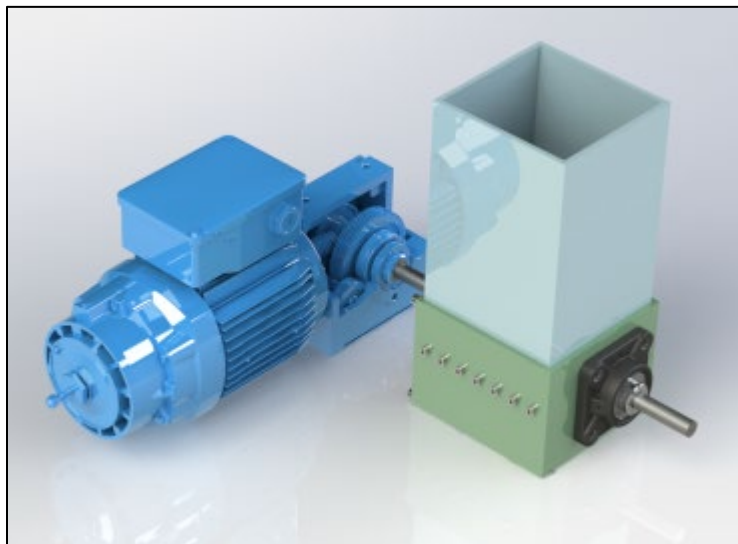


Figura 44: Renderizado de la trituradora
Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.2 Extrusora

Es el componente encargado de transformar las escamas de plástico en los filamentos aptos para las impresoras 3D, este cuenta con una tolva cónica por la cual entrará la materia prima, de ahí entrará al cilindro el cual posee unas resistencias de tipo abrazaderas que lo calentarán y será

arrastrado por medio de un tornillo sinfin cuyo diámetro cada vez aumenta para aumentar la presión interna para posteriormente, al final del cilindro mediante un cabezal con un orificio del tamaño comercial de los filamentos 3D, 1,75 mm de diámetro, saldría el plástico PET extruido. A continuación, se muestran los cálculos realizados para el diseño de los componentes que forman parte de la extrusora.

4.4.2.1 Diseño del husillo

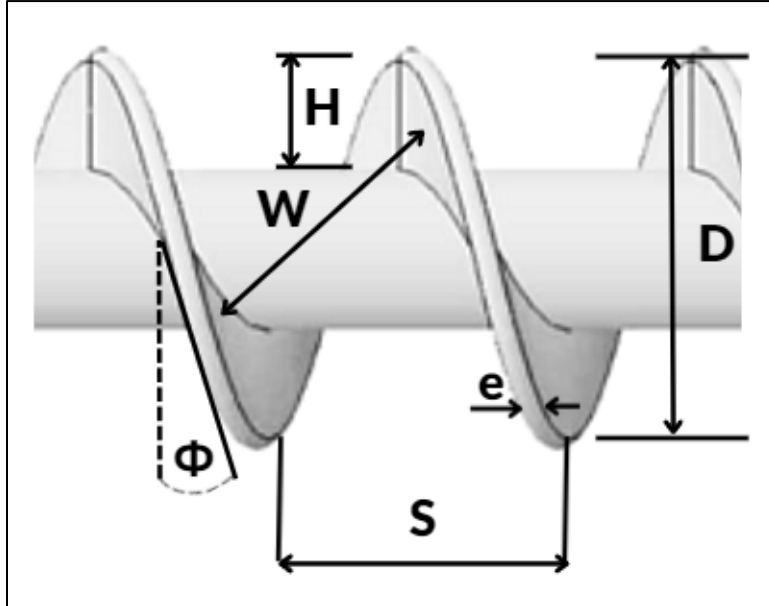


Figura 45: Partes del husillo

Fuente: Bueno, L. (2023)

Donde:

$e =$ *Espesor del filete*

$D =$ *Diámetro nominal del tornillo*

$S =$ *Paso diametral*

$H =$ *Altura del filete*

$\varphi =$ *Ángulo de paso*

$W =$ *Ancho del canal*

Longitud del husillo (L)

La longitud del husillo está relacionada con el diámetro nominal del mismo, por lo general para el caso del plástico se usan relaciones de 20:1 hasta 25:1. El material más adecuado para la fabricación de un tornillo sin fin para extruir plástico PET es el acero aleado. El acero aleado es un material fuerte y duradero que puede soportar las altas temperaturas y las condiciones de alta presión que se requieren para extruir plástico PET. El acero aleado que presenta mejores condiciones en base a su costo es el AISI 4140 y es el usado para el diseño del husillo en este trabajo. En el catálogo de Aceros Cartago S.A se encuentran dimensiones de barras de acero para este material (Ver Figura 46).

Dimensiones:	
Diametro	Diametro
12 mm	140 mm
16 mm	150 mm
19 mm	160 mm
22 mm	180 mm
26 mm	200 mm
32 mm	230 mm
40 mm	260 mm
45 mm	300 mm
52 mm	
60 mm	
65 mm	
70 mm	
80 mm	
90 mm	
100 mm	
115 mm	
130 mm	

Figura 46: Catálogo barras de acero AISI 4140.

Fuente: Bueno, L. (2023)

El diámetro nominal del tornillo es el diámetro de la barra seleccionada. Un diámetro de 32 mm es un tamaño adecuado en la fabricación de una extrusora de tamaño reducido de baja producción. Por lo tanto, empleando una relación 20 a 1 se tiene:

$$D = 32 \text{ mm}$$

$$L = 20 * D$$

$$L = 20 * 32 \text{ mm}$$

$$L = 640 \text{ mm}$$

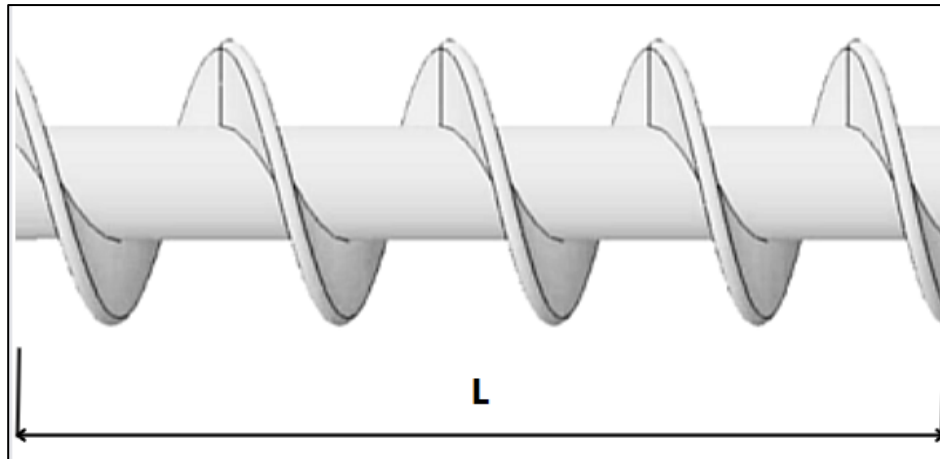


Figura 47: Longitud del husillo.

Fuente: Bueno, L. (2023)

Paso del husillo (S)

Es la distancia que existe entre crestas de las hélices del tornillo. Para su cálculo, es recomendado un 80% del diámetro nominal.

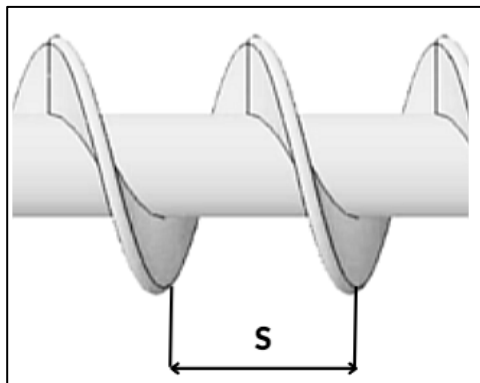


Figura 48: Paso del husillo.

Fuente: Bueno, L. (2023)

$$S = 0,8 * 32 \text{ mm}$$

$$S = 25,6 \text{ mm}$$

Ángulo de paso (φ)

Es el ángulo entre la hélice y la superficie del husillo

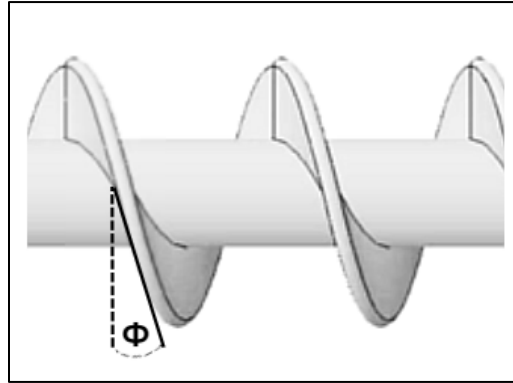


Figura 49: Ángulo de paso.

Fuente: Bueno, L. (2023)

$$\varphi = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{S}{\pi D}\right)$$

$$\varphi = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{25,6}{\pi * 32}\right)$$

$$\varphi = 14,29^\circ$$

Espesor del filete ϵ

Normalmente para el espesor del tornillo se utiliza un 10% del diámetro nominal

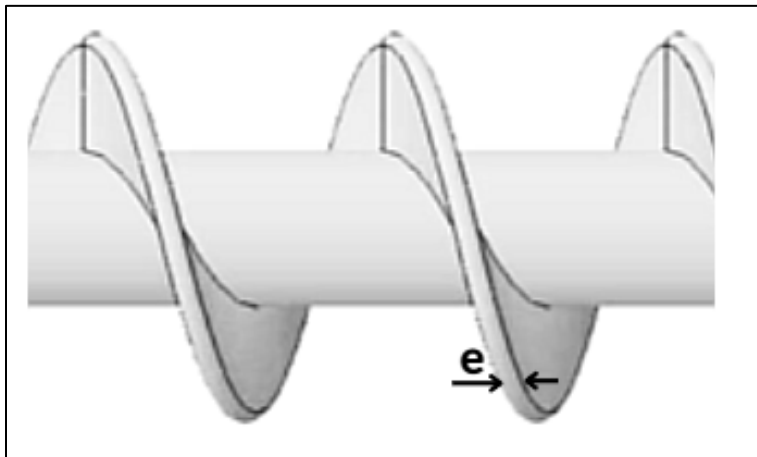


Figura 50: Espesor del filete.

Fuente: Bueno, L. (2023)

$$e = 0,1 * 32 \text{ mm}$$

$$e = 3,2 \text{ mm}$$

Ancho del canal (W)

Es la distancia existente entre los puntos de un filete con los puntos del filete siguiente

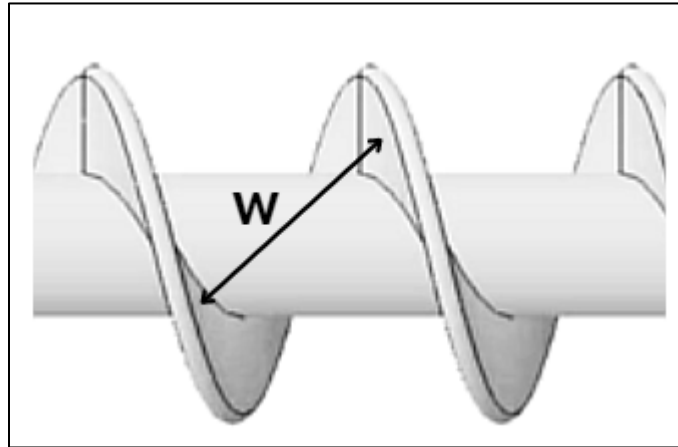


Figura 51: Ancho del canal.

Fuente: Bueno, L. (2023)

$$W = (S * \cos\varphi) - e$$

$$W = (25,6 \text{ mm} * \cos(14,29^\circ)) - 3,2 \text{ mm}$$

$$W = 21,61 \text{ mm}$$

Altura del filete en la zona de alimentación (Ha)

Distancia que hay entre el punto superior del filete, y el cilindro interno del husillo. Representa el 20% del tamaño del diámetro nominal

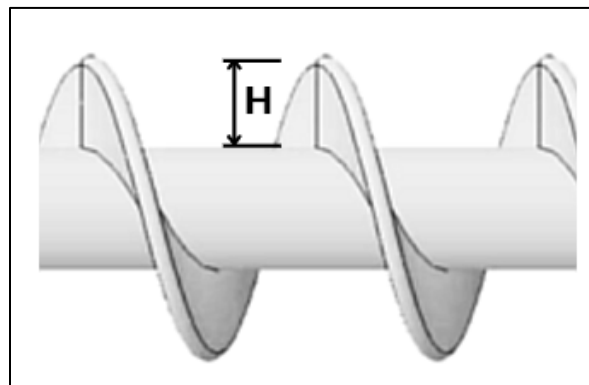


Figura 52: Altura del filete en la zona de alimentación.

Fuente: Bueno, L. (2023)

$$Ha = 0,2 * D$$

$$Ha = 0,2 * 32 \text{ mm}$$

$$Ha = 6,4 \text{ mm}$$

Diámetro interno del husillo (D_i)

Corresponde al tamaño del cilindro interno del tornillo sin fin

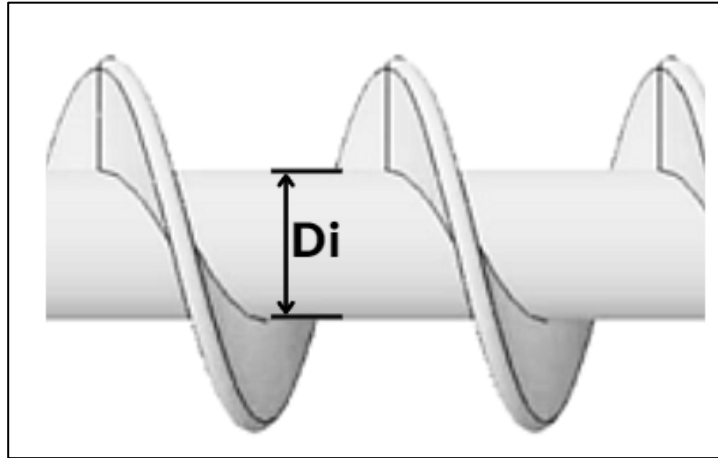


Figura 53: Diámetro interno del husillo.

Fuente: Bueno, L. (2023)

$$D_i = D - 2Ha$$

$$D_i = 32 \text{ mm} - 2(6,4 \text{ mm})$$

$$D_i = 19,2 \text{ mm}$$

Altura filete en la zona de dosificación (H_d)

$$H_d = |Ha - S * \text{Tan}(D_i)|$$

$$H_d = |6,4 \text{ mm} - 25,6 \text{ mm} * \text{Tan}(19,2)|$$

$$H_d = 2,51 \text{ mm}$$

Longitudes de las zonas del husillo

El husillo se divide en tres zonas, la zona de alimentación, zona de compresión y zona de dosificación y se distribuyen de la siguiente manera:

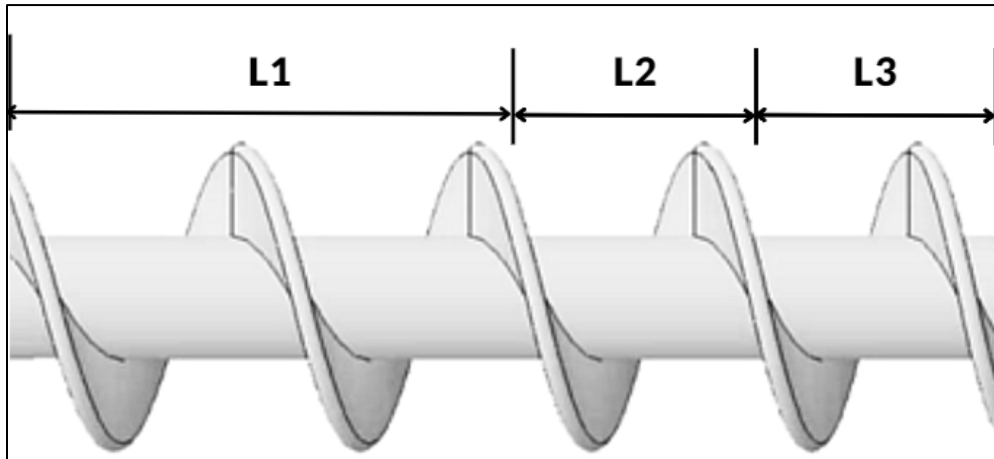


Figura 54: Diámetro interno del husillo.

Fuente: Bueno, L. (2023)

$$L_1 \text{ (Zona de alimentación)} = \frac{L}{2}$$

$$L_1 = \frac{640 \text{ mm}}{2}$$

$$L_1 = 320 \text{ mm}$$

$$L_2 \text{ (Zona de compresión)} = \frac{L}{4}$$

$$L_2 = \frac{640 \text{ mm}}{4}$$

$$L_2 = 160 \text{ mm}$$

$$L_3 \text{ (Zona de dosificación)} = \frac{L}{4}$$

$$L_3 = \frac{640 \text{ mm}}{4}$$

$$L_3 = 160 \text{ mm}$$

Análisis de esfuerzos en el husillo

La realización de este análisis resulta crucial para confirmar el tamaño adecuado del tornillo y evaluar cómo se desempeña durante su funcionamiento, así como para determinar los niveles de esfuerzo máximos aceptables. Se proceden a obtener los valores necesarios para el cálculo de los esfuerzos en el tornillo

Variable	Valor
D	32,00 mm
L	640,00 mm
S	25,60 mm
φ	14,29°
E	3,20 mm
W	21,61 mm
Ha	6,40 mm
Di	19,20 mm
Hd	2,51 mm
L1	320 mm
L2	160 mm
L3	160 mm

Cuadro 12. Parámetros de diseño del husillo.

Fuente: Bueno, L. (2023)

Diseño del Husillo

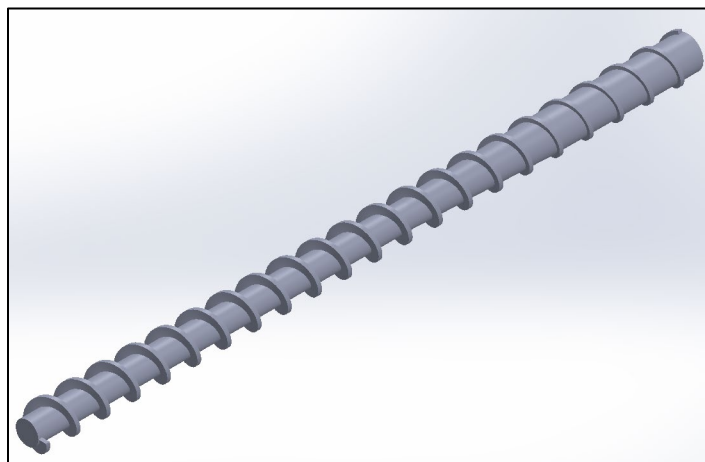


Figura 55: Diseño del husillo.

