UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

Construcción de una máquina trituradora y extrusora de plásticos para filamentos, basada en diseño Precious Plastic.

Realizado por:

Kevin Ernesto Casa Lincango
Sebastián Alejandro Moreno Guerra

Director del proyecto:

MsC. Diego Bustamante

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

QUITO, MAYO del 2024

Declaración Juramentada

Yo, KEVIN ERNESTO CASA LINCANGO, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N°1725450611, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

KEVIN ERNESTO CASA LINCANGO

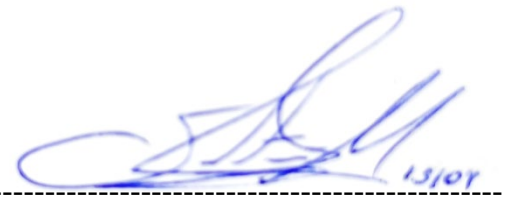
C.I.: 1725450611

Declaración Juramentada

Yo, SEBASTIÁN ALEJANDRO MORENO GUERRA, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N°1751395144, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

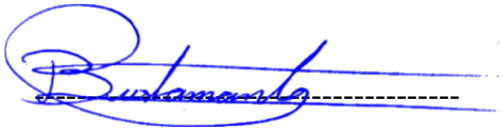


SEBASTIÁN ALEJANDRO MORENO GUERRA

C.I.: 1751395144

Declaración del director de tesis

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



MsC. DIEGO FERNANDO BUSTAMANTE VILLAGOMÉZ

LOS PROFESORES INFORMANTES:

MsC. JAIME VINICIO MOLINA OSEJOS

MsC. DIANA BELÉN PERALTA ZURITA

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

MsC. JAIME VINICIO MOLINA OSEJOS

MsC. DIANA BELÉN PERALTA ZURITA

Quito, 27 de MAYO de 2024

Declaración de autoría del estudiante

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

KEVIN ERNESTO CASA LINCANGO

C.I.: 1725450611

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

SEBASTIÁN ALEJANDRO MORENO GUERRA

C.I.: 1751395144

Agradecimientos

A Dios, por guiarme y acompañarme a lo largo de mi vida, por darme salud y fuerzas para lograr este objetivo académico importante.

A mis padres y hermanos, por todo el esfuerzo, sacrificio y apoyo brindado, por su amor y palabras que me han servido de guía y ánimo. Gracias a ellos por creer en mí y anhelar siempre lo mejor para mi vida.

A mis abuelitos, por su amor, preocupación y sabiduría, que me enseñaron cosas vitales para la vida y el buen camino.

A mis docentes y compañeros, por sus enseñanzas que me han permitido alcanzar esta meta, por brindarme su confianza, amistad y apoyo durante esta etapa académica.

Esto es para ustedes con mucho sacrificio y amor.

A Dios que ha sido mi fortaleza; el único que ha sido testigo de todo el duro camino atravesado para alcanzar esta meta, quien me ha llenado de valor para cumplir cada reto hacia este importante logro académico y personal.

A mi familia, padres, hermanos, tíos y prima. Ustedes han sido el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron a mi lado en cada momento. Siempre han sido mis mejores guías de vida, con su amor y paciencia me han permitido hoy cumplir un sueño más. Gracias por enseñarme el significado de esfuerzo y superación y por su apoyo incondicional.

A mi profesores y compañeros por su gran ayuda en este proyecto y apoyo personal.

Este proyecto es de todos ustedes.

Resumen

El plástico es un material a base de largas cadenas de carbono, que se utiliza en gran cantidad gracias a la fácil operación o a las excelentes propiedades que posee. También la producción de plástico mantiene un crecimiento constante, lo cual provoca grandes cantidades de desechos y residuos sólidos que se acumulan diariamente, generando impacto en el entorno. El programa de reciclaje que mantiene la Universidad Internacional Particular SEK, no está siendo aprovechado correctamente por la Institución al tener una empresa externa para el tratamiento del mismo. Para lograr que la Universidad tenga un aprovechamiento del plástico desechado, se realizó una encuesta direccionada a la comunidad del campus Carcelén para determinar la factibilidad de la implementación de una máquina trituradora y extrusora de plástico, sustentando su diseño con instrumentos de investigación como el QFD, cálculos matemáticos, modelación y simulación a través de software. En este trabajo de investigación se muestra cómo se construyó una máquina capaz de triturar y extruir los desechos plásticos basada en diseños de Precious Plastic para la fabricación de filamento con plástico reciclado de la Universidad Internacional SEK (campus Carcelén). Los resultados obtenidos por las encuestas mostraron que el 52.3% de la comunidad UISEK adquiere envases plásticos, siendo las botellas PET de (Dasani-Tesalia) las más consumidas con un promedio de 180 botellas semanales y que un 36.7% lo colocan en los puntos de reciclaje correspondientes; se analizó mediante un QFD las principales características técnicas y de funcionamiento teniendo puntos sobresalientes para el diseño como: costo y usabilidad de la máquina, este análisis permitió el modelamiento en 3D de la máquina mediante software y a través de esto generar simulaciones y cálculos matemáticos para el diseño mecánico y térmico. Con la construcción y experimentaciones de la máquina, la misma es capaz de trabajar sin inconvenientes

con un solo sistema mecánico triturando cerca de 0.54kg y extruyendo 0.241kg por cada hora presentando una alta confiabilidad en su sistema y validando el diseño.

Palabras clave: Plástico, desechos, diseño, SolidWorks, sistema mecánico, simulación, trituración, extrusión.

Abstract

Plastic is a material composed of long chains of carbon, widely used in large quantities due to its ease of operation and excellent properties. Plastic production also continues to grow steadily, leading to significant amounts of waste and solid residues accumulating daily, causing environmental impact. The recycling program maintained by International University SEK is not being effectively utilized by the institution due to outsourcing the waste treatment to an external company. To enable the university to make better use of discarded plastic, a survey was conducted among the Carcelén campus community to determine the feasibility of implementing a plastic shredder and extruder machine. The design was supported by research instruments such as QFD, mathematical calculations, modeling, and simulation through software.This research project demonstrates how a machine capable of shredding and extruding plastic waste was constructed, based on Precious Plastic designs for filament manufacturing using recycled plastic from International University SEK (Carcelén campus). The survey results showed that 52.3% of the university community acquires plastic containers, with PET bottles (Dasani-Tesalia) being the most consumed, averaging 180 bottles per week. Additionally, 36.7% of the community disposes of plastic waste in the designated recycling points. Through QFD analysis, key technical and operational characteristics were identified, emphasizing machine cost and usability. This analysis facilitated 3D modeling of the machine using software, enabling simulations and mathematical calculations for mechanical and thermal design. After the construction and conducting tests with the machine, it was found that it operates smoothly with a single mechanical system, capable of

shredding approximately 0.54 kg and extruding 0.241 kg per hour, demonstrating high reliability, and validating the design.

Keywords: Plastic, waste, design, SolidWorks, mechanical system, simulation, shredding, extrusion.

Tabla de Contenidos

Declaración Juramentada 2

Introducción 20

Antecedentes 21

Planteamiento del Problema 23

Justificación 24

Objetivos 25

Objetivo General 25

Objetivos Específicos 25

Hipótesis 25

Estado del arte 26

Trituradora de plástico. 26

Extrusora de plástico 28

Tipos de plásticos 30

Criterios de Diseño 33

Softwares de Diseño y Simulación 34

Metodología 36

Diseño metodológico de la investigación 38

Planteamiento de la metodología 38

Población y Muestra 38

Encuesta (Envases plásticos desechables para líquidos – Campus Carcelén) 40

Selección de Instrumentos de investigación. (QFD) 40

Casa de calidad (QFD) 40
Designación del diseño (Diseño experimental) 46
Variables para la experimentación 46
Tratamientos 47
Materiales y Equipos. (Equipos, Materiales, Laboratorios, Software) 48
Diseño e implementación (Prototipo físico) 49
Diseño Mecánico 49
Diseño Térmico 55
Modelado 3D Prototipo 60
Simulación Mecánica (Sistema de transmisión de potencia-Ejes principales) 63
Mallado (Simulación de partes mecánicas) 64
Configuraciones de Sujeciones (Simulación de partes mecánicas) 65
Configuraciones de Cargas (Simulación de partes mecánicas) 67
Simulación Térmica (Extrusora) 68
Mallado (Extrusora) 69
Configuración resistencias (Extrusora) 70
Control eléctrico para extrusora. 71
Resultados 72
Encuesta 72
Matriz QFD 75
Experimentación 77
Simulación Mecánica 78
Simulación Térmica 81

Máquina trituradora-extrusora de plástico 82

Discusión de Resultados 83

Conclusiones 85

Recomendaciones 87

Lista de referencias 88

Anexos 91

Lista de tablas

Tabla 1. *Tipos de plástico según sus propiedades* 32

Tabla 2. *Información de personal docente, administrativo y estudiantil de la UISEK.* 39

