UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERIA ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA EXTRUSORA DE BOTELLAS DE PLASTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FILAMENTO PET A BAJO COSTO

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor:

Bach. Chuquilin Zoto Amarante

Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3385-2942

Asesor:

Mg. Juan Carlos Vives Garnique

Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0988-9881

Línea de Investigación:

Infraestructura, tecnología y medio ambiente

Pimentel – Perú

2021

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA EXTRUSORA DE BOTELLAS DE PLASTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FILAMENTO PET A BAJO COSTO

Aprobación de Jurado

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva
Presidente del Jurado de tesis

Mg. Silvia Yvone Gastiaburú Morales
Secretario del Jurado de tesis

Mg. Juan Carlos Vives Garnique
Vocal del Jurado de tesis

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico esta tesis a Dios; por darme la vida y salud para llegar hasta este punto y cumplir con cada uno de mis objetivos propuestos, además de su infinito amor y bondad.

A mis padres Tobias Chuquilin y Susana zoto, por haberme apoyado en todo momento, por creer en mí en cada uno de mis anhelos y en cada paso que doy, además por su amor infinito.

A mis hermanos Jose y Clavelina, por apoyarme en las diferentes circunstancias del proceso universitario.

A mi hijo Bastian Mateo quien es mi motor y motivo para seguir esforzándome a cumplir cada una de mis metas propuestas.

A mi esposa, por apoyarme desde el inicio de esta investigación, por su amor, paciencia y por creer en mí en cada paso que doy.

Amarante Chuquilin Zoto

AGRADECIMIENTO

A mi profesor de investigación Juan Carlos Vives Garnique, por su apoyo, compresión y motivación durante el proceso de la investigación; por sus aportaciones y sugerencias constructivas.

A los profesores en general, que he tenido durante mi formación profesional de alguna manera contribuyeron a la culminación de la carrera de ingeniería mecánica eléctrica.

A la universidad Señor de Sipán, por haberme acogido y permitirme seguir desarrollando como persona y como profesional, aprendiendo nuevas cosas y poniéndolo en práctica en mi vida diaria.

Agradezco a todos quienes de alguna manera me ayudaron en el desarrollo de esta investigación, en especial a mi familia y amigos.

Amarante Chuquilin Zoto

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de diseñar una máquina trituradora extrusora de botellas de plástico para la obtención de filamento pet a bajo costo. El estudio es de enfoque cuantitativo, el diseño de la investigación es exploratorio, además el tipo de investigación es cuantitativo; que tuvo como objetivo principal Diseñar una máquina de doble funcionalidad como la trituración y extrusión de plástico reciclado para obtener filamento de PLA para las impresoras 3D, utilizando las variables de operacionalizacion, capacidad de trituración y extrusión, presión de extrusión y trituración, factor de seguridad.

Para la obtención de la información se utilizó como técnica la recolección de datos. En relación al instrumento de recolección de datos es la guía de observación para cada variable en estudio.

Los principales resultados obtenidos son concepto de solución 1, emplea una tolva en forma de embudo para la recolección de botellas recicladas plásticas PET, obtiene una transmisión por cadena, también el sistema de trituración con cuchillas curvas, además que contiene una faja transportadora simple que llevan la trituración del plástico a la tolva del sistema de extrusión, el sistema de extrusión es de doble tornillo para la fabricación del filamento PET y finalmente todo su accionamiento es por manivela y motor eléctrico.

Palabras clave: *eficiencia de separación, modelos matemáticos, perdida de carga, rendimiento, separador ciclónico, vórtice.*

ABSTRACT

The present research work was carried out with the purpose of designing a plastic bottle extruder crusher machine to obtain pet filament at a low cost. The study has a quantitative approach, the research design is exploratory, and the type of research is quantitative; whose main objective was to design a machine with dual functionality such as the grinding and extrusion of recycled plastic to obtain PLA filament for 3D printers, using the variables of operationalization, grinding and extrusion capacity, extrusion and grinding pressure, safety factor.

Data collection was used as a technique to obtain the information. In relation to the data collection instrument, it is the observation guide for each variable under study.

The main results obtained are concept of solution 1, it uses a funnel-shaped hopper for the collection of recycled PET plastic bottles, it obtains a chain transmission, also the crushing system with curved blades, in addition to containing a simple conveyor belt that carries the crushing of the plastic to the hopper of the extrusion system, the extrusion system is of double screw for the manufacture of the PET filament and finally all its drive is by crank and electric motor.

Keywords: *separation efficiency, mathematical models, pressure drop, performance, cyclone separator, vortex.*

INDICE

1. INTRODUCCIÓN 14
1.1. Realidad Problemática 14
1.2. Antecedentes 15
1.2.1. Tipos de máquinas trituradoras de plástico 15
1.2.2. Tipos de máquinas extrusoras de plástico 17
1.3. Teorías relacionadas al tema 20
1.3.1. Método FDM 20
1.3.2. Materiales utilizados para la creación de prototipos 21
1.3.3. Materia prima utilizada en extrusoras 22
1.3.4. Extrusión de materiales poliméricos 23
1.3.5. Extrusión por fusión 24
1.3.6. Extrusión de filamento 24
1.3.7. Seguridad en el proceso de extrusión 25
1.3.8. Modelo de extrusor de filamento Lyman 25
1.3.9. Modelo Felfil 26
1.3.10. Componentes de una maquina extrusora 27
1.4. Formulación del problema 34
1.5. Justificación e importancia del estudio 35
1.6. Hipótesis 35
1.7. Objetivos 35
1.7.1. Objetivo general 35
1.7.2. Objetivos específicos 35
2. MATERIAL Y MÉTODO 37
2.1. Tipo y diseño de investigación 37
2.2. Población y muestra 37
2.3. Variables, Operacionalización 37
2.4. Técnicas e instrumentación de recolección de datos, validez y confiabilidad 38
2.4.1. Procedimiento de análisis de datos 38
2.4.2. Técnicas de recolección de datos 38
2.4.3. Instrumentos de recolección de datos 39
2.5. Criterios de rigor científico 39
3. RESULTADOS 41

3.1. La necesidad o problemática 41
3.2. Requerimiento del diseño 41
3.3. Caja Negra (Black Box) 42
3.4. Caja de Funciones 44
3.5. Matriz Morfológica 45
3.5.1. Concepto de Solución 1 46
3.5.2. Concepto de Solución 2 47
3.5.3. Concepto de Solución 3 48
3.6. Evaluación Técnica 48
3.7. Dimensionamiento para el sistema triturador: 49
3.7.1. Motor eléctrico 49
3.7.2. Engranaje 51
3.7.3. Hojas de corte 56
3.8. Dimensionamiento para el sistema extrusor 60
3.8.1. Necesidades para la extrusora 60
3.8.2. Potencia de calefacción eléctrica 61
3.9. Diseño de la máquina trituradora-extrusora de plástico reciclado 62
3.9.1. Diseño de la tolva de alimentación 63
3.9.2. Diseño del motor de la extrusora 63
3.9.3. Diseño de la estructura de la máquina extrusora 64
3.9.4. Diseño del sistema de transmisión mecánico de la trituradora 64
3.9.5. Diseño de las cuchillas de trituración 65
3.9.6. Diseño general de la máquina trituradora-extrusora 65
3.9.7. Estudio de fatiga de elementos críticos de la máquina trituradora-extrusora 67
4. CONCLUSIONES 76
5. REFERENCIAS 77
6. ANEXOS 80

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1:FILABOT INDUSTRIAL RECLAIMER 15

FIGURA 2:UNI-SHEAR SR300 16

FIGURA 3:PRECIOUS PLASTIC SHREDDER 16

FIGURA 4:EXTRUSORA DE FILAMENTOS FILASTRUDER 17

FIGURA 5:EXTRUSORA DE FILAMENTOS FILABOT EX2 18

FIGURA 6:EXTRUSORA FILAFAB PRO 350 EX 19

FIGURA 7:MODELADO DE DEPÓSITO FUSIONADO (FDM) 21

FIGURA 8:EXTRUSORA DE UN SOLO TORNILLO 24

FIGURA 9:EXTRUSORA DE FILAMENTOS LYMAN 26

FIGURA 10:EXTRUSORA MODELO FELFIL EVO 26

FIGURA 11:BROCA PERFORADORA 27

FIGURA 12:ELEMENTOS DE MATRIZ DE EXTRUSIÓN 28

FIGURA 13:REPRESENTACIÓN MATRICIAL 28

FIGURA 14:EJEMPLOS DE SEÑALES PWM 29

FIGURA 15:REPRESENTACIÓN DEL REGULADOR PWM 30

FIGURA 16:REPRESENTACIÓN SSR 31

FIGURA 17:REPRESENTACIÓN PID REX D-100 32

FIGURA 18:CAJA NEGRA (BLACK BOX) 43

FIGURA 19: MATRIZ FUNCIONAL 44

FIGURA 20:SOLUCIÓN 1 47

FIGURA 21:SOLUCIÓN 2 47

FIGURA 22:SOLUCIÓN 3 48

FIGURA 23:FACTOR KV DINÁMICO 52

FIGURA 24:PIÑÓN DEL PRIMER PAR DE ENGRANAJES 54

FIGURA 25:CORONA DEL PRIMER PAR DE ENGRANAJES 54

FIGURA 26:PIÑÓN DEL SEGUNDO PAR DE ENGRANAJES 55

FIGURA 27:CORONA DEL SEGUNDO PAR DE ENGRANAJES 56

FIGURA 28:MODELO PARA CALCULAR LOS ESFUERZOS Y EL MOMENTO EN LAS PALAS 56

FIGURA 29:MODELO DE CUCHILLA DE CORTE 58

FIGURA 30:MODELO DE ESPACIADOR DE CUCHILLA DE CORTE 59

FIGURA 31:CUCHILLAS FIJAS 59

FIGURA 32:ESPACIADORES DE HOJA FIJA 60

FIGURA 33:ENTALPIAS CON EL MATERIAL ABS 62

FIGURA 34:PERFIL DE TEMPERATURA PARA MATERIAL ABS 62

FIGURA 35:TOLVA DE ALIMENTACIÓN DE LA EXTRUSORA 63

FIGURA 36:MOTOR DE LA EXTRUSORA 63

FIGURA 37:ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA EXTRUSORA 64

FIGURA 38:SISTEMA DE TRANSMISIÓN MECÁNICO DE LA TRITURADORA 64

FIGURA 39:DISEÑO DE LAS CUCHILLAS DE TRITURACIÓN 65

FIGURA 40:VISTA SUPERIOR DE LA MÁQUINA TRITURADORA-EXTRUSORA 65

FIGURA 41:VISTA DE PERFIL DE LA MÁQUINA TRITURADORA-EXTRUSORA 66

FIGURA 42:VISTA DE PERFIL POSTERIOR DE LA MÁQUINA TRITURADORA-EXTRUSORA 66

FIGURA 43:TORNILLO DE EXTRUSIÓN 81

FIGURA 44:EJE DE CUCHILLAS DE LA TRITURADORA 81

FIGURA 45:PLANO 1 84

FIGURA 46:PLANO 2 85

FIGURA 47:PLANO 3 86

FIGURA 48:PLANO 4 87

FIGURA 49:PLANO 5 88

FIGURA 50:PLANO 6 89

FIGURA 51:PLANO 7 90

INDICE DE TABLAS

TABLA 1:COMPARACIÓN TÉCNICA DE MÁQUINAS TRITURADORAS 17

TABLA 2:COMPARACIÓN TÉCNICA DE MÁQUINAS EXTRUSORAS 19

TABLA 3:RELACIÓN ENTRE TENSIÓN Y ROTACIÓN 30

TABLA 4:POTENCIA ELÉCTRICA DE CADA COMPONENTE 33

TABLA 5:CARACTERÍSTICAS DE LOS REFRIGERADORES DISPONIBLES COMERCIALMENTE 34

TABLA 6: VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN 37

TABLA 7:REQUERIMIENTO DEL DISEÑO 42

TABLA 8:MATRIZ MORFOLÓGICA 45

TABLA 9:PUNTAJE DE LOS CONCEPTOS DE SOLUCIÓN DE LA MATRIZ MORFOLÓGICA 46

TABLA 10:PUNTAJE DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS CONCEPTOS DE SOLUCIÓN 49

TABLA 11:FACTOR DE SOBRECARGA 52

TABLA 12:CONSTANTES FÍSICAS DEL ACERO INOXIDABLE (18-8) 57

TABLA 13:RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS PALAS 58

TABLA 14:INFORMACIÓN DEL MODELO DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 67

TABLA 15:PROPIEDADES DE ESTUDIO DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 68

TABLA 16:PROPIEDADES DEL MATERIAL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 68

TABLA 17:SUJECIONES DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 69

TABLA 18:CARGAS DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 69

TABLA 19:ANÁLISIS DE TENSIONES DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 70

TABLA 20:ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTOS DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 70

TABLA 21:ANÁLISIS DE DEFORMACIONES UNITARIAS DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 71

TABLA 22:ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 71

TABLA 23:INFORMACIÓN DEL MODELO DEL EJE DE CUCHILLAS 72

TABLA 24:PROPIEDADES DE ESTUDIO DEL EJE DE CUCHILLAS 73

TABLA 25:PROPIEDADES DEL MATERIAL EJE DE CUCHILLAS 73

TABLA 26:ANÁLISIS DE TENSIONES DEL EJE DE CUCHILLAS 74

TABLA 27:ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTOS DEL EJE DE CUCHILLAS 74

TABLA 28:ANÁLISIS DE DEFORMACIONES UNITARIAS DEL EJE DE CUCHILLAS..... 75

TABLA 29:ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL EJE DE CUCHILLAS..... 75

TABLA 30:INFORMACIÓN DEL CÁLCULO DE MALLA DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN..... 82

TABLA 31:DETALLES DEL CÁLCULO DE MALLA EN EL TORNILLO DE EXTRUSIÓN 82

TABLA 32:INFORMACIÓN DEL CÁLCULO DE MALLA DEL EJE DE CUCHILLAS..... 83

TABLA 33:DETALLES DEL CÁLCULO DE MALLA EN EL EJE DE CUCHILLAS 83

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1:POTENCIA ELÉCTRICA..... 33

ECUACIÓN 2:VELOCIDAD DE SALIDA DEL AIRE 34

ECUACIÓN 3:ÁREA DE LA SECCIÓN DE LA BOTELLA 49

ECUACIÓN 4:FUERZA REQUERIDA..... 50

ECUACIÓN 5:PAR TORSOR REQUERIDA EN EL EJE 50

ECUACIÓN 6:PAR TORSOR DE SALIDA DEL MOTOR 50

ECUACIÓN 7:ESFUERZO DE FLEXIÓN 51

ECUACIÓN 8:TRABAJO DEL ENGRANAJE..... 51

ECUACIÓN 9:VELOCIDAD DE LA LÍNEA PRIMITIVA 52

ECUACIÓN 10:FACTOR DINÁMICO KV 53

ECUACIÓN 11:VARIABLE A DEL FACTOR DINÁMICO KV 53

ECUACIÓN 12:VARIABLE B DEL FACTOR DINÁMICO KV..... 53

ECUACIÓN 13:VELOCIDAD DE LÍNEA DE PASO MÁXIMO 53

ECUACIÓN 14:TASA DE REDUCCIÓN PARA EL MOTOR..... 53

ECUACIÓN 15:ESFUERZO DE LA HOJA..... 56

ECUACIÓN 16:MOMENTO FLECTOR..... 57

ECUACIÓN 17:DEFLEXIÓN..... 57

ECUACIÓN 18:CALOR DE CALEFACCIÓN..... 61

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Con el aumento de la población y el crecimiento de la industria, la acumulación de basura y residuos orgánicos liberados al medio ambiente se ha convertido en un problema agravante. El aumento paulatino de los peligros del calentamiento global ha hecho que el reciclaje sea necesario para la sociedad y especialmente para el planeta.

En las últimas décadas, las industrias, especialmente las de bebidas y alimentos, están reemplazando los envases y latas de vidrio por plástico PET (Polietileno Etileno) porque son más resistentes y económicos. El PET está presente en jugos, agua, aceite, envases de refrescos, entre otros.

Algunos materiales inorgánicos como el plástico pueden tardar un promedio de 500 años en descomponerse en la naturaleza. La reutilización de estos materiales contribuye al medio ambiente, ya que estos materiales ya no van a los vertederos ni a la naturaleza, evitando la contaminación de ríos, lagos, suelos y bosques. Además, puede generar ingresos para personas, empresas y cooperativas de recolectores y recicladores.

El proceso general de reciclaje de PET pasa por unos pocos pasos: los envases se lavan, prensan y trituran, generando escamas. Estos copos pasan por un proceso de extrusión, generando granos, que se transforman en hilos de poliéster u otros productos plásticos.

Los productos derivados del PET reciclado son ropa, perchas, jarrones de jardín, tendederos, escobas, reglas, relojes, portalápices, bolígrafos, limpieza y envasado de alimentos. En construcción civil se pueden utilizar en tanques de agua, tuberías y conexiones, grifería, piscinas, azulejos, en la fabricación de mármol sintético utilizado en encimeras y fregaderos, y en pinturas y barnices que tengan PET reciclado en sus composiciones. En la industria de automóviles y camiones se utilizan para revestimientos de alfombras de automóviles, parachoques, piezas de cabina y elementos aerodinámicos.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Tipos de máquinas trituradoras de plástico

1.2.1.1.Filabot Industrial Reclaimer

Es una unidad de procesamiento de plástico de calidad comercial que granula el material hasta un tamaño de partícula que otra máquina de la misma marca pueda extruir. Esta unidad mide 51" (1300 mm) de altura y tiene una garganta de alimentación de 13.5x6.3" (343x160 mm).

Es lo suficientemente potente como para reciclar sin esfuerzo las impresiones 3D fallidas al 100% de relleno, así como otros materiales plásticos, permitiendo que la empresa recupere estos recursos para volverlos a convertir en filamentos 3D. La unidad procesa material a una velocidad de hasta 170 lb/h (77.11 kg/h), evitando la degradación térmica del regrind.

Figura 1:Filabot Industrial Reclaimer

1.2.1.2.UNI-SHEAR SR300

Es una trituradora de rodillo dentado simple que reduce el tamaño de materiales como metal, papel, plástico, papel de aluminio, espuma y más.

Puede funcionar como una máquina autónoma o como una trituradora secundaria para reducir aún más el tamaño del material. El SR300 posee velocidad ajustable, sensor de presión de rodillo, y cuchillas reversibles del mismo para moler con eficacia el material en pequeñas partículas consistentes en un solo paso.

Figura 2:UNI-SHEAR SR300

1.2.1.3.Precious Plastic Shredder

Es una máquina open source capaz de triturar distintos tipos de plástico en piezas pequeñas. Posee un tipo de trituración mediante cuchillas de eje simple y una malla metálica mediante la cual se puede seleccionar el tamaño de salida del material reducido [HAKKENS 2017]

Figura 3:Precious Plastic Shredder

En la siguiente tabla se presenta una comparación técnica de las máquinas trituradoras mencionadas en los puntos anteriores.

Tabla 1:Comparación técnica de máquinas trituradoras

Datos Técnicos	Filabot Industrial Reclaimer	UNI - SHEAR SR300	Precious Plastic
Tipo de trituración	Mediante cuchillas de doble eje	Mediante rodillo dentado simple	Mediante cuchillas de eje simple
Tasa de procesamiento	170 lb/h	No especificado	No especificado
Potencia de motor	3 kW	30kW - 125RPM	2kW - 70RPM
Tamaño del conducto de alimentación (mm)	343x160	785x840	124x148.5
Tamaño total (mm)	610x610x1300	2750x2005x2565	600x280x1142
Peso de la máquina (kg)	272	1800	40
Costo	$6200	No especificado	Open Source

1.2.2. Tipos de máquinas extrusoras de plástico

1.2.2.1.Extrusora de filamentos Filastruder

Esta máquina fabrica filamentos de plástico mediante su extrusión empleando un mecanismo de husillo único. Además, posee un control de motor capaz de controlar la tensión (velocidad) y la corriente (torque) mediante un controlador PWM9 de circuito cerrado. Este controlador también muestra la tensión de entrada, y la tensión, corriente y potencia del motor.