Fuente: Bueno, L. (2023)

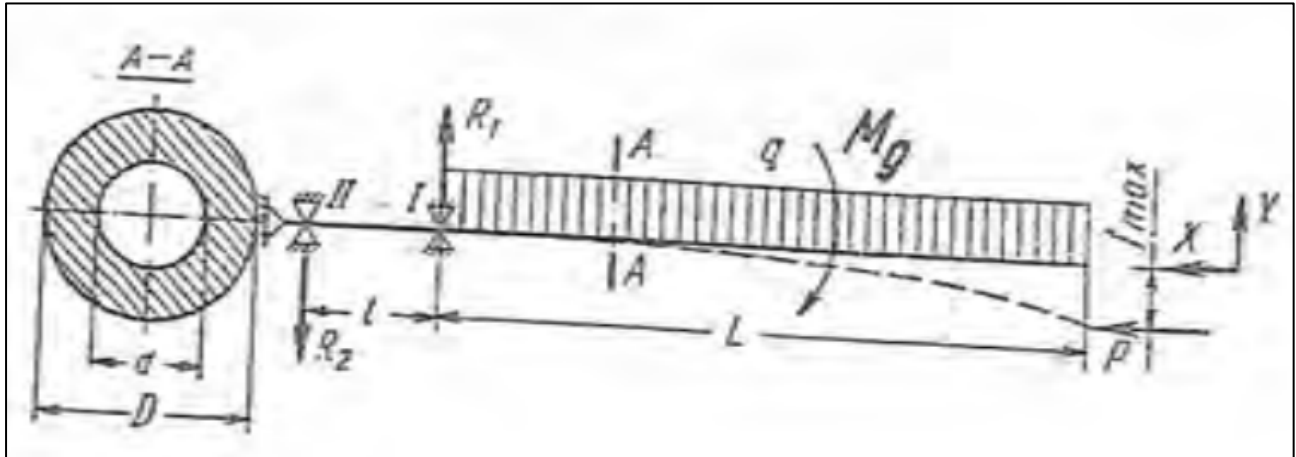


Figura 56: Diagrama de fuerzas de un husillo

Fuente: V. K. Savgorodny (1978)

Velocidad angular

La velocidad angular del husillo se puede determinar por la siguiente fórmula

$$N = \frac{\dot{m}}{D^2 * Ha * g}$$

Donde:

\dot{m} : Producción (g/min)

g : la gravedad específica del plástico tipo PET (g/cm³)

Se desea una producción de 5 kg/h equivalente a un aproximado de 125 botellas de refresco de dos litros. Equivalente a 83,33 g/min. Mientras que la gravedad específica del PET es de 1,36 g/cm³. Convirtiendo y sustituyendo algunas unidades se tiene:

$$N = \frac{83,33 \text{ g/min}}{(3,2 \text{ cm})^2 * 0,64 \text{ cm} * 1,36 \text{ g/cm}^3}$$

$$N = 9,35 \text{ rpm}$$

Potencia del motor

$$P = \frac{N * \pi * D^3}{k^2}$$

Siendo k el factor de proporcionalidad cuyo valor típicamente es 66,7, por lo tanto

$$P = \frac{9,35 * \pi * (32)^3}{66,7^2}$$

$$P = 216,35 \text{ W}$$

$$P = 0,290 \text{ HP}$$

Cálculo del torque

$$T = 9550 * \frac{P}{N}$$

$$T = 9550 * \frac{0,21635 \text{ kW}}{9,35 \text{ rpm}}$$

$$T = 220,98 \text{ Nm}$$

Área superficial

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} (1 - u^2)$$

Siendo u la relación existente entre los dos diámetros del husillo, se calcula:

$$u = \frac{Di}{D}$$

$$u = \frac{19,2 \text{ mm}}{32 \text{ mm}}$$

$$u = 0,6$$

Por lo tanto, se procede a calcular el área superficial

$$A = \frac{\pi * (32 \text{ mm})^2}{4} (1 - 0,6^2)$$

$$A = 514,72 \text{ mm}^2$$

$$A = 5,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Presión máxima

$$P = \frac{6\pi * Di * L * N * v}{Ha^2 * \text{Tan}(\varphi)}$$

Siendo v la viscosidad efectiva del PET

$$v = 500 \text{ Pa s}$$

Por lo tanto

$$P = \frac{6\pi * 0,0192 \text{ m} * 0,64 \text{ m} * 0,979 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 500 \text{ Pa s}}{(0,0064)^2 * \text{Tan}(14,29^\circ)}$$

$$P = 10,87 \text{ MPa}$$

Fuerza Axial en el husillo

$$F = P * A$$

$$F = 10,87 \text{ MPa} * 5,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 5596,73 \text{ N}$$

Tensión tangencial máxima

$$\tau = \frac{16T}{\pi D^3(1 - u^4)}$$

$$\tau = \frac{16(220,98 \text{ Nm})}{\pi(0,032 \text{ m})^3(1 - 0,6^4)}$$

$$\tau = 39,46 \text{ MPa}$$

Peso del husillo

Una vez realizado el modelo del husillo en SolidWorks, con el AISI 4041 como material, se obtuvo la siguiente masa

Propiedades de masa de Sinfin		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico		
Masa = 1894.11 gramos		
Volumen = 241287.40 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 60719.74 milímetros cuadrados		
Centro de masa: (milímetros)		
X = -0.01		
Y = -0.02		
Z = -313.95		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * Medido desde el centro de masa.		
lx = (0.00, 0.00, 1.00)	px = 152474.06	
ly = (0.77, -0.63, 0.00)	py = 51647034.02	
lz = (0.63, 0.77, 0.00)	pz = 51647305.71	
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenac		
Lxx = 51647142.52	Lxy = -133.63	Lxz = 3446.68
Lyx = -133.63	Lyx = 51647195.82	Lyz = -7719.17
Lzx = 3446.68	Lzy = -7719.17	Lzz = 152475.4
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida. (Usando notación te		
lxx = 238334038.30	lxy = -133.41	lxz = 7800.67
lyx = -133.41	lyy = 238334038.30	lyz = 1627.77
lzx = 7800.67	lzy = 1627.77	lzz = 152475.4

Figura 57: Propiedades físicas del husillo.

Fuente: Bueno, L. (2023)

$$m = 1,89 \text{ kg}$$

Por lo tanto, multiplicando por la gravedad se tiene

$$w = m * g$$

$$w = 1,89 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w_{\text{husillo}} = 18,54 \text{ N}$$

Carga distribuida sobre el husillo

$$q = \frac{w_{\text{husillo}}}{L}$$

$$q = \frac{18,54 \text{ N}}{0,64 \text{ m}}$$

$$q = 28,97 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Momento flector máximo

Se calcula mediante la ecuación:

$$Mf = \frac{\delta * g * L^2}{2} * \frac{\pi D^2}{4} * (1 - u^3)$$

Donde:

δ : densidad del acero

$$\delta = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$Mf = \frac{7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (0,64)^2}{2} * \frac{\pi(0,032)^2}{4} * (1 - 0,6^3)$$

$$Mf = 9,94 \text{ Nm}$$

Momento de inercia respecto al eje neutro

$$W_0 = \frac{\pi * D^3}{32} * (1 - u^4)$$

$$W_0 = \frac{\pi * (0,032)^3}{32} * (1 - 0,6^4)$$

$$W_0 = 2,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Tensión normal

$$\sigma = P + \frac{Mf}{W_0}$$

$$\sigma = 10,87 \text{ MPa} + \frac{9,94 \text{ Nm}}{2,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma = 14,42 \text{ MPa}$$

Tensión resultante

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 4 * \tau^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{(14,42 \text{ MPa})^2 + 4 * (39,46 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma' = 80,23 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

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

Donde S_y es la resistencia de fluencia del acero que se observa en la figura corresponde a 415 Mpa, por lo tanto:

$$n = \frac{415 \text{ MPa}}{80,23 \text{ MPa}}$$

$$n = 5,17$$

Se concluye que el diseño del husillo es capaz de resistir los esfuerzos de trabajo a los que es sometido, ya que típicamente se emplean factores de seguridad de 2 para las máquinas extrusoras, por lo tanto el diseño no presentará fallas durante su funcionamiento y debido a que la altura del filete en la zona de alimentación es lo suficientemente grande es capaz de contener sin problema alguno las escamas de plásticos obtenidos en el proceso anterior de triturado, por lo tanto es un diseño eficiente en su funcionamiento y seguro.

4.4.2.2 Diseño del Cañón

El Cañón, también conocido como cilindro, es la estructura que va a calentarse y dentro de la cual pasará el husillo, es por lo tanto importante que este abarque la longitud total del tornillo sinfín. En uno de sus extremos se conectará a una tolva y por el otro se acoplará el cabezal que permitirá la extrusión.

Amplitud Tornillo-cilindro

Es el espacio existente entre el filete del husillo y el cañón, la amplitud es un aspecto importante en las extrusoras, debido a que mientras mayor es la distancia el mezclado se vuelve más eficiente, pero al mismo tiempo disminuye el avance del polímero debido al aumento del flujo contrario del material. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta = 0,002D$$

$$\Delta = 0,002(32 \text{ mm})$$

$$\Delta = 0,064 \text{ mm}$$

Diámetro del cilindro

$$D_c = D + 2\Delta$$

$$D_c = 32 \text{ mm} + 2(0,064 \text{ mm})$$

$$D_c = 32,13 \text{ mm}$$

Espesor del cilindro

$$e_c = r_c * \left(1 - \sqrt{\frac{2P}{\sigma' - 2P}} \right)$$

$$e_c = 0,016 \text{ m} * \left(1 - \sqrt{\frac{2(10,87 \text{ MPa})}{80,23 \text{ MPa} - 2(10,87 \text{ MPa})}} \right)$$

$$e_c = 0,006 \text{ m} = 6 \text{ mm}$$

El diámetro total del cañón sería de 44,13 mm por lo tanto se emplearía una barra de 45 mm de Acero AISI 4140 para su fabricación

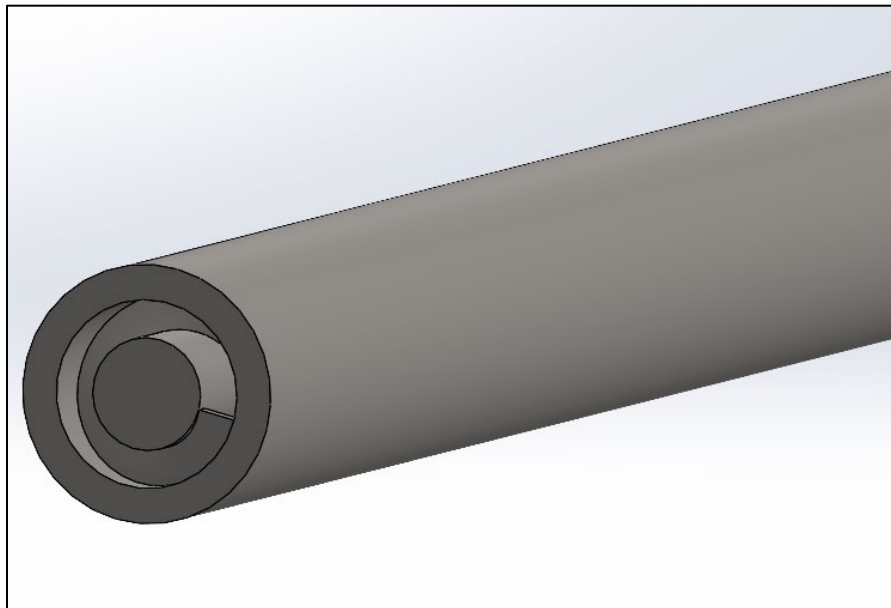


Figura 58: Cañón con husillo.

Fuente: Bueno, L. (2023)

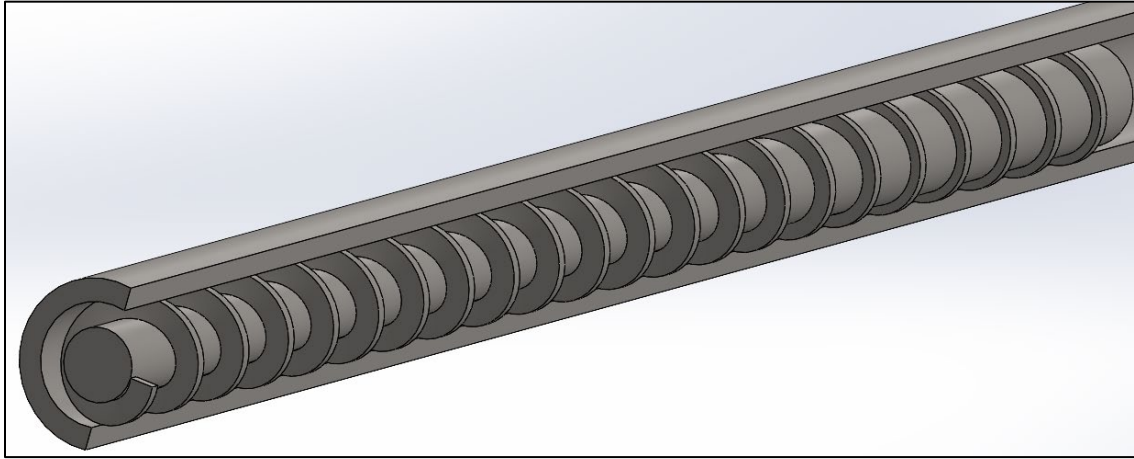


Figura 59: Vista de corte del Cañón con husillo.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.2.3 Tolva de alimentación

Es la encargada de contener las escamas de plástico para alimentar el cañón, el mismo tiene cierta inclinación que permite suministrar la materia de forma más controlada. Posee una forma cónica para tal fin y tiene la capacidad de almacenamiento suficiente para lograr la cantidad de filamentos por hora deseados.

Volumen de la tolva

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

Donde

m: masa a extruir

δ: densidad del plástico

Como se realiza el cálculo para una producción de 5 kg/hora se empleará una masa de 5kg.

$$m = 5 \text{ kg}$$

De la Figura 60 se toma el valor de la densidad del PET en kg/m³ para sustituir en la fórmula

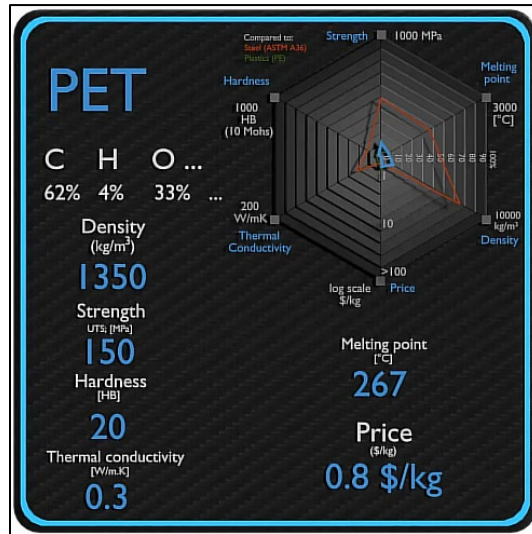


Figura 60: Propiedades del PET.
Fuente: Material-properties.org (2023)

Por lo tanto, se observa que el PET tiene una densidad de 1350 kg/m³

$$\delta = 1350 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = \frac{5 kg}{1350 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V = 3,70 \times 10^{-3} m^3$$

La mejor forma de tolva para una extrusora es la cónica. Esta forma permite que el material fluya libremente hacia la extrusora sin crear obstrucciones. La forma cónica también ayuda a evitar que el material se atasque o se pegue a los lados de la tolva.

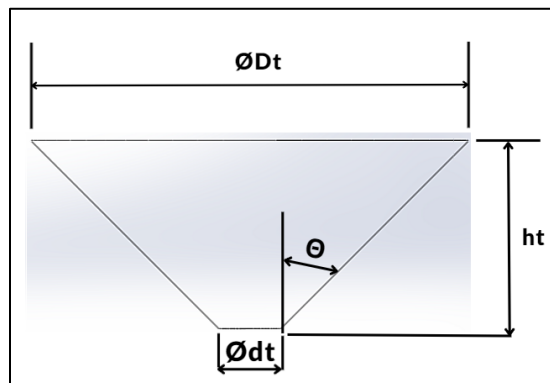


Figura 61: Dimensiones para el diseño de la tolva.
Fuente: Bueno, L. (2023)

Diámetro menor

Se considera un diámetro menor de la tolva proporcional al diámetro total del cañón previamente calculado, para que esta pueda surtir adecuadamente a la máquina, se tomó un diámetro menor del 70% del cañón de forma que se evitan derramamientos de las escamas por los bordes, y al mismo tiempo se tiene un diámetro adecuado para el surtimiento de materia prima a la extrusora.

Diámetro total del cilindro

$$D_{Ctotal} = 44,13 \text{ mm}$$

Por lo tanto

$$d_t = 0,7 * D_{Ctotal}$$

$$d_t = 0,7 * 44,13 \text{ mm}$$

$$d_t = 30,89 \text{ mm}$$

Se escoge una altura de 150 mm y una inclinación de 45°, debido a que esta altura puede ser adecuada para conseguir la capacidad necesaria, el ángulo de inclinación del 45% permite un correcto flujo de las escamas a través de la tolva, así mismo permite reducir el espacio ocupado por la tolva, con esos datos se procede a modela el cono de la tolva mediante el programa SolidWorks para obtener el valor del diámetro mayor Dt

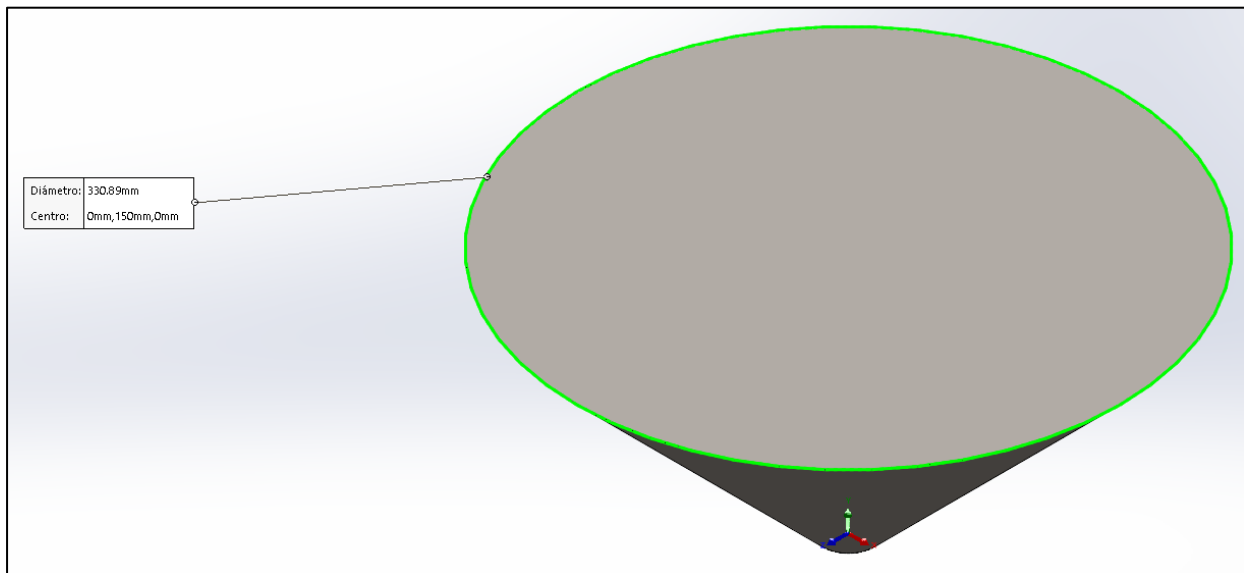


Figura 61: Medida del diámetro mayor de la tolva.

Fuente: Bueno, L. (2023)

Se obtiene un diámetro mayor para la tolva de

$$D_t = 330,89 \text{ mm}$$

Material de la tolva

El material empleado para la fabricación será un ASTM A36 el cual es un acero de bajo carbono que suele utilizarse para diversas aplicaciones, como vigas estructurales, chapas y tuberías. Es relativamente barato y fácil de soldar, lo que lo convierte en una buena opción para la fabricación de tolvas y la elegida para este proyecto. A la hora de soldar la tolva con el cilindro es importante conocer que el ASTM A36 es un acero de bajo contenido en carbono, mientras que el AISI 4140 es un acero de alto contenido en carbono y cromo. El mayor contenido de carbono del AISI 4140 puede hacer que el metal de soldadura sea más quebradizo que el metal base. Esto puede mitigarse utilizando una técnica de soldadura que produzca una soldadura con bajo contenido en hidrógeno.

Para lograr esto, se utiliza la técnica de soldadura GMAW el cual es un proceso donde se crea un arco entre el electrodo y la pieza. Se utiliza un gas de protección, como argón o CO₂, para evitar que el hidrógeno llegue al baño de soldadura. Y como alternativa de electrodo para utilizar para soldar estos dos componentes se eligió un E7018 ya que es un electrodo de bajo contenido de carbono lo cual ayuda a prevenir grietas en la soldadura, permite usarse en diferentes posiciones, produce soldaduras fuertes y es fácil de usar.

Espesor de la tolva

Del Anexo D se obtiene mediante el catálogo de planchas de acero ASTM A36, un espesor mínimo de 1,5 mm para las planchas de acero de este material, el cual será seleccionado en el proyecto y posteriormente probada su resistencia mediante simulación

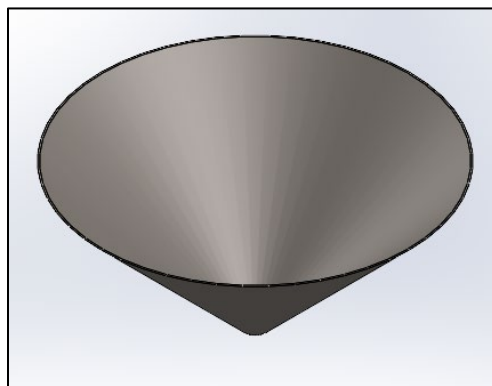


Figura 62: Modelo de la tolva.

Fuente: Bueno, L. (2023)

El volumen interno de la tolva debe tener la capacidad de almacenar los 5 kg deseados, a la vez que debe tener cierto margen de altura para evitar desbordamiento, el volumen necesario para almacenar esa cantidad de escamas de plástico es de

$$V = 3,70 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Mediante SolidWorks se realizó el cálculo del volumen máximo que almacena

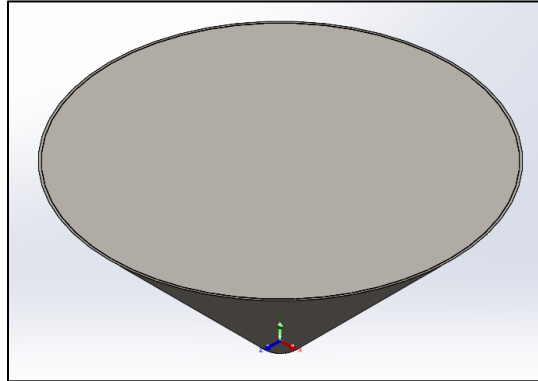


Figura 63: Llenado de la tolva.

Fuente: Bueno, L. (2023)

Propiedades de masa de selected Solid Bodies:	
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --	
Densidad =	7850000.00000 gramos por metro cúbico
Masa =	35793.97226 gramos
Volumen =	0.00456 metros cúbicos
Área de superficie =	202082.03158 milímetros cuadrados
Centro de masa: (milímetros)	
X =	0.00000
Y =	109.23019
Z =	0.00000

Figura 64: Capacidad volumétrica de la tolva.