Tabla 3. *Cantidad numérica de encuestas a realizar dentro de la UISEK* 39

Tabla 4. *Propiedades de materiales – máquina trituradora y extrusora.* 48

Tabla 5. *Experimentación 1, trituración y extrusión de plásticos.* 77

Tabla 6. *Experimentación 2, trituración y extrusión de plásticos.* 77

Tabla 7. *Experimentación 3, trituración y extrusión de plásticos.* 78

Lista de figuras

Figura 1 *SHRPRO-V1 1120.03-A 6 Teeth Blade.* 22

Figura 2. *Disposición de cuchillas.* 28

Figura 3. *Husillo de extrusión* 29

Figura 4. *Tipos de plástico según clasificación numérica.* 31

Figura 5. *Diagrama de flujo del método de investigación.* 37

Figura 6. *Parámetros requeridos, matriz QFD* 42

Figura 7. *Competidores, matriz QFD* 43

Figura 8. *Parámetros de diseño máquina trituradora-extrusora, matriz QFD* 44

Figura 9. *Simbología de correlación para matriz QFD* 45

Figura 10. *Modelo del esquema de la casa de la calidad (QFD)* 46

Figura 11. *Simbología factores y niveles de la experimentación.* 47

Figura 12. *Sistema Motor-Eje* 50

Figura 13. *Boceto del sistema* 51

Figura 14. *Sistema Catarina-cadena* 52

Figura 15. *Boceto del sistema* 54

Figura 16. *Sistema Catarina-cadena* 54

Figura 17. *Vista lateral base máquina trituradora y extrusora.* 60

Figura 18. *Vista frontal base máquina trituradora y extrusora.* 61

Figura 19. *Vista isométrica máquina trituradora y extrusora.* 61

Figura 20. *Explosión máquina trituradora y extrusora.* 62

Figura 21. *Máquina trituradora y extrusora de plásticos – Software SolidWorks.* 64

Figura 22. *Parámetros de mallado – Software SolidWorks.* 65

Figura 23. *Configuración de sujeciones (trituradora) – Software SolidWorks.* 66

Figura 24. *Configuración de sujeciones (extrusora) – Software SolidWorks* 66

Figura 25. *Configuración de cargas (trituradora) – Software SolidWorks* 67

Figura 26. *Configuración de cargas (extrusora) – Software SolidWorks* 68

Figura 27. *Extrusora SolidWorks* 69

Figura 28. *Parámetros de mallado SolidWorks* 70

Figura 29. *Configuración de resistencias SolidWorks* 71

Figura 30. *Diagrama eléctrico extrusora – Schematic* 72

Figura 31. *Resultado Pregunta 1* 73

Figura 32. *Resultado Pregunta 2* 74

Figura 33. *Resultado Pregunta 3* 75

Figura 34. *Matriz QFD máquina trituradora y extrusora de plásticos.* 76

Figura 35. *Resultados de simulación – trituradora* 79

Figura 36. *Resultados de simulación – extrusora.* 80

Figura 37. *Resultados de simulación térmica – extrusora* 81

Figura 38. *Máquina trituradora y extrusora* 82

Figura 39. *Máquina trituradora y extrusora (Terminada).* 83

Figura 40. *Comparación de resultados* 84

Lista de ecuaciones

1 Flujo de Arrastre 34

2 Tamaño de la muestra 39

3 Número de repeticiones por tratamiento 47

4 Potencia de motor 49

5 Relación de transmisión 50

6 Velocidad de giro 51

7 Número de dientes 52

8 Velocidad de cadenas 53

9 Diámetro catarina 53

10 Flujo de arrastre máquina 56

11 Flujo de presión máquina 56

12 Flujo Total 57

13 Tiempo de residencia de la mezla 57

14 Volumen cilindro 58

15 Flujo de calor en el sistema 58

16 Potencia de las resistencias 59

17 Potencia real 59

Lista de anexos

ANEXO 1. ENCUESTA..... 91

ANEXO 2. MATRIZ QFD-MÁQUINA TRITURADORA Y EXTRUSORA..... 92

ANEXO 3. PLANOS DE LA MÁQUINA TRITURADORA Y EXTRUSORA 92

ANEXO 4. SIMULACIÓN – SOLIDWORKS. 100

ANEXO 5. ENSAMBLE – MÁQUINA TRITURADORA Y EXTRUSORA. 101

ANEXO 6. LICENCIA PRECIOUS PLASTIC. 101

Introducción

El plástico, es un material muy usado actualmente por sus diversas aplicaciones, debido a la facilidad de operación o las excelentes propiedades. Los productos plásticos son fundamentales en la economía ya que se encuentran en ropa, muebles, artículos de oficina, utensilios de cocina, en la industria, y más (Góngora, 2015). Por la cantidad de aplicaciones, el plástico muchas veces es un sustituto de diferentes materiales como el vidrio, madera y cartón. Incluso, se lo utiliza para crear nuevos productos que resultan más versátiles y con mejor diseño, por lo que, hoy en día, el plástico es fundamental en la vida cotidiana y parte de los procesos de producción y productos finales.

Los grandes volúmenes de plástico que se maneja diariamente y el escaso tratamiento, genera una excesiva acumulación de este material en el medio ambiente, convirtiéndose en una gran preocupación a nivel mundial. Según el INEC, (2020) "En promedio, Ecuador genera alrededor del 44% desechos inorgánicos, siendo 11% plásticos, se clasifica en diferentes grupos: suave y rígido. El plástico suave mantiene un 6.51% (561.28 toneladas diarias de plástico suave) y 4.45% (821.11 toneladas diarias plástico rígido)"

En este sentido, una gran solución que se ha desarrollado ha sido la reutilización de materiales plásticos (polímeros) que pueden ser transformados y con ello generar productos alternativos, con el fin de obtener un mejor rendimiento y utilidad en la sociedad. Cabe resaltar que con el aprovechamiento de polímeros se obtendría un beneficio ecológico al

reducir desechos en el medio ambiente y una ventaja es al reintroducir los desechos en un ciclo industrial.

Este trabajo de investigativo se basa en el diseño y construcción de una máquina trituradora y extrusora capaz de funcionar en un solo sistema mecánico para el aprovechamiento de ciertos desechos plásticos que la comunidad de la Universidad Particular Internacional SEK lleva en su programa de reciclaje, con esta máquina se busca dar el respectivo aprovechamiento de los desechos plásticos generados en el ampus Carcelén.

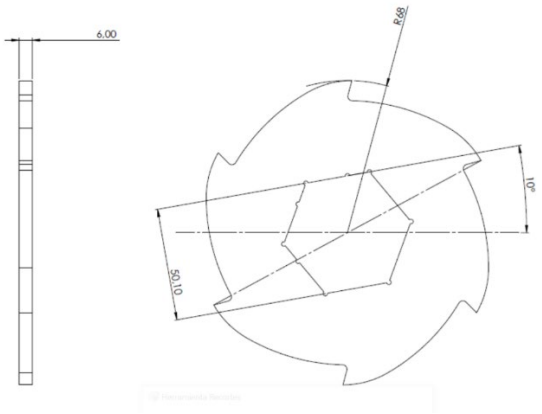
Antecedentes

Precious Plastic, es considerada una comunidad donde otorga diferentes prototipos que pueden ser descargados de acuerdo a la necesidad. De acuerdo a Kanu & Troulis (2023), “Las piezas basadas en diseños Precios Plastic pueden ser obtenidas bajo un método de moldeo y corte en base a chorros de agua con el fin de facilitar la construcción. Se usó un nuevo dimensionamiento y un molde construido en acero inoxidable que consta de tres piezas principales.”, página 4.

De acuerdo a Varas, R., Vásquez, J. (2021) en su trabajo “Diseño de una máquina desfibradora automática para raquis de banano”. Menciona ciertos parámetros en cuanto a un diseño detallado de una máquina desfibradora, en base a este trabajo se tomarán en cuenta ciertos aspectos como el diseño de la tolva, dientes o discos para triturar y lugar por donde ingresa el material y sale el plástico tratado.

Con los parámetros de diseño de Precious Plastic, se construirá una Trituradora y Extrusora De Plásticos que mantiene diferentes parámetros que pueden ser aplicados a los distintos plásticos (polímeros), en base a las categorías 2, 5 y 6. Se tomará en cuenta el diseño de los dientes (placa) referenciado en la Figura 1 para obtener un mejor aprovechamiento y facilitar la trituración de los plásticos. La desfibrilación, consiste en triturar el material en base a medidas determinadas (pequeñas, medianas o grandes).

Figura 1 *SHRPRO-V1 1120.03-A 6 Teeth Blade.*



Según Suarez R, J.D. (2015) “La extrusión consiste en comprimir un determinado material a través de un orificio que esta diferenciado por su geometría que genera productos de dimensiones largas y continuas”, el proceso de extrusión se complementa con las temperaturas y tipo de material a procesar. “La boquilla de la extrusora debe ser de un material apropiado debido a las temperaturas de trabajo superiores o iguales a 270°C”.

De acuerdo a Granta (2018), “Los polímeros se manejan a temperaturas predeterminadas, en el caso del PET tiene un punto de fusión de (255-265) °C y para el

HDPE se maneja una temperatura de fusión que bordea los (130-137) °C". Esto ayuda a tener un correcto proceso, minimizando los daños del material final. Se debe tener en cuenta el grosor y material del recubrimiento del husillo o sinfín.