Posee un filtro en la boquilla de fundido, el cual evita que partículas mayores de 200µm pasen a través del filamento. Como resultado, el filamento producido a través de una tobera de filtro de fusión está libre de suciedad o escombros que de otro modo obstruirían el extremo caliente de una impresora 3D.

Figura 4:Extrusora de filamentos Filastruder

1.2.2.2.Extrusora de filamentos Filabot EX2

Éste es el extrusor de filamentos más avanzado que posee la marca Filabot. Cuenta con un tornillo de extrusión de tres etapas fabricado de acero de alto carbono endurecido y pulido. Este tornillo patentado está diseñado para presurizar plásticos durante el proceso de extrusión, ayudando así en el control del diámetro y aumentando la producción general. La capacidad de mezcla del tornillo es mejorada mediante el uso de una sección de compresión progresiva, la cual aplica una fuerza de corte entre el polímero y la pared del cilindro.

El EX2 también cuenta con un control de velocidad de extrusión, que es exclusivo para este modelo. La tarjeta de control de velocidad incluye un módulo de control automático de voltaje variable. Ésta fue diseñada para regular las precisas revoluciones que el tornillo requiere mientras las fuerzas fluctúan en el proceso de extrusión.

Figura 5:Extrusora de filamentos Filabot EX2

1.2.2.3.Extrusora FilaFab PRO 350 EX

La máquina FilaFab PRO 350 EX, representada en la Figura 2.6, utiliza un mecanismo de husillo único para extruir el plástico a procesar. Además, esta extrusora puede fabricar filamentos de materiales termoplásticos [D3D Innovations, 2015].

Figura 6:Extrusora FilaFab PRO 350 EX

En la siguiente tabla se realiza una comparación técnica de las tres máquinas extrusoras de filamentos:

Tabla 2:Comparación técnica de máquinas extrusoras

Datos Técnicos	Extrusora de filamento Filastruder	Extrusora de filamentos Filabot EX2	Extrusora FilaFab PRO EX 350
Tipo de extrusión	Mediante un solo husillo	Mediante un solo husillo	Mediante un solo husillo
Tasa de extrusión	10-36 in/min o de 5 a 8 h/kg	2 lb/h o 251 in/min de filamento de 1.75 mm	0.8 kg/h
Potencia máxima de consumo (W)	60	500	600
Tolerancia del filamento (mm)	+- 0.05	+- 0.05	+- 0.05
Tamaño total (mm)	457x152x102	460x180x240	640x164x240
Peso de la máquina (kg)	No especificado	13	12
Costo	$300.00	$2,500.00	$1,395.00
Ruido (dB)	52	No especifica	Menor de 70
Velocidad del tornillo de alimentación (RPM)	No especificado	0 a 35	5 a 30
Controlador de temperatura programable (°C)	Hasta 260	Hasta 450	Hasta 250

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Método FDM

Los métodos de impresión conocidos como creación rápida de prototipos no tuvieron un impacto significativo en el mercado inmediatamente después de su invención en la década de 1980. Las máquinas muy grandes y costosas, junto con los procesos que consumían mucho tiempo, limitaban su uso a usos muy específicos.

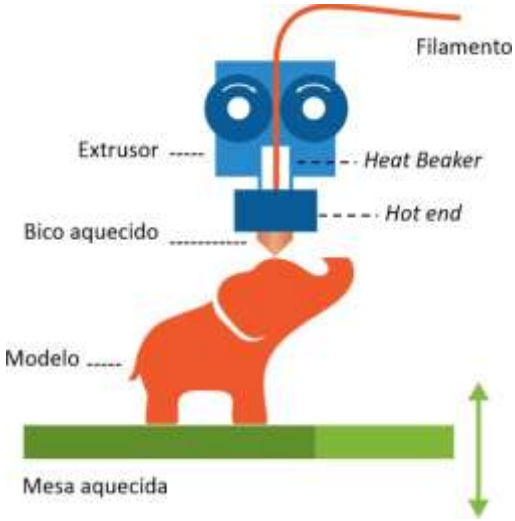
Las primeras impresoras que comenzaron a mostrar resultados satisfactorios comenzaron en la década de 2000 y tuvieron un gran aumento en 2007, cuando se popularizó el método FDM.

Al llevar la creación rápida de prototipos a las "masas", el método FDM tenía la ventaja de que más personas trabajaban para desarrollar mejores productos, así como soluciones creativas para piezas y objetos que podían imprimirse (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

El método FDM (modelado de depósitos de material fundido) consta de los siguientes pasos:

1. El filamento es tirado por un sistema llamado extrusora. Este filamento pasa luego a través de un tubo metálico llamado Heat Breaker, que sirve como guía para el HotEnd (una pieza metálica, generalmente de aluminio, que se encuentra a alta temperatura para permitir la fusión del material de adición, el filamento).
2. Una vez moldeado el filamento, se fuerza a través de la boquilla calentada, finalmente depositándose sobre la mesa calentada, siempre en capas y formando una nueva pieza. Todos estos componentes se pueden ver fácilmente en la Figura 1.

Figura 7:Modelado de depósito fusionado (FDM)



Fuente: *Adaptado de (JASTER, 2017)*

Siguiendo este principio, han surgido nuevas variaciones, haciendo de este método el más simple y accesible para la impresión 3D.

1.3.2. Materiales utilizados para la creación de prototipos

Existe una amplia variedad de materiales disponibles y económicamente viables para su uso en impresoras 3D. Los tipos más comunes y preferidos son: ácido poliláctico (PLA), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), polietilenglicol (PETG), poliamida (PA) o comercialmente conocido como Nylon®.

De estos, los más comunes y accesibles son PLA y ABS. El PLA es un polímero plástico inodoro que requiere poca energía térmica para fundirse en comparación con el ABS. El PLA ha entrado en muchas industrias como los implantes médicos biodegradables y el envasado de alimentos. Por el contrario, el ABS es el material más duradero y puede soportar temperaturas más altas.

El PA, más conocido como nailon, es un tipo de polímero muy robusto que también es flexible cuando se utiliza en piezas de paredes delgadas. PETG es una combinación de PET con glicol, en diferentes concentraciones. Al igual que el PLA, el PETG es un polímero apto para alimentos, aprobado por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos), la agencia estadounidense responsable de la protección y promoción de la salud en los Estados Unidos. El PETG también es mecánicamente más resistente en comparación con el PLA, pero no es biodegradable (ALSSABBAGH et al., 2017).

Entre las propiedades más importantes del material a extruir son la densidad aparente, el coeficiente de fricción, el tamaño de las partículas y la forma de las partículas. A través de estas propiedades, se puede describir el comportamiento del material durante la extrusión con una precisión razonable (RAUWENDAAL C., 2014).

Si bien es posible, en este trabajo no se evaluará el comportamiento del material en extrusión.

1.3.3. Materia prima utilizada en extrusoras

Los polímeros utilizados como materia prima comercial en las extrusoras vienen en forma de gránulos (pellets) y tienen un costo menor que el filamento terminado. Además del precio, puede mezclar más materiales, incluidos los reciclados, siempre que estos tengan afinidades en su enlace químico.

Dependiendo de los requerimientos del producto a imprimir, se deben agregar algunos aditivos para que la mezcla adquiera las propiedades deseadas.

Algunos polímeros necesitan secarse antes de la extrusión para evitar su degradación y pérdida de propiedades como la adhesión entre capas. Nylon®, poliéster, ABS, acrílico y policarbonato son ejemplos de materiales altamente higroscópicos que absorben rápidamente la humedad que se encuentra en el aire. La calidad y las propiedades del producto final dependen en gran medida de la cantidad de humedad presente en la materia prima.

Entre los principales defectos encontrados por la alta humedad, se pueden destacar imperfecciones superficiales como agujeros, desprendimientos o incluso un material espumoso (GILES; M .; WAGNER, 2004).

Otra desventaja de este método es el hecho de que muchas marcas de filamentos tienden a tener diferentes propiedades físicas o mecánicas cuando se comparan entre sí.

Aunque FDM es el método más popular y barato para la impresión 3D, y suele ser la puerta de entrada a esta tecnología, está claro que tiene algunas desventajas, y todas las mencionadas anteriormente se pueden minimizar cuando se tiene un filamento producido bajo demanda.

1.3.4. Extrusión de materiales poliméricos

El proceso de extrusión ha sido uno de los más utilizados en la fabricación de polímeros. La gama de productos es inmensa y los principales productos continuos son tubos, monofilamentos, perfiles, films y también material granulado, que puede ser virgen o reciclado.

Entre los tipos constructivos de extrusoras, el más aplicado para polímeros fundidos es el tipo de tornillo simple. Entre sus principales ventajas se encuentran:

- diseño simple
- Robustez
- Fiabilidad
- Costo beneficio

Este tipo también se puede encontrar como mono etapa, debido a que el hilo tiene una sola sección de compresión (RAUWENDAAL C., 2014).

La extrusión de materiales poliméricos para producir productos semiacabados para aplicaciones comerciales es un proceso integrado. El comienzo es con la extrusora comprimiendo un componente a través de un tubo. En algunas aplicaciones, las líneas de producción son muy largas y tienen numerosas operaciones. El éxito de la operación de extrusión depende de varios factores, tales como:

- Temperatura correcta de fusión y extrusión;
- Temperatura de fusión y extrusión uniforme;
- Temperatura de enfriamiento;
- Presión de extrusión constante;
- Rotación del husillo, que está relacionada con la velocidad de extrusión y el flujo constante de material terminado.

Todos estos parámetros deben ser monitoreados y controlados durante todo el proceso.

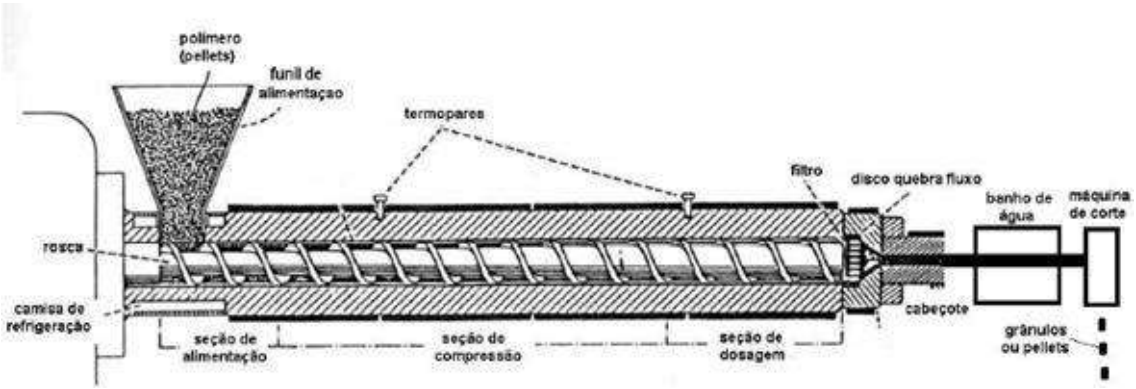
1.3.5. Extrusión por fusión

La extrusión se puede definir como un proceso de conformación de material para producir un producto forzando el material a través de un orificio o herramienta llamada matriz.

En resumen, una extrusora se comporta como una bomba que genera un polímero fundido, con presión y temperatura uniformes para el molde (GILES; M .; WAGNER, 2004).

LOS Figura 8 muestra la representación de una extrusora del tipo de alimentación por fusión.

Figura 8:Extrusora de un solo tornillo



Fuente: (SANTANA, RC; RIES, 2010)

Para una fusión uniforme del polímero, Es necesario aplicar camisas calefactoras alrededor del cilindro. Para un control uniforme de la temperatura, los termopares añadidos en la entrada y salida del material deben conectarse a un controlador electrónico del tipo PID.

1.3.6. Extrusión de filamento

Para el propósito de este proyecto, existe una extrusora casera asequible en la que se pueden fabricar filamentos a un precio menor, debido a que la materia prima tiene un menor costo en comparación con un filamento comercial, así como la posibilidad de mezclar materiales, creando un filamento híbrido con propiedades y características únicas, además de la posibilidad de fabricar filamentos de diferentes colores.

También permite fabricar pequeñas cantidades de filamento, bajo demanda, para garantizar sus propiedades inmediatamente después de la fabricación, como el control de la humedad y la flexibilidad.

1.3.7. Seguridad en el proceso de extrusión

Muchos polímeros pueden ser perjudiciales para la salud humana. Esto puede deberse a su interacción con otros materiales, o incluso a las altas temperaturas que pueden alcanzar durante el proceso de extrusión.

El uso de una base de datos del tipo MSDS (Material Safety Data Sheets) puede ser útil, principalmente porque una operación incorrecta o con los materiales incorrectos puede tener graves consecuencias.

Por ejemplo, al calentar cloruro de polivinilo (PVC), se forma y se libera ácido clorhídrico, que puede atacar los pulmones de las personas cercanas al proceso y también oxidar los componentes del equipo. La mezcla de acetato con nailon, polímeros fluorados o ionómeros en una extrusora puede reaccionar y liberar formaldehído, que es un gas inflamable y tiene potencial carcinogénico (GILES; M .; WAGNER, 2004).

El operador de la extrusora siempre debe considerar con qué materiales está trabajando, sus interacciones y los límites de temperatura máxima que puede alcanzar cada material.

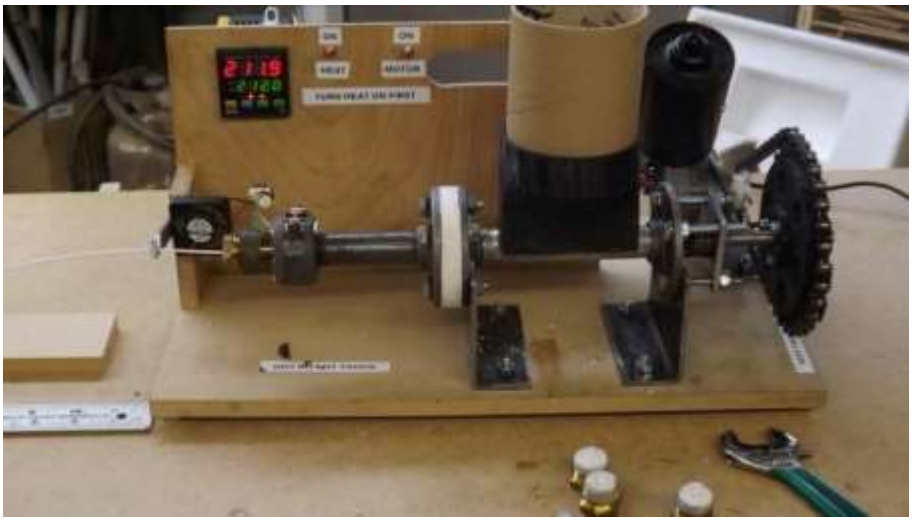
1.3.8. Modelo de extrusor de filamento Lyman

Entre los modelos DIY disponibles, destaca el “Extrusor de filamentos Lyman”, que actualmente se encuentra en su sexta versión.

Este modelo es uno de los más antiguos, con una interesante relación costo-beneficio. Es un proyecto gratuito para ser compartido, copiado y distribuido en cualquier formato, físico o digital. También se puede adaptar y mejorar2, el único requisito que pide el autor original es que el proyecto debe tener los créditos correspondientes mencionados.

La figura 9, puedes ver un ejemplo de la extrusora creada por Lyman, en la sexta versión.

Figura 9:Extrusora de Filamentos Lyman



Fuente: (LYMAN, 2014)

Como es gratuito, debes compartir tu proyecto con las modificaciones necesarias explicadas, y con la misma licencia que el original, mencionado anteriormente.

1.3.9. Modelo Felfil

Otro modelo de extrusora DIY muy conocido es Felfil, donde nació el proyecto en 2014, como proyecto de graduación, en la ciudad de Turín, Italia y pronto en 2015, nace Felfil Evo Kickstarter, responsable de la comercialización del modelo mostrado en la figura 10.

Figura 10:Extrusora modelo Felfil Evo

Fuente: (SEVERINI et al., 2017)

Aunque existe una versión comercial, llamada Felfil Evo, los creadores aún ponen a disposición en su sitio web una versión inicial del proyecto, disponible para descarga gratuita y con los mismos términos de uso mencionados en la extrusora modelo Lyman.

El modelo utilizado como referencia para este trabajo fue Felfil, principalmente por su facilidad de operación, control y costo.

1.3.10. Componentes de una maquina extrusora

1.3.10.1. Motor de corriente continua

La elección de este tipo de motor en el proyecto se debió a su costo, facilidad de control, alta durabilidad, bajo mantenimiento y linealidad.

El modelo de motor elegido fue de 12 Voltios, con una rotación de 15 RPM, y caja de reducción, proporcionando 21 kgf.cm de torque.

1.3.10.2. Huso

El husillo es uno de los componentes más importantes de una extrusora. Es responsable de alimentar, mezclar, transportar, fundir y comprimir el polímero fundido.

La sección del husillo determina su longitud a través de la relación entre la longitud y el diámetro, L / D.

Para este proyecto, se utilizó el valor L / D de 12,7, ya que es una recomendación para husillos fabricados con materiales poliméricos, y también como una sugerencia que se encuentra en el modelo Felfil. Como el valor del diámetro del eje fue de 8 mm, se supone que su longitud será igual a 101,6 mm.

Figura 11:Broca perforadora

Siguiendo estas especificaciones, se decidió utilizar un taladro de púas como husillo. Mantiene las características mencionadas anteriormente y tiene un costo mucho menor que un husillo mecanizado personalizado.

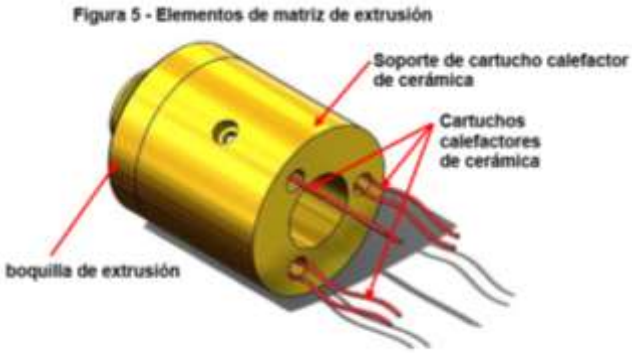
1.3.10.3. Matriz

La matriz es el elemento responsable de dar la forma final al filamento.

Fabricado en latón, por sus propiedades de conducción térmica y resistencia a la corrosión.

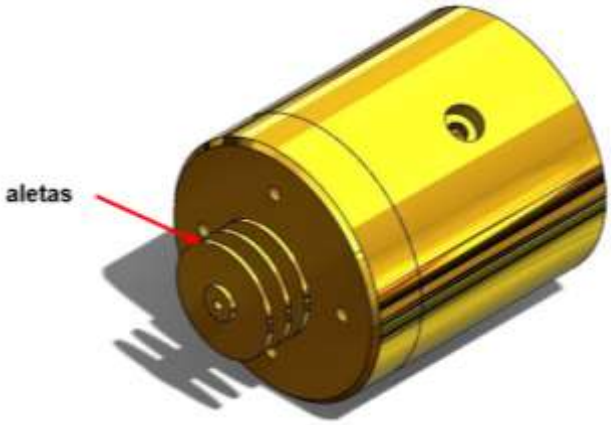
La matriz utilizada contiene dos componentes separados, una parte denominada soporte del cartucho calefactor cerámico, con la función de asignar los cartuchos calefactores cerámicos y mantener la temperatura uniformemente distribuida, y la otra parte es la boquilla de extrusión, encargada de dar forma al filamento circular, y asegurar el diámetro de 1,75 mm, que es el tamaño más popular de filamento existente en la actualidad. Estos componentes separados se pueden ver en la Figura 12.