Fuente: Bueno, L. (2023)

Por lo tanto, el volumen máximo que puede almacenar la tolva es

$$V_{tmax} = 4,56 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Lo cual representa un 23% más de volumen que el necesario para cubrir los 5 kg, esto brinda un margen suficiente para evitar que el plástico se salga de la tolva

Análisis de tensiones

Mediante simulación se comprueba que el diseño de la tolva pueda soportar la carga de almacenamiento, la fuerza producto de esta carga es

$$F_{carga} = 5 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{carga} = 49,05 \text{ N}$$

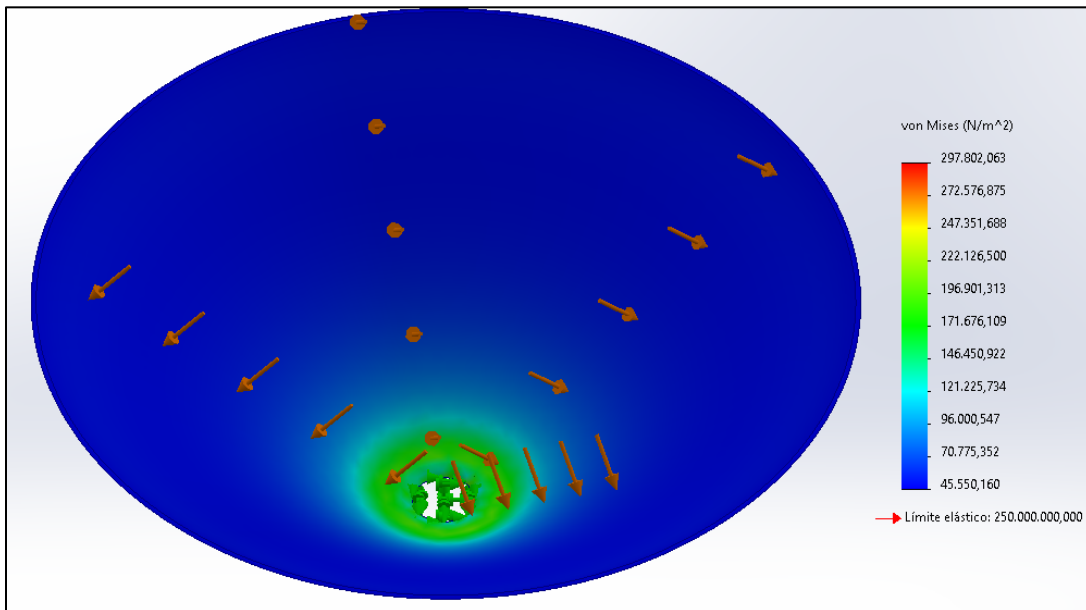


Figura 65: Análisis de tensiones dentro la tolva.

Fuente: Bueno, L. (2023)

Mediante análisis de tensiones de Von Mises, se comprueba que el diseño para la carga sometida es totalmente seguro.

4.4.2.4 Sistema de calentamiento

El sistema de calentamiento del cilindro es aquel encargado de aumentar la temperatura a lo largo del cañón para derretir el plástico en su interior al alcanzar la temperatura de fusión del PET, por lo tanto, fue necesario elegir las resistencias adecuadas para lograr tal propósito.



Figura 66: Resistencias de tipo abrazaderas.

Fuente: Julio Martínez

Cálculo de la temperatura media

$$T_f = \frac{T_s + T_a}{2}$$

Donde

T_f : Temperatura media (K)

T_s : Temperatura del sólido (K)

T_a : Temperatura ambiente (K)

La temperatura de fusión del plástico tipo PET es de 267°C (540,15 K) por lo tanto esta será la temperatura a la cual debe llegar la extrusora (ver figura) y la temperatura ambiente generalmente tomada como 20°C (293 K)

$$T_f = \frac{540,15 \text{ K} + 293 \text{ K}}{2}$$

$$T_f = 416,57 \text{ K}$$

Cálculo del coeficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{416,57 \text{ K}}$$

$$\beta = 2,40 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Cálculo del coeficiente de convección

Para calcular el valor del coeficiente de convección, se toma en cuenta que en esta situación se presenta un proceso de convección natural. Por tanto, se determina el número de Grashof utilizando la siguiente fórmula.

$$Gr = \frac{g * \beta (T_{sup} - T_L) * Lc^3}{\gamma^2}$$

Donde

Gr: número de Grashof

g: Aceleración gravitacional (m/s^2)

β : Coeficiente de expansión volumétrica (K^{-1})

T_{sup} : Temperatura de la superficie (K)

T_L : Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie (K)

Lc: Longitud característica de la configuración geométrica (m)

γ : Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

La temperatura de la superficie sería la temperatura de fusión del PET 540,15 K, mientras que la temperatura alejada de la superficie será la temperatura ambiente, 293 K Para la longitud característica de la configuración geométrica se utilizará el diámetro total del cañón el cual es de 45 mm o 0,45 m, y para la viscosidad cinemática del PET a su temperatura de fusión esta tiene un valor de $\gamma = 2,74 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s$, sustituyendo estos valores en la ecuación se tiene:

$$Gr = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 * 2,40 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} (540,15 \text{ K} - 293 \text{ K}) * (0,045 \text{ m})^3}{(2,74 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s)^2}$$

$$Gr = 70,63 \times 10^4$$

Aumento de la transmisión de calor

Para determinar el aumento de la transmisión de calor se calcula el número de Nusselt con la ecuación:

$$Nu = \left(0,6 + \frac{0,387 * Ra^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

Donde

Nu: número de Nusselt

Ra: Número de Rayleigh

Pr: Número de Prant

El número de Prant para el PET es de 0,704 y para calcular el número de Rayleigh se emplea la siguiente ecuación:

$$Ra = Pr * Gr$$

$$Ra = 0,704 * 70,63x10^4$$

$$Ra = 49,72x10^4$$

Sustituyendo se tiene

$$Nu = \left(0,6 + \frac{0,387 * (49,72x10^4)^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{0,704} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

$$Nu = 8,766$$

Coefficiente de convección natural

Para calcular el coeficiente de convección natural, se utiliza la siguiente ecuación:

$$hc = \frac{Nu * k}{Lc}$$

Donde

k: Conductividad térmica del material ($\frac{W}{m*k}$)

Lc: Longitud característica de la configuración geométrica (m)

PET	
Fórmula molecular	(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n
Densidad amorfa	1,370 g/cm ³
Densidad diamantina	1,455 g/cm ³
Módulo de Young (E)	2800–3100 MPa
Presión(σ _t)	55–75 MPa
Límite elástico	50–150%
Prueba de impacto	3,6 kJ/m ²
Prueba de fractura y ruptura	14.89 N/m ²
Temperatura de transición vítre	75 °C
Punto de fusión	260 °C
Vicat B	170 °C
Conductividad térmica	0,24 W/(m·K)
Coefficiente de dilatación lineal (α)	7×10 ⁻⁵ /K
Calor específico (c)	1,0 kJ/(kg·K)
Absorción de agua (ASTM)	0,16
Índice de refracción	1,5750
Coste	0,5–1,25 €/kg
Fuente: A.K. van der Vegt & L.E. Govaert, Polymeren, van keten tot kunstof, ISBN 90-407-2388-5	

Figura 67: Propiedades físicas y térmicas del PET.

Fuente: Wikipedia

Donde la conductividad térmica del PET es de $0,24 \frac{W}{m \cdot K}$ (Ver figura 67) y L_c 0,045 m, reemplazando se tiene:

$$hc = \frac{8,766 * 0,24 \frac{W}{m * K}}{0,045 m}$$

$$hc = 46,75 \frac{W}{m^2 * K}$$

Cálculo del coeficiente de conducción

$$h_r = \frac{\varepsilon * \sigma * (T_s^4 - T_a^4)}{T_s - T_a}$$

Donde

ε : Emisividad del acero a 267°C

σ : Constante de Stefan – Boltzman ($\frac{W}{m^2 * K^4}$)

T_s : Temperatura absoluta de la superficie (K)

T_a : Temperatura ambiente (K)

La emisividad del acero AISI 4140 a una temperatura de 267°C es de 0,65, mientras que la constante de Stefan-Boltzman posee un valor de $5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$, reemplazando estos valores en la ecuación se tiene:

$$h_r = \frac{0,65 * 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * ((540,15 K)^4 - (293 K)^4)}{540,15 K - 293 K}$$

$$h_r = 11,60 \frac{W}{m^2 * K}$$

Coefficiente de transferencia del sistema

Es igual a la suma de los dos coeficientes calculados anteriormente.

$$h = hc + hr$$

$$h = 46,75 \frac{W}{m^2 * K} + 11,60 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h = 58,35 \frac{W}{m^2 * K}$$

Perdidas de calor por conducción

Las pérdidas por conducción se desprecian porque los únicos elementos en contacto directo con el husillo son los soportes, y su contribución es mínima.

Perdidas de calor por convección

$$Q_c = hc * \Delta T * \pi * L_c * L$$

$$Q_c = 46,75 \frac{W}{m^2 * K} * (540,15 K - 293 K) * \pi * 0,045 m * 0,64 m$$

$$Q_c = 1045 W$$

Pérdidas por radiación

$$Q_r = \pi * L_c * L * \varepsilon * \sigma * (T_s^4 - T_a^4)$$

$$Q_r = \pi * 0,045 m * 0,64 m * 0,65 * 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * (540,15^4 - 293^4)$$

$$Q_r = 259,28 W$$

Potencia de entrada

La cantidad de energía necesaria para derretir el polímero en el sistema se conoce como potencia de entrada, y está determinada por la capacidad de la máquina y el calor específico del material

$$.Q_e = \dot{m} * Cp * (Ts - Ta)$$

Donde

\dot{m} : Flujo másico del sistema (Kg/h)

C_p : Calor específico (J/Kg °C)

T_s : Temperatura de salida del plástico [°C]

T_a : Temperatura de ingreso del plástico [°C]

El calor específico del PET es de 1 kJ/kg K (Ver Figura 67), reemplazando en la ecuación se tiene:

$$Q_e = \dot{m} * C_p * (T_s - T_a)$$
$$Q_e = 4 \frac{kg}{h} * 1 \frac{kJ}{kg K} * (540,15 K - 293 K)$$
$$Q_e = 4 \frac{kg}{h} * 1 \frac{kJ}{kg K} * (540,15 K - 293 K)$$
$$Q_e = 988,6 \frac{kJ}{h} = 274,61 W$$

Potencia de salida del sistema

Con el fin de respaldar la elección adecuada de las resistencias, es necesario realizar una comparación entre la potencia real proporcionada por las resistencias al sistema y la energía que se libera del sistema. Si esta es mayor quiere decir que las resistencias tendrán la capacidad necesaria para fundir el material.

$$Q_s = Q_r + Q_c + Q_e$$
$$Q_s = 259,28 W + 1045 W + 274,61 W$$
$$Q_s = 1579 W$$

Se deben seleccionar resistencias de 45 mm de diámetro puesto que este es el tamaño del cañón, las resistencias tienen ajustadores que permiten ajustarse, con lo cual que posean el mismo diámetro no resulta problema alguno. Del catálogo de resistencias tipo abrazaderas (Anexo E) seleccionando abrazaderas de 60 mm de longitud, serían necesarias 4 resistencias para lograr la potencia de salida

$$Q = 4 * 425 W$$
$$Q = 1700 W$$

Potencia real

$$Q_{real} = Q - Q_r - Q_c$$
$$Q_{real} = 1700 W - 259,28 W - 1045 W$$
$$Q_{real} = 395,72 W$$

Como la potencia real del sistema es de 395,72 W, al comparar con los 274,61 W de potencia necesaria para fundir el plástico, se observa que es correcta la selección de 4 resistencias de 45 mm de diámetro y 60 mm de longitud que proporcionan 425 W cada una, y estas permitirán la fundición y posterior extrusión del PET.

4.4.2.5 Boquilla

Es una pieza pequeña metálica colocada al final del cañón por el cual pasará el plástico derretido, como la boquilla del proyecto está adaptada a 1,75mm de diámetro, el filamento que se forma durante la extrusión tendrá las dimensiones adecuadas para su uso en la impresora 3D. A continuación, se presentan los cálculos para su diseño.



Figura 68: Boquilla de extrusión.

Fuente: Pamsó

Espesor

El espesor de la boquilla corresponde al mismo del cañón, por lo tanto

$$e_c = e_b = 6 \text{ mm}$$

Largo

Se emplea una medida de 50 mm para la longitud de la boquilla, considerando el espacio requerido para su conexión al cañón a través de una rosca.

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

Longitud cabezal

Para evitar una disminución de la presión en la salida del PET extruido, es importante que la longitud del cabezal de la boquilla (L_{cb}) no sea excesiva. Por otro lado, el diámetro de la boquilla (D_b) se determina en función del tamaño del filamento deseado para la extrusión. En el caso de esta extrusora al estar diseñada específicamente para filamentos 3D, se utiliza un diámetro de boquilla de 1,75 mm, que es el estándar más común en el mercado para este tipo de filamentos.

$$L_{cb} = 20 \text{ mm}$$

$$D_b = 1,75 \text{ mm}$$

Material

En este caso, se propone utilizar el acero AISI 1020 como el material elegido para la boquilla. Normalmente, este tipo de acero se emplea en la fabricación de componentes pequeños que no están expuestos a cargas de trabajo intensas. En este contexto, se empleará un eje con un diámetro de 45 mm y una longitud de 50 mm para su fabricación.

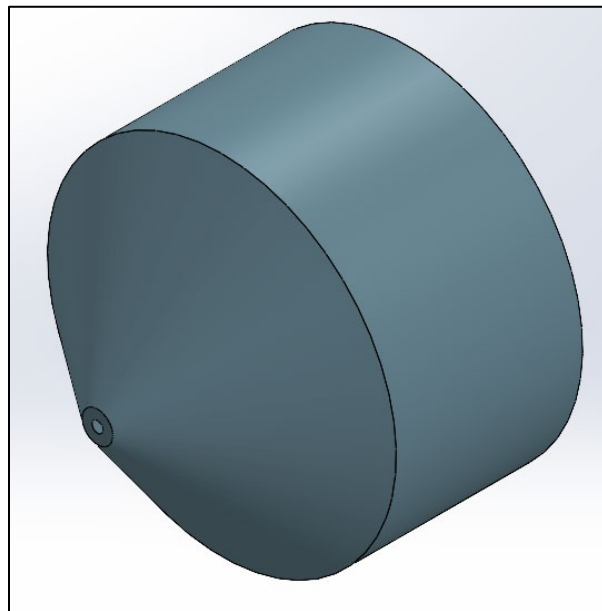


Figura 69: Boquilla de la máquina extrusora.

Fuente: Bueno, L. (2023)

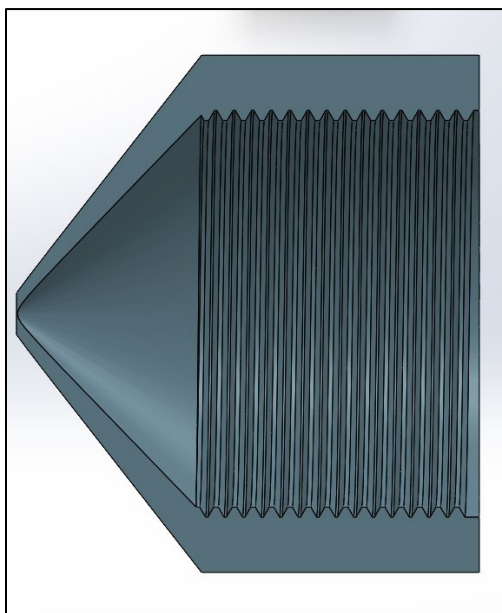


Figura 70: Vista de corte lateral boquilla.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.2.6 Transmisión del movimiento

Es la potencia necesaria que requiere el sistema para su funcionamiento adecuado fue calculada durante el diseño del husillo.

$$P = 0,290 \text{ HP}$$

Del catálogo de motor trifásicos del Anexo F se selecciona un motor de 0,5 HP con 1200 RPM, un par motor de 3,13 Nm. Con estos datos se procede a seleccionar la caja reductora, que permita disminuir la velocidad de giro del husillo.

$$i = \frac{N_c}{N} = \frac{1200 \text{ RPM}}{9,35 \text{ RPM}} = 128,34$$

Según el catálogo presentado en el Anexo G, se ha seleccionado la caja reductora MRA-MTA 71/60, la cual es de tipo tornillo sin fin simple. Esta caja tiene una relación de reducción de 1:126, un torque de 213 Nm y una potencia de 0,50 HP. Con esta relación se tiene

$$N_{real} = \frac{1200 \text{ RPM}}{126 \text{ RPM}} = 9,52 \text{ RPM}$$

Y el torque necesario para el funcionamiento del sistema es de

$$T = 220,98 \text{ Nm}$$

Como

$$T_{real} > T$$

$$213 Nm > 220,98 Nm$$

Entonces se corrobora que la selección del motor y de la caja reductora es adecuada. Se ha establecido una velocidad efectiva de 9,52 RPM utilizando la caja reductora correspondiente, con el propósito de asegurar el cumplimiento de la capacidad original de la máquina. Es importante evitar trabajar a velocidades inferiores a la calculada, ya que podría impactar negativamente en los resultados de capacidad.

4.4.2.7 Selección de termocuplas

Estos son sensores de temperatura que se utilizan principalmente en la industria de los polímeros. Este elemento consta de dos alambres de metal diferentes conectados por un extremo soldado. Cuando se aplica la temperatura, se crea un voltaje muy pequeño en la conexión metálica, que aumenta a medida que aumenta la temperatura. Es recomendando para el uso en máquinas extrusoras las termocuplas de tipo arandelas ya que estas permiten trabajar rangos de 0 a 370°C rango que está dentro del necesario para el proceso y son adecuadas para trabajo en continuo tanto en atmosferas oxidantes como en vacío.



Figura 71: Termocupla tipo arandela.

Fuente: Modertec

4.4.2.8 Controlador de temperatura

Son requeridos, como indica su nombre, para manipular las temperaturas del proceso al nivel requerido para el correcto funcionamiento de la extrusión, se une a la termocupla en la entrada y la salida está conectada a un elemento de control, el procedimiento realizado es una comparación de temperaturas entre la real del sistema y la temperatura de control deseada. Para el proyecto fue seleccionado un control de temperatura Inkbird ITC-100VH Es un buen controlador de temperatura para la extrusión de plástico PET. Tiene un amplio rango de temperatura de 0-300 grados Celsius, salida de relé y control PID. Es una buena opción para su precio.



Figura 72: Controlador de temperatura ITC-100VH

Fuente: MercadoLibre

4.4.2.9 Soporte para la extrusora.

Pequeña pieza de acero diseñada para brindar soporte a lo largo del cilindro y evitar la deflexión del mismo, posee orificios para ser atornillados a la mesa de trabajo y en la parte superior presenta una semicircunferencia de apoyo para el cañón.

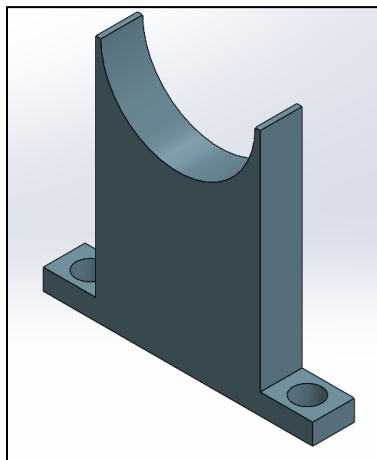


Figura 73: Vista de corte lateral boquilla.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.2.10 Montaje de la extrusora.

Una vez diseñadas las piezas de la extrusora se procede a realizar el ensamblaje de sus componentes.

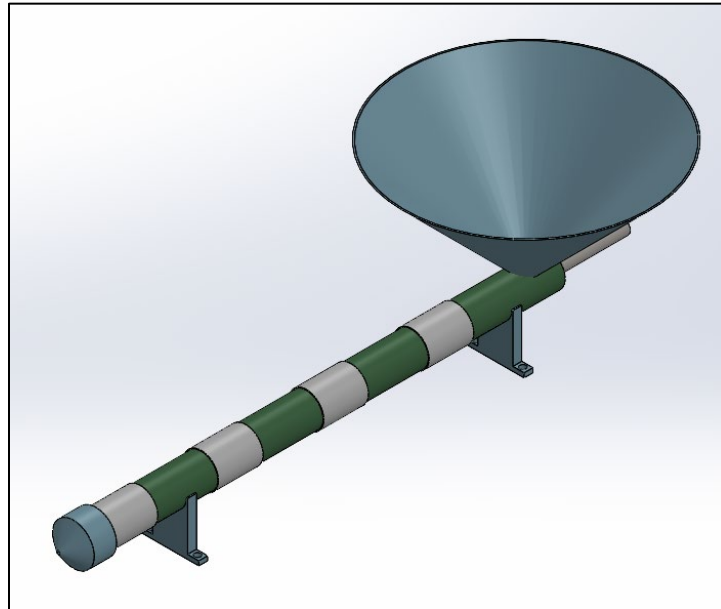


Figura 74: Montaje de la extrusora.

Fuente: Bueno, L. (2023)

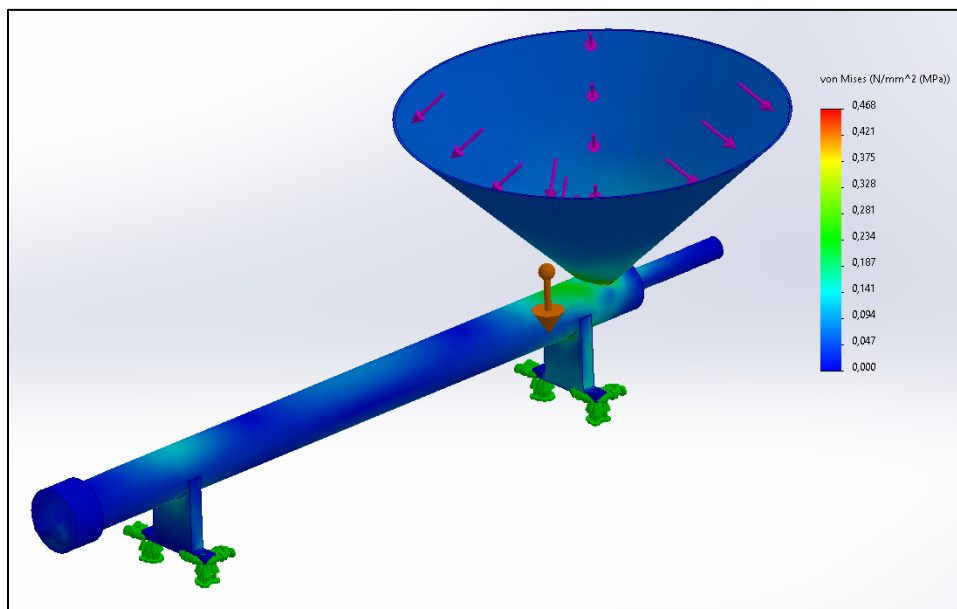


Figura 75: Análisis de tensiones de Von Mises en la extrusora.