La construcción de una máquina extrusora tiene diferentes parámetros que ayudan a generar un desempeño. Según Duarte (2020), "la máquina que presenta en su investigación toma como base a PRECIOUS PLASTIC, y con un objetivo de potenciar su tornillo que sea accionada por una caja reductora, esto da como resultado un caudal o flujo promedio de 6.61 kg de polipropileno (PP) por hora, lo cual equivale a 52.9 kg de polipropileno en un turno de 8 horas; el caudal requerido era de 50 kg de polipropileno en un periodo de 8 horas. Cabe mencionar que el caudal calculado para el sistema fue de 6.90 kg/hr. Al realizar la matriz de verificación se concluye que el sistema cumplió con los requerimientos de funcionamiento, operación y limitantes.", página 52.

Planteamiento del Problema

El plástico ha sido un problema mundial con el pasar de los años debido a sus características, este cambia a menor tamaño y tarda varios años en desintegrarse. Los desperdicios del plástico tienen un gran impacto en nuestro entorno y una muy baja reutilización. Ecuador, es uno de los países que no tiene un objetivo claro con su tratamiento de desechos y según los expertos mantiene un modelo insostenible, enfocado únicamente en sepultar innumerables cantidades de desechos sólidos. Según cifras del INEC (2020), "el 96% de la basura se entierra y solo se recicla el 4%."

De lo que se entierra, INEC (2020) "el 66,5% es orgánico y el 33,5% restante corresponde a desechos inorgánicos que clasificados adecuadamente pueden ser reciclados

en su mayoría.” En este sentido la Universidad Particular Internacional SEK, tiene su propia campaña de reciclaje que está basada en reducir el nivel de desechos producidos durante las actividades académicas, buscando fomentar la educación entorno al reciclaje. Con esta información y buscando ampliar el plan de reciclaje de la Universidad, se buscará tratar el plástico que la UISEK del campus Carcelén tiene reciclado en base a las categorías de plásticos 1, 2 y 5 para que pueda ser reutilizado mediante la máquina trituradora y extrusora ya que este material únicamente está siendo recolectado y no tratado adecuadamente o con fines académicos dentro de la Universidad.

Justificación

Los desechos plásticos son de los principales problemas a nivel mundial, Ecuador es receptor y productor de desechos plásticos de la región importando hasta 48 (t) en los últimos 5 años. Morán S. (2020). Ecuador ahogado, en basura, está lejos de cumplir las metas de los ODS al 2030. PlanV. De esta manera un correcto tratamiento a estos desechos ayudará a reducir el impacto ambiental y creará una educación en las personas y estudiantes de la UISEK.

En base a lo mencionado anteriormente, se buscará procesar desechos plásticos de categoría 2, 5 y 6 que se encuentren apropiados para el uso. Esta máquina será capaz de triturar el plástico y procesarlo a través de una extrusora la cual esta estará basada en precious plastic y diseños existentes. La máquina será capaz de entregar el material en forma de filamento para que pueda ser reutilizado en un nuevo proceso de manufactura o acorde a su necesidad final.

Objetivos

Objetivo General

Construir una máquina capaz de triturar y extruir desechos plásticos, basada en diseños de Precious Plastic para fabricación de filamento con material reciclado de la Universidad Particular Internacional SEK.

Objetivos Específicos

- Identificar el tipo de plástico proveniente del programa de reciclaje llevado a cabo por la Universidad mediante encuestas a la comunidad para la determinación del tipo de plástico que será usado en la máquina.
- Analizar diseños de una máquina Trituradora y Extrusora de plástico a través de metodología QFD para modelo previo en 3D.
- Diseñar una máquina trituradora y extrusora de plásticos mediante software SolidWorks para la evaluación de criterios de diseño.
- Diseñar el sistema mecánico y térmico de la máquina Trituradora y Extrusora De Plásticos mediante cálculos matemáticos y simulación en software para la construcción.

Hipótesis

La construcción de una máquina trituradora y extrusora de plásticos con un sistema mecánico integrado permitirá mantener la funcionalidad equivalente a la combinación de dos máquinas independientes y ayudará en la reutilización de los desechos plásticos del plan de reciclaje de la Universidad Internacional Particular SEK (campus Carcelén).

Estado del arte

Trituradora de plástico.

En base a lo mencionado por Mendoza (2019) “El sistema de trituración más utilizado para PET, es el de trituración por dos ejes con cuchillas de sentidos opuestos en su giro, menciona una desventaja en su diseño ya que no se obtienen un tamaño estándar de las partículas cortadas por no tener una malla.” pág 20.

Para la obtención de un material triturado de calidad según, Cuaical y otros (2020). “La tapa y etiqueta no deben formar parte del proceso por su composición (PP-Polipropileno) además de introducir material previamente lavado y aplastado, esto debido a los efectos en cuanto a la calidad para tener un proceso exitoso”, página 2.

La parte más compleja para la construcción de una trituradora son sus cuchillas, por lo que en base a, Rodríguez Alvarado, B. G., & Córdova Cabada, C. J. (2022)., “Es necesario tomar como consideración un material de mediano porcentaje de carbono por sus propiedades, el Acero AISI-SAE 11045, fue utilizado para mecanizarlo en fresadora debido a su tenacidad y resistencia. Las medidas utilizadas fueron 12mm espesor, 405mm le largo y 73mm de ancho con un ángulo de 45°”, página 30.

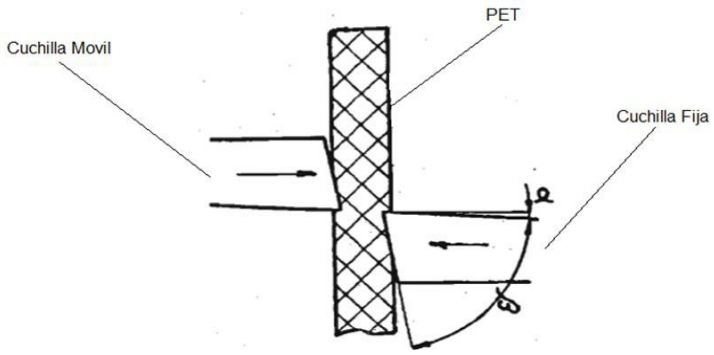
Por los tipos de material que se son usados en las máquinas trituradoras y por los desperdicios que existen, según, Clevel Angulo, J. A. (2020). “Para la funcionabilidad de la trituradora en base a un solo eje se requiere un material de acero AISI 1020 para la capacidad de giro de alrededor de 50-70 RPM, con 14 cuchillas y separadores, es necesario usar un material de Acero Inox. AISI 304 por la capacidad de resistencia a la corrosión.”, página 52.

Un tamaño adecuado del triturado garantizará la calidad en el filamento o proceso a obtenerse, según Martínez Avila, J. J. (2021), “El tamaño ideal del polímero es de 7mm, debido que otro tipo puede presentar variación en la viscosidad, así como una modificación de la cristalización o carbonización dependiendo.”, página 23.

En el diseño de una trituradora es necesario tomar las dimensiones de una botella donde, según Jiménez, A. G. F. (2022) “Se tiene que la altura de la botella de 1500 ml es de 262 mm por lo que se toma como la longitud del eje sobre el cual estarán las cuchillas de corte de 300 mm en el interior de la cámara (estómago) considerando que las botellas ingresan a la trituradora de manera horizontal.”

Para un trituradora es necesario presentar varios factores que pueden influir en el diseño o fabricación de ciertos elementos que pueden facilitar el trabajo y mantener un trabajo eficiente. “En el caso para las botellas de 271mm de altura o más y un diámetro 110 mm presenta un ángulo de corte de β: 70° hasta 80 ° y un ángulo de ataque α: 4° hasta 6° y por último un ángulo de apertura γ: 8° a 10°. En la figura 2 se muestra la disposición que se puede presentar en estas cuchillas.” (Caviedes Aguirre, J. D. 2020)

Figura 2. *Disposición de cuchillas.*



Nota: La figura representa la disposición de cuchillas. Tomado de Rossi, Mario. Prensas y máquinas para el trabajo de la chapa. En: estampado en Frio de la Chapa. Novena Edicion. 1978.Editorial Dossat pag. 271.

Extrusora de plástico.

Según, Cole, P. (2020), "En la construcción de la extrusora se utilizan conexiones de soldadura en el soporte para barril y tolva con el fin de evitar movimientos o vibraciones que puedan afectar el funcionamiento. Todos los demás elementos tienen una conexión no permanente mediante pernos.", página 16.

Un correcto dimensionamiento para el tornillo sin fin de la extrusora, según, Avilez y otros (2021). "Está relacionado con la capacidad de reciclaje que se requiera en la máquina, lo mencionado en este trabajo indica que 1 kg/h es una cantidad adecuada para este tipo de máquinas.", pág. 42.

La máquina extrusora procesa diferentes materiales plásticos con sus respectivas propiedades, donde según Gómez, J. J. G., & Gutiérrez, J. (2007) la máquina extrusora está construida para polipropileno (PP) donde marca como resultado que durante su operación

de la extrusión genera un 14,6 kilogramo de material por hora, esto es producido por un husillo de 65 cm, un paso del husillo 32 mm y un ancho de filete 3.8 mm.