Figura 12:Elementos de matriz de extrusión



Las aletas al final de la matriz tienen una función de enfriamiento, como se puede ver en la figura 13:

Figura 13:Representación matricial



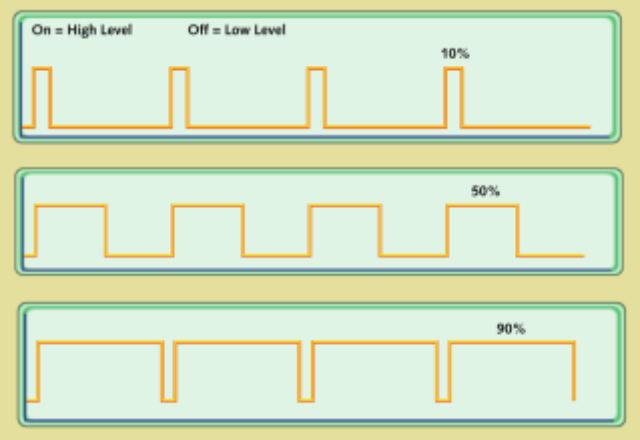
La ventaja de tener dos componentes separados es la facilidad para reemplazar la matriz, considerando diferentes diámetros de filamento, y también la facilidad de mantenimiento.

1.3.10.4. Regulador PWM

El regulador PWM es un dispositivo capaz de codificar digitalmente niveles de señal analógica, mediante el uso de contactores de alta resolución, y de esta manera modular una onda cuadrada a niveles de señal analógica específicos según sea necesario.

A Figura 14 Como se muestra a continuación, puede ver 3 ejemplos de señales PWM, con una capacidad de trabajo del 10%, 50% y 90%.

Figura 14:Ejemplos de señales PWM



El eje de ordenadas representa el valor de voltaje aplicado al PWM. Se nota que es constante.

A Figura 15, puede ver una representación del regulador PWM utilizado en este proyecto.

Figura 15:Representación del regulador PWM

Para este proyecto, el regulador PWM se utilizará para modular el ancho de pulso de la corriente que alimenta el motor de corriente continua, y de esta manera regular la rotación del motor, en un rango de 0 RPM (0%) a 15 RPM (100%).

Este ajuste de rotación se realizará mediante un potenciómetro, y la rotación se puede encontrar por el valor de voltaje, que se muestra en el voltímetro instalado, y a través del tabla 3, mostrado a continuación:

Tabla 3:Relación entre tensión y rotación

Voltaje (v)	Rotación (RPM)
12	15
10	12,5
8	10
6	7.5
4	5

Cabe destacar que esta tabla presenta valores experimentales y están sujetos a variaciones de acuerdo con la precisión del PWM, la fuente y la carga del eje del motor.

1.3.10.5. SSR

Un relé de estado sólido SSR, o relé de estado sólido, es un dispositivo semiconductor capaz de provocar un cambio repentino en un circuito eléctrico al abrir o cerrar un contacto. La Figura 16 muestra la representación del modelo SSR utilizado en el diseño de la extrusora.

Figura 16:Representación SSR

Este modelo trabaja en el control de temperatura de las resistencias, y es encendido o apagado por el controlador PID.

1.3.10.6. Controlador de temperatura PID REX D-100

El equipo responsable de controlar la temperatura de la extrusora y mantenerla estable es el PID Proporcional-Integral-Derivado. Un controlador PID calcula continuamente la diferencia entre un punto deseado (en el caso de la extrusora, este punto es la temperatura) y el punto medido. A través de esta diferencia, el PID aplica correcciones basadas en proporcional, integral y derivada, haciendo que el error entre el punto deseado y el medido sea lo más pequeño posible en cada instante.

Una vez que el controlador PID recibe la información de temperatura del termopar, envía una señal al SSR, que se conecta a las resistencias de los cartuchos calefactores cerámicos, encendiéndolos o apagándolos, manteniendo así la temperatura siempre lo más cercana posible a la temperatura deseada.

A Figura 17 puede ver la representación de un PID, utilizado en el diseño de la extrusora.

Figura 17:Representación Pid REX D-100

El modelo REX D-100 trabaja con termopares tipo K, tiene una tasa de lectura cada 0.5 segundos, tiene una precisión de ± 0.3% en la lectura de temperatura, y también tiene la función Autotune, donde el propio controlador encuentra los mejores valores posibles para cada coeficiente (PID).

1.3.10.7. Termopar tipo K

El termopar es un sensor de temperatura, construido con dos metales diferentes.

Su principio de funcionamiento básico se basa en la lectura e interpretación de una corriente eléctrica, la cual se genera uniendo dos hilos de diferentes materiales, formando un circuito cerrado y sometiendo posteriormente una de las uniones de esta unión a una fuente de calor. En este proyecto, esta medición e interpretación la realiza el PID.

El termopar utilizado en el proyecto es el tipo K, compuesto por Chromel y Alumel, soportando temperaturas entre -270 ° C y 1370 ° C. Este modelo tiene un bajo costo debido a su sencilla construcción y popularidad. Generalmente es más resistente a oxidación a temperaturas más altas en comparación con otros tipos de termopares.

La mayor limitación en el uso de este tipo de termopar es la precisión, que a menudo es inferior a 1 ° C, pero esta precisión sigue siendo bastante aceptable para el proyecto.

1.3.10.8. Fuente de Alimentación

La fuente de alimentación es el equipo responsable de proporcionar energía eléctrica a todo el sistema de extrusión. En teoría, alimentará todos los componentes.

La fuente de alimentación elegida fue un modelo conmutado, con voltaje continuo de 12V, 260W de potencia y 80% de eficiencia.

A tabla 4 Se puede verificar una estimación de los valores de potencia consumida por cada componente.

Tabla 4:Potencia eléctrica de cada componente

Componente	**Voltaje (v)**	**Corriente (A)**	**La cantidad**	**potencia total (W)**
Cartucho calefactor	12	3,4	3	120
motor de corriente continua	12	1	1	12
PID Rex D-100	12	1.8	1	21,6
Mini Drok 0.28 "	12	0,2	1	2.4
PWM	12	1	1	12

Recuerde que la potencia se puede calcular mediante la ecuación 1.

Ecuación 1:Potencia eléctrica

$$P = V * I$$

1.3.10.9. Elemento de calefacción

La función del elemento calefactor es convertir la energía eléctrica en energía térmica, produciendo el calor necesario para fundir la materia prima.

El elemento calefactor elegido fue un cartucho calefactor cerámico, que se encuentra fácilmente, tiene un bajo costo y una potencia de 40W. Para aumentar la potencia de la extrusora, se utilizaron 3 cartuchos calefactores cerámicos distribuidos uniformemente.

1.3.10.10. Enfriador para enfriamiento de matriz

El enfriador tiene una función para enfriar el extremo con aletas del dado. Esto sucede debido al flujo de aire que provoca y, por lo tanto, hay convección forzada. Para determinar el tamaño del enfriador necesario, se consideró su área,

y el propio flujo, que se encuentra en la descripción de los fabricantes. Es posible observar en la siguiente tabla, los valores encontrados para cada componente, así como la velocidad de salida del aire, calculada por la ecuación 2.

Tabla 5:Características de los refrigeradores disponibles comercialmente

Tamaño (L) [mm]	30	40	60	80	120
Área [m²]	$0.9.10^{-3}$	$1.6.10^{-3}$	$3.6.10^{-3}$	$6,4.10^{-3}$	$14.4.10^{-3}$
Flujo de aire (Q) [m³/s]	$1.389,10^{-3}$	$3.333,10^{-3}$	$10.944,10^{-3}$	$20.389,10^{-3}$	$39.889,10^{-3}$
Velocidad del aire de salida (v) [Sra]	1.543	2.083	3,040	3,186	2,770

Ecuación 2:Velocidad de salida del aire

$$V = \frac{Q}{L^2}$$

El valor de la velocidad de salida del aire será importante para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección

1.4. Formulación del problema

¿Se puede acoplar dos máquinas en una, como una extrusora y trituradora para la fabricación de material PLA a través de materiales reciclados?

1.5. Justificación e importancia del estudio

Los plásticos tardan mucho en descomponerse una vez que se eliminan como residuos. Los envases de tipo PET tardan una media de 400 años en descomponerse y las tapas de las botellas (plástico HDPE - polietileno de alta densidad) 150 años. La cantidad de material reciclado en Brasil es todavía muy pequeña. Una de las dificultades técnicas del reciclaje de residuos plásticos posconsumo es el hecho de que se mezclan diferentes tipos de resinas. En general, un buen reciclaje consiste en una buena separación de polímeros.

El concepto de máquina trituradora es aplicable a cualquier sector de la industria que implique la trituración, siendo necesarias algunas adaptaciones para satisfacer las necesidades de forma eficiente.

1.6. Hipótesis

No se Aplica

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Diseñar una máquina de doble funcionalidad como la trituración y extrusión de plástico reciclado para obtener filamento de PLA para las impresoras 3D.

1.7.2. Objetivos específicos

a) Analizar la viabilidad de la utilización de plástico reciclado como materia prima para el funcionamiento de la máquina trituradora-extrusora.

b) Diseñar la máquina trituradora-extrusora para la fabricación de filamentos PET

c) Analizar el detalle técnico económico para el diseño de la máquina trituradora-extrusora.

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODO

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

- Tipo: Es Cuantitativo porque según (Sarduy, 2017) recoge, procesa y analiza datos numéricos sobre las variables de investigación.
- Diseño: Es exploratorio porque según (Marroquín, 2018) sigue una secuencia de procesos dentro de una metodología donde las variables de estudio no se manipulan en ninguna fase, solo se investigan la relación entre ellas.

2.2. Población y muestra

- Población: Todas las máquinas extrusoras y trituradoras que existen en el mercado.
- Muestra: Máquina extrusora y trituradora que utiliza material plástico reciclado como materia prima.

2.3. Variables, Operacionalización

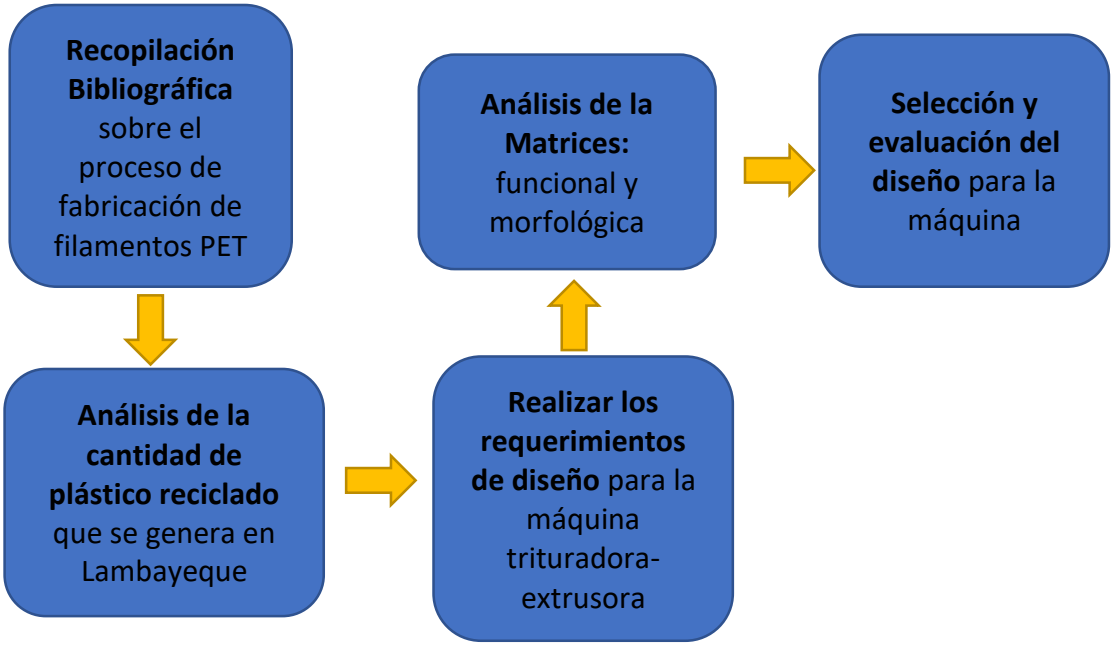
Tabla 6: Variables de operacionalización

	Variables	Dimensión	Indicador	Índice	Técnicas de Recolección	Instrumentos de Recolección
Independiente	Capacidad de trituración y extrusión	Análisis de estudio	Diseño mecánico	unid. /hora	Observación y análisis de documentos	Registro electrónico y guía de observación
	Presión de extrusión y trituración	Análisis de estudio	Diseño mecánico	Mpa	Observación y análisis de documentos	Guía de Observación y ficha de análisis de documentos
Dependiente	Factor de seguridad	Análisis y cálculo de estudio	Coeficiente de seguridad	Adimensional	Observación y análisis de documentos	Guía de observación

Fuente: Propia

2.4. Técnicas e instrumentación de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Procedimiento de análisis de datos



2.4.2. Técnicas de recolección de datos

2.4.2.1.Observación Directa

Es la técnica más utilizada del investigador, Según (Ramos, 2018) como procedimiento se puede utilizar en distintos momentos de la investigación, se usa en el diagnóstico del problema y es de gran utilidad en el diseño de la investigación, es uno de los primeros métodos utilizados en la historia y estimula la curiosidad, y que de aquí parte todo el proceso.

2.4.2.2.Análisis de Documentos

Es la recopilación detallada de estudios previos que se relacionan con el tema de investigación para un mejor desarrollo del tema.

2.4.3. Instrumentos de recolección de datos

2.4.3.1.Guía de Observación

Es un procedimiento que requiere de la técnica de observación directa para realizar un análisis eficiente de lo que uno quiere investigar para proyectos, trabajos, tesis, informes, etc. Todo de forma sistemática y organizada.

2.4.3.2.Ficha de Análisis de Documentos

También como el anterior instrumento, requiere de la técnica de análisis de documentos para luego distribuir en la ficha toda la información recopilada relacionada con tema de investigación.

2.5. Criterios de rigor científico

Existen tres características fundamentales que marcan a una investigación para un propósito seguro y de uso:

- Credibilidad

Principio donde la finalidad es conseguir la confianza de variable relevante dentro de la investigación, quiere decir que dentro de un contexto en la realidad no puede ser alterada por ninguna causa externa.

- Fiabilidad

Es un valor donde cada investigador demuestra la transparencia en sus investigaciones por medio de buena calidad de datos aportados en los trabajos hechos.

- Replicabilidad

Es un objetivo para reanudar la investigación de acuerdo a cada investigador que necesite de tus investigaciones y que quieran seguir ahondando más en el tema propuesto.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. La necesidad o problemática

Esta máquina aparte de cumplir la función principal de fabricación de filamentos PET para impresoras 3D a través de la trituración y extrusión, contribuye también con el medio ambiente porque utiliza como materia prima plástico reciclado que estén en la categoría PET para el manejo adecuado de la máquina a diseñar, generando un impacto positivo ambiental reduciendo el plástico contaminante que abunda en el planeta, otro punto importante es que los usos de estos materiales reciclados reducen el precio del filamento PET manteniendo la calidad del producto.

Según (Sánchez & Sánchez, 2017) realizo un análisis en el año 2017 de la cantidad de plástico reciclado que se puede recolectar en algunos distritos de Lambayeque como Chiclayo norte, La Victoria y Santa Victoria, obtenido que la cantidad de kilos a la semana de plástico Reciclado: 282 kg/semana, 62 kg/semana y 238 kg/semana respectivamente, teniendo una noción clara de la cantidad de plástico que se puede utilizar para la fabricación de filamentos PET para la utilización en las impresoras 3D.

3.2. Requerimiento del diseño

Se nombra los requerimientos esenciales del diseño de solución en una lista identificando las funciones que debe realizar la máquina o mecanismo.

Tabla 7:Requerimiento del diseño

ITEM	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN REQUERIMIENTO DE DISEÑO
1	Fácil modo de uso	Permite simplificar al máximo el uso de la máquina para que nadie tenga problemas al hacerlo
2	Fácil manejo de Instalación	Fácil estructuración para un rápido entendimiento de la instalación de la máquina
3	Fácil mantenimiento	El cambio de repuestos está previsto de acuerdo al uso de la máquina para minimizar el riesgo de avería
4	Mayor precisión	Fabricación de los filamentos PET de forma óptima para la fácil utilización en impresoras 3D
5	Alta durabilidad	Los materiales utilizados en la máquina son de alta resistencia
6	Resistencia a la compresión	Buen diseño para soportar cargas de aplastamiento o presión
7	Baja vibración	Buen diseño para la buena distribución de esfuerzos para una normal vibración
8	Diseño Optimo	Acoplamiento para trituración y extrusión del material reciclado PET
9	Portabilidad	Adaptabilidad y ergonomía para una fácil utilización

Fuente: Propia

3.3. Caja Negra (Black Box)

Este tipo de método representa cualquier función total o parcial de un proceso, posee tres tipos de entradas y salidas, como señales, energía y materia estructurados de forma continua.