Fuente: Bueno, L. (2023)

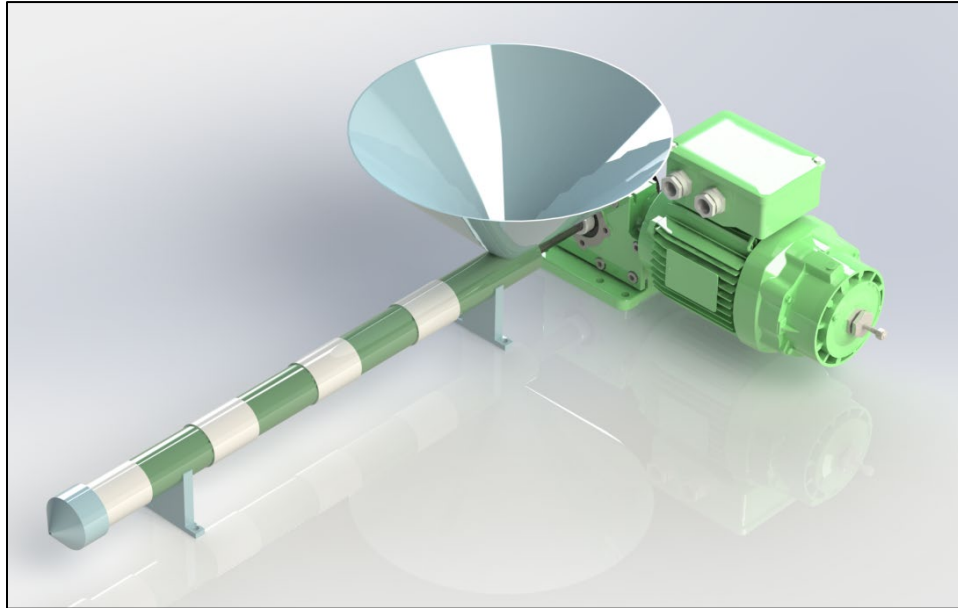


Figura 76: Renderizado de la extrusora.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.3 Estructura de soporte del sistema

La estructura está compuesta por secciones de tubo estructural cuadrado de hierro negro de una pulgada por cada lado y de 1,2 mm de espesor (Ver Figura 77), junto con planchas de acero AISI 1020 laminadas en frío. Todas las uniones se realizan mediante procesos de soldadura. La forma de la estructura se asemeja a la de una mesa, con dos niveles, diseñada específicamente para alojar la trituradora en la parte superior (Ver Figura 78). Una lámina inclinada permite transportar el plástico triturado hasta la extrusora (Figura 81). Además, esta lámina se puede ajustar en la mesa para dirigir los productos del proceso de trituración a un contenedor fuera de la máquina de extrusión de ser necesario.



Figura 77: Tubo estructural cuadrado.

Fuente: Bueno, L. (2023)

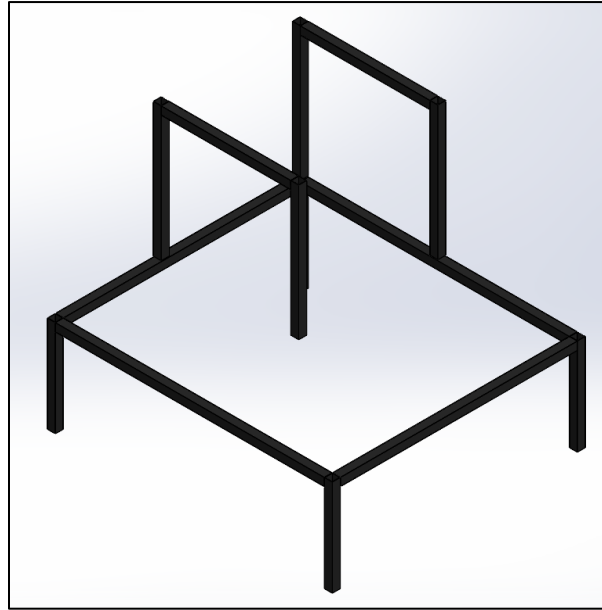


Figura 78: Estructura tubular.
Fuente: Bueno, L. (2023)

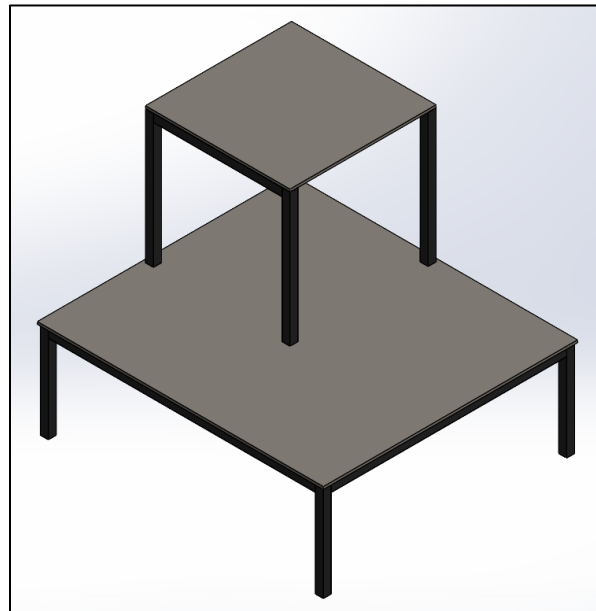


Figura 79: Estructura de soporte.
Fuente: Bueno, L. (2023)

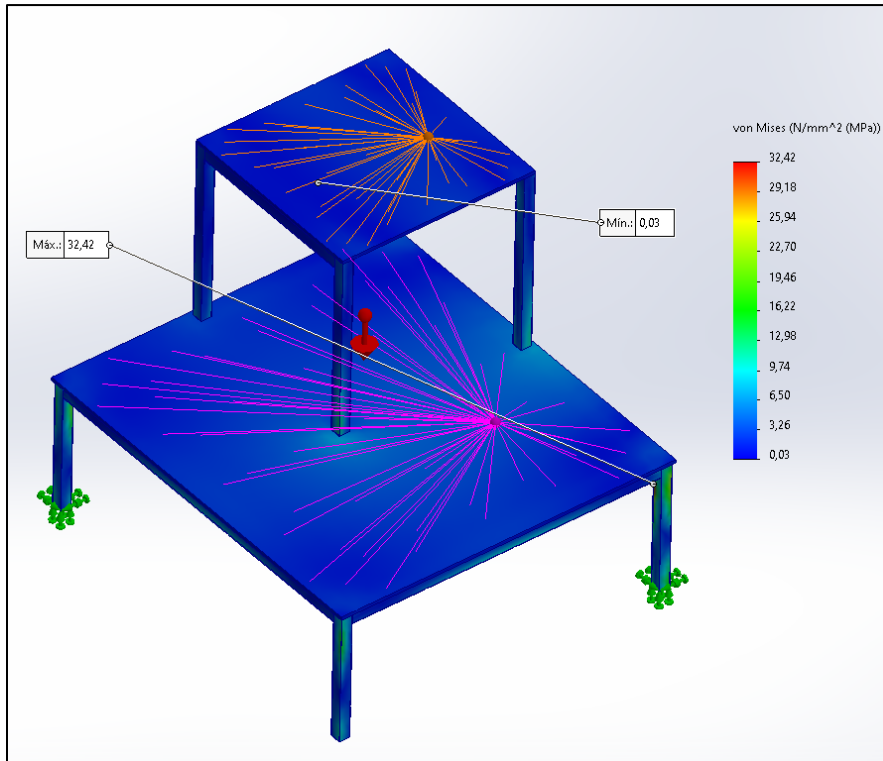


Figura 80: Análisis de esfuerzos en la estructura
Fuente: Bueno, L. (2023)

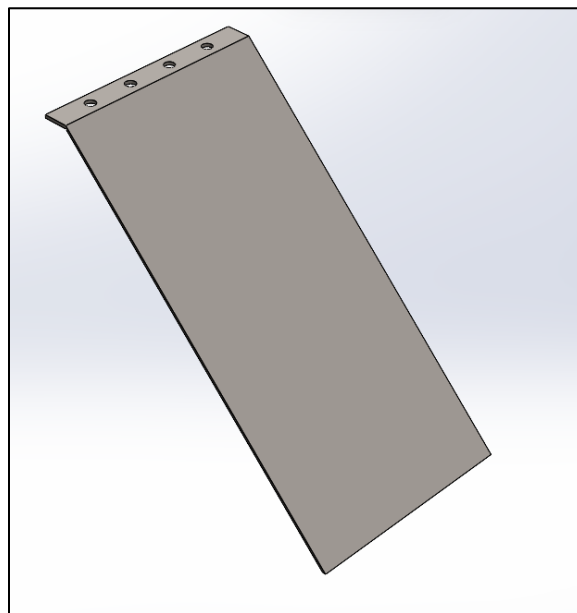


Figura 81: Lámina inclinada.
Fuente: Bueno, L. (2023)

4.4.4 Ensamblaje final

Una vez diseñado cada componente de cada máquina para llevar a cabo el proceso de reciclado completo para la fabricación de filamento 3D, a lo largo de la cuarta fase, se procede al arreglo e incorporación de todas las partes en un solo sistema que de manera eficiente triture y extruya el plástico PET. Por lo tanto, en cuanto al posicionamiento de cada elemento, en la parte superior de la estructura va colocada la máquina trituradora, justo debajo por medio de tornillo es unido a la mesa junto con la lámina inclinada que, el plástico ya procesado caerá directamente a la tolva de la extrusora para su posterior movilización a lo largo del cilindro y formación de los filamentos 3D. Este diseño en conjunto permite una cómoda operación por parte del operario. A continuación, se ilustra el renderizado mediante SolidWorks. (Ver Figura 82)

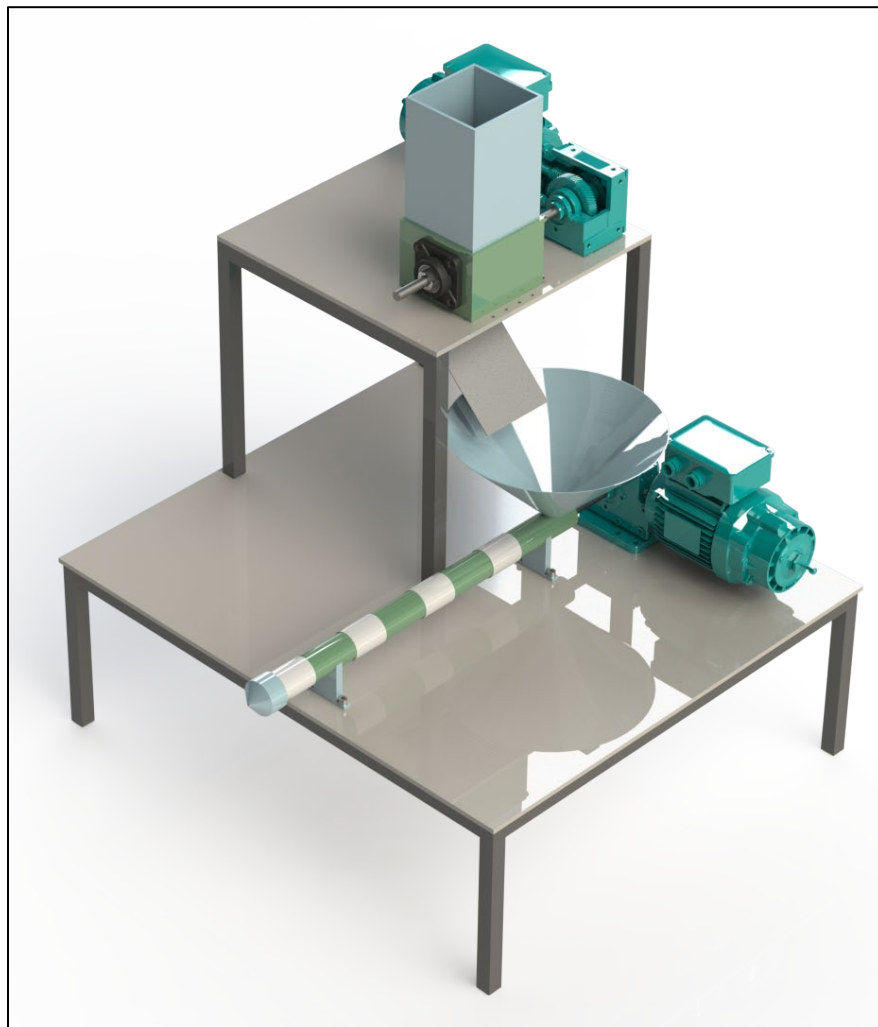


Figura 82: Renderizado del sistema de reciclaje.

Fuente: Bueno, L. (2023)

4.5 Fase V: Evaluación de la viabilidad económica, técnica, operativa y ambiental del diseño seleccionado.

Una vez completado el diseño en su totalidad, se elaboraron tablas de costos detallando los diversos componentes necesarios para llevar a cabo la fabricación de las máquinas. Esto permitió realizar un análisis financiero, considerando tanto los aspectos económicos, técnicos y operativos, así como el impacto ambiental positivo generado por la propuesta de investigación. A continuación, se detallan las tablas mencionadas y el estudio elaborado.

4.5.1 Costos trituradora

Material	Costo	Cantidad	Total (\$)
AISI 1020 espesor 3 mm	25 \$/m2	0,02 m2	0,50
AISI 1020 espesor 5 mm	30 \$/m2	0,11 m2	3,30
AISI 1020 espesor 8 mm	45 \$/m2	0,02 m2	0,90
AISI 1020 espesor 10 mm	60 \$/m2	0,10 m2	6,00
Chumaceras UCF 202	30 \$/u	2 u	60
Tornillo M10x16	0,15 \$/u	8	1,2
Tornillo M6x10	0,05 \$/u	4	0,2
Tornillo M5x25	0,05 \$/u	7	0,35
Tornillo M2x20	0,05 \$/u	4	0,2
Motor	170 \$/u	1	170
Total			242,65 \$

Tabla 13. Costos de fabricación de la trituradora

Fuente. Bueno, L. (2023)

4.5.2 Costos extrusora

Material	Costo	Cantidad	Total (\$)
ASTM A36	100 \$/m2	0,12	12
Barra acero AISI 4140	11\$ /kg	10,45	114,95
AISI 1020 espesor 12 mm	150\$ /m2	0,02	3
Barra acero AISI 1020	9 \$/kg	0,92	8,28
Resistencias	5 \$/u	4	20
Termocupla	9 \$/u	1	9
Controlador	40 \$/u	1	40
Motor	170 \$/u	1	170
Total			376,23 \$

Tabla 14. Costos de fabricación de la extrusora

Fuente. Bueno, L. (2023)

4.5.3 Costo estructura

Material	Costo	Cantidad	Total (\$)
ASTM A36	100 \$/m ²	0,93	93
Tubo estructural 6m	10,75\$/6m	6,86	12.26
Total			105,26 \$

Tabla 15. Costos de fabricación de la estructura

Fuente. Bueno, L. (2023)

4.5.4 Análisis económico y ambiental

Se evaluó el costo total de la fabricación del sistema de reciclaje y el tiempo de retorno de inversión del mismo, además del beneficio que aporta tanto a nivel monetario como en contribución al medioambiente.

$$\text{Costo } (C) = 724,14 \$$$

Se supuso un costo extra del 10% referente a gastos de fabricación, por lo tanto

$$\text{Costo Total } (CT) = 724,14 \$ + 10\%$$

$$CT = 796,55 \$$$

La capacidad de procesamiento de la extrusora es de 5 kg/h y el peso aproximado de una botella de 2 L es de 40g, por lo tanto, se tiene a su vez un procesamiento de 125 botellas/h. En una ronda de trabajo diaria de 8 horas se tiene:

$$\text{Procesamiento } kg = 5 \frac{kg}{h} * \frac{8h}{dia} = 40kg/día$$

$$\text{Procesamiento } botellas = 125 \frac{botellas}{h} * \frac{8h}{dia} = 1000 \text{ botellas/día}$$

En el mercado, los filamentos para impresoras 3D rondan los 25\$ por kilogramo, si se venden los rollos de 1kg de filamentos PET reciclado en 20\$ se tendría una ganancia teórica de

$$\text{Ganancia teórica} = 20 \frac{\$}{kg} * 40 \frac{kg}{día} = 800 \frac{\$}{día}$$

Sin embargo, para adquirir las botellas se necesita un incentivo económico, suponiendo un costo de 1\$ por 10 botellas. Se tendría un costo de 12,5 \$ la hora para poder surtir el proceso y por lo tanto un gasto en materia prima de 100\$ al día. Por otro lado, teniendo un trabajador con un salario mensual de 200\$ el mismo tendría un costo de 6,67\$ al día. Por último, se tomó el 10% de la ganancia teórica a efectos de gastos varios, como lo son la depreciación de la máquina, la adquisición de repuestos y costo del mantenimiento, por lo tanto, se tiene un descuento de 80\$ por día adicionales. Con todas estas consideraciones se procede a sacar la ganancia neta.

$$\text{Ganancia Neta} = 800 - 100 - 6,67 - 80$$

$$\text{Ganancia Neta} = 613,33 \text{ \$/día}$$

Por lo tanto, se tiene una recuperación del costo de inversión en un plazo de dos días, al mismo tiempo que se transforman 1000 botellas por día siendo un total de 365.000 botellas por año equivalente a un total de 14,6 Ton por año.

Se concluye que el proyecto cuenta con una amplia viabilidad en los diferentes aspectos, económicamente no ofrece una gran barrera de entrada para la fabricación del sistema, y el retorno de la inversión es rápido, hay la existencia de los distintos materiales requeridos a su vez del equipo especializado para crear cada componente. Y ultimadamente, se es capaz de contribuir de gran manera en la preservación ambiental del país como del mundo.

CONCLUSIONES

Este trabajo ha dado como resultado el diseño de un sistema de reciclaje de botellas de plástico tipo PET con el propósito de obtener filamentos de 1,75 mm de diámetro que sean adecuados para su uso en impresoras 3D. El proceso abarcó desde la selección del método más apropiado para la limpieza de la materia prima, pasando por el proceso de triturado, hasta la extrusión del polímero. Se abordó una problemática existente tanto a nivel nacional como global, la cual ha sido subestimada en cuanto a su importancia, que es el reciclaje. Se optó por un proceso de reciclaje mecánico debido a su eficiencia comprobada en la preservación del medio ambiente a lo largo de los años. Además, se definieron las variables que debían tenerse en cuenta para el diseño de cada componente en cada etapa del proceso, seleccionando las mejores alternativas mediante un análisis ponderado que permitiera alcanzar el objetivo de diseño de manera accesible desde el punto de vista económico y con prioridad en el medio ambiente.

Posteriormente, se llevó a cabo el diseño de cada elemento de las máquinas, respaldado por fundamentos teóricos y mediante la realización de simulaciones para verificar su resistencia frente a las tensiones generadas durante el proceso. En el caso de la trituradora, se diseñó un sistema compacto pero eficiente que pudiera ser portátil para reducir el tamaño de las botellas de plástico utilizadas como materia prima en el proceso. En cuanto a la extrusora, se diseñó un modelo robusto y de alta capacidad de procesamiento, capaz de transformar hasta 5 kilos de plástico PET triturado en filamentos 3D.

Por lo tanto, una vez construidas ambas máquinas, se diseñó una base rígida que proporciona soporte y garantiza la eficiencia del proceso. La disposición de la base permite colocar la trituradora en la parte superior y la extrusora en la parte inferior, de modo que el plástico triturado pueda ingresar directamente al alimentador de la extrusora. A continuación, se evaluó la viabilidad del proyecto, obteniendo una respuesta satisfactoria que asegura una alta rentabilidad económica y un impacto significativo en la problemática ambiental actual.