Figura 3. *Husillo de extrusión*

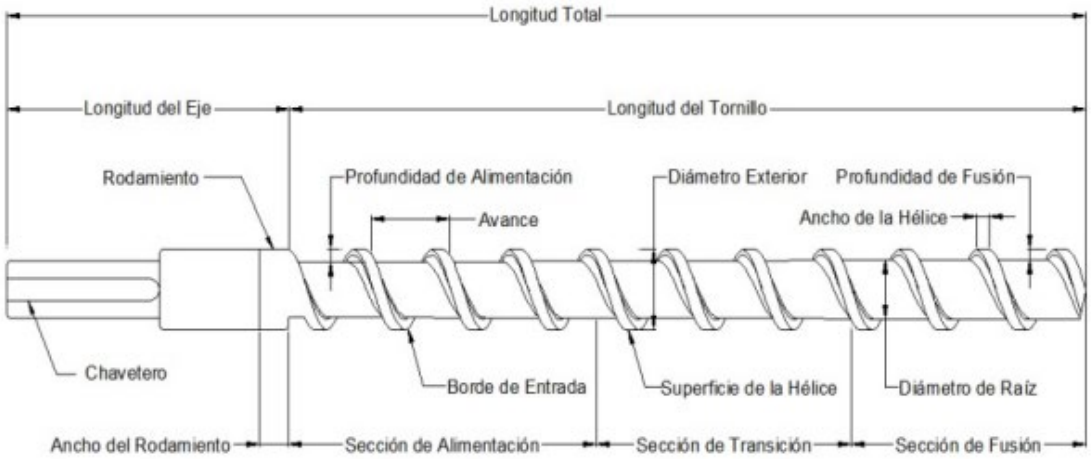


Figura 3. Husillo de extrusión

Nota: La figura representa las partes y secciones del husillo de extrusión. Tomado de Hilaño Chanatasi,2011.

El husillo de la extrusora presenta diferentes parámetros donde Jaramillo (2008) manifiesta lo siguiente:

La altura del filete en la zona de alimentación es una variable inicial para realizar un buen diseño en los tornillos. Existe una gran variedad de reglas utilizadas para el cálculo de esta altura, la más conocida es la regla del dedo propuesta por Savgorodny, la cual dice que la sección de alimentación de un husillo no debería ser superior a 0.2 veces el diámetro nominal del husillo (D). (p. 07)

En la extrusión genera una viscosidad del plástico por la temperatura que es aplicada durante su recorrido. Sin embargo, según Caviedes Aguirre, J. D. (2020). “Este

factor se determinada por la velocidad de la cortadura en función de la temperatura, y el peso molecular, esto genera un decrecimiento al calentar el material y al reducir su peso molecular."

Al generar diferentes partes de una extrusora es necesario tener en cuenta el principal elemento que es el tornillo sin fin ya que presenta 3 secciones (Compresión, transición y plastificación). En la zona de compresión debe ser diseñado para la adaptación de diferentes tamaños en sus canales con una determinada velocidad, así mismo para mantener un buen diseño del tornillo es reducir la profundidad de manera continua a lo largo del canal del tornillo, de igual manera reducir el filete con un constante canal. (Morales, P., & Castillo, J., 2006).

La trituradora PET mantiene unas cuchillas en diferente posición porque es necesario aprovechar el proceso que lleva a producir el efecto que tiene el tornillo sinfin que permite un mejor agarre al material, así mismo la configuración de la cuchilla permite una mejor recirculación del material, es un sistema que puede cambiar cuchillas por su diseño del eje y acoples. (Hoyos Mateus & Hoyos Mateus, 2022).

Tipos de plásticos.

El plástico es un material generado por diferentes industrias donde tratan de satisfacer una necesidad, que mantenga un nuevo uso y de igual manera una degradación eficiente para evitar un daño al medio ambiente. Asimismo, los materiales llevan una clasificación donde se puede identificar de acuerdo a la figura 4.

Figura 4. *Tipos de plástico según clasificación numérica.*

Nota: La figura representa la clasificación numérica de los tipos de plásticos. Tomado de National Geograpfic, Gestores de Residuos, Recytrans.

Los materiales plásticos están compuestos por diferentes propiedades y aplicación dentro de la industria. Por ende, la tabla 1 presenta datos numéricos para identificar su comportamiento dentro de una extrusora.

(C-) Copolímeros, (A) Amorfo, (C) Critalino, (C**) Material similar a la botella, (Tm) punto fusión, (Tg) punto transición vítrea

Tabla 1

Tipos de plástico según sus propiedades

Material	Tipo Molecular	Temp. Crítica	Densidad (g/cm3)	
			Sólido	Fundido
PP	C-	48 Tm	0,9	0,75
HDPE	C	278 Tm	0,95	0,73
LDPE	C	221 Tm	0,92	0,76
PET	C**	460 Tm	1,4	1,1

Fuente: Gómez, J. J. G., & Gutiérrez, J. (2007)

Nota. La tabla presenta los plásticos con sus respectivas propiedades, así mismo posiblemente son los plásticos más usados dentro del programa de reciclaje de la UISEK.

El PET es considerado un poliéster termoplástico formado por éster, así mismo se caracterizado por cristalización o amorfología parcial esto dependerá de formaciones. Este material presenta una resistencia a la tensión 55 MPa, modulo elástico 2.300 MPa, temperatura de fusión 265 C, porcentaje de elongación 200 %, entre otros. (Groover Mikell, P. 1997)

El HDPE es considerado como un polietileno alta densidad, pero con resistencia a químicos y mantiene un soporte a la rigidez, temperatura y el agua. Por ende, es aplicado a envases como productos desinfectantes, limpieza, aceite entre otros. Posteriormente, su reciclaje puede generar nuevos productos con un proceso adecuado. (Cáceres, 2020).

Por otro lado, según (Cáceres, 2020) nos dice “LDPE tiene una alta resistencia, tanto a los impactos como a los químicos al igual que el HDPE o PEAD. Es bastante

flexible y su transparencia depende del espesor. Es el material con el que se hace el papel film", y su reciclaje puede volver a obtener el mismo material de poliestireno baja densidad.

Criterios de Diseño

La extrusora presenta elementos que ayudan a generar un trabajo fiable, en este caso existe el husillo como alma y elemento principal donde Duarte Heredia, R. J. (2020) explica que:

> El paso del husillo recomendado debe ser igual o cercano al diámetro del husillo, pero debido a las limitaciones del torno en el que fue maquinado, el paso del tornillo fue de 15 mm, esto afecta en la producción del husillo por lo que se aumentó ligeramente la longitud para asegurar la producción requerida para el sistema. Al conocer algunos parámetros geométricos básicos, se calculó el caudal producido por el husillo y se comprobó el dato obtenido (6.90 lb/hr de PP) con el requerido (6.25 lb/hr de PP). (p. 66)

De acuerdo a Gómez, J. J. G., & Gutiérrez, J. (2007). "Uno de los principales parámetros para el para el diseño del husillo en una extrusora, está determinado por su flujo de arrastre, el cual se calcula en función de la ecuación 1 y es el mayor provocado por el giro del tornillo.", página 33.

$$\alpha = \frac{\pi \, x \, m \, x \, D \, x \, h \left(\frac{t}{m} - e\right) cos^2 \emptyset}{2} \qquad [1]$$

En donde: α= Flujo de arrastre o de fricción, h= Profundidad del canal, ∅= Ángulo de la hélice, m= Número de canales del husillo, e= Anchura de la cresta del flete.

Softwares de Diseño y Simulación

3D Software Solidworks

Para un análisis de temperatura, según de Luna, A. M., Reyes, E. G., & Herrada, R. G. (2022) "En el programa *SolidWorks* se realizó un análisis de transferencia de calor, desde las resistencias calefactoras hasta la boquilla extrusora. Las especificaciones técnicas fueron tomadas de la base de datos del software, para la boquilla acero ASTM A36, dado extrusor de bronce comercial, y las resistencias eléctricas de cobre. En cuanto a las dimensiones, se simuló conforme a las dimensiones originales de la máquina."

Para una facilidad de diseño en Solidworks, es posible realizar un calcado a partir de imágenes, según, Aragón Aragón, Á. (2020), "Se ha utilizado esta opción de calcar la imagen de un pie al no tener dimensiones, ni masa del pie para una protesis. Lo que se ha conseguido es insertar la imagen como imagen de fondo en un croquis realizado por Solidworks para poder escalar a dimensiones de un pie promedio en la población", página 50. "Los datos de material fueron obtenidos de la biblioteca de Solidworks con el fin de generar una simulación menos errónea." página 51.

En solidworks para un trabajo de simulación de acuerdo a Pereda Velarde, G. (2022) "Es recomendable manejar distancias entre partículas altas, dependiendo del

escalado y medidas de las partes con el que se esté trabajando en el software, debido a que esto influye en el tiempo que se lleva en la simulación. En este trabajo se ha utilizado una distancia de 0.05m y para resultados más exactos cuando se encontraba consolidado el modelado una distancia de 0.02m entre partículas.", página 37.