Figura 18:Caja Negra (Black Box)

ENTRADAS

Señales

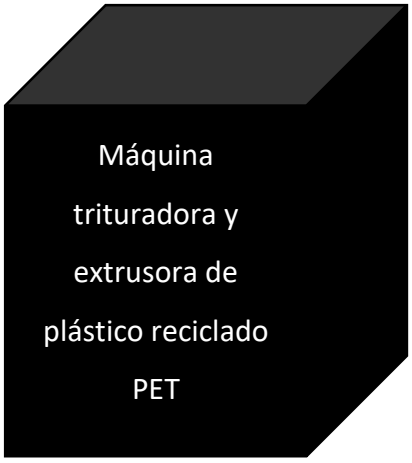
- Control

Energía

- Eléctrica
- Mecánica

Materia

- Plástico PET
- Polvo contaminante



SALIDAS

Señales

- Información

Energía

- Locomoción del Sistema
- Calor
- Vibración
- Ruido

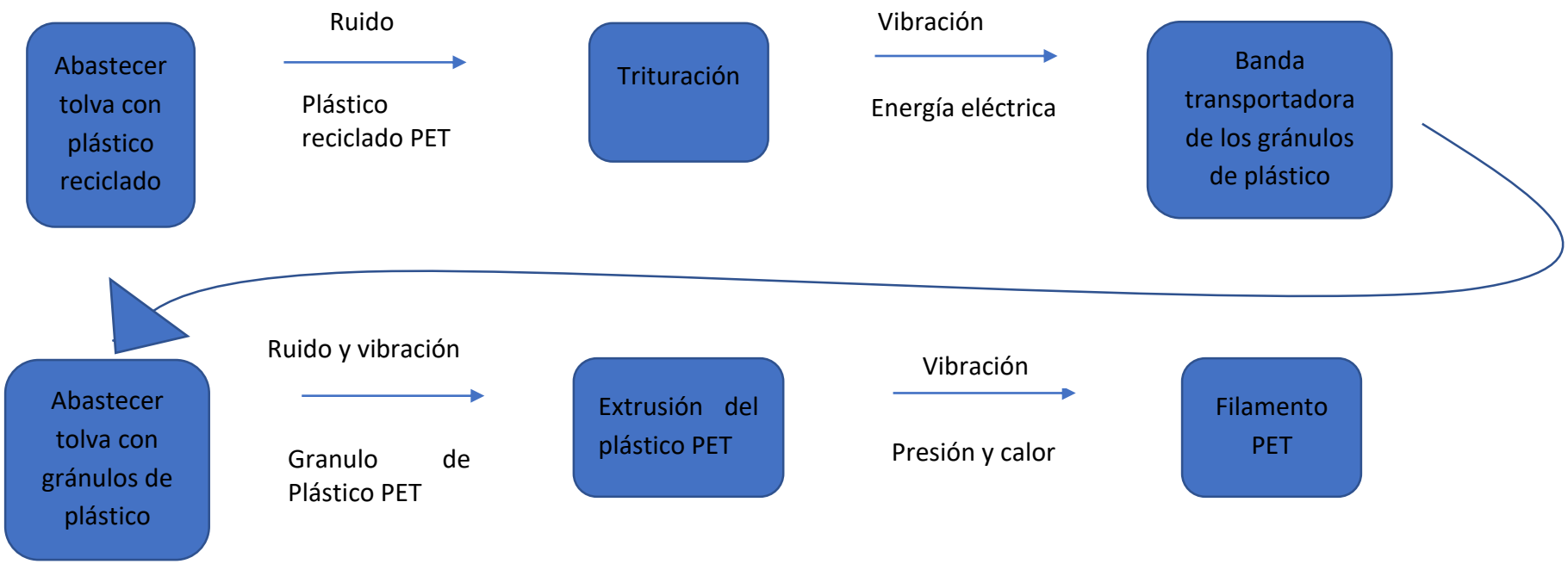
Materia

- Carrete de filamentos PET
- Trituración de plástico PET

Fuente: Elaboración Propia

3.4. Caja de Funciones

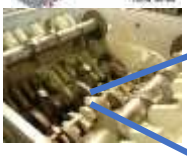
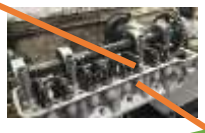
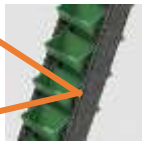
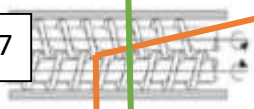
Figura 19: Matriz funcional



Fuente: Propia

3.5. Matriz Morfológica

Tabla 8:Matriz Morfológica

Funciones	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Tolva para Plástico reciclado	8	8	9
Transmisión	9	9	8
Trituración	9 	8 	9
Faja transportadora	8	9	7 
Extrusión	7 		8
Accionamiento	8	9	7

Fuente: Propia

A continuación, se presenta una tabla con la sumatoria del puntaje obtenido de las opciones elegidas para cada función de los 3 diseños:

Tabla 9:Puntaje de los conceptos de solución de la matriz morfológica

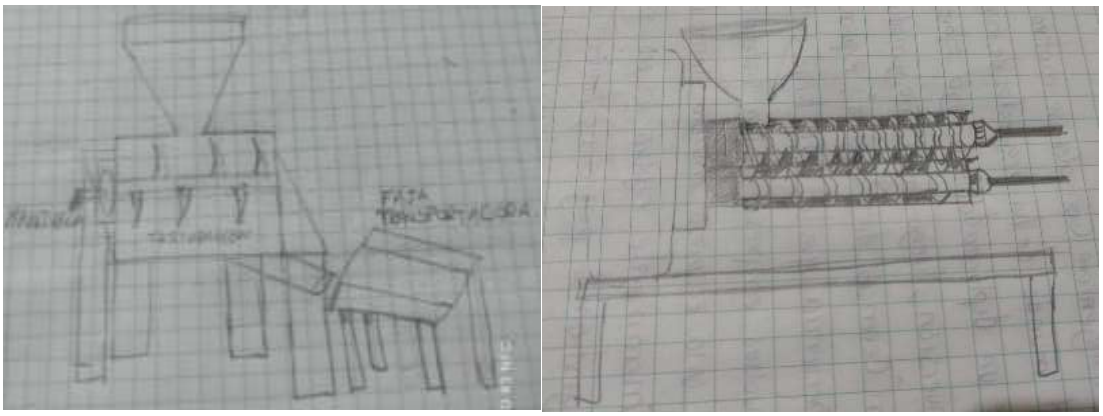
	Conceptos de Solución		
Función	Concepto de solución 1- Verde	Concepto de solución 2- Anaranjado	Concepto de solución 3- Azul
Tolva para plástico reciclado	8	8	9
Transmisión	8	9	9
Trituración	9	8	9
Faja transportadora	8	7	9
Extrusión	7	7	8
Accionamiento	8	8	9
TOTAL	48	47	53

Fuente: Propia

3.5.1. Concepto de Solución 1

El concepto de solución 1, emplea una tolva en forma de embudo para la recolección de botellas recicladas plásticas PET, obtiene una transmisión por cadena, también el sistema de trituración con cuchillas curvas, además que contiene una faja transportadora simple que llevan la trituración del plástico a la tolva del sistema de extrusión, el sistema de extrusión es de doble tornillo para la fabricación del filamento PET y finalmente todo su accionamiento es por manivela y motor eléctrico.

Figura 20:Solución 1



Fuente: Propia

3.5.2. Concepto de Solución 2

El concepto de solución 2, emplea una tolva en forma de embudo con la parte superior en forma rectangular para la recolección de botellas recicladas plásticas PET, obtiene una transmisión por correa, también el sistema de trituración con cuchillas rectas, además que contiene una faja transportadora escalonada que llevan la trituración del plástico a la tolva del sistema de extrusión, el sistema de extrusión es de doble tornillo para la fabricación del filamento PET y finalmente todo su accionamiento es por manivela y motor eléctrico.

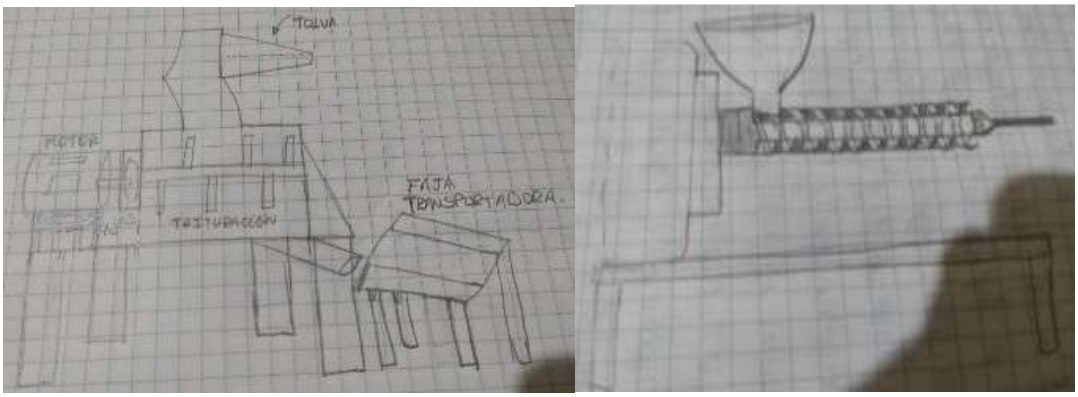
Figura 21:Solución 2

Fuente: Propia

3.5.3. Concepto de Solución 3

El concepto de solución 3, emplea una tolva en forma de “L” para la recolección de botellas recicladas plásticas PET, obtiene una transmisión por fajas, también el sistema de trituración con mazo de golpe, además que contiene una faja transportadora asegurada que llevan la trituración del plástico a la tolva del sistema de extrusión, el sistema de extrusión es de simple tornillo para la fabricación del filamento PET y finalmente todo su accionamiento es solo motor eléctrico,

Figura 22:Solución 3



Fuente: Propia

3.6. Evaluación Técnica

Empleando los títulos de los conceptos de solución mencionados en el análisis de la matriz morfológica, se hará un estudio técnico de cada opción presentada, para este estudio se tomó en cuenta criterios valorizados entre 1 y 10, donde 10 es muy óptimo y 1, no óptimo.

Tabla 10:Puntaje de la evaluación técnica de los conceptos de solución

Función	Conceptos de Solución		
	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3
Ahorro de energía	9	9	8
Facilidad de fabricación	9	7	8
Potencia	7	7	9
Transporte	9	7	8
Nivel de ruido	8	7	9
Mantenimiento	7	8	8
TOTAL	49	45	50

Fuente: Propia

3.7. Dimensionamiento para el sistema triturador:

3.7.1. Motor eléctrico

La selección del motor adecuado está determinada por la potencia y el par requeridos por el sistema. El punto crítico de la máquina trituradora es el par requerido, ya que se necesita una fuerza sobre las cuchillas para cortar el material. Por tanto, el paso inicial es determinar la fuerza necesaria para cortar el material.

El área de la sección de la botella se puede determinar en el punto más fuerte del material, que es el cuello. Se debe realizar una medición de los diámetros interior y exterior para encontrar el área de la sección mediante la Ecuación 3:

Ecuación 3:Área de la sección de la botella

$$S_{cpet} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

donde D es el diámetro exterior y d es el diámetro interior.

$$S_{cpet} = \frac{\pi(25^2 - 22^2)}{4}$$

$$S_{cpet} = 110{,}72\ cm$$

El cálculo de la carga aplicada requerida para romper el material se basa en la resistencia a la rotura "τrup" del material a triturar, de acuerdo con la Ecuación 4:

Ecuación 4:Fuerza Requerida

$$F = \tau\text{rup} * S_{cpet}$$

Considerando la resistencia a la rotura de la botella de PET (τrup = 25 MPa):

$$F = 25\text{MPa} * 110{,}72\ \text{cm}$$

$$F = 280\ N$$

Con la fuerza F, se calcula el par en el eje, mediante la suma de la fuerza de cada hoja FT, por la ecuación 5:

Ecuación 5:Par torsor requerida en el eje

$$T_{req} = FT * r$$

donde r es la distancia desde la fuerza al centro del eje. De esta forma, con el par necesario en el sistema, es posible definir la cantidad de reducciones necesarias, así como el tipo de motor para satisfacer la demanda.

El alimentador de la máquina se ha ajustado a 200 mm de largo, suficiente para coloque una botella de PET en posición vertical. Considerando una situación muy desfavorable e inusual, sería posible lanzar 8 cuellos alineados en el alimentador. Dado el desfase entre cuchillas consecutivas, de los 8 cuellos que encajan en el alimentador, 5 de ellos se cortarían al mismo tiempo por las cuchillas. Entonces, la fuerza total requerida para cortar estos 5 cuellos de botella es FT = 5 × 280 = 1400 N, también considerando el radio de la hoja de r = 60 mm.

$$T_{req} = 1400 * 0.06 = 84\ Nm$$

El par de salida del motor se define mediante la ecuación 6:

Ecuación 6:Par torsor de salida del motor

$$T_{motor} = \frac{H * 716}{W}\ (kgf.m)$$

donde H es la potencia del motor, en hp (considerando ya la eficiencia / rendimiento) y w es la rotación en RPM.

Para tal valor de par, se necesita un motor muy potente o un kit de reducción para obtener un par mayor en la salida. En un primer análisis se consideró un motor de 1.5 hp, sin embargo, debido al bajo par del motor, fueron necesarias muchas reducciones.

Debido a la gran cantidad de reducciones, se descartó este motor, optando por un motor de 3.0 HP más robusto, con 2 polos, 3600RPM y una eficiencia mínima del 82.5% (WEG, 2017).

Por lo tanto, se consideró un conjunto con dos reducciones y un motor. Así, considerando la eficiencia mínima, tenemos, a través de la Ecuación 6, el par motor.

$$T_{motor} = \frac{2{,}475 * 716}{3600}\ (kgf.m) = 0{,}4923 kgf.m = 4{,}83\ N.m$$

Dado el par en la salida del motor Tmotor = 4.83 Nm y el par requerido Treq = 84 Nm, se dimensionan dos juegos de engranajes para realizar dicha reducción.

3.7.2. Engranaje

3.7.2.1.Doblado de engranajes rectos

El esfuerzo de flexión en el engranaje recto se obtiene mediante la ecuación 7 de AGMA / AISI, 2001-D04:

Ecuación 7:Esfuerzo de flexión

$$\sigma = W_t * K_o * K_v * K_s * \frac{P_d}{F} * \frac{Km * k_b}{J}$$

Donde Wt en lbf está definido por la ecuación 8:

Ecuación 8:Trabajo del engranaje

$$W_t = \frac{3300H}{V}$$

Donde H es la potencia del motor en hp y V es la velocidad lineal primitiva en pies/min.

La velocidad de la línea primitiva en pies / min se puede encontrar mediante la ecuación 9:

Ecuación 9:Velocidad de la línea primitiva

$$V = \frac{\pi * d * n}{12}$$

Donde d es el diámetro primitivo en pulg, y n es la rotación de entrada en rev/ min.

El factor de sobrecarga Ko se puede obtener de la tabla 11, que se relaciona con la fuente de energía, que puede ser uniforme, choques moderados o incluso intensos.

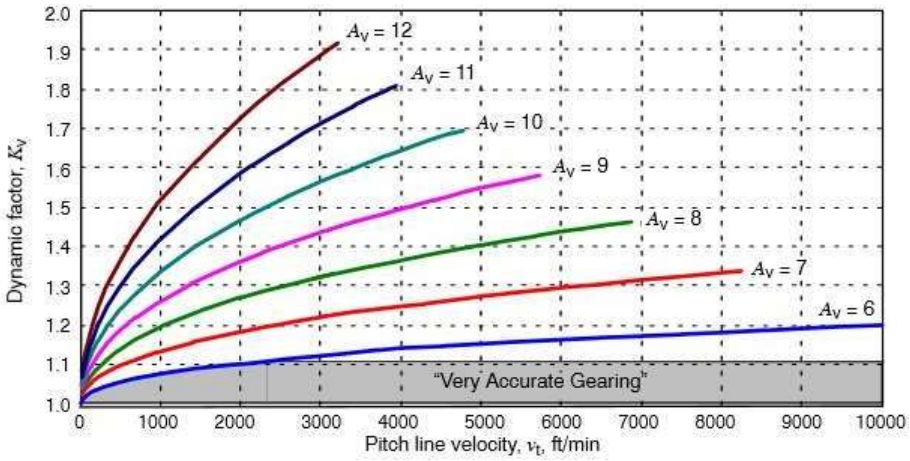
Tabla 11:Factor de sobrecarga

Fuente de alimentación	Uniforme	Choques moderados	Choques intensos
Uniforme	1	1,25	1,75
choque leve	1,25	1,5	2
choque medio	1,5	1,75	2,25

Fuente: ANSI / AGMA 2001-D04.

El factor dinámico Kv se puede definir a través de la Figura 3.1, que se realizó con los datos empíricos de AGMA 2001-D04.

Figura 23:Factor Kv dinámico



Fuente: ANSI / AGMA 2001-D04.

Las ecuaciones para estas curvas vienen dadas por las ecuaciones 10 a 12.

Ecuación 10:Factor dinámico Kv

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{V}}{A}\right)^B$$

Ecuación 11:Variable A del factor dinámico Kv

$$A = 50 + 56(1 - B)$$

Ecuación 12:Variable B del factor dinámico Kv

$$B = 0{,}25(12 - Q_v)^{\frac{2}{3}}$$

Los puntos extremos de las curvas que se muestran en la figura 23 se dan en pies / min y se definen mediante la ecuación 13:

Ecuación 13:Velocidad de línea de paso máximo

$$V_{tmáx} = A + (Q_v - 3)^2$$

Donde Qv es el factor asociado con la calidad del engranaje. Los engranajes comerciales tienen valores entre 2 y 7, los engranajes de calidad especial tienen valores entre 8 y 12.

Continuación luego de mostrar las formulas considerables, se calcula la tasa de reducción del par para el motor viene dada por la ecuación 14:

Ecuación 14:Tasa de reducción para el motor

$$Reducción = \frac{84}{4{,}83} = 17{,}39$$

- Torques en el primer par:

  El piñón: Tmotor = Tp1 = 4.830 Nm.

  La corona: Tc1 = 24,286 Nm

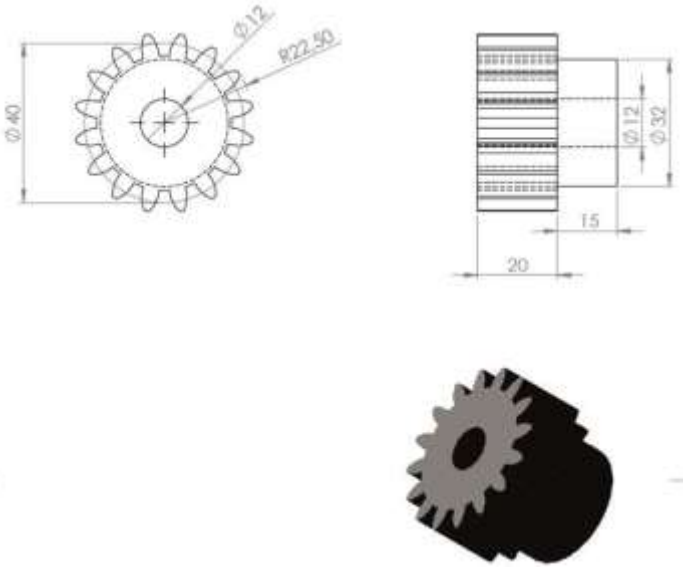
- Torques en el segundo par:

  El piñón: Tc1 = Tp2 = 24.286 Nm.

  La corona: Tc2 = 85.020 Nm

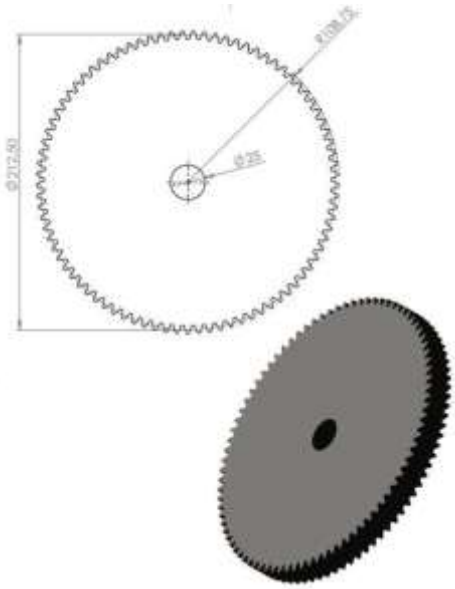
El piñón de 16 dientes seleccionado, catálogo ATI (2013). El código del engranaje es BE401025016, acero SAE 1040, sin tratar, con de = 45 mm, dp = 40.0 mm, dm = 32 mm, $D1$ = 12 mm, A = 35mm y B = 20mm. La geometría seleccionada se representa en la figura 24.

Figura 24:Piñón del primer par de engranajes



La corona seleccionada de 85 dientes es del catálogo ATI (2013). El código del engranaje es BE401025085, acero SAE 1040, sin tratar, con de = 217.5 mm, dp = 212.5 mm, $D1$ = 25 mm, A = 35mm y B = 20mm. La geometría seleccionada se representa en la figura 25.