RECOMENDACIONES

Una vez establecidas las conclusiones, se presentan una serie de recomendaciones para la posterior implementación del trabajo de grado:

- Investigar y desarrollar mejoras continuas en el proceso de reciclaje: A pesar de la eficiencia demostrada del sistema de reciclaje diseñado, es importante seguir investigando y desarrollando mejoras en cada etapa del proceso. Se pueden enfocar en la optimización de los métodos de limpieza de la materia prima, explorar tecnologías más avanzadas de triturado y extrusión, así como investigar nuevas técnicas de posprocesamiento para mejorar la calidad de los filamentos producidos. Esto permitirá perfeccionar el sistema y aumentar su rendimiento y eficiencia.
- Fomentar la conciencia y educación sobre el reciclaje: Es fundamental crear programas de concientización y educación que promuevan la importancia del reciclaje de botellas de plástico y el uso de filamentos reciclados en impresoras 3D. Estos programas pueden incluir campañas de divulgación en escuelas, comunidades y medios de comunicación para aumentar la participación ciudadana en el reciclaje y fomentar una mentalidad sostenible. Además, se pueden organizar talleres y capacitaciones para enseñar a las personas sobre el proceso de reciclaje y cómo pueden contribuir de manera activa.
- Implementar un sistema de enfriamiento y embobinado: Para mejorar la calidad del producto final y facilitar su almacenamiento, se recomienda incorporar un sistema de enfriamiento y embobinado en el proceso de extrusión de los filamentos. Esto ayudará a evitar deformaciones y garantizar una distribución uniforme del material en los carretes, lo que facilitará su posterior uso en impresoras 3D.
- Investigar y explorar la posibilidad de utilizar otros tipos de plásticos reciclables: Además del plástico PET, se sugiere investigar y evaluar la viabilidad de incorporar otros tipos de plásticos reciclables en el sistema diseñado. Esto permitirá ampliar la capacidad de procesamiento y contribuirá a la reducción global de residuos plásticos. Es importante realizar estudios de viabilidad técnica y económica para determinar qué otros plásticos podrían ser procesados de manera eficiente y rentable en el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bavaresco de Prieto, A. M. (2001). **Proceso Metodológico en la Investigación: Cómo hacer un Diseño de Investigación.**

Createc3d. (s/f). **Fabricación de filamento pla y abs.** Createc3d. Recuperado de <https://createc3d.com/blog/fabricacion-filamento-pla-abs/>

González, R. (2018, agosto 6). **Máquina Recicladora de plástico - ¿Qué es? ¿Para qué sirve?** Ecología Hoy. Recuperado de <https://www.ecologiahoy.com/maquina-recicladora-de-plastico>

González, R. (2018, octubre 31). **Maquinaria para Reciclaje.** Ecología Hoy. Recuperado de <https://www.ecologiahoy.com/maquinaria-para-reciclaje>

Interempresas. (s/f). **Informe general sobre trituración en la industria de inyección de plásticos.** Interempresas. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/8174-Informe-general-sobre-trituracion-en-la-industria-de-inyeccion-de-plasticos.html>

Lozsan, N. (2021, diciembre 16). **Entrevista no estructurada: qué es, características, ejemplos y diferencias con entrevista abierta, libre, dirigida....** Cinco noticias. Recuperado de <https://www.cinconoticias.com/entrevista-no-estructurada/>

Martín, D. D. (2021, mayo 17). **Venezuela no cuenta con políticas, ni estadísticas oficiales, ni metas para incentivar el reciclaje.** Vitalis. Recuperado de <https://vitalis.net/actualidad-ambiental/venezuela-no-cuenta-con-politicas-ni-metas-para-incentivar-el-reciclaje/>

Prints, E. (s/f). **Fabricación de Filamento de Impresora 3D.** Eolas Prints. Recuperado de <https://eolaprints.com/es/pages/making-3d-printer-filament>

Pérez Basanta, C. (2006). **Fundamentos teóricos y prácticos de ADELEX: Una investigación sobre la evaluación y el desarrollo de la competencia léxica a través de las nuevas tecnologías.** Comares.

Rodríguez, A. R. (2021, marzo 24). **¿Cómo se recicla el plástico y cuál es su objetivo?** BBVA. Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/como-se-recicla-el-plastico-y-cual-es-su-objetivo/>

Rodríguez, M. C., & Perfil, V. T. mi. (s/f). **Justificación, Viabilidad y Factibilidad.** Blogspot.com. Recuperado de <https://educapuntos.blogspot.com/2017/08/justificacion-viabilidad-y-factibilidad.html>

Saunders, A. (s/f). **El impacto de la tecnología en el crecimiento y el empleo.** OpenMind. Recuperado de <https://www.bbvaopenmind.com/articulos/el-impacto-de-la-tecnologia-en-el-crecimiento-y-el-empleo/>

Serveiestacio.com. (s/f). **¿qué es el PET? Características, usos y aplicaciones.** Serveiestacio.com. Recuperado de <https://serveiestacio.com/blog/que-es-el-pet/>

Sistema. (s/f). **¿Qué es el PET?** Acoplasticos.org. Recuperado de <https://www.acoplasticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/36-opc-fag-pre4>

Ventajas de los envases de plástico PET. (2020, junio 19). Rosa Envases. Recuperado de <https://rosaenvases.com/blog/ventajas-envases-plastico-pet/>

Wikipedia contributors. (s/f). **Reciclaje.** Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Reciclaje&oldid=148671550>

¿Cuánto tarda en degradarse una botella de plástico?». (2022, agosto 4). Bebbia; bebbia.com. Recuperado de <https://bebbia.com/blog/cuanto-tarda-en-degradarse-una-botella-de-plastico/>

ANEXOS

ANEXO A
VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO
GUÍA DE ENTREVISTA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encargada de aplicar el cuestionario

Nº	Guion de entrevista
1	¿Qué procesos previos son importantes para el reciclaje del plástico?
2	¿Cómo influye el tamaño de la materia prima durante el proceso de reciclaje?
3	¿Qué forma de cuchilla de corte es mejor para el triturado del plástico?
4	¿De qué manera influye la velocidad de triturado en el procesamiento del plástico?
5	¿Cuál es la importancia de la velocidad de extrusión para el acabado superficial del plástico reciclado?



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		

Fecha: 01/02/2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	ING. MEZANO ESP EN AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS Dr. EN EDUCACIÓN
--	--



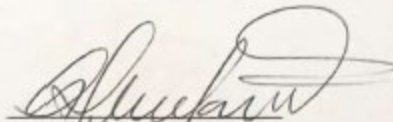
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	/			/		
2	/			/		
3	/			/		
4	/			/		
5	/			/		

Fecha: 01/02/2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Industrial Especialista en Mecánica
--	--



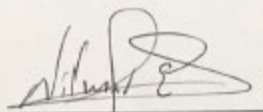
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		

Fecha: 01/02/2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	MSc en Instrumentación Dn Ing. Electrónica y en Telecomunicaciones
--	---

ANEXO B
RESPUESTAS ENTREVISTAS

Ing. Pedro Rincón	Ing. Juan Ramírez	Ing. José Sánchez
1. ¿Qué procesos previos son importantes para el reciclaje del plástico?		
Se necesita clasificar muy bien los plásticos antes de triturarlos para evitar que haya algún tipo de etiqueta o plástico de otro tipo que pueda afectar la calidad de las escamas.	Separar correctamente los plásticos, lavarlos y secarlos para eliminar cualquier tipo de impureza.	Es importante considerar de que fuente se va a conseguir la materia prima y también observar la calidad de la misma. Luego de remover las etiquetas y las tapas se debe lavar.
Comparación		
Es importante asegurarse que los plásticos a ser utilizados para el reciclaje no cuenten con etiquetas ni otros plásticos, y hay que asegurar un correcto lavado y secado para evitar todo tipo de elementos contaminantes que puedan afectar la calidad de las escamas.		
2. ¿Cómo influye el tamaño de la materia prima durante el proceso de reciclaje?		
Si la materia prima, es decir, el plástico ya triturado es pequeño, eso favorece a que sea más fácil el proceso de extrusión.	No solo la extrusión se facilita, sino que además se obtiene una mejor calidad de filamento.	Usar PET triturado a un tamaño reducido hace que quede una estructura del filamento más compacta una vez de extruya ese material.
Comparación		
Tamaños reducidos del plástico triturado facilitará al proceso de extrusión, a la vez que genera una estructura más compacta y de mayor calidad.		
3. ¿Qué forma de cuchilla de corte es mejor para el triturado del plástico?		
Para el PET comúnmente se usa un diseño en forma de	Cuchilla en V	Las cuchillas con un diseño en V son las más usadas en esta

<p>tijera, ese diseño ayuda a que se genere menos polvo.</p>		<p>área, es más efectivo para este tipo de plástico. También es bueno considerar el tipo de acero y que tenga un correcto afilado para que el sistema de triturado trabaje de manera óptima.</p>
--	--	--

Comparación

En el área de reciclaje del plástico el tipo de cuchilla más usada es la cuchilla en V la cual tiene una forma que favorece el triturado con poca generación de polvo. Además, se debe considerar no solo la forma si no también el tipo de acero a usar en su diseño.

4. ¿De qué manera influye la velocidad de triturado en el procesamiento del plástico?

<p>Es importante porque de él depende la producción de las escamas, triturados más rápidos significan más producto procesado, pero siempre que no lleguen a ser muy rápidos porque puede afectar la calidad del material y del filamento.</p>	<p>Velocidades muy lentas hacen que la producción del plástico triturado sea ineficiente, pero por otro lado las velocidades muy rápidas pueden generar mucho calor en la pieza, afectando la calidad del mismo.</p>	<p>Hay que encontrar la velocidad óptima del proceso dependiendo del diseño de la máquina, para que la trituración dé como resultado escamas de plástico uniformes y que conserven sus propiedades mecánicas al no producirse tanto calor en el proceso de triturado, garantizando la calidad a la hora de fabricar el filamento.</p>
---	--	---

Comparación

La velocidad de triturado influye en gran medida a la producción de las escamas del plástico, velocidades lentas afectan la eficiencia del proceso, mientras que velocidades altas generan calor que genera un degradado de calidad y de propiedades del material.

5. ¿Cuál es la importancia de la velocidad de extrusión para el acabado superficial del plástico reciclado?

<p>La extrusora tiene que tener una velocidad adecuada a la hora de producir los filamentos, de forma que los filamentos tengan una estructura uniforme.</p>	<p>Afecta al control del flujo con el que sale el material y si hay problemas con esto, generaría daños en el filamento, como son irregularidades o daños en el material.</p>	<p>Es importante porque se va a tener una homogeneidad del filamento PET que va a garantizar una buena calidad a la hora de usarlo para las impresiones 3D. Y un problema que se podría tener de no considerarse una velocidad adecuada es que el filamento se enfríe y se solidifique de manera irregular, lo que genera tensiones internas en el material.</p>
--	---	--

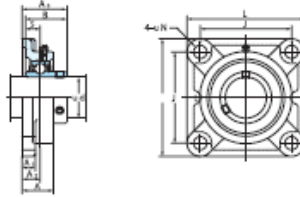
Comparación

La velocidad de extrusión correcta permite lograr una estructura de los filamentos uniforme y libre de irregularidades y daños, así como también una buena calidad en el producto final del proceso.

ANEXO C
CATÁLOGO CHUMACERAS CUADRADAS

Tipo Brida Cuadrada

UCF
 Agujero cilíndrico (con tornillo fijador)
 d 12 ~ (45) mm



Diámetro Eje mm	Dimensiones mm										Perno pulg. mm	No. Unidad	Estándar No. Normativo	No. Inserio	Masa kg	Capacidad Carga Básica kN		Factor f ₀
	L	A	J	N	A ₁	A ₂	A ₀	B	S	C _r						C _a		
12	1/2												UCF201	UC201	0.64			
15	3/8	1	2 3/16	1/8	7/16	1/8	1 1/4	1.220	0.500	1/8			UCF201-8	UC201-8	0.64			
	5/8												UCF202	UC202	0.62			
	17	86	25.5	64	12	11	15	33.3	31	12.7			UCF202-10	UC202-10	0.62	12.8	6.65	13.2
20	3/4												UCF203	UC203	0.61			
	1 1/8												UCF204-12	UC204-12	0.61			
	1 1/4												UCF204	UC204	0.59			
25	1 1/2												UCF205-14	UC205-14	0.83			
	1 3/4	3 1/4	2 1/4	1 1/2	1 1/2	1 1/2	3 1/2	1.343	0.563	1/2			UCF205-15	UC205-15	0.83	14.0	7.85	13.9
	1 7/8	95	27	70	12	13	16	35.8	34.1	14.3			UCF205	UC205	0.83			
30	2	4 1/2	1 1/2	3 1/2	1 1/2	1 1/2	4 1/2	1.500	0.626	3/4			UCF205-16	UC205-16	0.83			
	2 1/8	108	30	83	12	13	18	40.2	38.1	15.9			UCF205	UC205	0.83	19.5	11.3	13.9
	2 1/4	110	29	80	16	13	16	39	38	15			UCF205-16	UC205-16	1.2	21.2	10.9	12.6
35	2 3/8	4 1/2	1 1/2	3 1/2	1 1/2	1 1/2	4 1/2	1.500	0.626	3/4			UCF206-18	UC206-18	1.1			
	2 1/2	108	31	83	12	13	18	40.2	38.1	15.9			UCF206	UC206	1.1	19.5	11.3	13.9
	2 7/8	117	34	92	16	14	19	44.4	42.9	17.5			UCF206-19	UC206-19	1.1			
40	3	4 1/2	1 1/2	3 1/2	1 1/2	1 1/2	4 1/2	1.689	0.689	1/2			UCF206-20	UC206-20	1.6			
	3 1/8	117	34	92	16	14	19	44.4	42.9	17.5			UCF206-19	UC206-19	1.6	25.7	15.4	13.9
	3 1/4	125	32	95	16	15	18	44	43	17			UCF206-20	UC206-20	1.6	26.7	15.0	13.3
45	3 3/8	1 1/4											UCF207-20	UC207-20	1.5			
	3 1/2	117	34	92	14	15	19	44.4	42.9	17.5			UCF207-21	UC207-21	1.5	25.7	15.4	13.9
	3 3/4	130	38	102	16	14	21	51.2	49.2	19			UCF207-22	UC207-22	1.5			
50	4	5 1/4	1 1/2	4 1/4	1 1/2	1 1/2	5 1/4	1.890	0.748	1/2			UCF207-23	UC207-23	2.0			
	4 1/8	130	38	102	16	14	21	51.2	49.2	19			UCF207-22	UC207-22	2.0	29.1	17.8	14.0
	4 1/4	135	36	100	19	16	20	49	48	19			UCF207-23	UC207-23	2.0	33.4	19.3	13.2
55	4 3/8	1 1/2											UCF208-24	UC208-24	2.4			
	4 1/2	130	36	102	16	15	21	51.2	49.2	19			UCF208-25	UC208-25	1.9	29.1	17.8	14.0
	4 3/4	137	40	105	19	14	22	52.2	49.2	19			UCF208	UC208	1.9	34.1	21.3	14.0
60	5	5 1/2	1 1/2	4 1/2	1 1/2	1 1/2	5 1/2	2.047	0.748	1/2			UCF208-24	UC208-24	2.4			
	5 1/8	150	40	112	19	17	23	56	52	19			UCF208	UC208	2.4	40.7	24.0	13.2
	5 1/4	150	40	112	19	17	23	56	52	19			UCF208-26	UC208-26	2.2			
65	5 3/8	1 1/2											UCF209-27	UC209-27	2.2			
	5 1/2	137	38	105	16	16	22	52.2	49.2	19			UCF209-28	UC209-28	2.2	34.1	21.3	14.0
	5 3/4	143	40	111	19	14	23	55.6	51.6	19			UCF209	UC209	2.2	35.1	23.3	14.4

ANEXO D

CATÁLOGO PLANCHAS DE ACERO ASTM A36

Planchas de Acero ASTM A36



PLANCHAS DE ACERO A36

Espesor		Ancho		Largo		Peso Teórico
mm	pulg	mm	pie	mm	pie	Kg/ plancha
1.5	1/16"	1200	4	2400	8	33.91
2.0	5/64"	1200	4	2400	8	44.05
2.5	3/32"	1200	4	2400	8	55.55
2.9	1/8"	1200	4	2400	8	67.08
3.0	1/8"	1200	4	2400	8	67.08
		1500	5	3000	10	109.2
4.4	3/16"	1200	4	2400	8	99.48
4.5	3/16"	1200	4	2400	8	100.50
		1500	5	3000	10	164.5
5.9	1/4"	1200	4	2400	8	133.39
6.0	1/4"	1200	4	2400	8	134.81
		1500	5	3000	10	212.00
		1500	5	6000	20	423.90
7.9	5/16"	1200	4	2400	8	178.34
8.0	5/16"	1200	4	2400	8	180.60
		1500	5	6000	20	565.20
		2400	8	6000	20	904.32
8.9	3/8"	1200	4	2400	8	201.00

ANEXO E

CATÁLOGO RESISTENCIAS TIPO ABRAZADERAS

A continuación, listado de las medidas estándar y potencia:

		LONGITUD								
Ø		20	25	30	35	40	45	50	55	60
	25	80	100	120	135	155	175	195	210	235
30	95	120	140	165	190	210	235	260	285	
35	110	135	165	190	220	250	275	300	330	
40	125	155	190	220	250	280	315	345	375	
45	140	175	210	245	280	315	350	385	425	
50	155	195	235	275	315	355	390	430	470	
55	170	215	260	300	345	385	430	475	515	
60	190	235	280	330	375	425	470	515	565	
65	205	255	305	355	410	460	510	560	610	
70	220	275	330	385	440	495	550	605	660	
75	235	295	350	410	470	530	590	645	705	
80	250	315	375	440	500	565	630	690	755	
85	265	335	400	465	535	600	670	735	800	
90	280	350	425	495	565	635	705	775	845	
95	300	370	445	520	595	670	745	820	895	
100	315	390	470	550	630	705	785	865	940	