Simulación CFD-Altair (Acusolve)

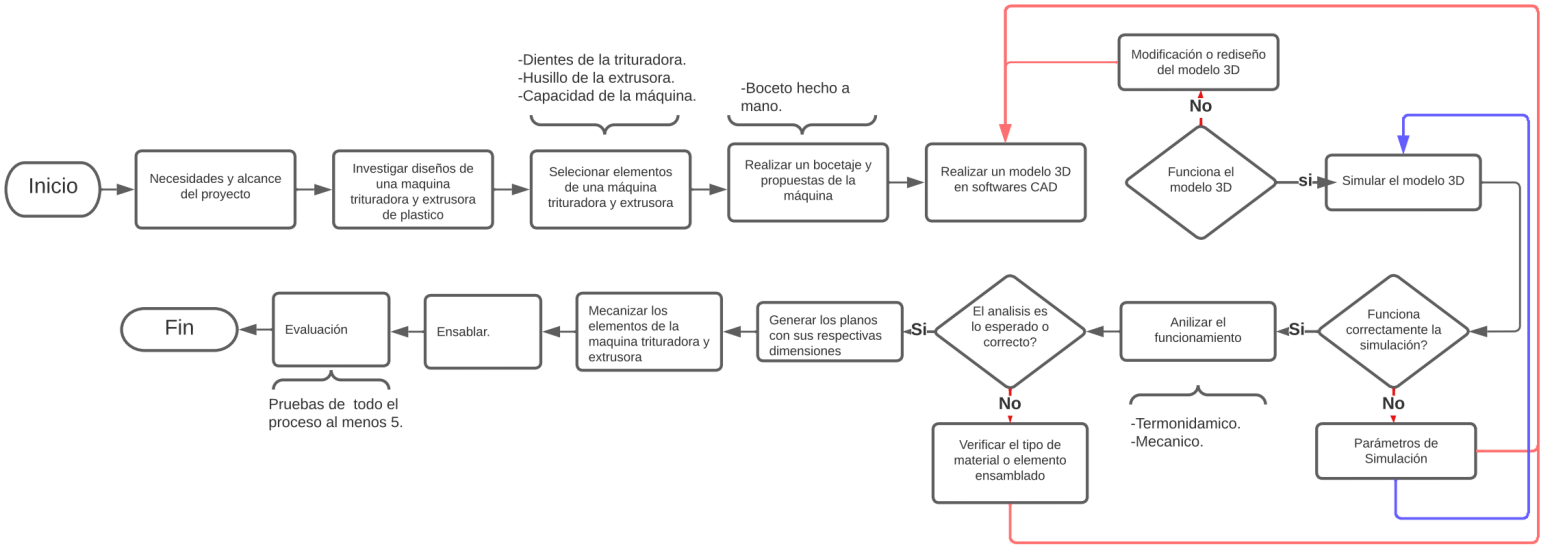
Mediante el Software CFD de Altair, según Donoso Peñaherrera, M. A. (2021) "Se puede determinar que el diseño realizado cumple con la correcta distribución en cuanto a su flujo ya que en el trabajo se pone a prueba los cuatro cilindros de forma igualitaria, siendo un punto fundamental para lograr un mejor desempeño del motor. Para el análisis de las velocidades y cambios de presión existentes en el múltiple de admisión variable se cuenta con un flujo laminar muy ordenado con muy pocos puntos con pequeñas turbulencias, lo que ratifica el correcto funcionamiento del diseño realizado con ayuda de la simulación CFD de Altair.", página 43. Esta información ayudará a corroborar el diseño de la máquina trituradora y extrusora, principalmente para la simulación de temperatura y flujo que va a existir al momento de extruir el plástico.

Metodología

En base a los objetivos planteados en este trabajo, se utilizan bocetos previos que definen como está constituida la máquina, además de cálculos matemáticos que sustentan el uso y la transmisión de potencia como también las partes usadas para la fabricación de la misma, softwares de diseño CAD y CDF para simular, diseñar y demostrar el funcionamiento mecánico y térmico de la máquina focalizado en sus principales componentes: trituradora y extrusora.

Las etapas del proceso de ejecución de la máquina trituradora y extrusora están representadas en el diagrama de procesos de la figura 5.

Figura 5. *Diagrama de flujo del método de investigación.*



Diseño metodológico de la investigación

Este trabajo utiliza una investigación tecnológica a nivel experimental, según Espinoza (2021), se busca mejorar el sistema de funcionamiento de la máquina trituradora y extrusora en base a un único (sistema), es decir que funcione mediante un único motor a través de la manipulación de variables como materiales y temperatura de funcionamiento.

Además de una metodología mixta (cuantitativa y cualitativa) debido a que se tiene un análisis previo de los modelos de Precious Plastic, experimentación a la que se somete la máquina trituradora y extrusora y por su alcance en cuanto a las encuestas realizadas a la comunidad del campus Carcelén de la UISEK como también por la evaluación de los resultados.

Planteamiento de la metodología

Población y Muestra

En esta investigación se selecciona como población la Universidad Internacional Particular SEK de Carcelén, para realizar los respectivos estudios, y determinación del tipo de plástico más usado durante el periodo académico, se solicita al departamento de recursos humanos y bienestar estudiantil el numero personas que trabajan y estudian de manera presencial.

La siguiente tabla representa de manera numérica la cantidad respectiva:

Tabla 2

Información de personal docente, administrativo y estudiantil de la UISEK.

Docentes en tiempo completo	181
Administrativo	74
Estudiantes (Carcelén)	481

Para determinar el número de encuestas a realizarse o el tamaño de la muestra a partir de los datos establecidos en la tabla No.3, se utilizará la ecuación 2.

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{e^2 * (N-1) + Z_a^2 * p * q} \qquad [2]$$

En donde: n= Tamaño de la muestra, N= Tamaño de la población, Z= Nivel de confianza, e= Error de estimación, p= Probabilidad del evento, q= Probabilidad (NO) del evento.

Tabla 3

Cantidad numérica de encuestas a realizar dentro de la UISEK

	Tamaño de la Población (N)	Nivel de Confianza (Z)(NC) (95%)	Error de estimación (e)	Probabilidad de que ocurra el evento (p)	Probabilidad del que no ocurra el evento (q)	Tamaño de muestra (n)
Docentes en tiempo completo	181	1,96	0,05	0,5	0,5	123,3
Administrativo	74	1,96	0,05	0,5	0,5	62,2
Estudiantes (Carcelén)	481	1,96	0,05	0,5	0,5	213,8

Encuesta (Envases plásticos desechables para líquidos – Campus Carcelén)

El uso de una encuesta es necesario para comprobar la cantidad y tipo de plástico más consumido dentro de la comunidad del campus Carcelén, además de verificar el uso de los puntos de reciclaje para la construcción de la máquina entorno a estos aspectos. Se presentan las preguntas de la encuesta de forma detallada en el "Anexo 1. Encuesta".

Selección de Instrumentos de investigación. (QFD)

Casa de calidad (QFD)

Según Orozco y otros (2021), el QFD (Quality Function Deployment o "QFD"), es una herramienta de apoyo para el diseño, principalmente enfocado en el área de calidad. Este método consiste en expresar los requerimientos del usuario durante las diferentes etapas del diseño técnico para reducir errores mediante evaluaciones de prioridades.", página 2.

El uso de esta metodología es necesario para validar el diseño propuesto de la máquina trituradora-extrusora, debido a que se toma en cuenta trabajos, estudios y prototipos previamente realizados con el fin de presentar un modelo 3D idóneo en función de los requerimientos que se planteen mediante el usuario. Se tomará en consideración como competencias, empresas en Quito que trabajan con máquinas similares, máquinas con características semejantes y trabajos de estudio relacionados máquinas trituradoras y extrusoras, buscando de esta forma mejorar el proceso. Las correlaciones comparadas

brindan prioridad a las características más relevantes para el diseño. (comparación técnica, calidad y requerimientos).

Usuario

Se toma en consideración que la máquina tiene un enfoque de funcionamiento dentro de la UISEK, las personas que trabajan con la máquina pueden ser estudiantes y docentes de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (usuarios), por lo que los principales parámetros estan seccionados en la parte izquierda de la matriz QFD indicados en la figura 6 y son:

- Tamaño de la máquina
- Capacidad de acuerdo al plástico del programa de reciclaje de la UISEK.
- Consumo energético.
- Seguridad.
- Calidad y Confiabilidad.
- Mantenimiento de la máquina.
- Procesamiento del Material

Figura 6. *Parámetros requeridos, matriz QFD*

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Column # / Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x) / Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows") / Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")
1		20,0	10,0	TAMAÑO DE LA MÁQUINA
2		8,0	4,0	CAPACIDAD
3		14,0	7,0	CONSUMO ENERGÉTICO
4		24,0	12,0	SEGURIDAD
5		6,0	3,0	CALIDAD Y CONFIABILIDAD
6		8,0	4,0	MANTENIMIENTO
7		14,0	7,0	TRABAJO

Competidores

- **Competidor 1 (Aceretech)**

La marca Aceretech, ofrece el modelo ASP, el cual se compone de un diseño de trituración a través de un cinta o banda transportadora, extrusora de un único tornillo con desgasificación, entre otros.

El diámetro de tornillo es de 80mm (estándar) en aleación con un rango de salida de 150 kg/h.