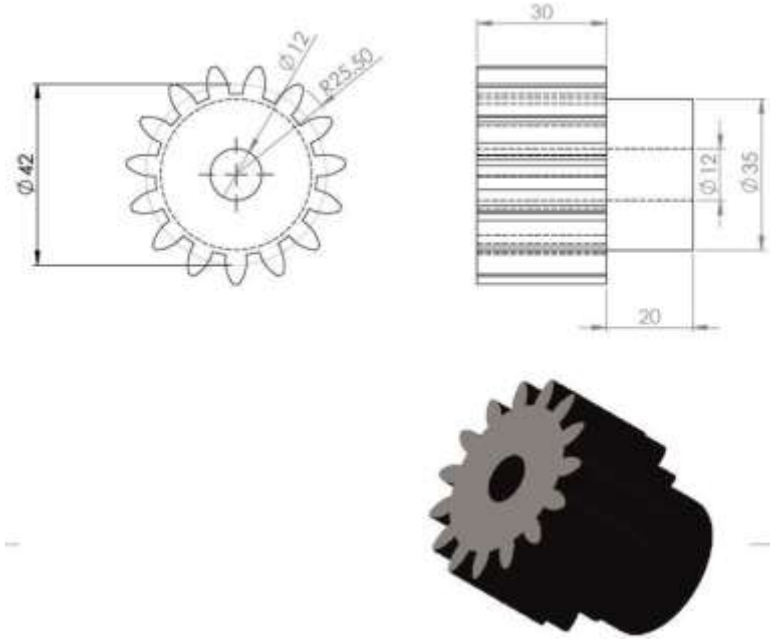
Figura 25:Corona del primer par de engranajes



El número de dientes de la primera y segunda reducción fue diferente, incluso el factor de la reducción es la misma. Esto ocurrió porque, en la segunda reducción, se utilizó un módulo más grande con el fin de obtener un diámetro interno mayor para adaptar el engranaje al diámetro del eje.

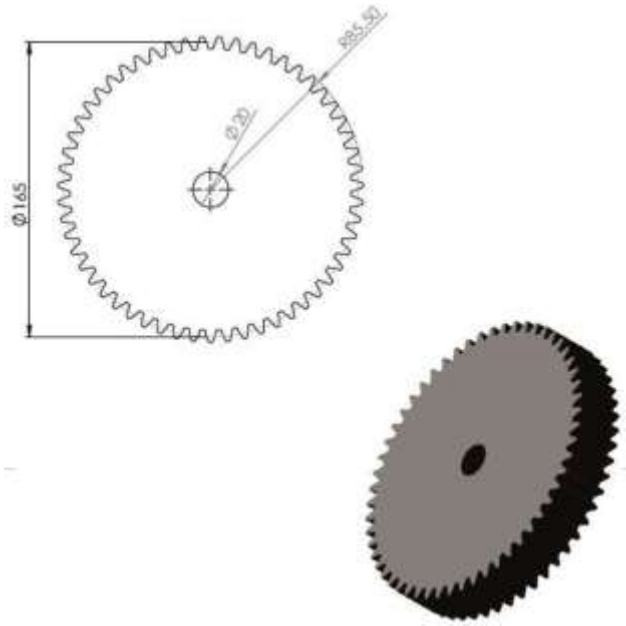
El piñón seleccionado tiene 15 dientes, catálogo ATI (2013, ed1). El código de engranaje es BE401030015 de acero SAE 1040, sin tratar, con de = 48 mm, dp = 42 mm, dm = 33 mm, $D1$ = 12 mm, A = 50mm y B = 30mm. La geometría seleccionada se representa en la figura 26.

Figura 26:Piñón del segundo par de engranajes



La corona seleccionada de 55 dientes es del catálogo ATI (2013, ed1). El código del engranaje es BE411030055, acero SAE 1040, sin tratar, con de = 171.0 mm, dp = 165.0 mm, $D1$ = 20 mm A = 50mm y B = 30mm. La geometría seleccionada se representa en la Figura 27.

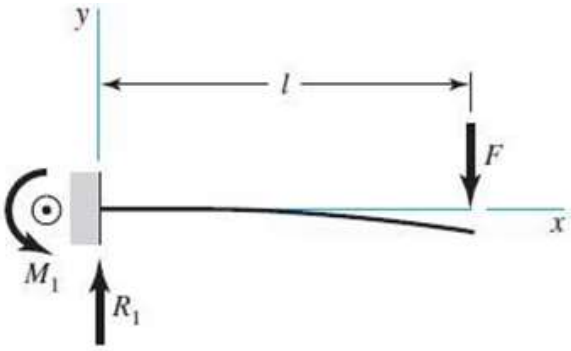
Figura 27:Corona del segundo par de engranajes



3.7.3. Hojas de corte

Cada pala se modela como una viga ondulada de acuerdo con la figura 28:

Figura 28:Modelo para calcular los esfuerzos y el momento en las palas



Fuente: Budynas, 2016

El esfuerzo solicitado en la hoja viene dado por la Ecuación 15:

Ecuación 15:Esfuerzo de la hoja

$$\sigma = \frac{M_c}{I}$$

Donde M es el momento flector, c es la distancia desde el borde superior o inferior a la línea neutra y I es el momento de inercia. El momento flector de la figura 3.14 se define mediante la ecuación 16:

Ecuación 16:Momento Flector

$$M = F * (x - 1)$$

Comparando la tensión solicitada con la tensión del flujo de material, se verifica si la hoja está bien dimensionada.

Otro punto a analizar es la deflexión, que podemos analizar su valor máximo porque es lo que importa en este momento, definido por la Ecuación 17:

Ecuación 17:Deflexión

$$y = \frac{Fl^3}{3 * E * I}$$

Donde E es el módulo de elasticidad, I es el momento de inercia, F es la fuerza que actúa sobre la pala y l es la distancia entre el punto de engarzado y el final.

El material seleccionado para la hoja es acero inoxidable, para evitar la corrosión y en consecuencia la reducción de espesor, lo que dificulta el funcionamiento del sistema. Las constantes físicas del acero inoxidable adoptado se muestran en la tabla 12.

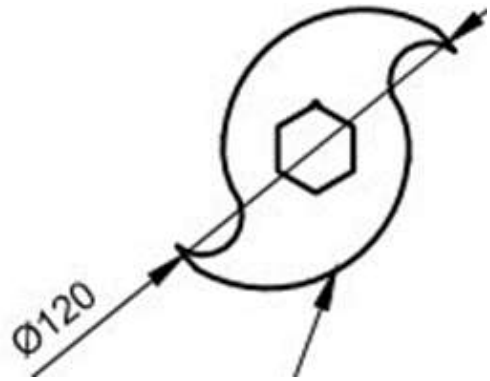
Tabla 12:Constantes físicas del acero inoxidable (18-8)

Material	**Módulo de Elasticidad(GPa)**	**Coeficiente de Poisson v**
Acero inoxidable (18-8)	190,00	0.305

Fuente: Budynas, 2016

La definición de la geometría se basó en la geometría mostrada en el sitio de Precious Plastic de una máquina trituradora de botellas tipo PET, según el modelo de la Figura 28.

Figura 29:Modelo de cuchilla de corte



Con el modelo de pala seleccionado, tiene la geometría definida de la sección transversal, que se utilizará para los cálculos de fuerza de reacción y momento flector. La sección transversal de la figura 4.19 es un rectángulo de lados de 5 x 40 mm (bxh). Por tanto, con la ayuda de las ecuaciones 15, 16 y 17 y sabiendo que la fuerza es de 280 N, los resultados se obtienen como se muestra en la tabla 13:

Tabla 13:Resultados obtenidos para el dimensionamiento de las palas

Momento máximo de flexión	Momento de inercia	Esfuerzo enviado (Mpa)	Deflexión(m)	Tensión de fluencia (Mpa)
0,2	2,67*10-8	0,15	1,18*10-6	241

Según las salidas de la Tabla 4.17, comparando la tensión a la que está sometida la pala con la tensión del flujo de material, se puede verificar que el dimensionamiento es satisfactorio. Así como la deflexión es admisible ya que es un valor muy bajo.

Un accesorio importante para permitir triturar el material son los espaciadores de cuchillas y las cuchillas fijas. Los espaciadores están intercalados entre las palas y se muestran en la figura 30. Las palas fijas no se mueven y están fijadas a la caja del marco que se representa en la figura 31 y los espaciadores en la figura 32

Figura 30:Modelo de espaciador de cuchilla de corte

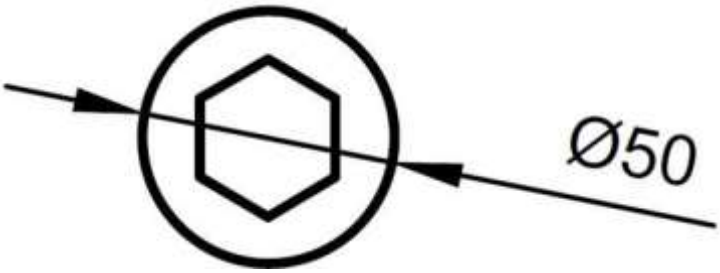


Figura 31:Cuchillas fijas

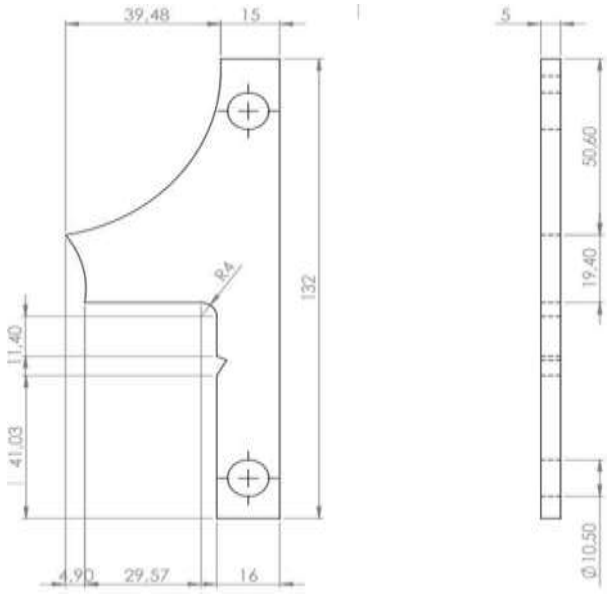
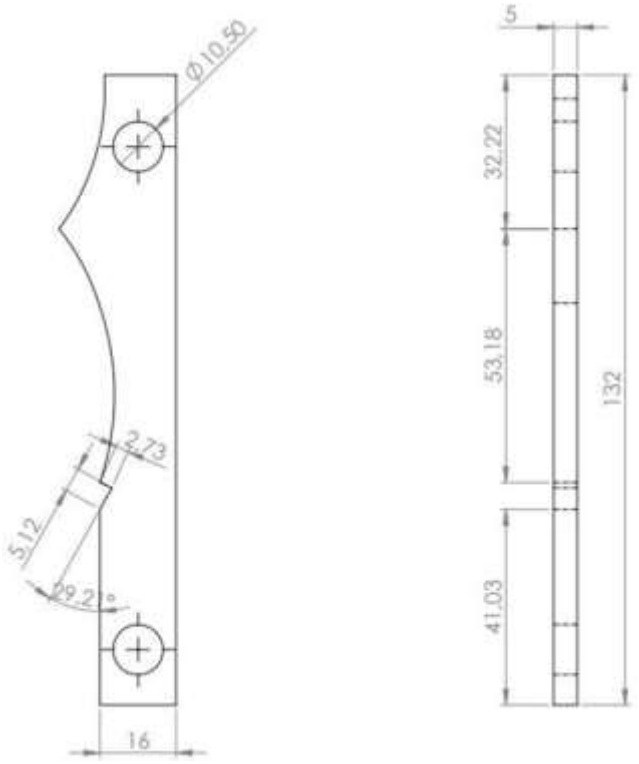


Figura 32:Espaciadores de hoja fija



3.8. Dimensionamiento para el sistema extrusor

3.8.1. Necesidades para la extrusora

En primer lugar, se definieron algunos requisitos del proyecto, basados en el acoplamiento de la máquina extrusora con la trituradora que recibe el plástico triturado para la extrusión de filamentos PET, de la siguiente manera:

- Mayor cantidad de productos estandarizados;
- La potencia eléctrica total 360W;
- Flujo másico de material termoplástico hasta 1 kg / h;
- Dimensiones 60x30x40 cm;
- Peso máximo hasta 30 kg (Correos, 2016);
- Material de husillo, cañón, embudo, etc. acero carbono;
- Motor de corriente continua controlado por PWM en lazo abierto;
- Resistencias eléctricas controladas por controlador PID;
- Diámetro del perfil del molde 1,75 mm;
- Permitir el uso de material PET reciclado;

- Utilizar la mayor cantidad de piezas estandarizadas, que se comercializan en el mercado;
- Siga los requisitos establecidos en las normas reglamentarias para garantizar la seguridad del equipo

3.8.2. Potencia de calefacción eléctrica

Para el dimensionamiento de la potencia del sistema de calefacción se asumirá un caudal másico de material plástico PET, totalizando 1 kg / h, cuyo valor se encuentra como el máximo para una máquina económica de extrusión. El material plástico es transportado por el husillo, aumentando gradualmente desde la temperatura ambiente de 25 °C a la temperatura de 240 °C.

Asumiendo las consideraciones siguientes, tenemos la Ecuación 18:

Ecuación 18:Calor de calefacción

$$\dot{Q}_{calefacción} = m * \left(h_{plástico} - h_{ambiente}\right)$$

Las consideraciones asumidas son conservadoras, ya que desconocen el efecto del trabajo del motor en el proceso de plastificación, lo que lleva a un dimensionamiento por encima de la capacidad requerida, pero es una forma segura de estimar la potencia eléctrica máxima para el funcionamiento. Considerando los valores de entalpía ya mostrados en la figura 33, siendo ambiente (Ambiente = 25 ° C) = 0 kJ/kg^{-1}, $h_{plástico}$ ($T_{plástico}$ = 240 ° C) = 381.21 kJkg-1 y el caudal másico citado, tenemos una potencia eléctrica de Qcalefacción = 105.89 W.

Figura 33:Entalpias con el material ABS

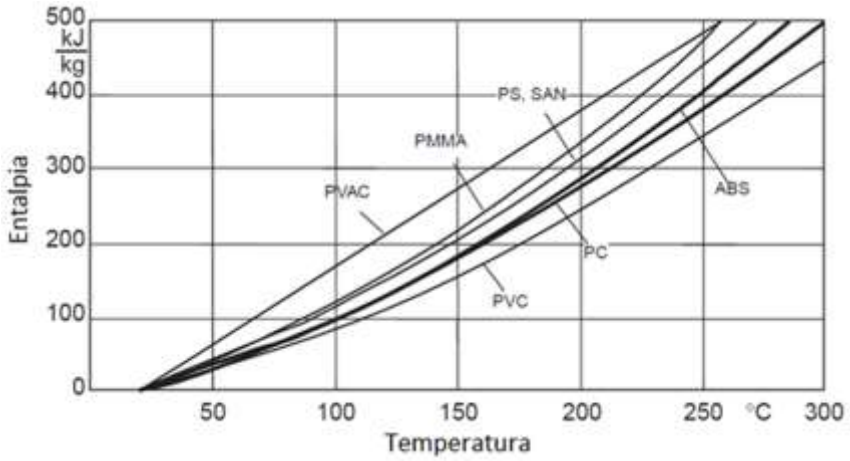
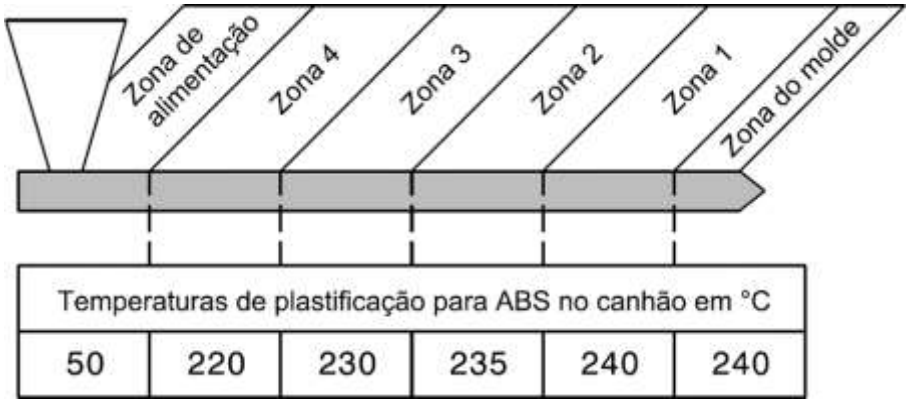


Figura 34:Perfil de temperatura para material ABS



3.9. Diseño de la máquina trituradora-extrusora de plástico reciclado

Para el diseño de los elementos, equipos y sistemas de la máquina se utilizó el software de ingeniería SolidWorks, y para una mejor calidad de imagen se empleó la herramienta de renderizado. En Anexos se adjuntan los planos de cada pieza diseñada.

3.9.1. Diseño de la tolva de alimentación

Figura 35:Tolva de alimentación de la extrusora

Fuente: Propia

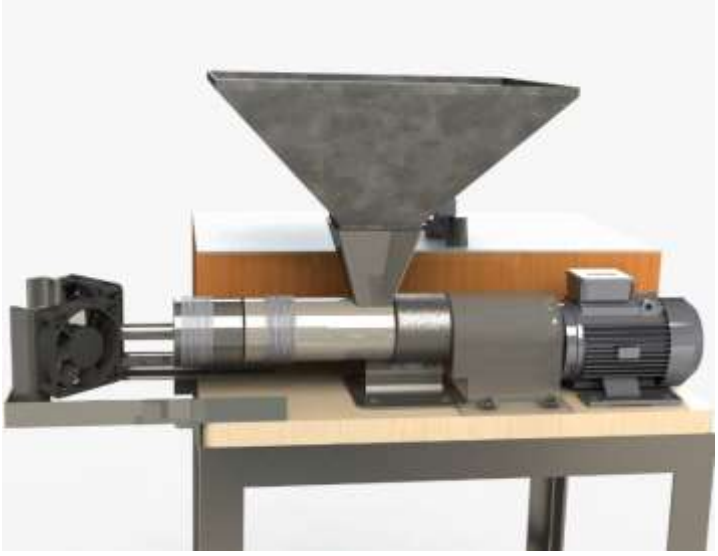
3.9.2. Diseño del motor de la extrusora

Figura 36:Motor de la extrusora

Fuente: Propia

3.9.3. Diseño de la estructura de la máquina extrusora

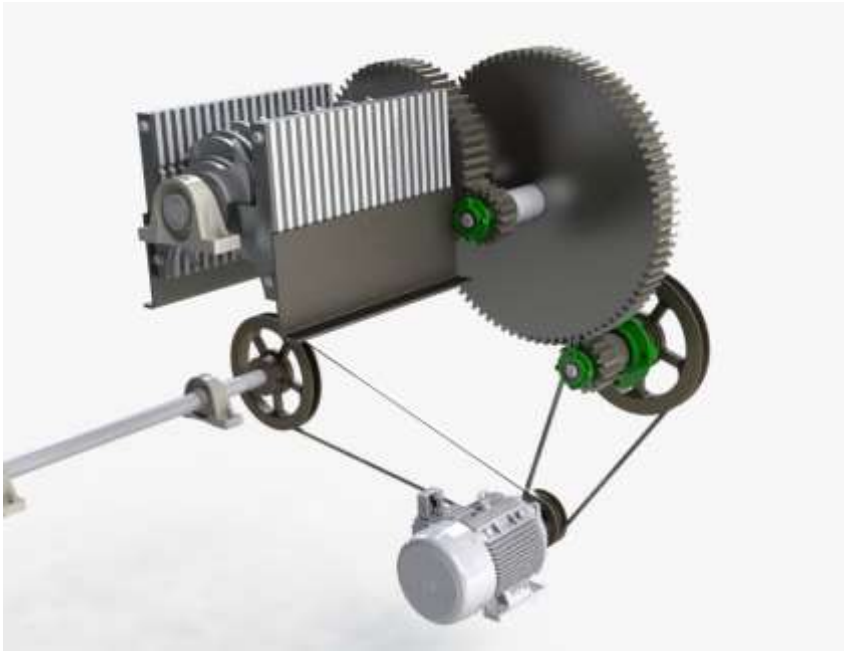
Figura 37:Estructura de la máquina extrusora



Fuente: Propia

3.9.4. Diseño del sistema de transmisión mecánico de la trituradora

Figura 38:Sistema de transmisión mecánico de la trituradora



Fuente: Propia

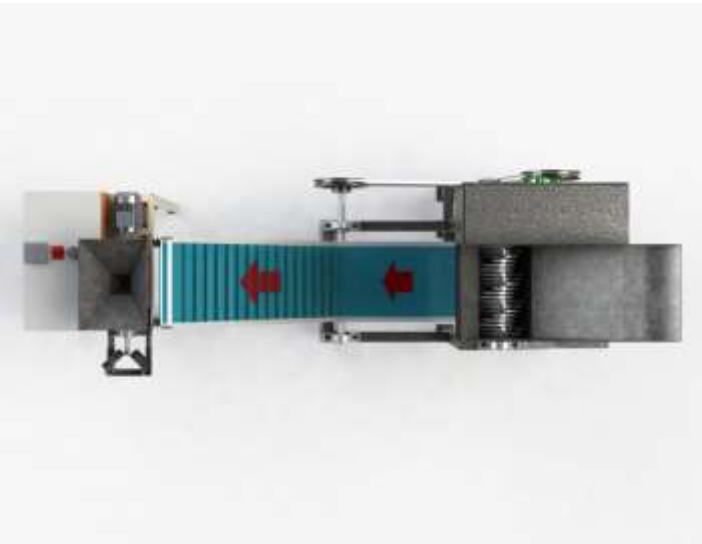
3.9.5. Diseño de las cuchillas de trituración

Figura 39:Diseño de las cuchillas de trituración

Fuente: Propia

3.9.6. Diseño general de la máquina trituradora-extrusora

Figura 40:Vista superior de la máquina trituradora-extrusora



Fuente: Propia

Figura 41:Vista de Perfil de la máquina trituradora-extrusora

Fuente: Propia

Figura 42:Vista de perfil posterior de la máquina trituradora-extrusora

Fuente: Propia

3.9.7. Estudio de fatiga de elementos críticos de la máquina trituradora-extrusora

Los elementos críticos sometidos a un estudio de fatiga fue el tornillo de extrusión y el eje de cuchillas. A continuación de describirá la simulación estática debido a las bajas revoluciones para el funcionamiento de estos elementos analizados:

3.9.7.1.Simulación estática del tornillo de extrusión

Debido a las bajas revoluciones que trabaja el tornillo de extrusión de analizo mediante un análisis estático para poder evaluar el análisis de las cargas.