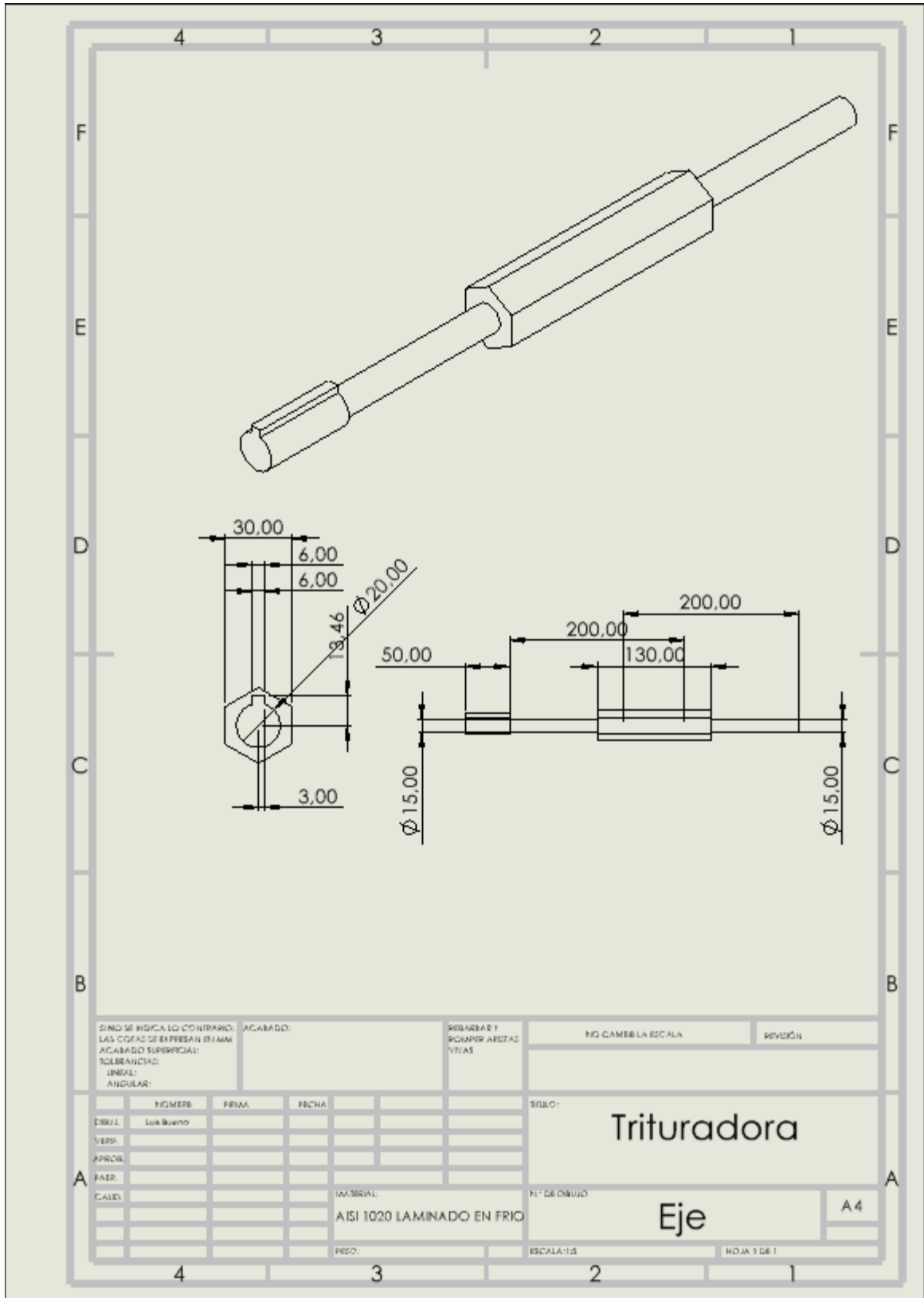
ANEXO F
CATÁLOGO MOTORES TRIFÁSICOS

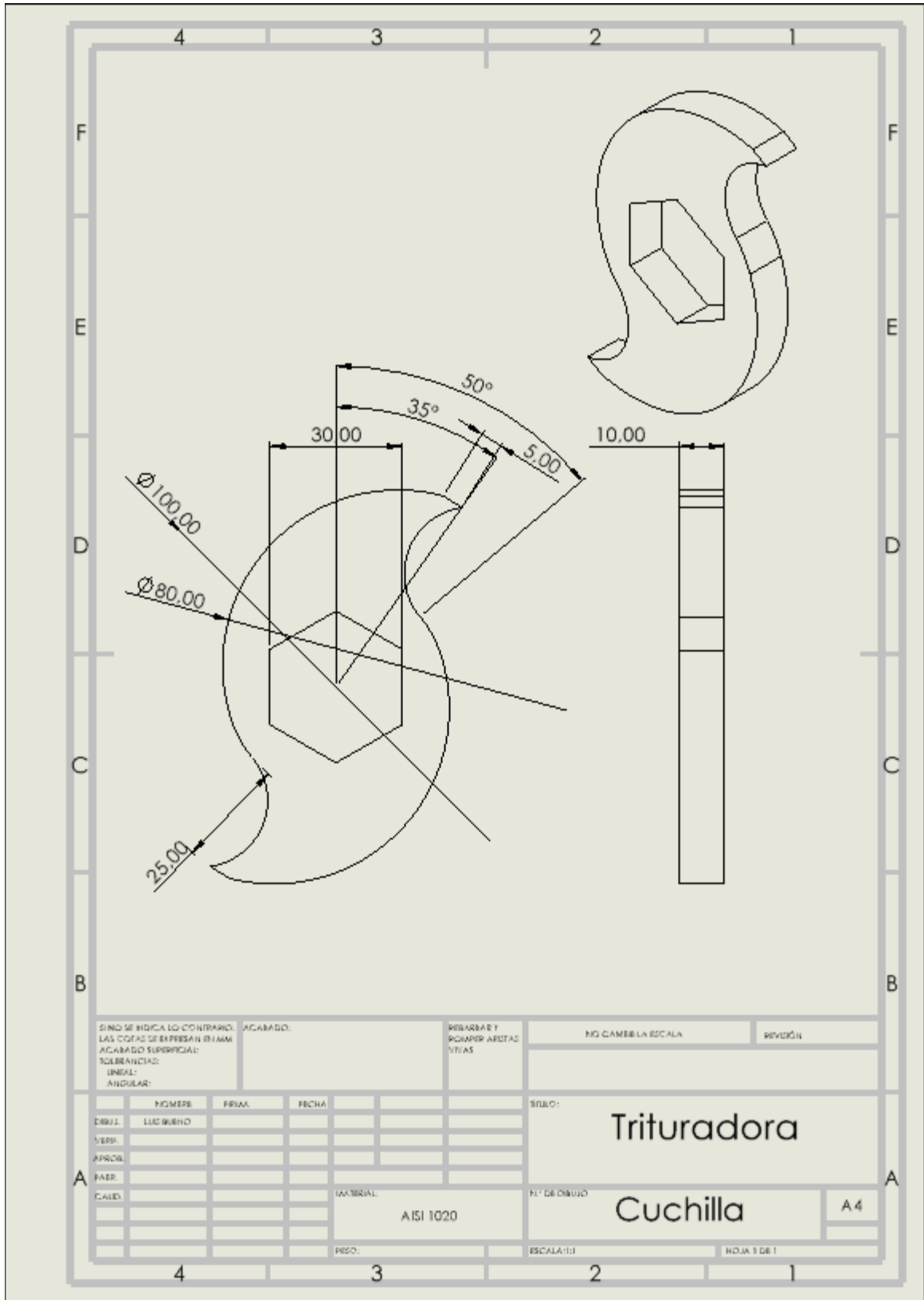
Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado I/ In	Par con rotor trabado Tt/Tn	Par máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	440 V									
kW	HP							% de la potencia nominal						RPM	Corriente nominal In (A)						
								Rendimiento				Factor de potencia									
		50	75	100	50	75	100														
VI Polas - 1200 rpm - 60 Hz																					
0,12	0,16	63	1,01	3,3	2,4	2,4	0,00067	20	44	8,0	47	1130	36,0	42,0	46,3	0,46	0,52	0,58	0,585		
0,18	0,25	71	1,62	2,8	1,7	1,9	0,00056	31	68	10,0	47	1060	45,0	49,0	52,0	0,46	0,54	0,65	0,700		
0,25	0,33	71	2,23	2,8	1,9	2,0	0,00079	30	66	11,0	47	1070	48,0	54,0	58,0	0,43	0,52	0,63	0,900		
0,37	0,5	80	3,13	3,9	2,0	2,1	0,0021	10	22	14,0	47	1130	46,0	55,0	59,0	0,50	0,60	0,71	1,16		
0,55	0,75	80	4,65	4,5	2,2	2,4	0,0033	10	22	15,5	47	1130	58,0	61,0	66,0	0,46	0,57	0,71	1,54		
0,75	1	90S	6,34	5,2	2,2	2,5	0,0044	15	33	17,5	49	1130	68,0	73,0	73,0	0,48	0,62	0,72	1,88		
1,1	1,5	90S	9,30	5,3	2,5	2,7	0,0055	12	26	19,0	49	1130	71,0	74,5	75,1	0,46	0,60	0,70	2,75		
1,5	2	100L	12,6	5,3	2,1	2,6	0,0099	20	44	27,5	48	1140	75,5	77,5	78,0	0,50	0,62	0,70	3,60		
2,2	3	100L	18,4	5,0	2,1	2,4	0,0115	14	31	29,0	48	1140	76,7	78,5	78,6	0,52	0,64	0,72	5,10		
3	4	112M	25,1	5,1	1,9	2,4	0,0201	12	26	39,0	52	1140	81,5	82,0	81,5	0,56	0,69	0,76	6,35		
3,7	5	132S	30,5	5,9	1,9	2,5	0,0378	23	51	58,0	55	1160	81,5	83,5	83,7	0,52	0,65	0,72	8,06		
4,5	6	132S	37,1	5,9	1,9	2,4	0,0415	22	48	59,0	55	1160	82,0	84,0	84,3	0,53	0,66	0,73	9,60		
5,5	7,5	132M	45,3	6,1	2,0	2,5	0,0491	19	42	64,0	55	1160	83,5	85,0	85,2	0,55	0,67	0,74	11,4		
7,5	10	132M	61,8	6,5	2,1	2,5	0,0642	14	31	75,0	55	1160	85,1	86,2	86,3	0,56	0,68	0,75	15,2		
9,2	12,5	160M	75,1	5,6	2,0	2,4	0,1221	12	26	109	59	1170	86,0	87,5	87,7	0,62	0,75	0,81	17,0		
11	15	160M	89,8	6,0	2,0	2,5	0,1652	12	26	122	59	1170	87,2	89,0	89,2	0,64	0,76	0,82	19,7		
15	20	160L	122	6,1	2,3	2,7	0,1867	10	22	137	59	1170	87,5	89,3	89,6	0,61	0,74	0,80	27,5		
18,5	25	180L	151	7,0	2,2	2,7	0,2827	6	13	170	59	1170	89,5	90,3	90,3	0,71	0,82	0,87	30,9		
22	30	200L	179	6,0	2,1	2,3	0,4126	18	40	227	62	1175	90,5	91,1	91,1	0,75	0,81	0,85	37,3		
30	40	200L	244	6,0	2,2	2,4	0,4485	12	26	214	62	1175	90,4	91,6	91,8	0,64	0,76	0,82	52,3		
37	50	225S/M	300	6,8	2,1	2,5	1,08	11	24	374	64	1180	92,0	92,5	92,3	0,73	0,82	0,86	61,2		
45	60	250S/M	364	7,2	2,3	2,6	1,22	12	26	435	64	1180	92,2	92,7	92,6	0,72	0,82	0,86	74,1		
55	75	250S/M	443	7,4	2,5	2,7	1,37	11	24	475	64	1185	93,0	93,5	93,2	0,71	0,81	0,85	91,1		
75	100	280S/M	605	6,0	1,9	2,2	3,10	15	33	641	69	1185	93,0	93,6	93,3	0,70	0,80	0,84	126		
90	125	280S/M	729	6,0	2,0	2,3	3,68	12	26	678	69	1180	93,2	93,7	93,6	0,70	0,80	0,84	150		
110	150	315S/M	883	6,4	2,0	2,3	4,37	20	44	946	70	1190	93,4	94,3	94,3	0,68	0,79	0,83	184		
132	180	315S/M	1060	6,4	2,1	2,3	5,29	18	40	990	70	1190	93,5	94,4	94,4	0,70	0,79	0,83	221		
150	200	315S/M	1200	6,6	2,2	2,3	5,29	17	37	1044	70	1190	93,8	94,5	94,5	0,69	0,79	0,83	251		
185	250	315L	1490	6,7	2,4	2,4	9,53	13	29	1250	71	1190	94,0	94,6	94,6	0,70	0,79	0,83	309		
200	270	315L	1610	7,2	2,4	2,4	7,27	12	26	1305	71	1190	94,2	94,6	94,7	0,69	0,79	0,83	334		
220	300	315L	1770	7,6	2,6	2,6	11,0	11	24	1468	71	1190	94,3	94,7	94,8	0,68	0,78	0,83	367		
260	350	355M/L	2090	6,4	2,1	2,1	13,8	28	62	1769	77	1190	94,6	95,0	95,0	0,68	0,78	0,81	443		
300	400	355M/L	2410	6,3	2,2	2,1	14,8	26	57	1927	77	1190	94,7	95,2	95,2	0,67	0,77	0,80	517		
330	450	355M/L	2650	6,3	2,2	2,1	15,5	26	57	1989	77	1190	94,9	95,3	95,3	0,67	0,77	0,80	568		
370*	500	355M/L	2970	6,3	2,2	2,3	9,92	25	55	1989	77	1190	95,0	95,4	95,4	0,63	0,74	0,79	640		

ANEXO G
CATÁLOGO CAJAS REDUCTORAS

0.25 kW						0.55 kW					
	rpm	i =	Nm	SF	kg		rpm	i =	Nm	SF	kg
MRA-MTA 71/50	32	44	59	2.5	12	MRA-MTA 80/85	8.0	176	306	1.3	26
MRS-MRT 50	29	49	52	1.5	9.8	MRA-MTA 80/85	5.5	252	520	1.0	26
MRS-MRT 50	25	56	57	1.3	9.8	MRA-MTA 80/110	4.6	309	614	1.8	49
MRA-MTA 71/50	22	63	60	1.7	12	MRA-MTA 80/110	4.0	353	689	1.4	49
MRS-MRT 50	20	70	63	1.0	9.8	MRS-MRT 50/110	3.3	420	758	1.1	49
MRS-MRT 60	18	80	72	1.5	12	MRA-MTA 80/110	3.2	441	794	1.2	49
MRA-MTA 71/50	95	95	109	1.2	12	MRA-MTA 80/110	2.6	504	851	0.9	49
MRS-MRT 60	14	100	88	1.0	12	MRS-MRT 50/110	2.5	570	952	1.3	49
MRA-MTA 71/80	11	126	144	1.6	15	MRS-MRT 50/110	1.8	784	1235	1.5	49
MRS-MRT 40/70	9.3	150	146	1.5	18						
MRA-MTA 71/80	8.0	176	171	1.4	15	0.75 kW					
MRS-MRT 40/70	7.0	200	186	1.5	18		rpm	i =	Nm	SF	kg
MRA-MTA 71/70	5.5	252	232	1.3	18	MRS-MRT 50	260	5	23	>3	14
MRS-MRT 40/70	5.0	280	224	1.5	18	MRS-MRT 50	200	7	31	2.4	14
MRA-MTA 71/70	4.6	309	263	1.0	18	MRS-MRT 50	140	10	43	1.7	14
MRS-MRT 40/70	4.0	353	277	0.9	18	MRS-MRT 50	93	15	60	1.2	14
MRS-MRT 40/70	3.3	420	315	1.2	18	MRS-MRT 60	70	20	79	1.5	17
MRS-MRT 40/70	2.5	560	401	1.0	18	MRS-MRT 60	50	28	102	1.4	17
MRS-MRT 40/85	1.8	784	535	1.1	22	MRS-MRT 60	35	40	135	1.0	17
MRS-MRT 50/110	1.3	1120	707	1.8	46	MRA-MTA 80/80	32	44	178	1.2	20
MRS-MRT 50/110	0.9	1568	882	1.5	46	MRS-MRT 70	29	49	168	1.1	19
MRS-MRT 50/110	0.6	2240	1148	1.2	46	MRS-MRT 70	25	56	183	1.0	19
MRS-MRT 50/110	0.5	2800	1289	0.9	46	MRA-MTA 80/80	22	63	242	1.0	20
						MRS-MRT 85	20	70	226	1.3	23
						MRS-MRT 85	18	80	246	1.1	23
						MRA-MTA 80/70	11	126	341	0.9	23
						MRA-MTA 80/85	8.0	176	540	0.9	27
						MRA-MTA 80/110	5.5	252	735	1.5	50
						MRA-MTA 80/110	4.6	309	838	1.3	50
						MRA-MTA 80/110	4.0	353	939	1.1	50
						MRS-MRT 50/110	3.3	420	1031	1.2	50
						MRA-MTA 80/110	3.2	441	1083	0.9	50
						MRS-MRT 50/110	2.5	570	1289	1.0	50
						1.1 kW					
							rpm	i =	Nm	SF	kg
						MRS-MRT 60	260	5	34	>3	19
						MRS-MRT 60	200	7	45	2.5	19
						MRS-MRT 60	140	10	63	2.1	19
						MRS-MRT 60	93	15	91	1.4	19
						MRS-MRT 60	70	20	116	1.1	19
						MRS-MRT 70	50	28	158	1.4	21
						MRS-MRT 70	35	40	213	1.1	21
						MRA-MTA 80/70	32	44	264	1.1	25
						MRS-MRT 85	29	49	246	1.3	26
						MRS-MRT 85	25	56	266	1.1	26
						MRA-MTA 80/85	22	63	354	1.4	30
						MRS-MRT 110	20	70	352	1.6	48
						MRS-MRT 110	18	80	396	1.3	48
						MRA-MTA 80/85	15	95	513	1.0	30
						MRS-MRT 110	14	100	458	1.0	48
						MRA-MTA 80/110	11	126	671	1.6	52
						MRA-MTA 80/110	8.0	176	832	1.4	52
						MRA-MRT 80/110	5.5	252	1078	1.0	52
						MRA-MTA 80/110	4.6	309	1229	0.9	52
						MRA 100/130	3.5	400	1681	1.0	78
						MRS-MRT 80/130	3.3	420	1578	1.3	69
						MRA 100/150	3.0	448	1916	1.3	106
						MRA 100/150	2.5	560	2059	1.0	106
						MRA 100/150	2.2	640	2309	0.9	106
						MRS-MRT 70/150	1.8	784	2706	0.9	102
						1.5 kW					
							rpm	i =	Nm	SF	kg
						MRS-MRT 60	260	5	46	2.7	20
						MRS-MRT 60	200	7	62	1.8	20
						MRS-MRT 60	140	10	86	1.5	20
						MRS-MRT 60	93	15	124	1.0	20
						MRS-MRT 70	70	20	166	1.2	23
						MRS-MRT 70	50	28	215	1.0	23
						MRS-MRT 85	35	40	295	1.4	27

ANEXO H
PLANOS DE DISEÑO





SINO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 SUPERFICIALES:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ESCARPER A ROSTROS
 Y VÍAS

NO CAMBIA LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	PRIM.	FECHA
DESUJ.			
VERIF.			
APROB.			
PAER.			
CAJED.			

TÍTULO:

Trituradora

N.º DE DISEÑO

Cuchilla

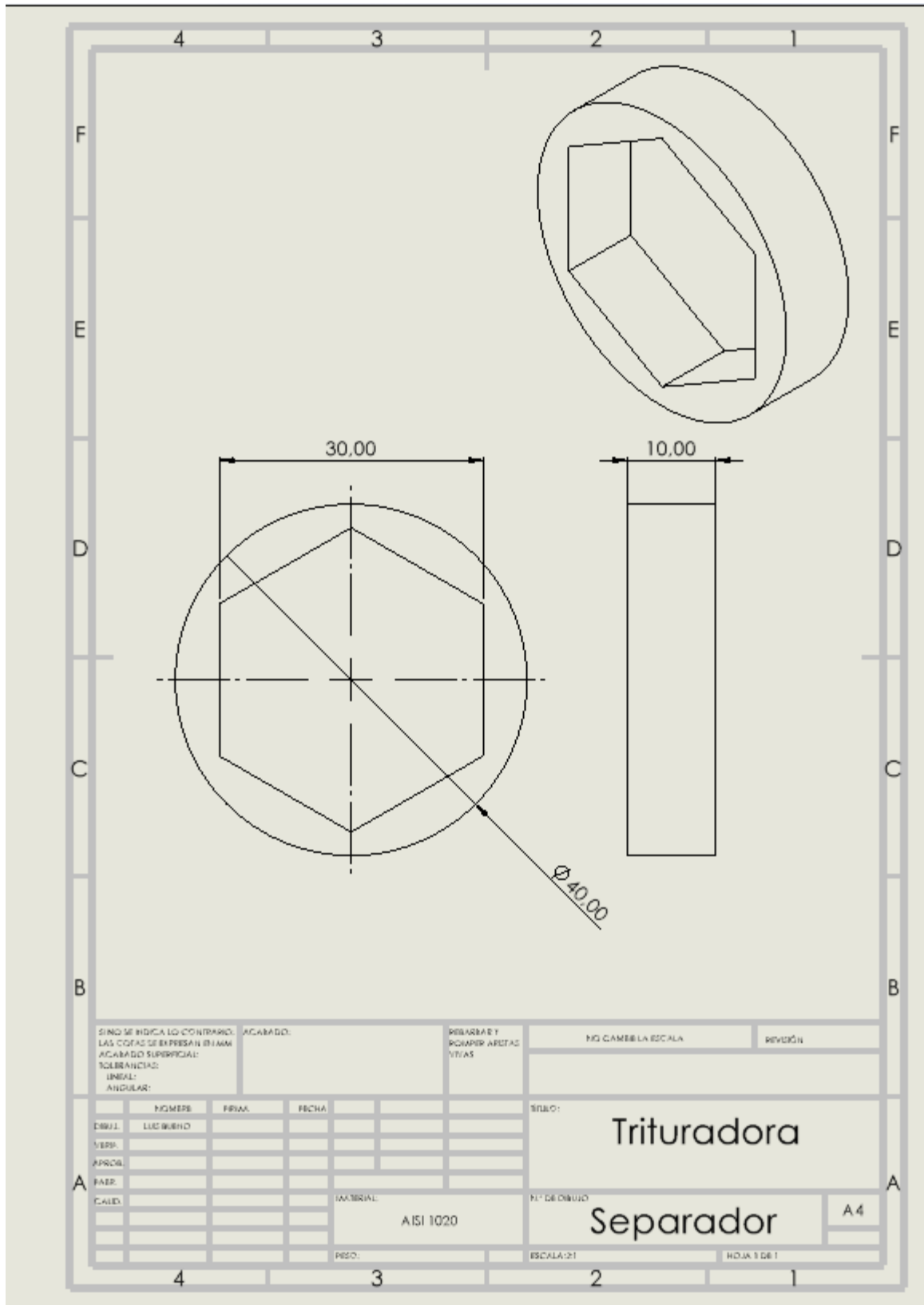
A4

MATERIAL:
 AISI 1020

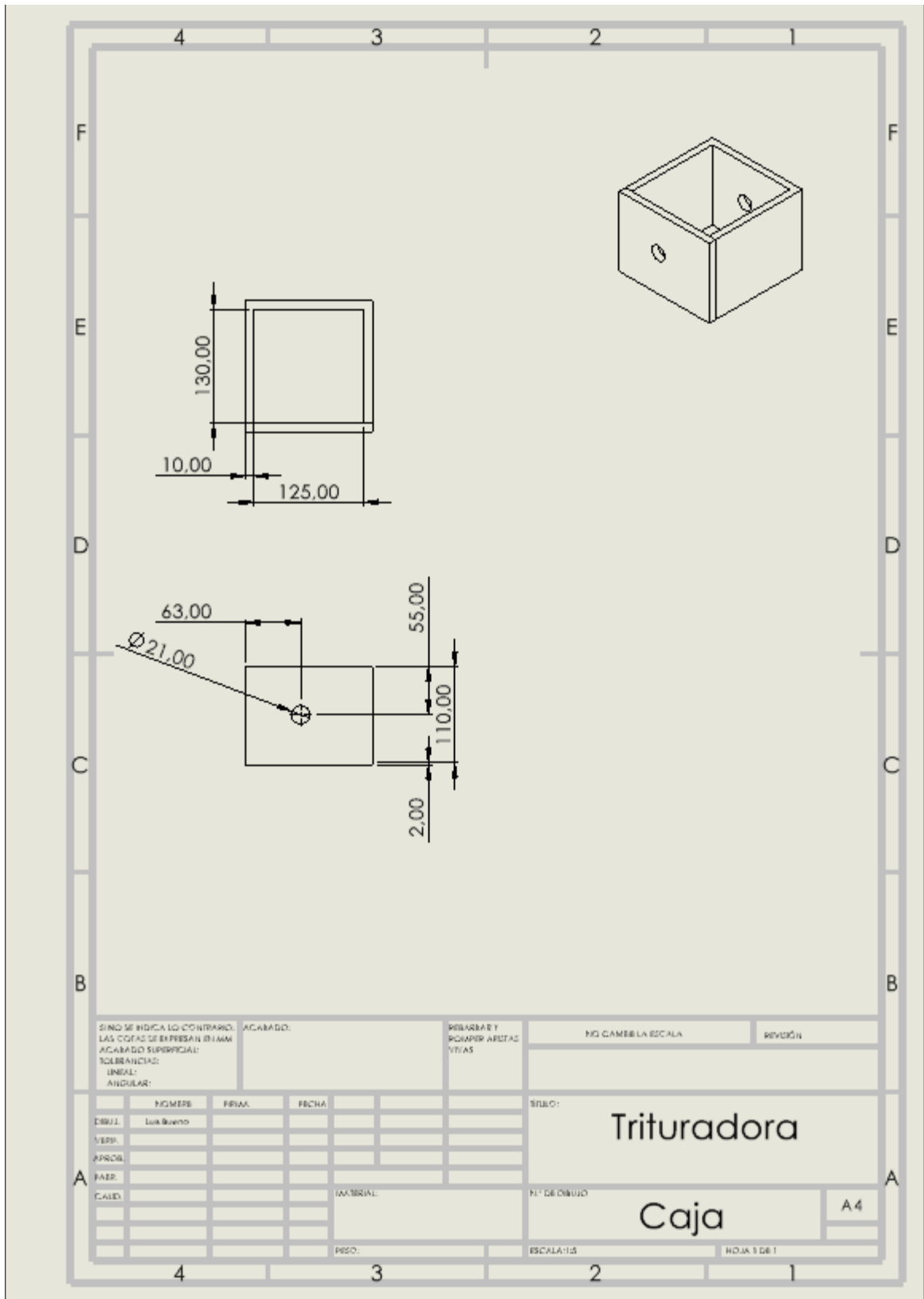
PESO:

ESCALA: 1:1

FOLIA 1 DE 1



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS DE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBA Y REDONDEAR ARISTAS Y VERTICES	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISION
NUMERO	PRIMA	FECHA		TITULO:	
DEBIL.	LUCUBRINO			Trituradora	
VERB.					
APROB.					
FAER.					
CAUD.					
			MATERIAL:	Nº DE DIBUJO	
			AISI 1020	Separador	A4
			PESO:	ESCALA: 2:1	HOJA 1 DE 1



SINO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBA Y
 PUNTERAS
 VITAS

NO CAMBIA ESCALA

REVISIÓN

NOMBRE		PRIMAL	FECHA
DESUJ.	Luis Guerrero		
VERIF.			
APROB.			
PAER.			
CALED.			