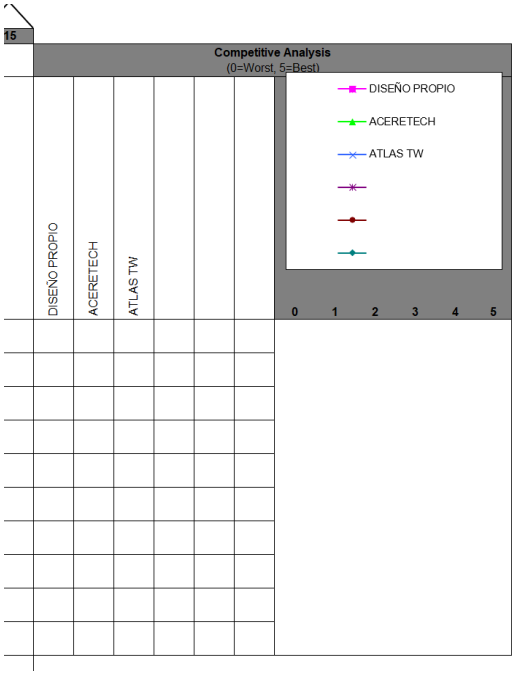
- **Competidor 2 (Atlas TW)**

El modelo de la marca Atalas TW WPS, es una línea de granulación y reciclaje de plástico 3 en 1, en donde está línea combina los procesos de trituración, extrusión y granulación. Al ser una línea busca reducir los costos de mano de obra y energía.

El modelo exacto WPS65, presenta un diámetro de tornillo de 65mm con un rango de salida o producción de 120 kg/h, todo el sistema está conectado con un motor principal de 40 HP.

Los competidores estan seccionados en la parte derecha de la casa de la calidad, como se observa en la figura 7.

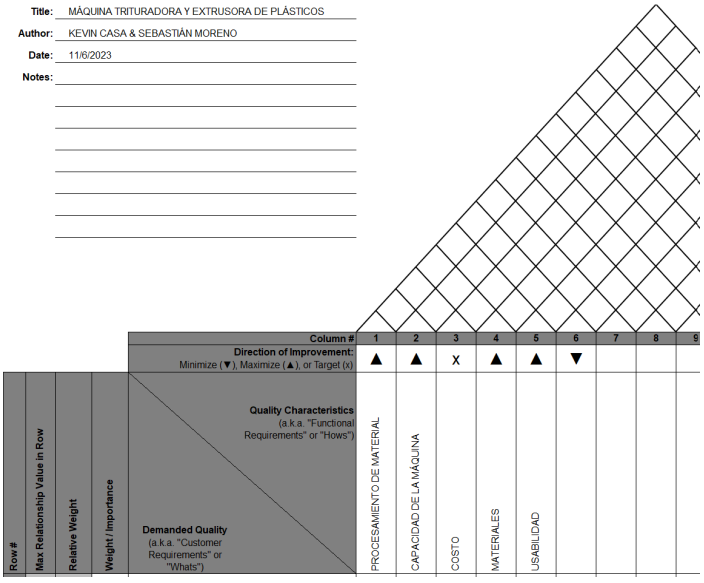
Figura 7. *Competidores, matriz QFD*



Voz del Ingeniero

Los parámetros de diseño de la máquina trituradora-extrusora de plásticos, van colocados en la parte de arriba en la casa de la calidad como se observa en la figura 8. Los principales parámetros considerados son: procesamiento del material (Tipo de material que maneja la máquina de acuerdo al material del programa de reciclaje de la UISEK), capacidad de la máquina, costos de la máquina, materiales que la constituyen y usabilidad.

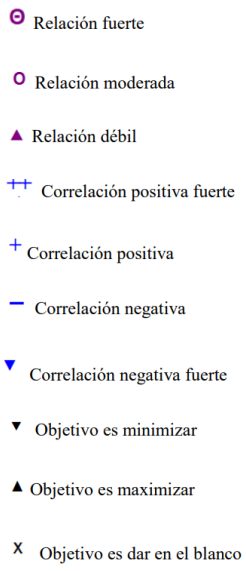
Figura 8. *Parámetros de diseño máquina trituradora-extrusora, matriz QFD*



Correlaciones

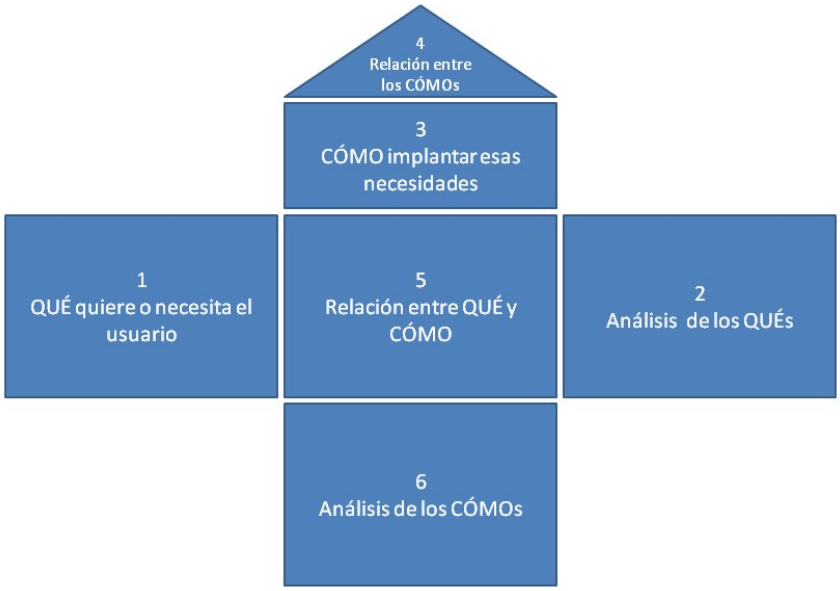
En la matriz QFD, se establecen las correlaciones que existen entre las características de filas y columnas, la simbología a utilizarse esta detalla en la figura 9.

Figura 9. *Simbología de correlación para matriz QFD*



En la figura 10 matriz QFD, se presenta completa la matriz. Se evidencia a detalle en el archivo: “Matriz QFD-Máquina trituradora y extrusora” sección Anexos, anexo 2.

Figura 10. *Modelo del esquema de la casa de la calidad (QFD)*



Designación del diseño (Diseño experimental)

La designación del diseño de la investigación se realiza en base a los factores y niveles (variables dependientes e independientes) que se detallan a continuación y el número de repeticiones por tratamiento por la ecuación 3, esto nos indicará que debemos realizar un cierto número de experimentaciones de la máquina trituradora y extrusora.

Variables para la experimentación

En este trabajo de investigación se manejan dos tipos de variables: dependiente e independiente, se detallan de la siguiente manera:

Variable Dependiente: Peso filamento extruido

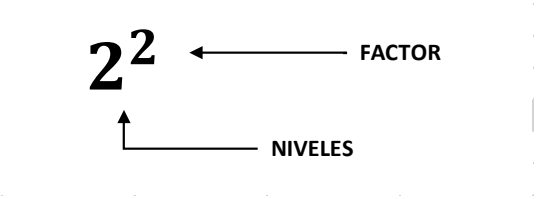
Variables Independientes: Rangos de Temperatura y Tipo de Material

Factores: 2

Niveles: 2

- 2 niveles de Rangos de temperatura T1= (250°-310°) y T2= (200°-385°).
- 2 tipos de material (PET y HDPE).
-

Figura 11. *Simbología factores y niveles de la experimentación.*



Tratamientos

El número de tratamientos que se deben realizar en la investigación se mide por la multiplicación entre los factores y niveles, en este caso 4 como se muestra a continuación:

PETR1 – PETR2 – HDPER1 – HDPER2

Mediante la ecuación 3, se obtiene el valor adicional de repeticiones que se deben realizar en la experimentación para tener una validez en la misma.

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x}\right)^2 \qquad [3]$$

En donde: n= Número de repeticiones por tratamiento, n´= Número de observaciones preliminares, ∑= Suma de valores, x= Valor de las observaciones, 40= Una constante para un nivel de confianza del 95% y un error del 10%

Materiales y Equipos. (Equipos, Materiales, Laboratorios, Software)

La máquina trituradora y extrusora se compone de diferentes materiales, porque realiza distintos trabajos durante su operación, los mismos ayudan a obtener un determinado filamento y correcto funcionamiento, dentro de los principales equipos y materiales tenemos:

- Material 1045 (Eje trituradora).
- Material 1018 (Cilindro extrusora).
- Material A46 (Estructura / Base de la máquina).
- Material 705 (Husillo / Sinfín).
- Acero Inoxidable (Cuchillas trituradora).

En la tabla 4, se encuentran detalladas las propiedades de los materiales usados para la máquina trituradora y extrusora.

Tabla 4.

Propiedades de materiales – máquina trituradora y extrusora.

Material	Propiedades mecánicas					Propiedades físicas
	Dureza (HB)	Esfuerzo de fluencia (Mpa)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Elongación máxima (mm)	Módulo de elasticidad (GPa)	Densidad (g/cm3)
AISI 4045	163	310	565	50	200	7.87
AISI 1018	126	370	440	50	205	7.87
ASTM A36	400-500	250	-	50	200	7.85
AISI 705	270-330	392	-	50	-	-

Diseño e implementación (Prototipo físico)

El diseño de la máquina está basado en un diseño concurrente, busca plasmar el problema y la idea del tratamiento de desechos plásticos de manera conceptual, analizar el sistema mecánico para el movimiento y uso tanto de la trituradora como de la extrusora de manera cinemática y dinámica, con soporte matemático y de softwares.