Tabla 14:Información del modelo del tornillo de extrusión

Nombre del modelo: EXT004

Configuración actual: A

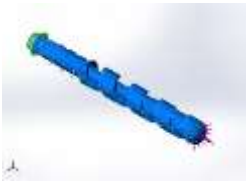
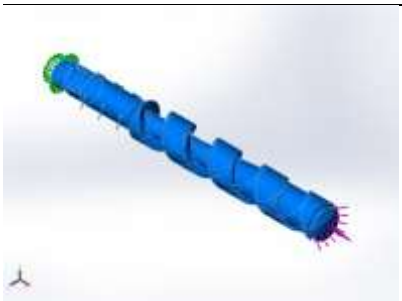
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	**Tratado como**	**Propiedades volumétricas**	**Ruta al documento/Fecha de modificación**
Revolve3 	**Sólido**	**Masa:0.283932 kg** **Volumen:3.68741e-05 m^3** **Densidad:7700.04 kg/m^3** **Peso:2.78253 N**	**D:\PROJECTS\TRABAJOS DE INVESTIGACION\EXTRUSORA-TRITURADORA ALVARADO\EXTRUSORA-TRITURADORA ALVARADO\EXTRUSORA\EXT004.SLDPRT** **Nov 7 11:05:16 2021**

Tabla 15:Propiedades de estudio del tornillo de extrusión

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (D:\PROJECTS\TRABAJOS DE INVESTIGACION\EXTRUSORA-TRITURADORA ALVARADO\EXTRUSORA-TRITURADORA ALVARADO\EXTRUSORA)

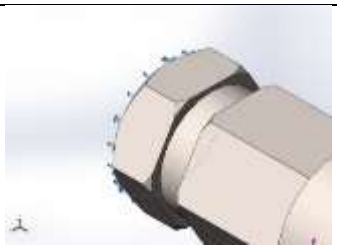
Fuente: Propia

Tabla 16:Propiedades del material tornillo de extrusión

Referencia de modelo	**Propiedades**		**Componentes**
	**Nombre:**	Acero aleado	Sólido 1(Revolve3)(EXT004)
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal	
	Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.	
	Límite elástico:	6.20422e+08 N/m^2	
	Límite de tracción:	7.23826e+08 N/m^2	
	Módulo elástico:	2.1e+11 N/m^2	
	Coeficiente de Poisson:	0.28	
	Densidad:	7700 kg/m^3	
	Módulo cortante:	7.9e+10 N/m^2	
	Coeficiente de dilatación térmica:	1.3e-05 /Kelvin	

Fuente: Propia

Tabla 17:Sujeciones del tornillo de extrusión

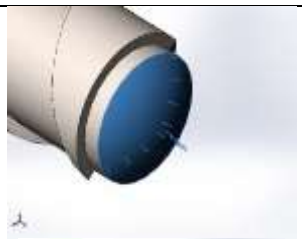
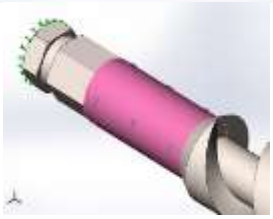
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		**Entidades:** 1 cara(s) **Tipo:** Geometría fija

Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	44.7885	-0.0611572	-0.0783634	44.7886
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Fuente: Propia

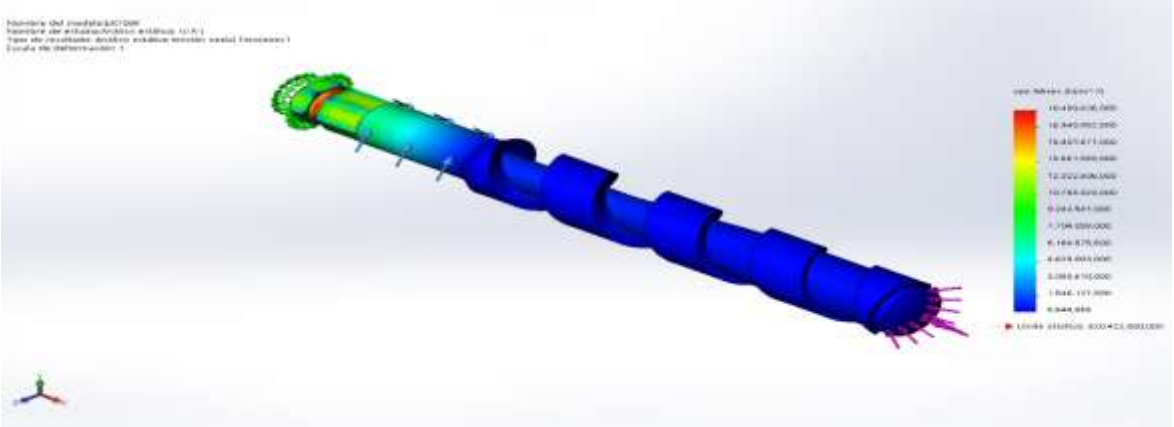
Tabla 18:Cargas del tornillo de extrusión

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		**Entidades:** 1 cara(s) **Tipo:** Aplicar fuerza normal **Valor:** 5 kgf
Torsión-1		**Referencia:** Cara< 1 > **Tipo:** Aplicar momento torsor **Valor:** 3 N.m

Fuente: Propia

Tabla 19:Análisis de tensiones del tornillo de extrusión

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	6.644,865 N/m^2 Nodo: 17696	18.480.436,000N/m^2 Nodo: 6560

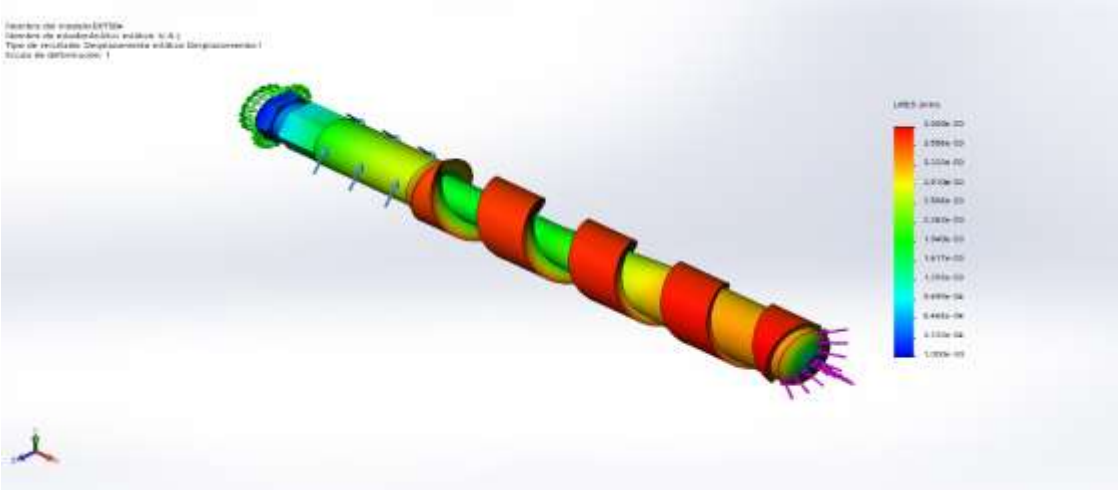


EXT004-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Fuente: propia

Tabla 20:Análisis de desplazamientos del tornillo de extrusión

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 23	3.880e-03 mm Nodo: 550

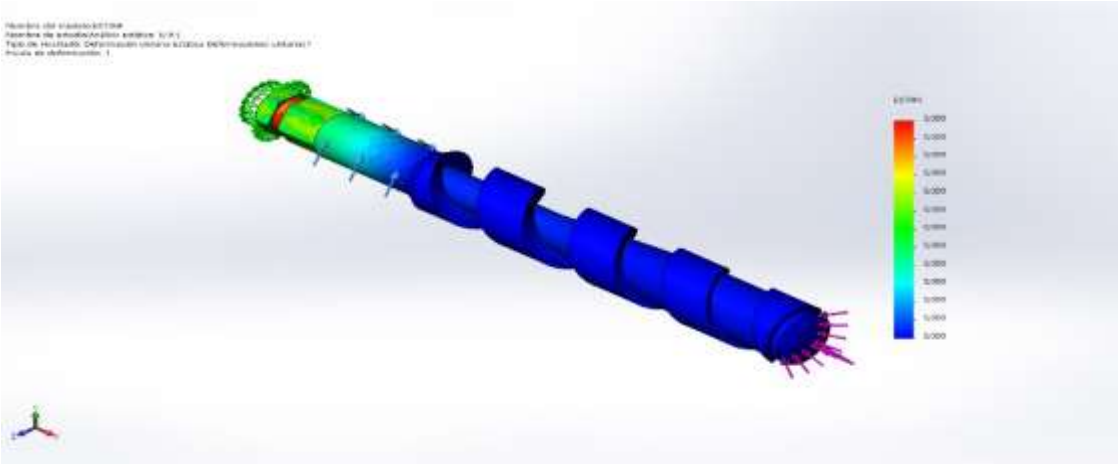


EXT004-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Fuente: propia

Tabla 21:Análisis de deformaciones unitarias del tornillo de extrusión

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,000 Elemento: 4464	0,000 Elemento: 2669

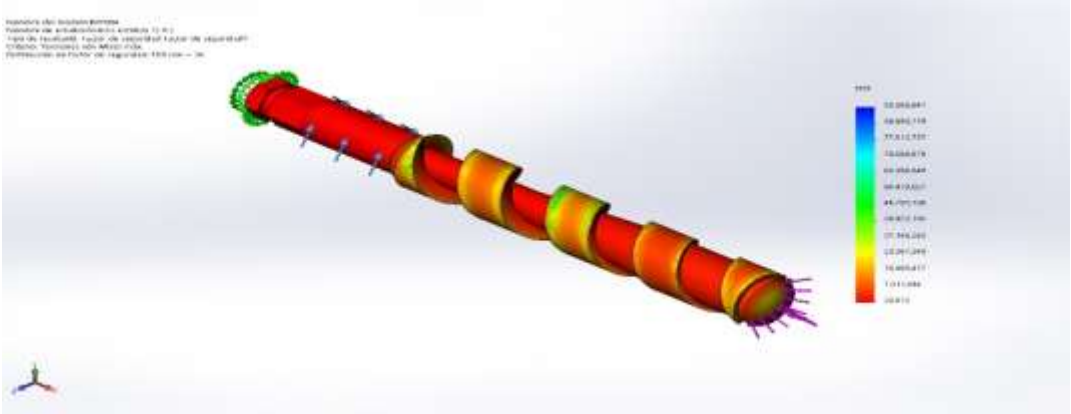


EXT004-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Fuente: propia

Tabla 22:Análisis del factor de seguridad del tornillo de extrusión

Nombre	**Tipo**	**Mín.**	**Máx.**
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	33,572 Nodo: 6560	93.368,641 Nodo: 17696



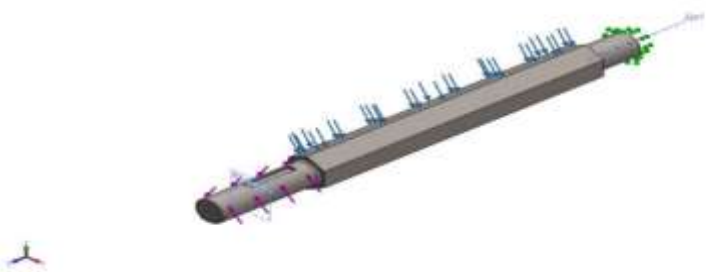
EXT004-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Fuente: propia

3.9.7.2.Simulación estática del eje de cuchillas de la trituradora

Debido a las bajas revoluciones que trabaja el eje de las cuchillas de analizo mediante un análisis estático para poder evaluar el análisis de las cargas.

Tabla 23:Información del modelo del eje de cuchillas



Nombre del modelo: EJE CUCHILLA
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	**Tratado como**	**Propiedades volumétricas**	**Ruta al documento/Fecha de modificación**
Chaflán2	**Sólido**	**Masa:1.12019 kg** **Volumen:0.000142699 m^3** **Densidad:7850 kg/m^3** **Peso:10.9779 N**	**F:\EXTRUSORA-TRITURADORA ALVARADO\TRITURADORA\EJE CUCHILLA.SLDPRT** **Nov 10 21:50:36 2021**

Fuente: Propia

Tabla 24:Propiedades de estudio del eje de cuchillas

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (F:\EXTRUSORA-TRITURADORA ALVARADO\TRITURADORA)

Fuente: Propia

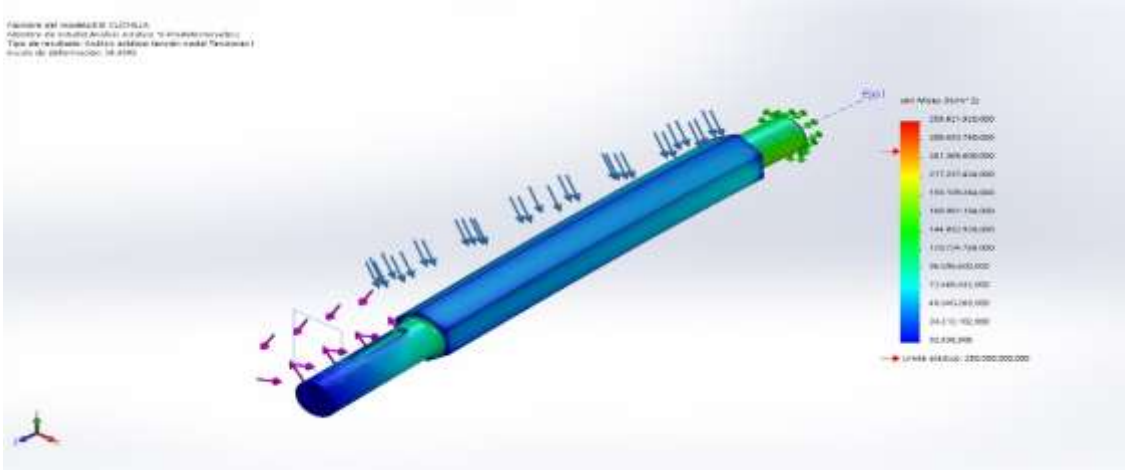
Tabla 25:Propiedades del material eje de cuchillas

Referencia de modelo	**Propiedades**		**Componentes**
	Nombre:	ASTM A36 Acero	Sólido 1(Chaflán2)(EJE CUCHILLA)
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal	
	Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.	
	Límite elástico:	2.5e+08 N/m^2	
	Límite de tracción:	4e+08 N/m^2	
	Módulo elástico:	2e+11 N/m^2	
	Coeficiente de Poisson:	0.26	
	Densidad:	7850 kg/m^3	
	Módulo cortante:	7.93e+10 N/m^2	

Fuente: Propia

Tabla 26:Análisis de tensiones del eje de cuchillas

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	83.936,906 N/m^2 Nodo: 1645	289.621.920,000N/m^2 Nodo: 56