TÍTULO:

Trituradora

N.º DE DISEÑO

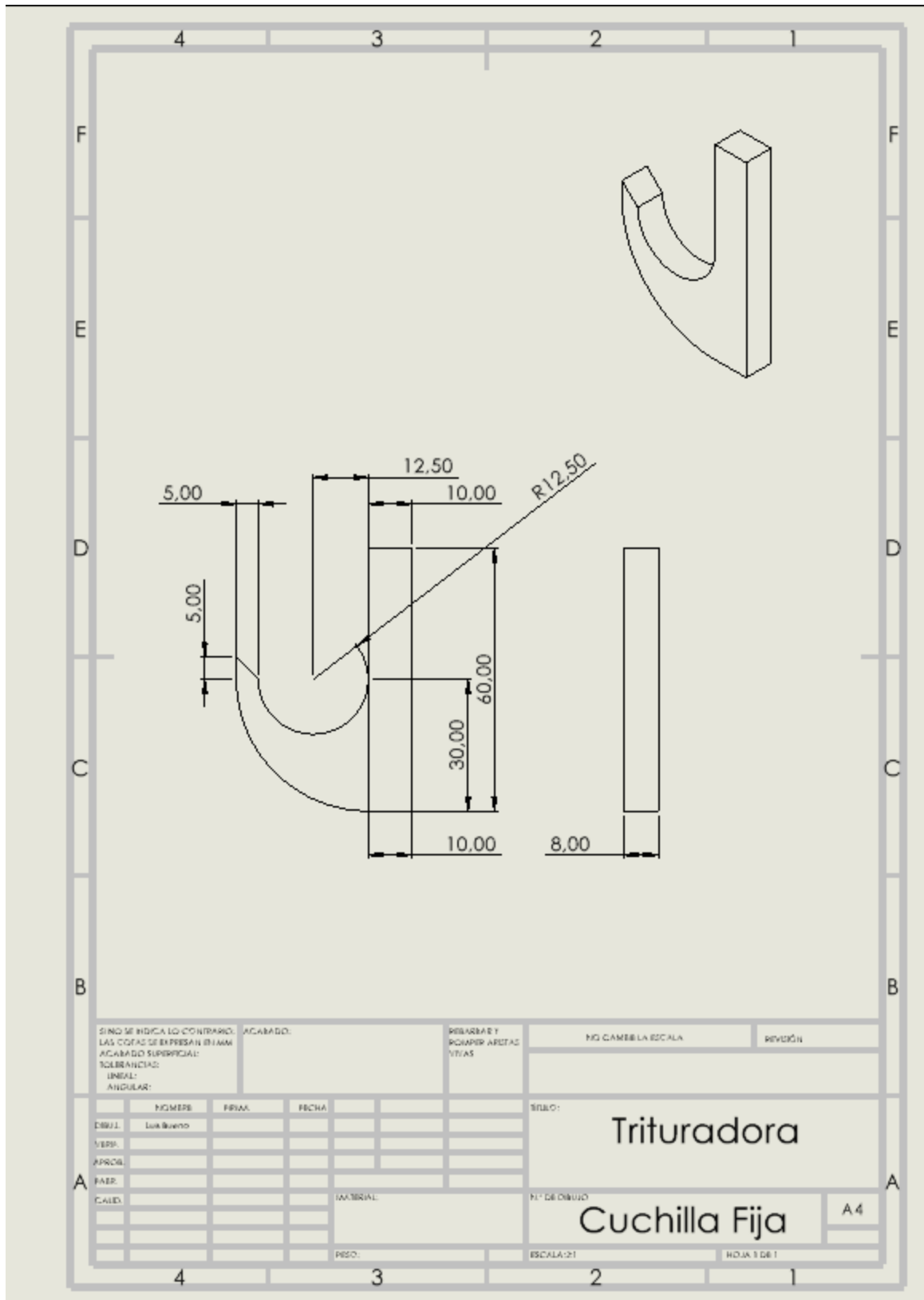
Caja

A4

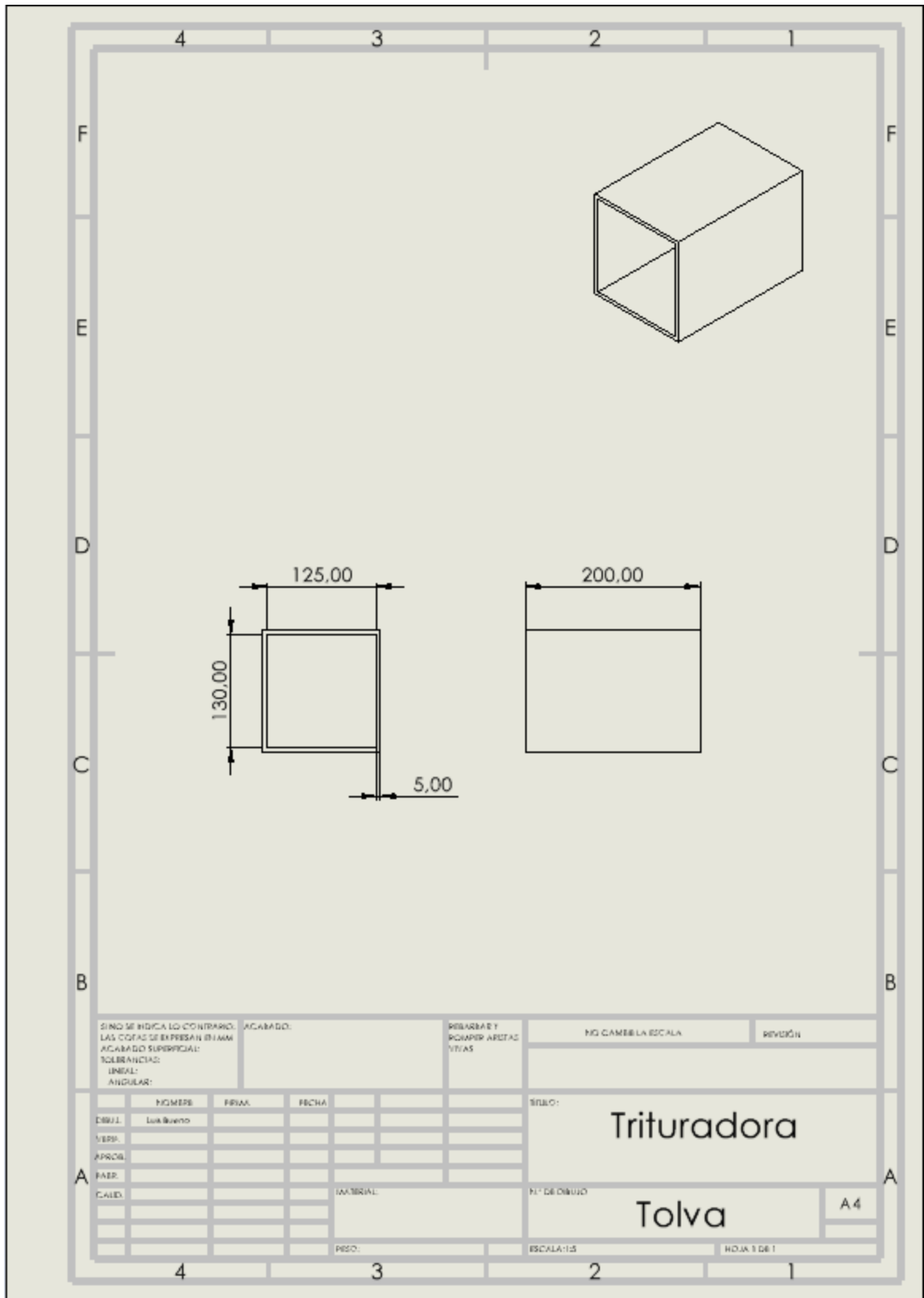
PESO:

ESCALA: 1:5

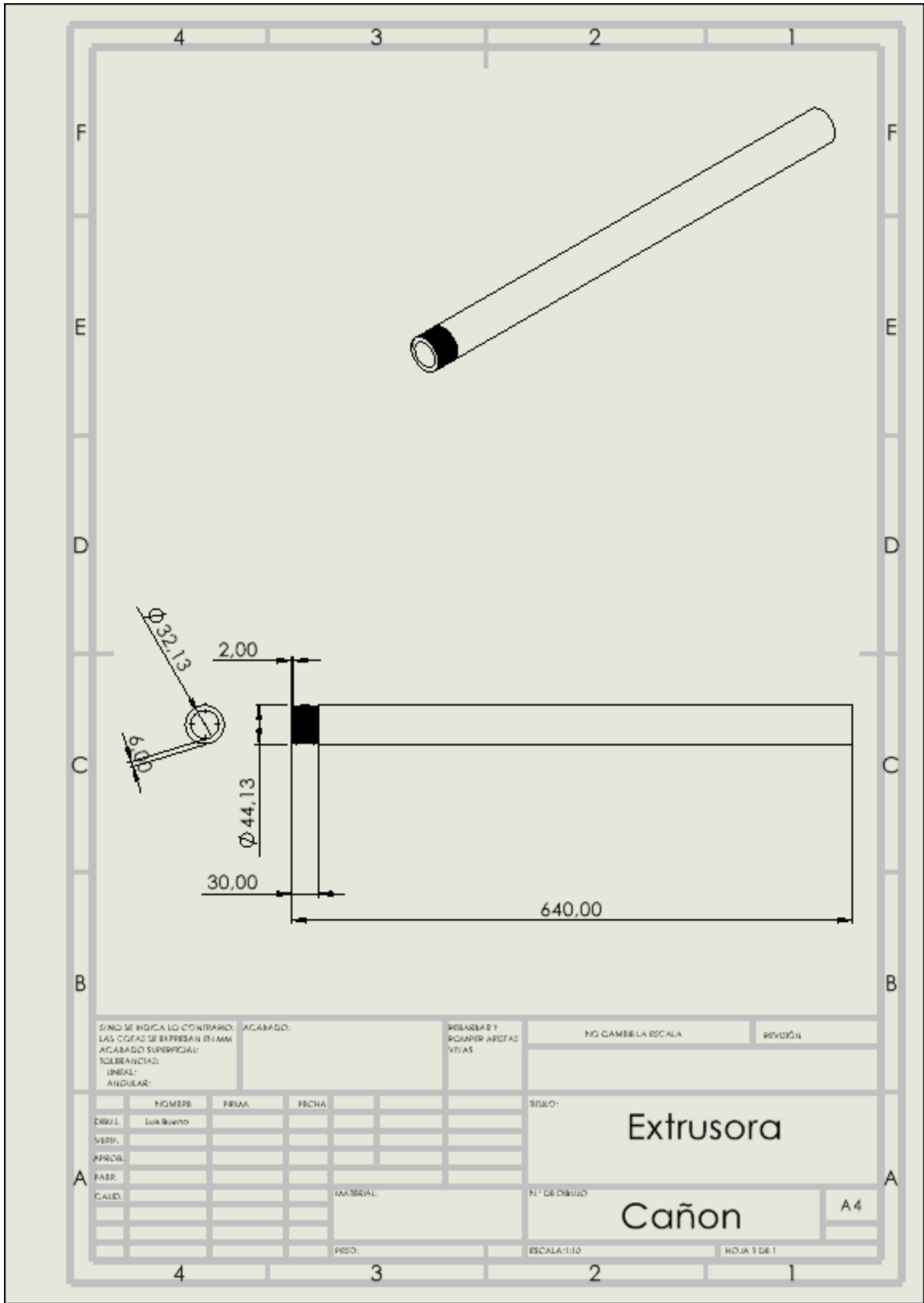
FOLIA 1 DE 1



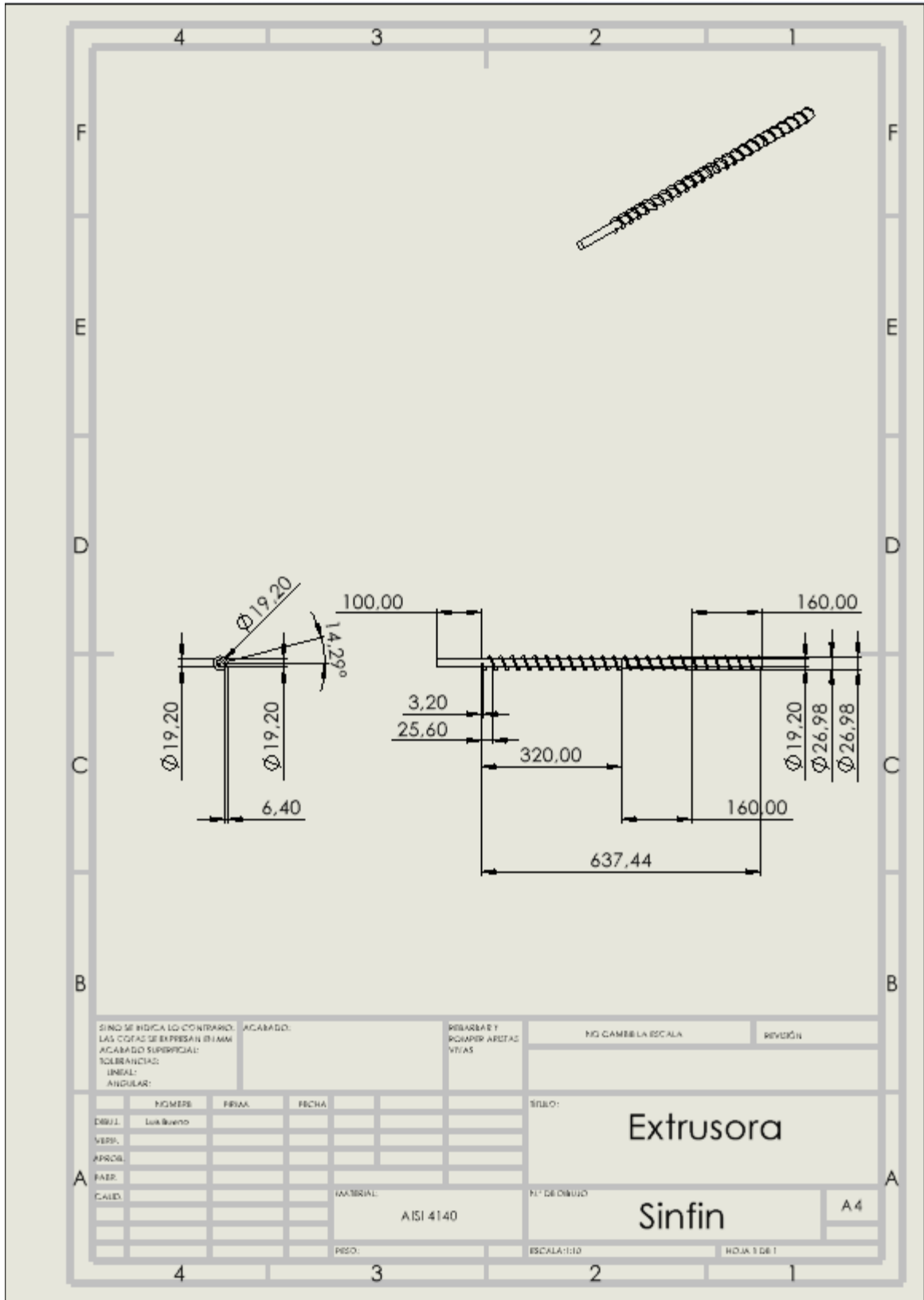
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COFAS SE EFRESAN 0.1MM ACABADO SUPERFICIAL: SOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y PCHARIP ARISTAS Y VITAS	NO CAMBIA LA ESCALA	REVISION
NUMERO	PRIMA	FECHA	TITULO:		
DESUJ.	Luis Bueno		Trituradora		
VERSI.			Cuchilla Fija		
PROG.			A4		
PAER.			N.º DE DIBUJO		
CAJED.		MATERIAL:	ESCALA: 2:1		
		PESO:	HOJA 1 DE 1		

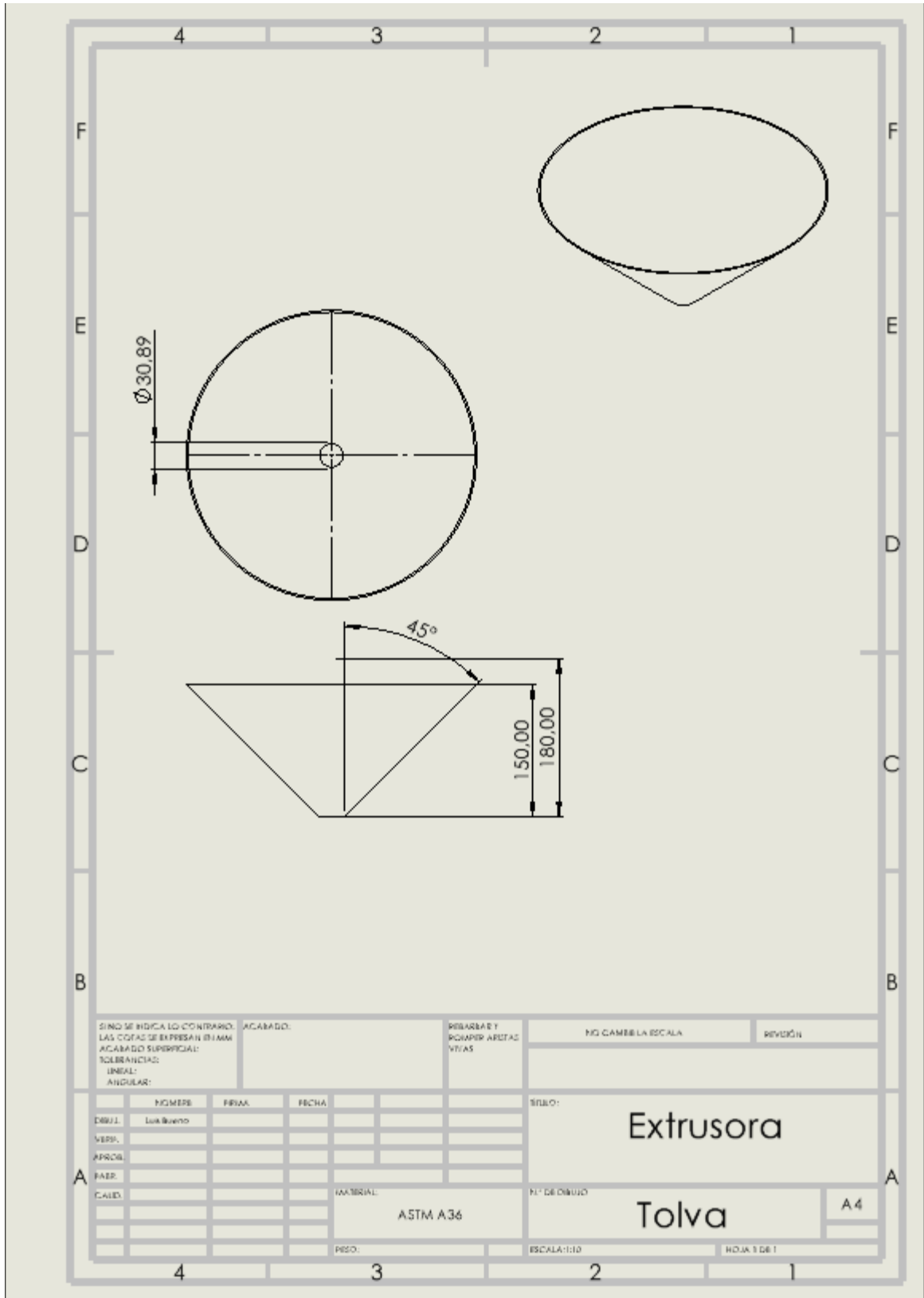


SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EFECTUAN EN MM		ACABADO:		REBARBA Y REDAPAR ARETAS Y VIVAS		NO CAMBIA LA ESCALA		REVOLUCION	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:									
FIGURAS		FIRMAS		FECHA		TITULO:			
DIBUJ.		Luis Quintero				Trituradora			
VERIF.									
APROB.									
PAIS.									
CALID.									
				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				PESO:		ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1	