Para la validación del sistema se utilizan las siguientes etapas de diseño avanzado:

Diseño Mecánico

Potencia del motor

Para el correcto funcionamiento e innovación de la máquina se ha decido hacer uso de un solo motor para el movimiento de la trituradora y extrusora, la ecuación 4 ayuda a determinar la potencia que se usa en el sistema, tanto para la trituradora como para la extrusora.

$$P_m = T * w \qquad [4]$$

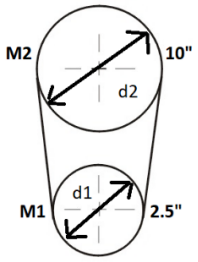
En donde: Pm= Potencia de motor, T= Momento torsor máximo, w= Velocidad angular del husillo

Sistema de transmisión

En el diseño de transmisión de potencia, se ha considerado incluir catarinas que faciliten el correcto movimiento de la trituradora y extrusora, con el fin de que ambas funcionen a distintas RPM (120-130 y 55-70) correspondientes a su respectivo funcionamiento. Dentro de este sistema se consideran parámetros importantes como:

Cálculo Motor-Eje

Figura 12. *Sistema Motor-Eje*



Nota. En la figura se considera a (M) como la velocidad de giro y (d) el diámetro.

Las consideraciones iniciales para el cálculo del sistema (Motor-Eje), son el sistema reductor, la relación de transmisión y la velocidad de giro estas últimas en función de la ecuación 5 y 6:

Sistema reductor

$$M1 > M2$$

$$d1 < d2$$

Relación de transmisión

$$i = \frac{d2}{d1} \qquad [5]$$

$$i = \frac{(10")}{(2.5")}$$

$$i = 4{:}\,1$$

El valor indica que la polea inferior gira 4 vueltas en relación a 1 que gira la polea más pequeña en la figura 12.

Velocidad de giro

$$i = \frac{M1}{M2} \qquad [6]$$

$$4 = \frac{1700\ rpm}{M2}$$

$$M2 = 425\ rpm$$

El valor indica la velocidad de giro que tiene la polea superior en la figura 12.

Cálculo Catarina-cadena

Figura 13. *Boceto del sistema*

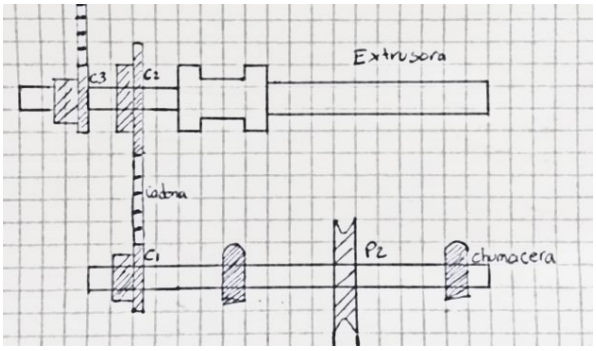
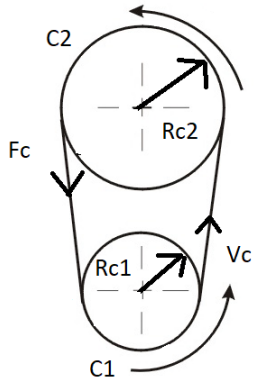


Figura 14. *Sistema Catarina-cadena*



Nota. En la figura se considera a (Fc) como la fuerza de cadena, (Vc) como la velocidad angular, (R) como el radio de las catarinas y (C) la identificación de las catarinas.

Se toma como consideración un modelo recomendado de catarina para C1 en base al catálogo de "Misumi-ec" (40B60) y se asume un valor referencial de 263 rpm (Valor ideal en extrusoras) para poder validar el cálculo del número de dientes de C2, esto se realiza en función de la ecuación 7.

$$N2 = \frac{n1 * N1}{n2} \qquad [7]$$

En donde: N= Número de dientes y n= Número de revoluciones.

$$N2 = \frac{425\ rpm * 17}{263\ rpm}$$

$$N2 = 27.47\ dientes.$$

$$n2 = \frac{N1 * n1}{N2}$$

$$n2 = \frac{17 * 425\ rpm}{60}$$

$$n2 = 120.4\ rpm$$

El valor de n2, es el valor real representado en rpm para la máquina.

Velocidad de cadenas.

El cálculo para las velocidades en las cadenas, se determina mediante la ecuación 8.

$$Vc = \frac{2\pi * R_{C1} * n}{60} \quad [8]$$

En donde: R= Radio y n= Revoluciones por minuto.

$$V_{c1} = \frac{2\pi * 38mm * 425\ rpm}{60}$$

$$V_{c1} = \ 1691.22\ mm/seg$$

El cálculo del paso de la catarinas, se determina mediante la ecuación 9.

$$D_{c1} = \frac{N_{C1} * P_{c2}}{\pi} \quad [9]$$

En donde: D= Diámetro de catarina, N= Número de dientes, Pc= Paso de Catarina

$$76mm = \frac{17 * P_{c2}}{\pi}$$

$$P_{c2} = 14\ mm$$

Figura 15. *Boceto del sistema*

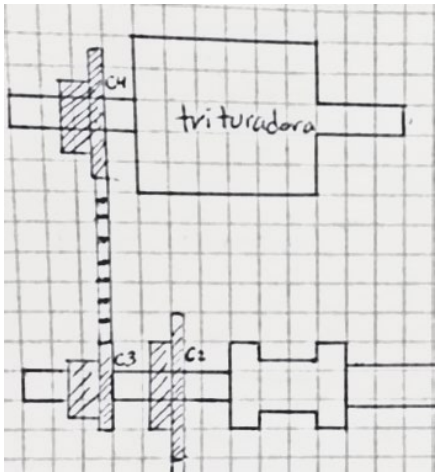
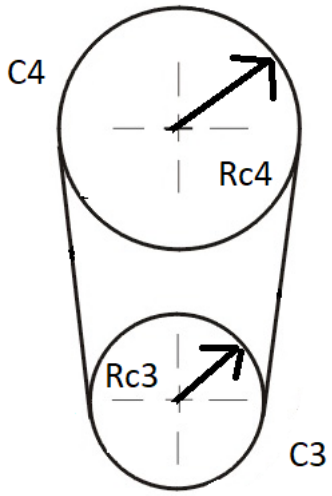


Figura 16. *Sistema Catarina-cadena*



Nota. En la figura se considera a (C) la identificación de las catarinas y (R) como el radio de las catarinas.

Las condiciones para el cálculo del sistema en Vc2 es de 120.4 rpm, Vc2=Vc3 debido a que está ubicado en el mismo eje y Vc2= nc2. Para el cálculo de dientes se usa la ecuación del apartado "Cálculo catarina-cadena" Ecuación 7. Se asume como recomendación en n4, 74 rpm.

$$N_4 = \frac{n_3 * N_3}{n_4} \qquad [7]$$

$$N_4 = \frac{120{,}4\ rpm * 17}{74\ rpm}$$

$$N_4 = 27.56\ dientes.$$

$$n4 = \frac{N3 * n3}{N4}$$

$$n4 = \frac{17 * 120{,}4\ rpm}{30}$$

$$n2 = 68.2\ rpm$$

Con los cálculos obtenidos la selección de la catarina está en un rango de (28-30) dientes, debido a que las revoluciones de la trituradora son de +/- 70 rpm.

Diseño Térmico

El diseño térmico para un correcto funcionamiento de la máquina requiere el uso de resistencias (calentadores) que permitan durante el proceso de extrusión que el material realice un proceso de cambio en su estado físico de: sólido a líquido. Todo este diseño

térmico se llevará a cabo con las siguientes ecuaciones de Savgorodny, V. K. (1973), "quien en su libro menciona que los flujos dependen únicamente de las dimensiones del husillo".:

$$\alpha = \frac{\pi * m * D * h * \left(\frac{t}{m} - e\right) * cos^2\theta}{2} \quad [10]$$

En donde: α= Flujo de arrastre, m= Número de canales del husillo, D= Diámetro del husillo, h= Profundidad del canal en la zona de dosificación, t= Paso del husillo, e= Anchura de la cresta del filete.

$$\alpha = \frac{\pi * (1) * (0{,}01485m) * (0.002943m) * \left(\frac{0.03m}{1} - 0.003m\right) * cos^2(20º)}{2}$$

$$\alpha = 1.419 * 10^{-6} m^3$$

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left(\frac{t}{m} - e\right) sen\theta * cos\theta}{12(l)} \quad [11]$$

En donde: β= Flujo de presión, m= Número de canales del husillo, h= Profundidad del canal en la zona de dosificación, t= Paso del husillo, e= Anchura de la cresta del filete, l= Longitud de trabajo.

$$\beta = \frac{(1) * (0{,}002943m)^3 * \left(\frac{0{,}03m}{1} - 0{,}003m\right) sen(20º) * \cos(20º)}{12(0{,}6816m)}$$

$$\beta = 2{,}70 * 10^{-11}\, m^3$$

$$Q_t = \alpha(N) - \beta\frac{(\Delta P)}{n} \quad [12]$$

En donde: Qt= Flujo total, α= Flujo de arrastre, N= Revoluciones por segundo, β= Flujo de presión, ΔP = Presión promedio, n= Viscosidad.

$$Q_t = (1.419 * 10^{-6} m^3)(1.83\ rps) - (2{,}70 * 10^{-11}\ m^3)\frac{(1942276.026\ Pa)}{(600)}$$

$$Q_t = 2.50 * 10^{-6}\frac{m^3}{s}$$

$$T = \frac{\pi * l * r^2}{Q_t} \quad [13]$$

En donde: T= Tiempo de residencia de la mezcla, l= longitud de trabajo del husillo, radio del husillo, Qt= Caudal total presente en la extrusora.

$$T = \frac{\pi * (0{,}6816m) * (0{,}01485m)^2}{(2.50 * 10^{-6}\frac{m^3}{s})}$$

$$T = 188.17\ s. = 3min$$

La ecuación 13, determina el tiempo que el plástico debe mantenerse para hacer su cambio de sólido a líquido en la extrusora.