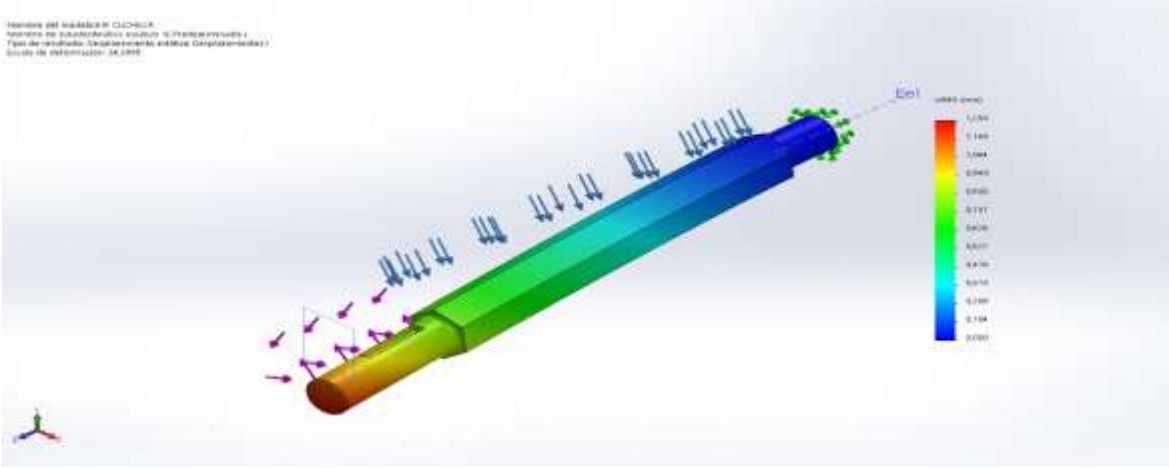


EJE CUCHILLA-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Fuente: Propia

Tabla 27:Análisis de desplazamientos del eje de cuchillas

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 47	1,253 mm Nodo: 63

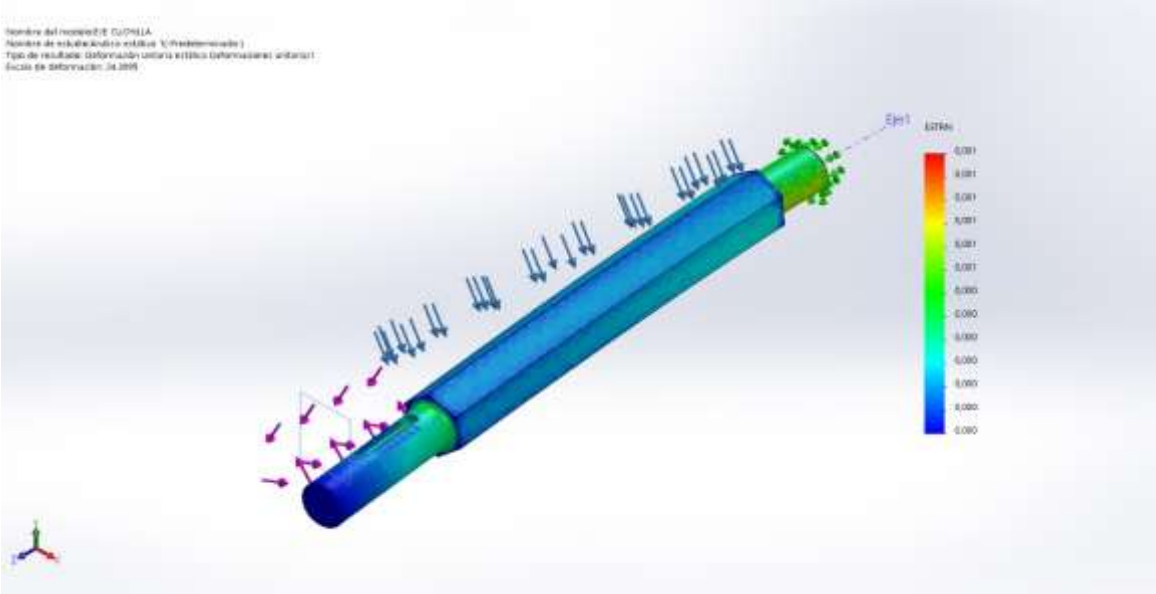


EJE CUCHILLA-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Fuente: Propia

Tabla 28:Análisis de deformaciones unitarias del eje de cuchillas

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,000 Elemento: 17383	0,001 Elemento: 5651

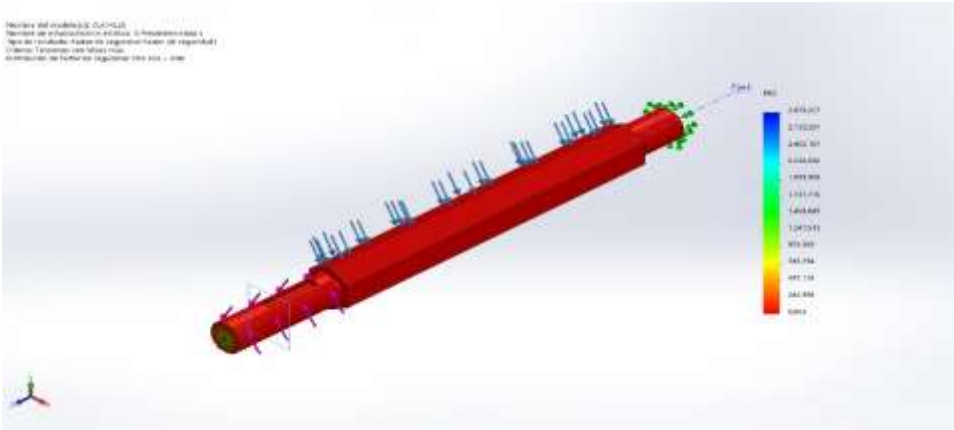


EJE CUCHILLA-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Fuente: Propia

Tabla 29:Análisis del factor de seguridad del eje de cuchillas

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	0,863 Nodo: 56	2.978,427 Nodo: 1645



EJE CUCHILLA-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Fuente: Propia

4. CONCLUSIONES

- Para la selección del diseño a ejecutar de la máquina trituradora-extrusora, se tuvo que evaluar 3 modelos donde el que obtuvo el mejor puntaje en los análisis de solución de la tabla 9 y 10, fue el modelo 3.
- El cálculo por simulación con el software SoliWorks para el factor de seguridad fue por el tipo de tensión de Von Mises, para los elementos de eje de cuchillas de la trituradora y el tornillo de extrusión, obteniendo valores promedios para un desempeño regular de estos elementos mecánicos.
- Para encontrar la potencia de la máquina trituradora y de las cuchillas se basó en el análisis de la parte de mayor resistencia de la botella reciclada de plástico, que fue el cuello de botella.
- El análisis que se realizo fue estático debido a que los elementos como el eje de cuchillas de la trituradora y el tornillo de extrusión, no trabajan a muchas revoluciones para su trabajo y funcionamiento, sin perjudicar la calidad del procedimiento de la máquina.
- Para el análisis de diseño se tuvo que agregar una cinta transportadora por la diferencia de capacidad de tolvas de los dos sistemas, esto quiere decir que la cinta transportadora mantiene un equilibrio de poder distribuir de forma organizaba y sin exceso de material reciclado plástico para la tolva del sistema extrusión.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una investigación sobre las diferentes maquinas trituradoras considerando quesean de buena calidad para completar el proceso de triturado de las botellas PET.
- Se recomienda investigar más el factor de seguridad y procesos de diseño, con la finalidad de poder lograr un óptimo desempeño y dar una mayor fiabilidad de la máquina para su evaluación y mejoras futuras.
- Para obtener una mejor potencia de máquina trituradora y de cuchillas se recomienda observar la parte de mayor resistencia dela botella reciclada para su optimo funcionamiento de la máquina.
- Usando el análisis de cálculo presente se puede establecer distintos diámetros de salida para el filamento para el uso de diversas impresoras 3D.
- Para futuras investigaciones se recomienda realizar una amplia investigación para poder extruir diversos tipos filamentos y no solo el PET, considerando parámetros para cada tipo de filamento termoplástico.

6. REFERENCIAS

Anillo de retencion. (s.f.). smalley. Obtenido de <https: //www.smalley.com/pt-br/guide-deselección-de-anillo-de-retención>

Atibrasil. (2016). COMPONENTES DE TRANSMICION. Obtenido de <http://atibrasil.com.br/wp- content / uploads / 2016/08 / CAT% C3% 81LOGOCOMPONENTSFORTRANSMISSION- JUN-2016-WEB.pdf>

Cojinetes y cojinetes. (5 de noviembre de 2017). brm. Obtenido de <www.brm.com.br>.

Groover, M. (2017). FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA. Mexico: MCGRAW HILL. Obtenido de https://n9.cl/i859l

Makershop. (2017). ¿QUE DIFERENCIA EXISTE ENTRE ESTOS DOS FILAMENTOS PARA IMPRESORA 3D? Obtenido de https://bit.ly/3cFICvo

Morales, R. (2018). DISEÑO Y CONSTRCCION DE UNA MAQUINA RECICLADORA Y EXTRUSORA DEPLASTICO PLA PARA EL OBSERVATORIO ASTRONOMICO DE QUITO DE LA EPN. QUITO. Obtenido de http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19803.

Morataya, J. (2015). PROCESO DE LA IMPRESION 3D COMO APORTE AL DISEÑO GRAFICO. UNIVERCIDAD RAFAEL LANDIVAR, Guatemala. Obtenido de https://bit.ly/2HjVhbR.

Porras, j. (2018). DISEÑO DE UNA MAQUINA RECICLADORA ORIENTADA ALA PRODUCCION DE FILAMENTOS DE PLASTICO ABS PARA LA IMPRESION 3D. lima. Obtenido de https://bit.ly/3kApqBU.

Quemada,L. ,Alcaraz,L.,Ruiz,g,.Rodriguez,R. (2017). REVISION DEL ESTADO DELARTE DE LA FABRICACION DE MULTIMATERIALES, POR MEDIO DE IMPRECION 3D. Obtenido de https://bit.ly/2ZRWSfy

Richart Budynas, Nisbett,J. Keth. (2016). ELEMENTOS DE MAQUINA SHINGLEY. porto alegre: 10 ed.amgh.

Sánchez, F., & Sánchez, R. (2017). PLAN DE NEGOCIOS PARA UNA EMPRESA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS RECICLABLES EN LOS DISTRITOS DE CHICLAYO Y LA VICTORIA. Chiclayo: UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO.

ANEXOS

Figura 43:Tornillo de extrusión

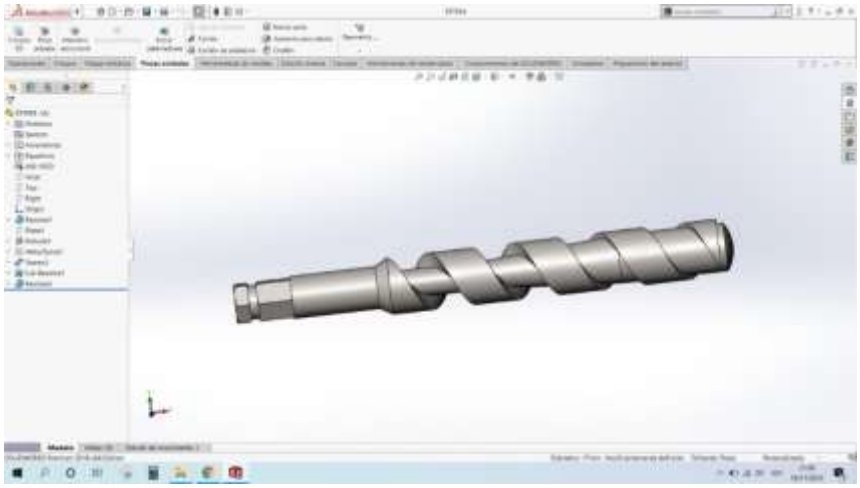


Figura 44:Eje de cuchillas de la trituradora

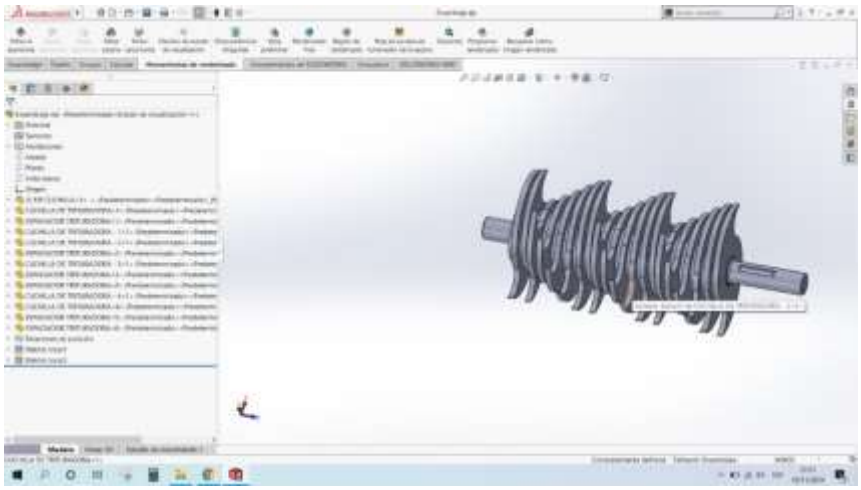


Tabla 30:Información del cálculo de malla del tornillo de extrusión

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	3 mm
Tamaño mínimo del elemento	3 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Tabla 31:Detalles del cálculo de malla en el tornillo de extrusión

Número total de nodos	20659
Número total de elementos	13141
Cociente máximo de aspecto	279.35
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	96.7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	1.03
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh;mm;ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	

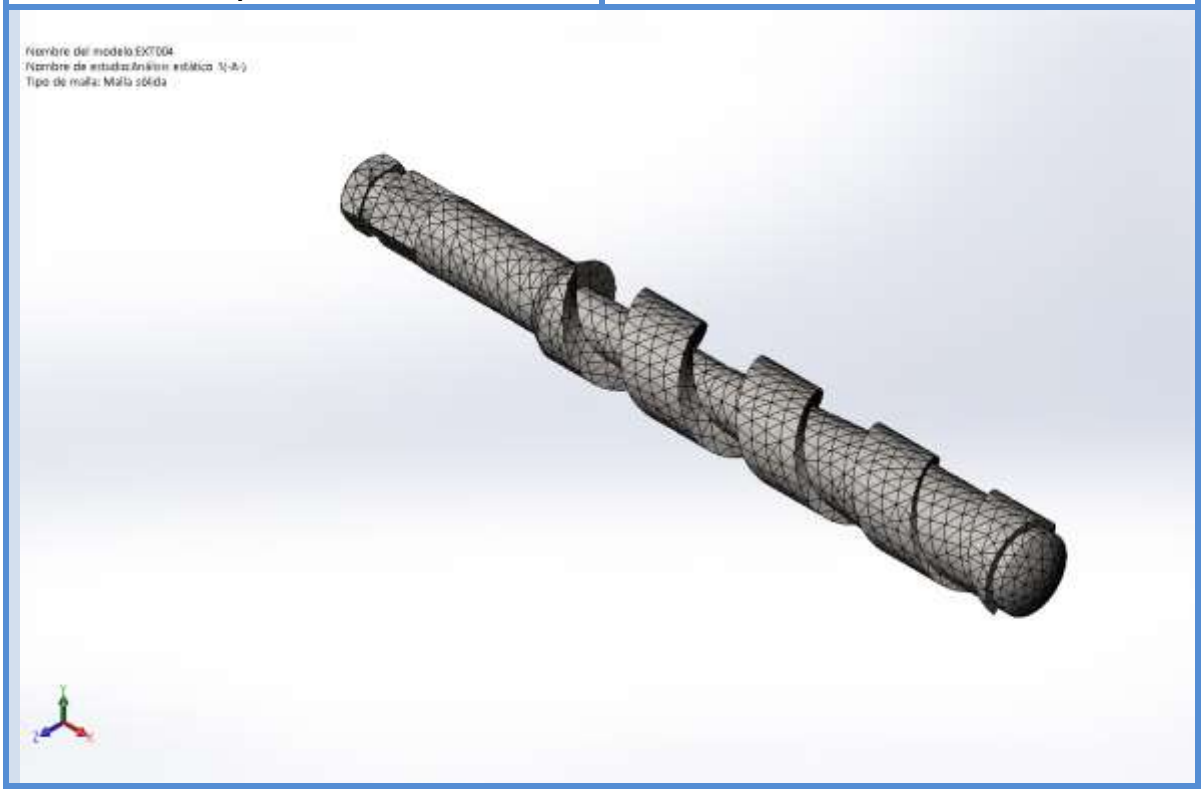


Tabla 32:Información del cálculo de malla del eje de cuchillas

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	5 mm
Tamaño mínimo del elemento	1 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Tabla 33:Detalles del cálculo de malla en el eje de cuchillas

Número total de nodos	28342
Número total de elementos	18253
Cociente máximo de aspecto	8.5189
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh;mm;ss):	00:00:08
Nombre de computadora:	