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EFECTUAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y PUNTEAR ARISTAS Y VERTICES	NO CAMBIA LA ESCALA	REVISION
DESUJ.	NOMBRE	PRIMA	FECHA	TITULO:	
VERSI.	Luis Bueno			Extrusora	
APROB.				Cañon	
PAER.				Nº DE DIBUJO	A4
CALED.				PESO:	ESCALA: 1:10
					HOJA 1 DE 1





SINO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

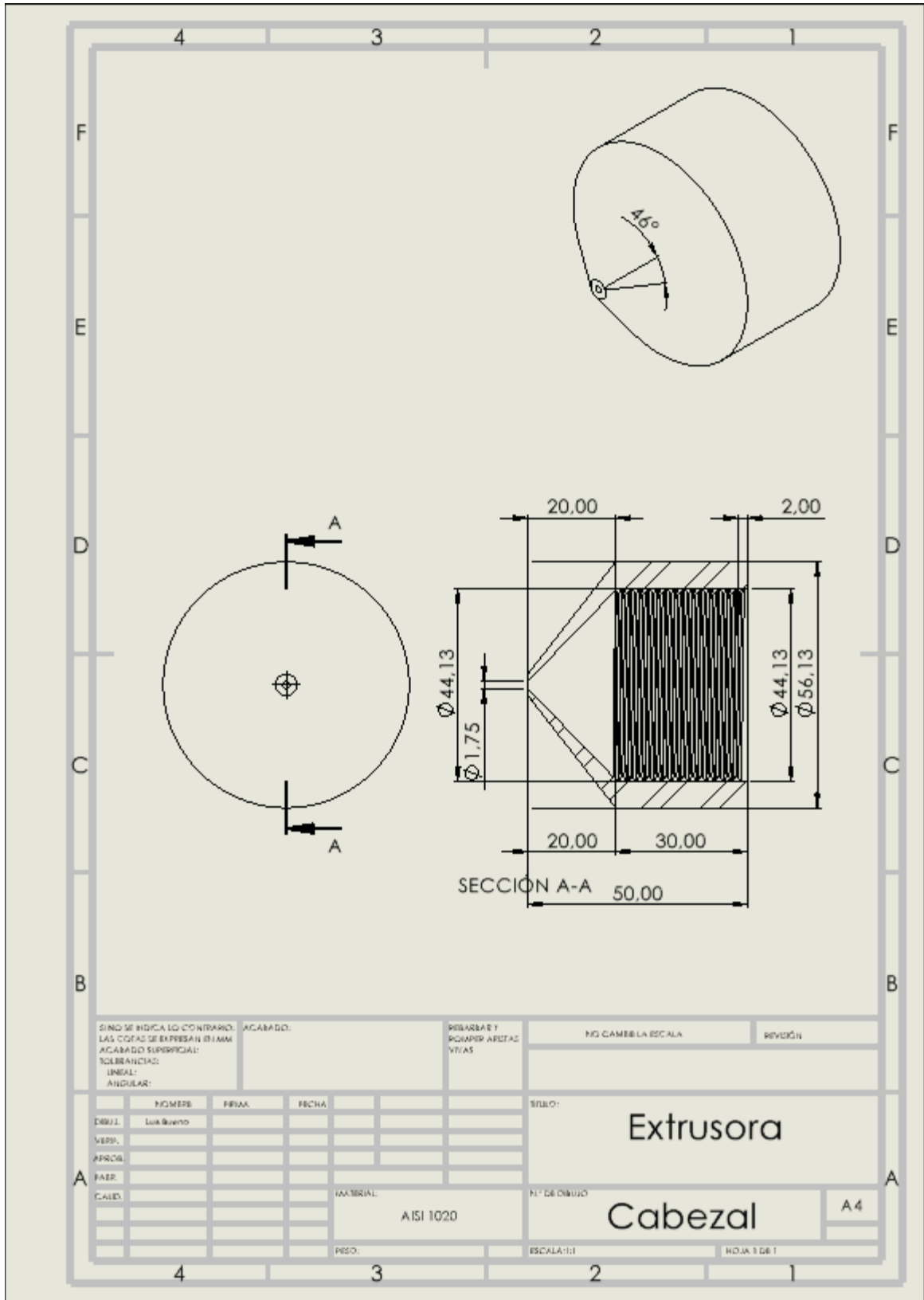
ACABADO:

DEBARRA E Y
 PUNTEAR ARISTAS
 VITAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

NOMBRE		FECHA	TÍTULO	
DEBJ.	Luis Buena		Extrusora Tolva	
VERP.				
APROB.				
PAER.				
CAED.				
MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4
ASTM A36		ESCALA: 1:10		
PESO:		HOJA 1 DE 1		



SINO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EFECTUAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 SOBRESALIDAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

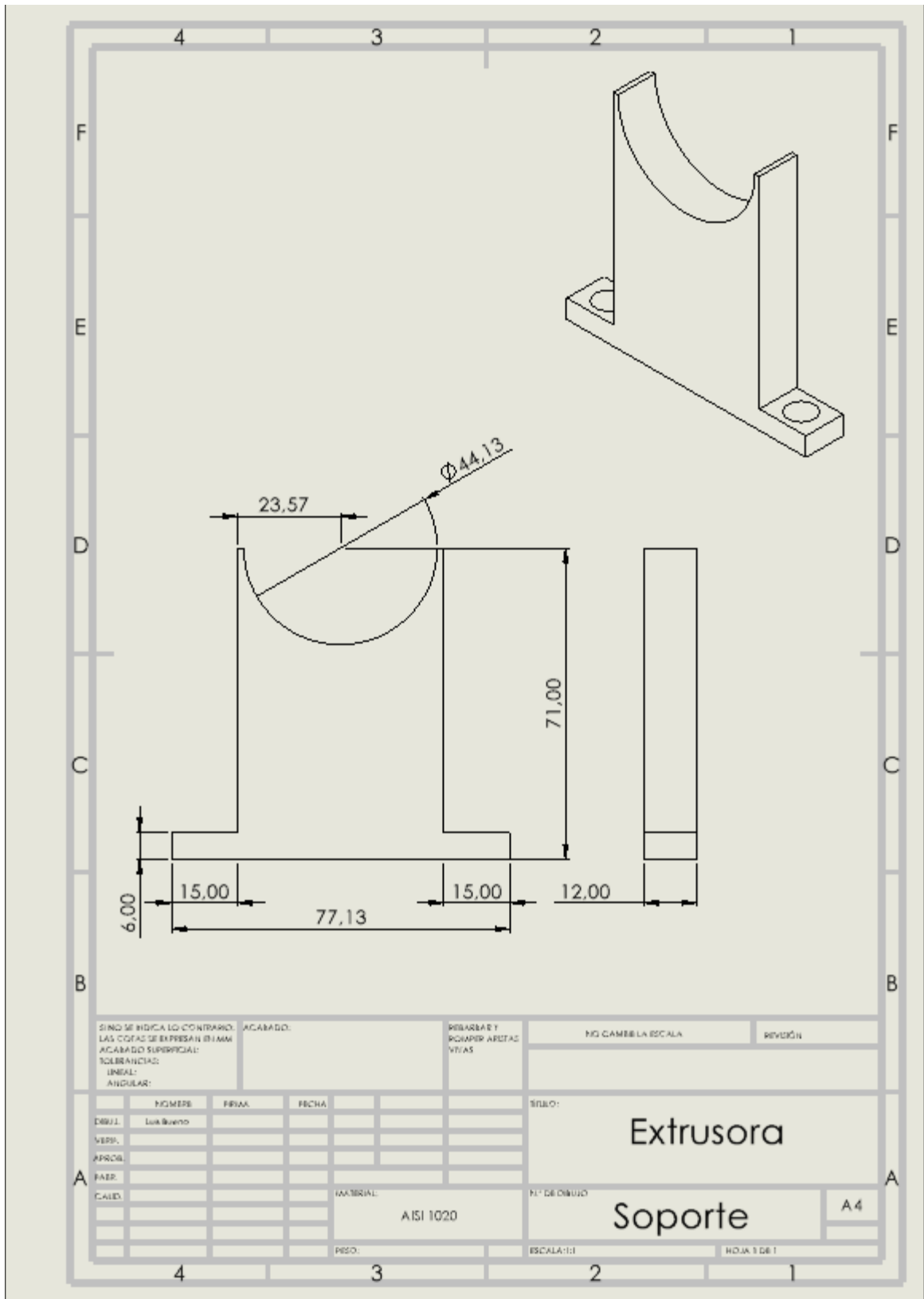
ACABADO:
 REBARBATEO Y
 ESCARPE A ROSTROS
 Y VÍAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	PRIMA	FECHA
DEBJ.	Luis Bueno		
VERB.			
APROB.			
PAER.			
CAJED.			

TÍTULO:
Extrusora
Cabezal
 N.º DE DIBUJO: A4
 ESCALA: 1:1
 HOJA 1 DE 1



SINO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

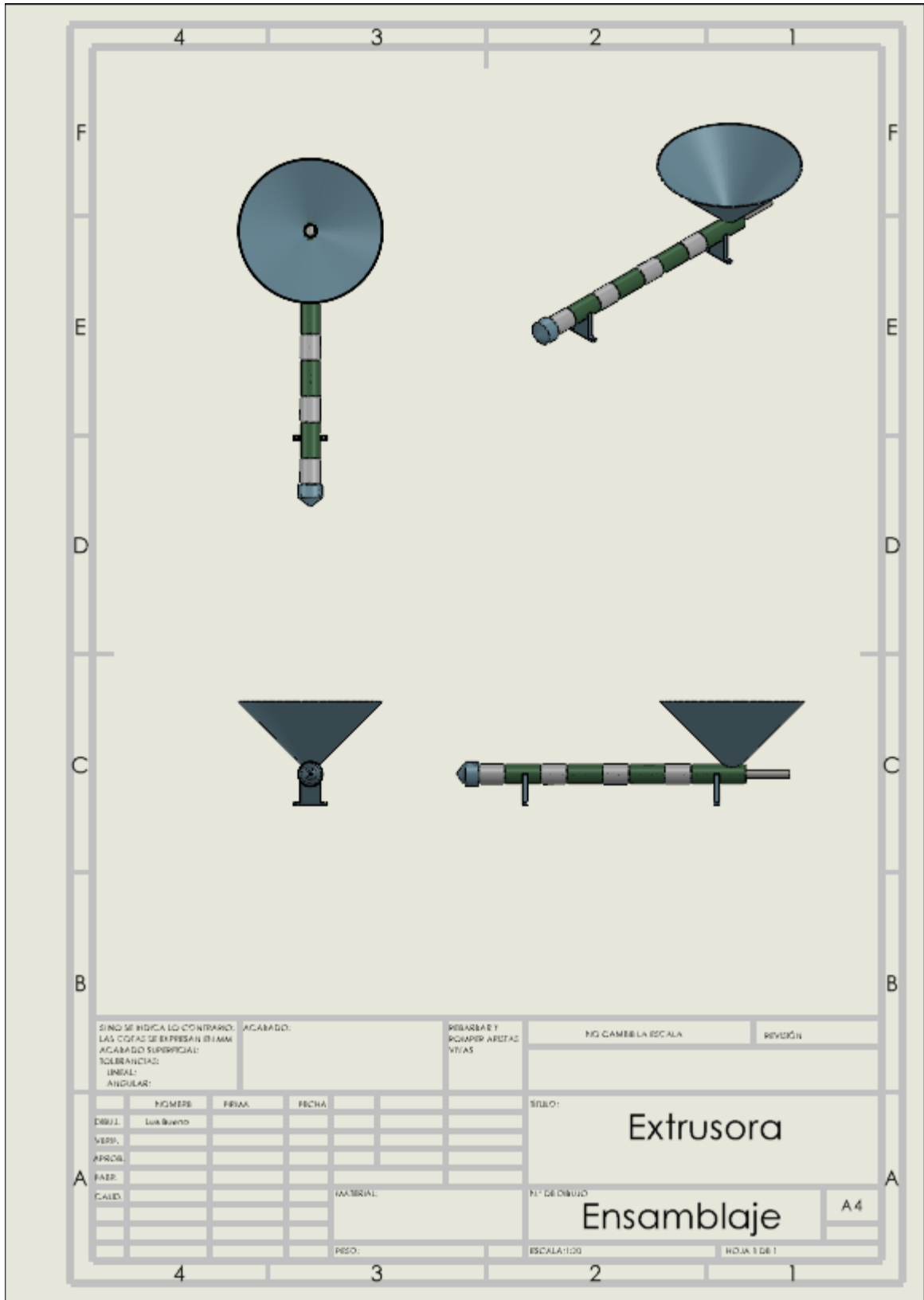
DEBARRA Y
 ROMPER ARISTAS
 VITAS

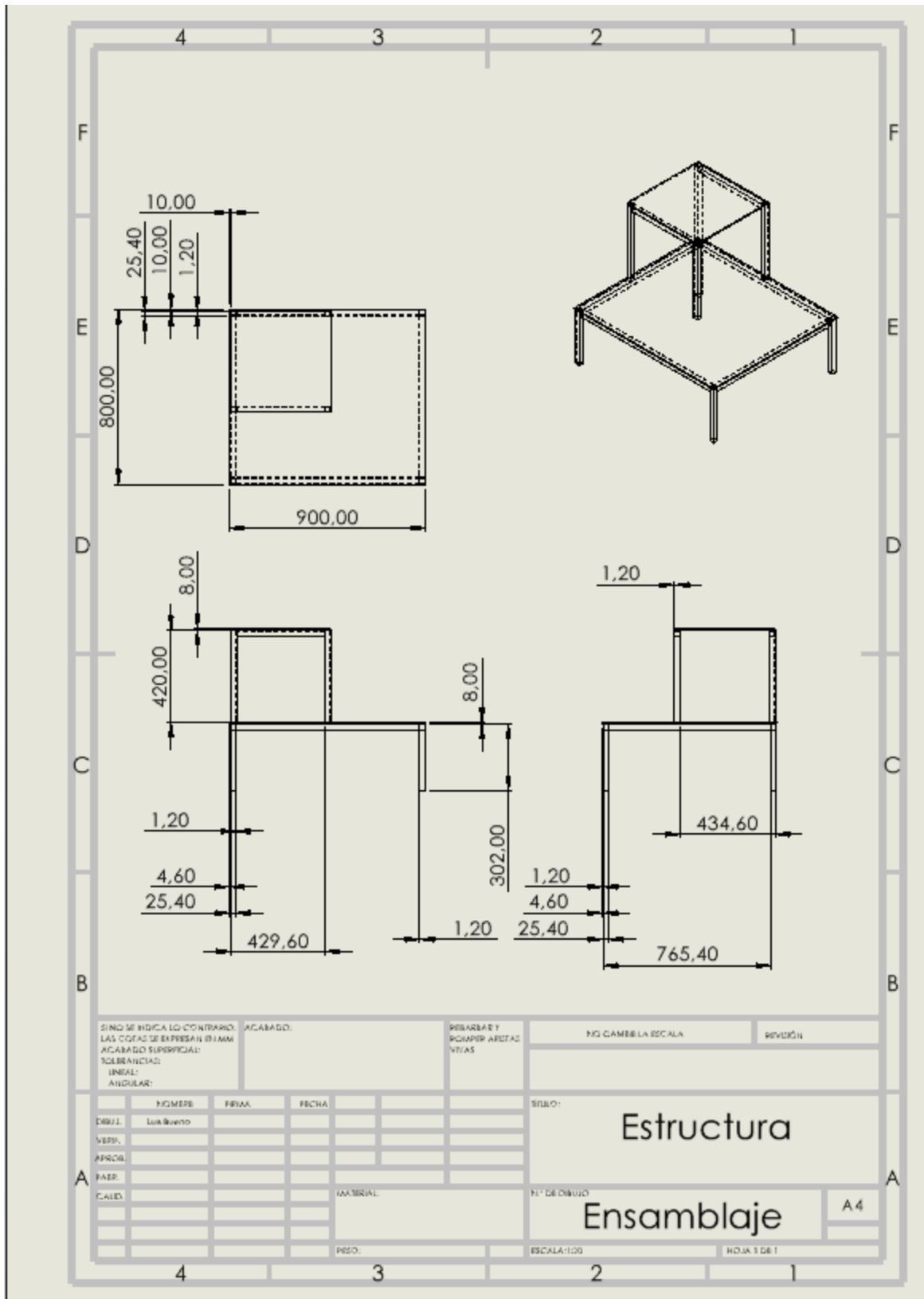
NO CAMBIE LA ESCALA

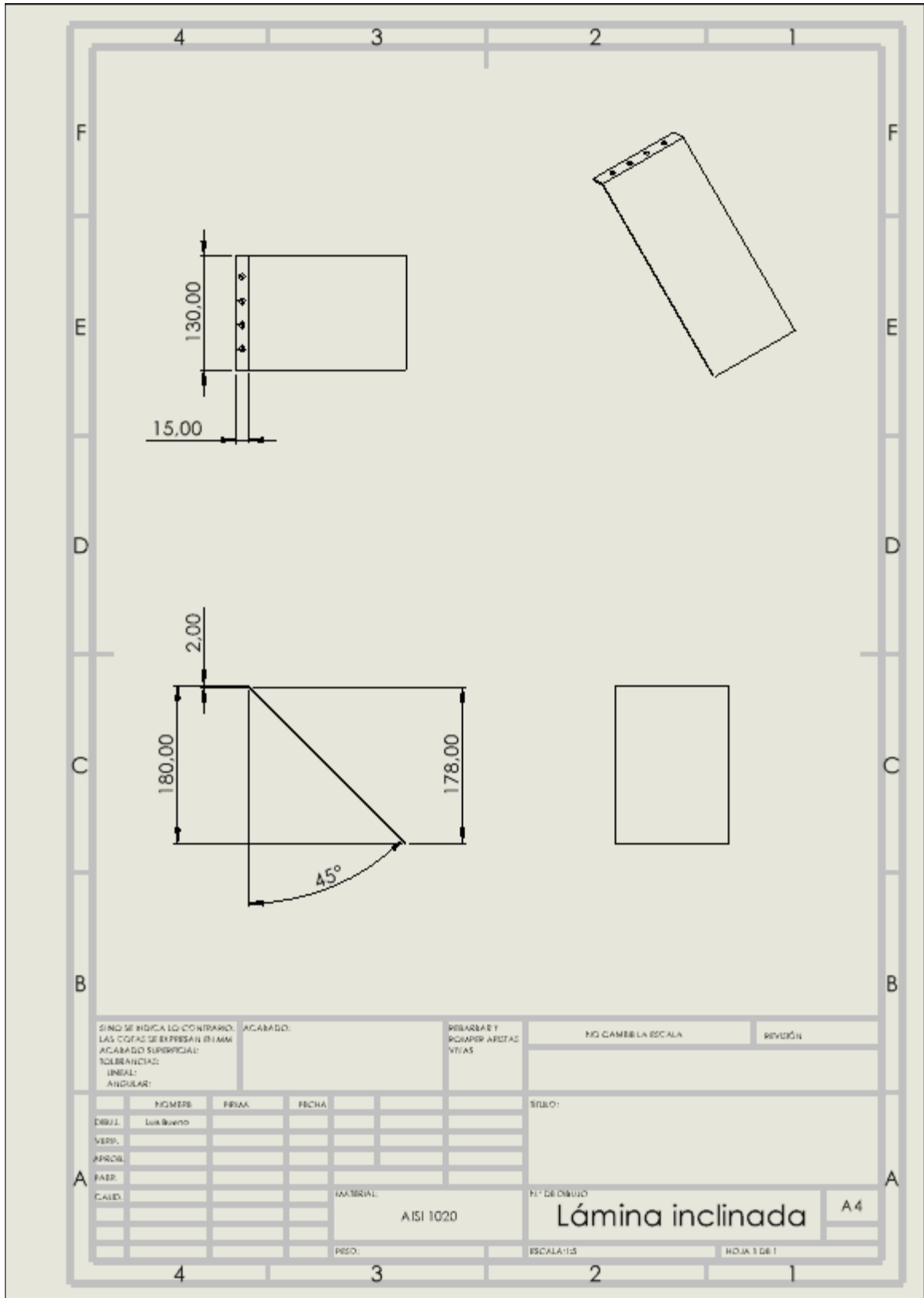
REVISIÓN

NOMBRE		FECHA	DISEÑO	
DEBJ.	Luis Buena			
VERIF.				
APROB.				
PAER.				
CALED.				
MATERIAL:		AISI 1020		
PESO:		ESCALA: 1:1		

TÍTULO:	
Extrusora	
Soporte	
A4	
HOJA 1 DE 1	







4 3 2 1

F F

E E

D D

C C

B B

A A

4 3 2 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
Y VIVAS

NO CAMBIA ESCALA

REVISIÓN

NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DESI.	Luis Bueno				
VERIF.					
APROB.					
HAZ.					
CALED.					

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

Ensamble final A4

ESCALA: 1:20

HOJA 1 DE 1