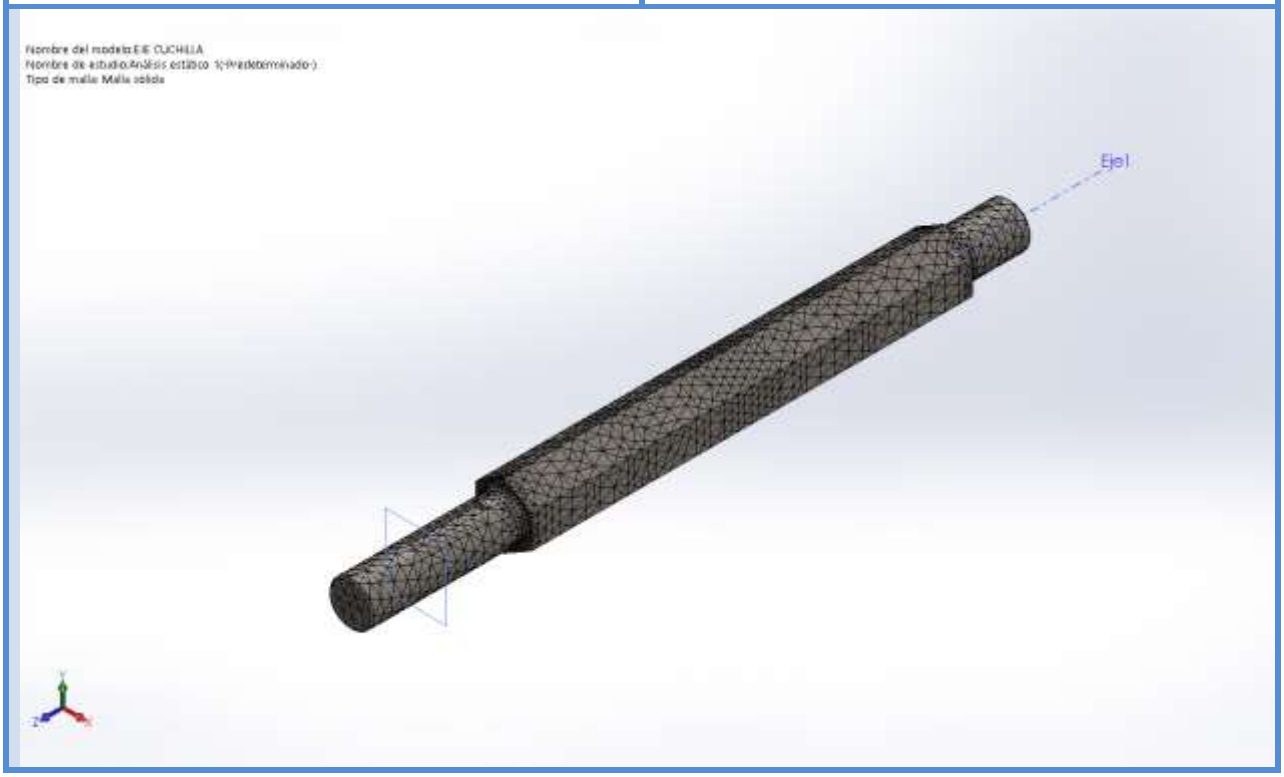
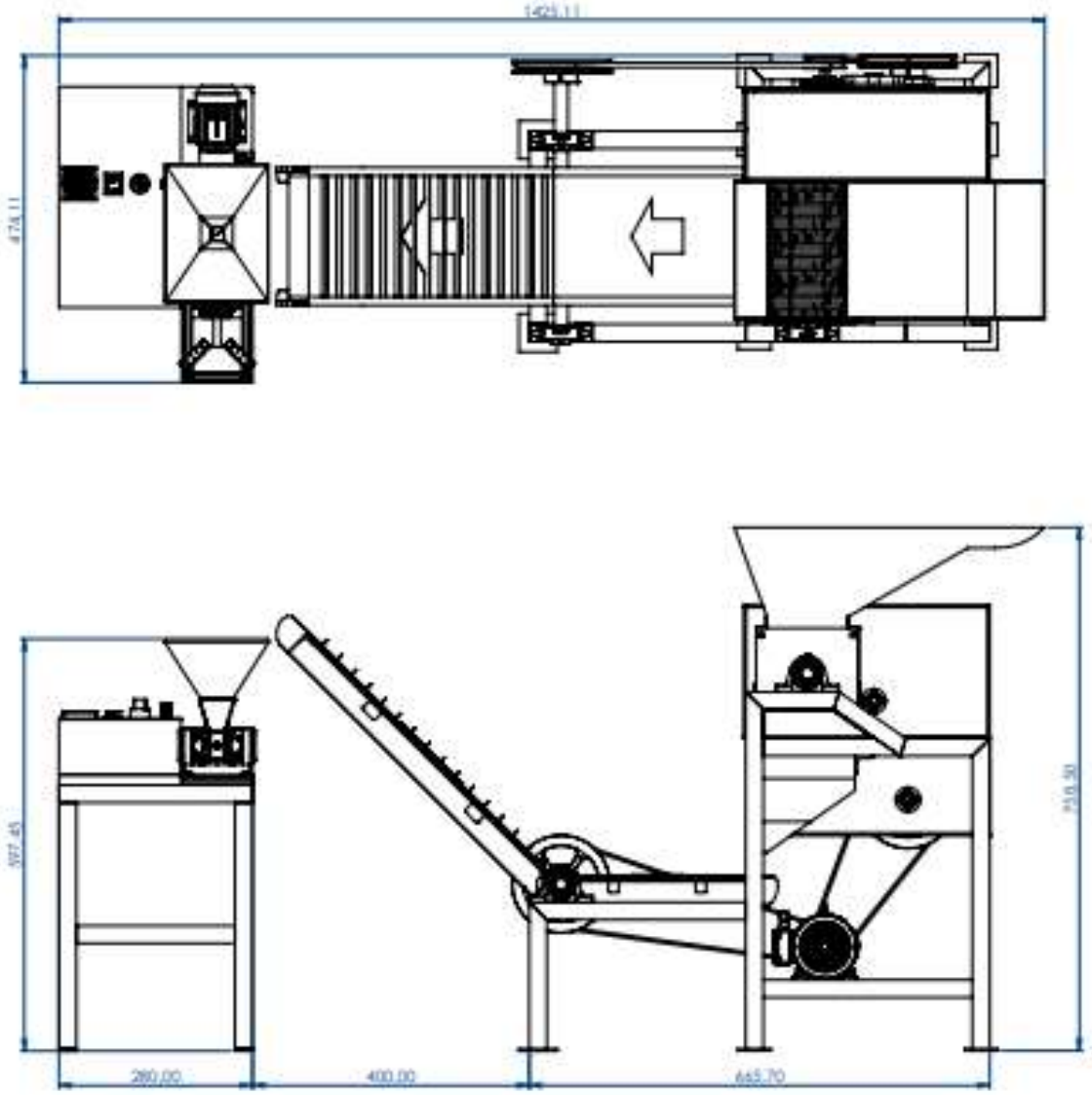
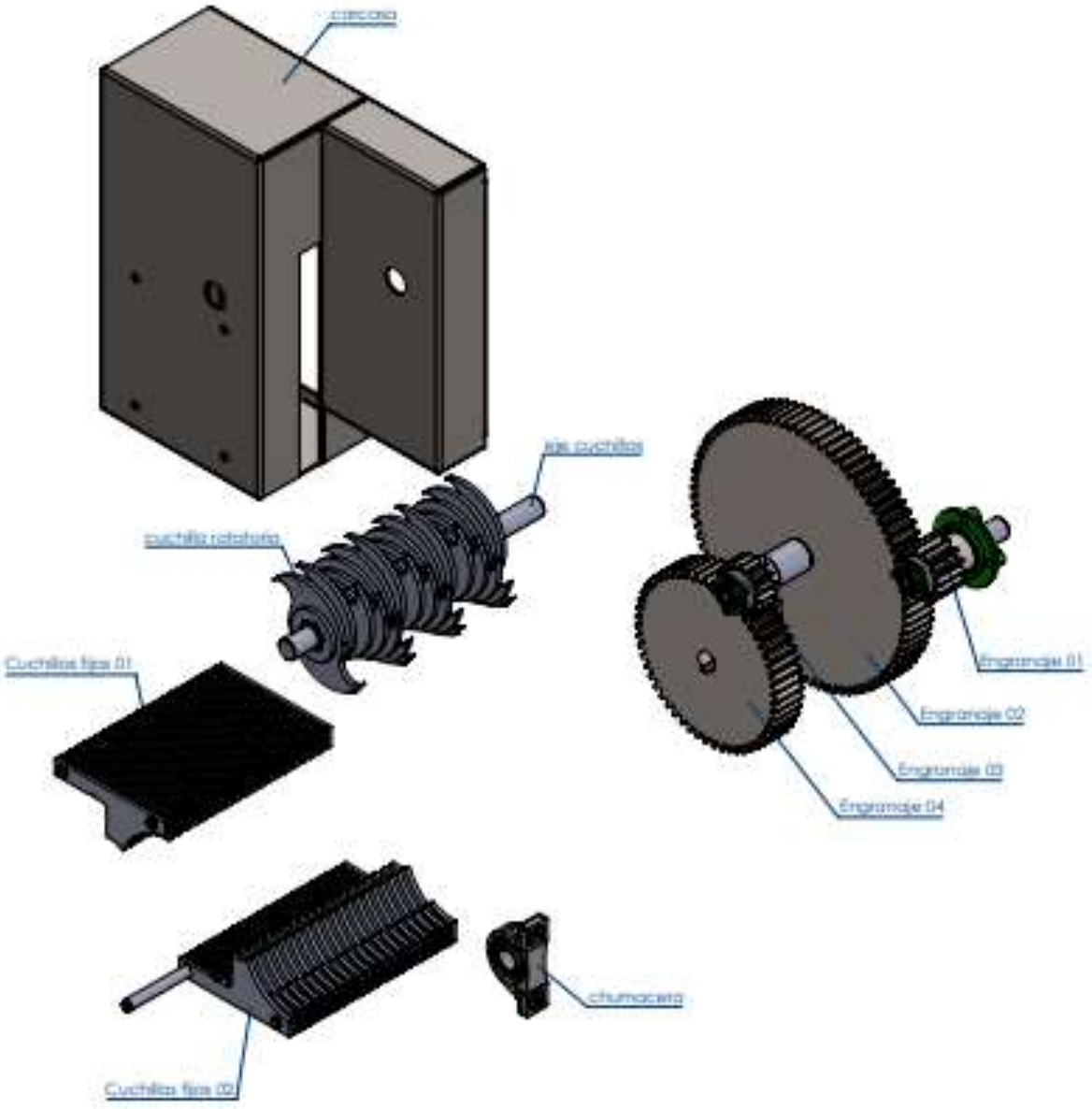


Figura 45:Plano 1



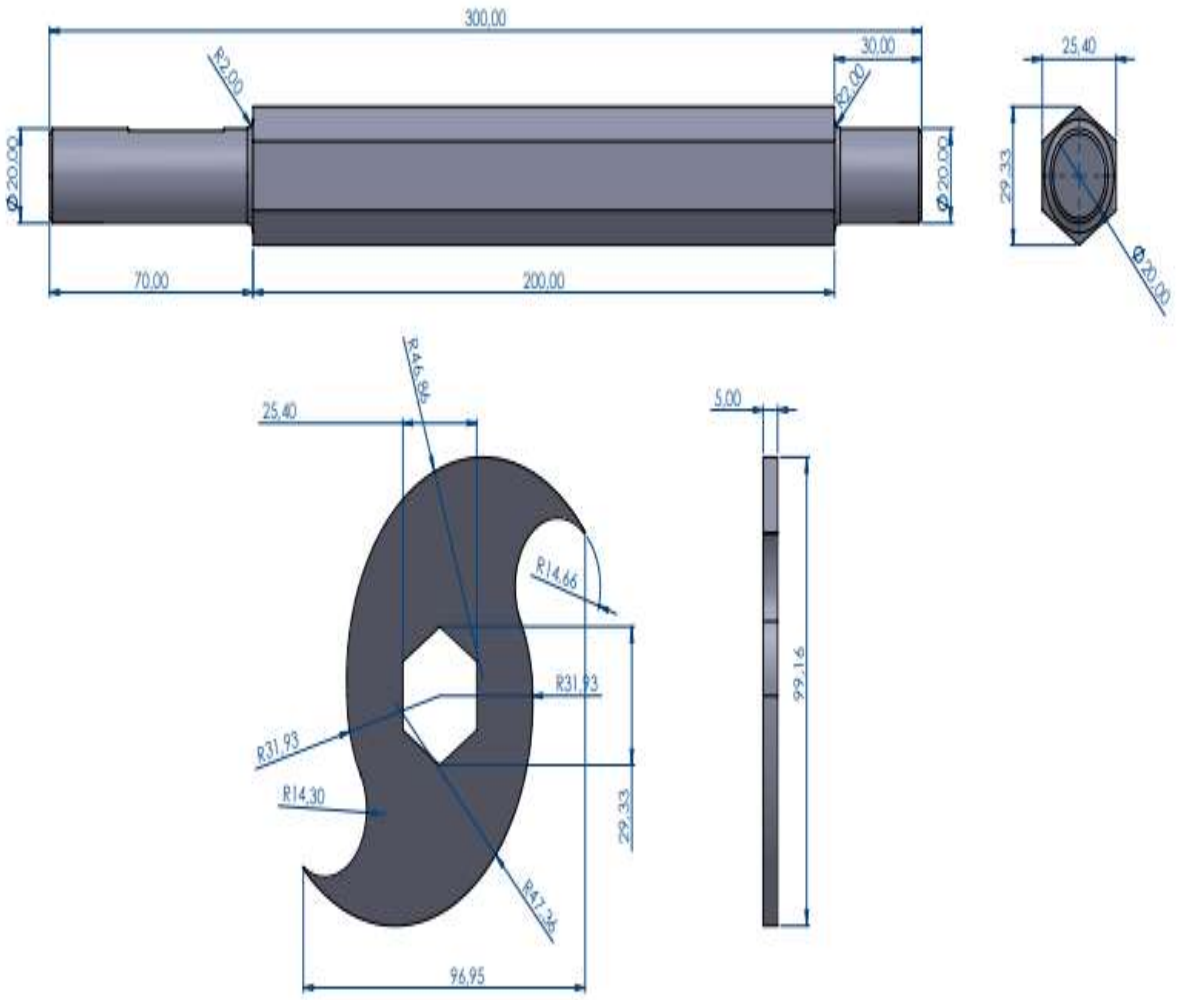
NOMBRE DEL PLANO: **VISTA SUPERIOR Y DE PERFIL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA TRITURADORA-EXTRUSORA**	
PARA: UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN	PLANO: N°1

Figura 46:Plano 2



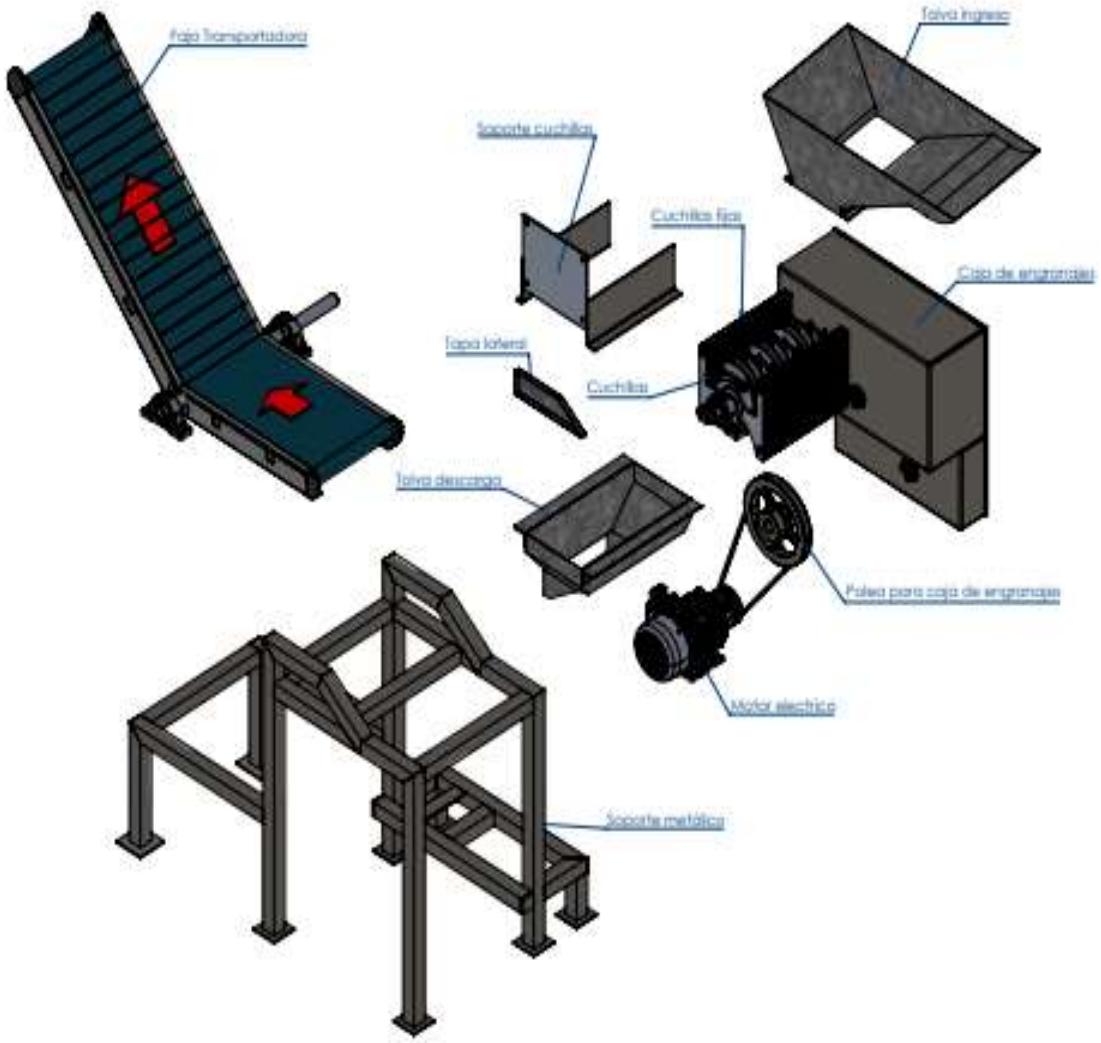
NOMBRE DEL PLANO: **Partes del sistema de trituración**	
PARA: UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN	PLANO: N°2

Figura 47:Plano 3



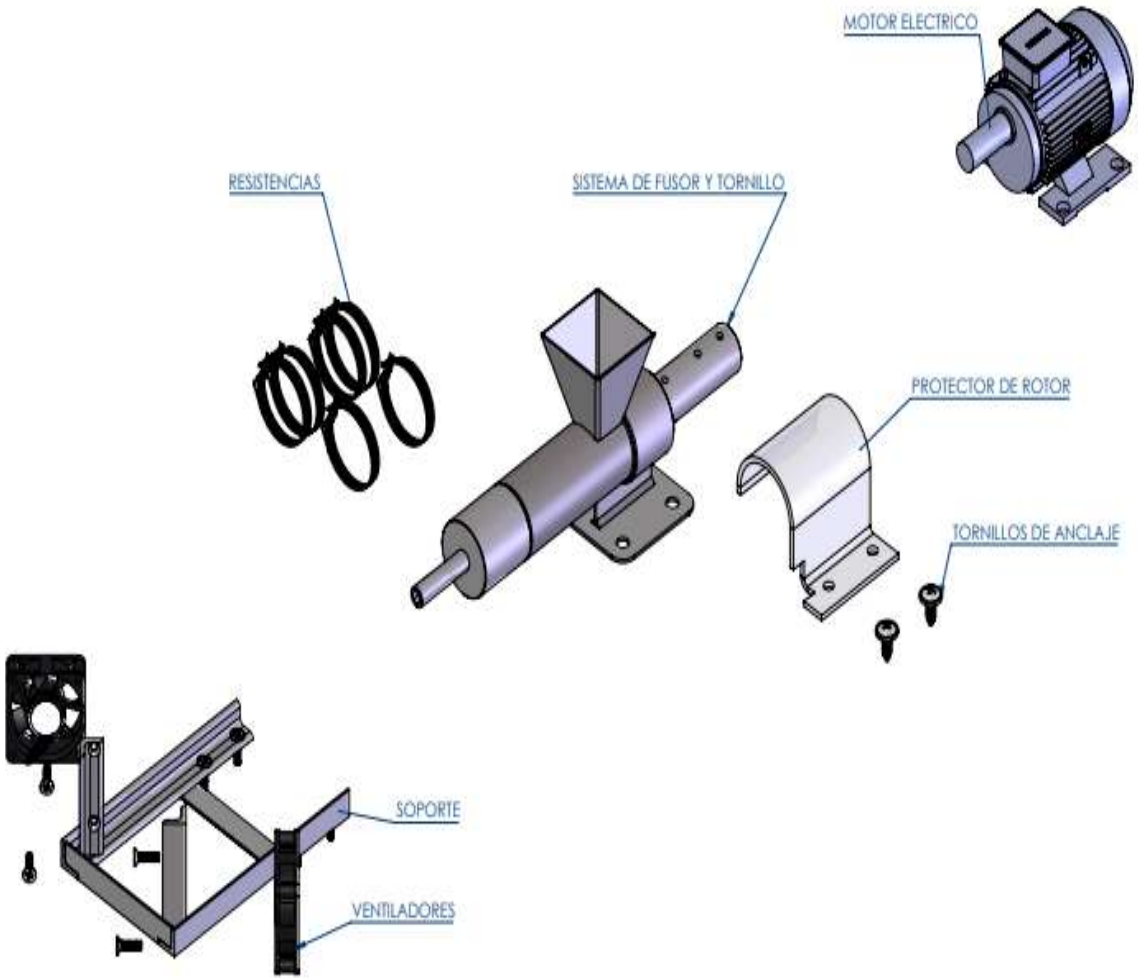
NOMBRE DEL PLANO: **ESTRUCTURA DEL EJE DE CUCHILLAS DE TRITURACIÓN**	
PARA: UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN	PLANO: N°3

Figura 48:Plano 4



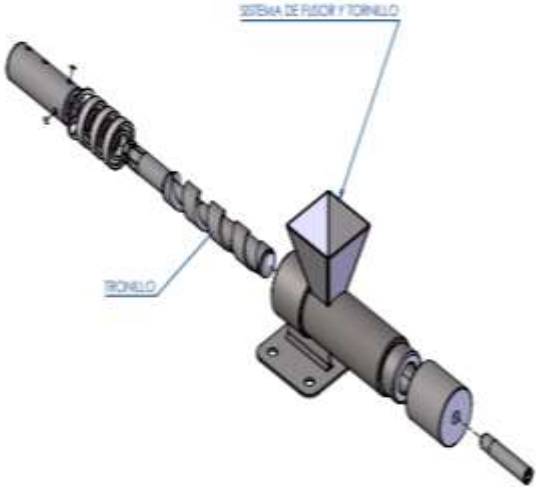
NOMBRE DEL PLANO: **ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN, SOPORTE Y FAJA TRANSPORTADORA**	
PARA: UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN	PLANO: N°4

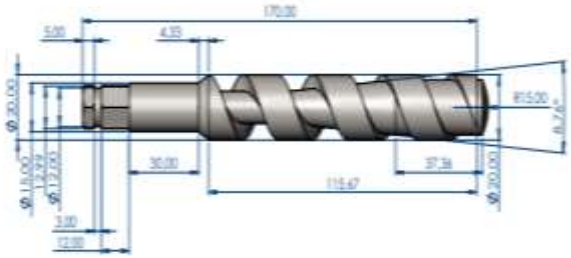
Figura 49:Plano 5



NOMBRE DEL PLANO: **PARTES DEL SISTEMA EXTRUSOR**	
PARA: UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN	PLANO: N°5

Figura 50:Plano 6





NOMBRE DEL PLANO: **DIMENSIONES DEL TORNILLO EXTRUSOR**	
PARA: UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN	PLANO: N°6

Figura 51:Plano 7

NOMBRE DEL PLANO: **DISEÑO GENERAL DE LA MÁQUINA TRITURADORA-EXTRUSORA**	
PARA: UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN	PLANO: N°7