El volumen del cilindro está calculado por la ecuación 14, y se utiliza para determinar las resistencias que actuarán en el cilindro para realizar la transferencia de calor.

$$V_{ci} = L * \pi * (R_e^2 - R_i^2) \quad [14]$$

En donde: Vci= Volumen del cilindro, Re= Radio exterior del cilindro, Ri= Radio interno del cilindro, L= Longitud del cilindro.

$$V_{ci} = (0{,}685\ m) * \pi * ((0{,}0633m)^2 - (0{,}0305)^2)$$

$$V_{ci} = 6.62 * 10^{-3}m3$$

El flujo de calor presente en el sistema está calculado por la ecuación 15.

$$Q_r = \rho * V_{ci} * c * \theta_1 \left[1 - exp\left(-\frac{T * h_c * A_s}{p * V_{ci} * c}\right)\right] \quad [15]$$

En donde: Qr= Flujo de calor presente en el sistema, ρ= Densidad del material, Vci= Volumen del cilindro, c= Calor específico del material, hc= Coeficiente de transferencia de calor, θ_1 = Diferencial de temperaturas, T= Tiempo de residencia de la mezcla.

$$Q_r = \left(\frac{7870kg}{m^3}\right) * (6.62 * 10^{-3}m^3) * \left(1800\frac{J}{kg} * C^{\underline{o}}\right) * (375) *$$

$$\left[1 - exp\left(-\frac{(80s) * (36) * (0.0183)}{(7870kg/m^3) * (6.62 * 10^{-3}m3) * (1800\frac{J}{kg} * C^{\underline{o}})}\right)\right]$$

$$Q_r = 19758{,}35\ J$$

Las potencias que se necesitan en las resistencias tienen que estar relacionadas con el flujo de calor que se encuentra en el sistema y el tiempo de residencia. La potencia se obtiene a partir de la ecuación 16.

$$P_r = \frac{Q_r}{T} \quad [16]$$

En donde: Pr= Potencia de las resistencias, Qr= Flujo de calor presente en el sistema, T= Tiempo de residencia de la mezcla.

$$P_r = \frac{(19758{,}35J)}{(80s)}$$

$$P_r = 246{,}98\ W$$

El valor obtenido de Pr, se multiplica por factores que ayudan a obtener la potencia real requerida en el diseño térmico de la extrusora, los factores multiplicadores son: dimensionamiento y envejecimiento. El cálculo de la potencia real se obtiene a partir de la ecuación 17.

$$P_{rtotal} = P_{r*} * 1.2 * 1.4 \quad [17]$$

En donde: Prtotal= Potencia real y Pr= Potencia de las resistencias.

$$P_{rtotal} = 246{,}98\ W * 1.2 * 1.4$$

$$P_{rtotal} = 414{,}93\ W$$

Con el valor calculado de la potencia real se solita a un fabricante la realización de las resistencias, como información sugerida por el fabricante y por los Watts obtenidos, se colocan 4 resistencias de 10 A, a 220V.

Modelado 3D Prototipo

Para el modelo 3D de la máquina trituradora y extrusora se usa el programa Inventor de Autodesk, por su fácil interfaz y diversas herramientas. Este modelado, tiene una base donde están colocados todos los elementos que componen la máquina, una mesa de tubo cuadrado 40x40x2 (mm), las medidas de alto y largo se observan en las figuras 17 y 18 respectivamente. Además, se presenta una vista isométrica de la base en la figura 19.

Figura 17. *Vista lateral base máquina trituradora y extrusora.*

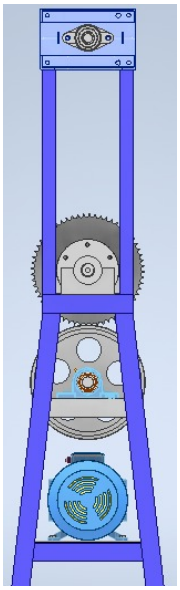


Figura 18. *Vista frontal base máquina trituradora y extrusora.*

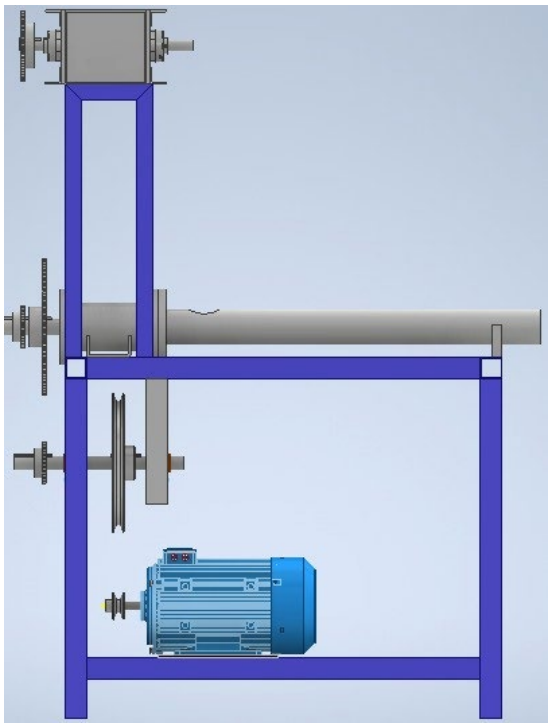
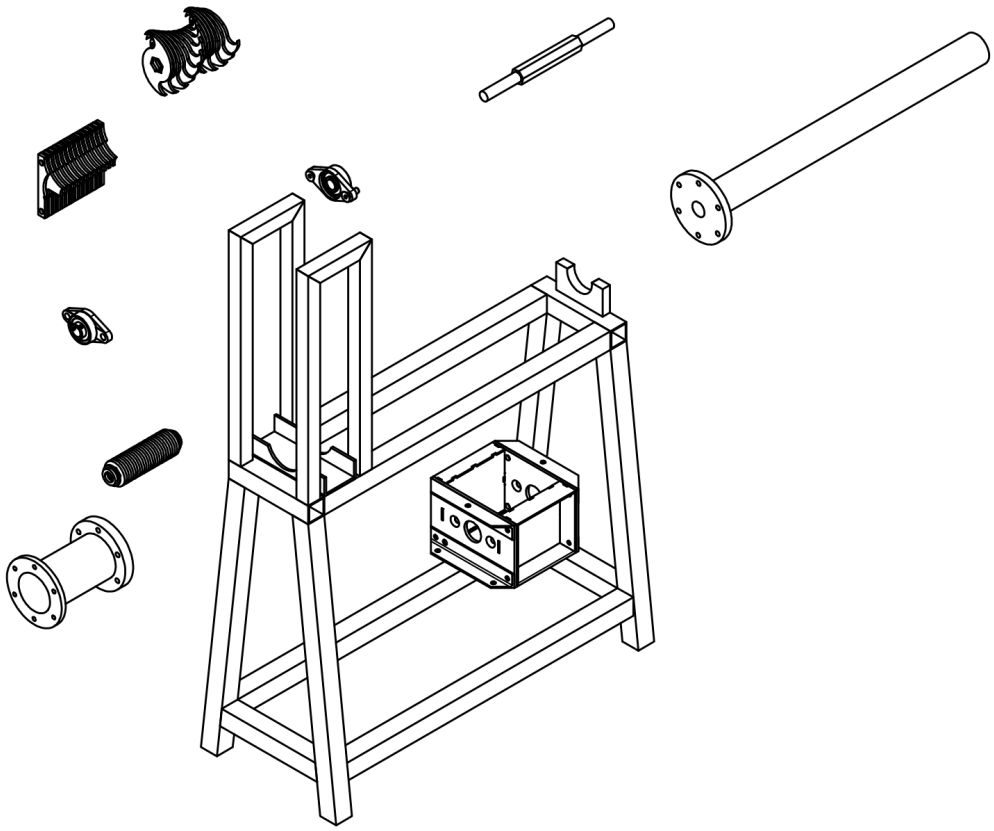


Figura 19. *Vista isométrica máquina trituradora y extrusora.*

Para la demostración del modelado de las partes y piezas que componen la máquina trituradora y extrusora, se usó la función de “Explosión” del software Inventor, esto para una mejor visualización, las medidas y materiales al ser un modelado a partir de Precious Plastic, se podrán evidencia a detalle en el archivo: “ENSAMBLE – MÁQUINA TRITURADORA Y EXTRUSORA.” sección Anexos.

Figura 20. *Explosión máquina trituradora y extrusora.*



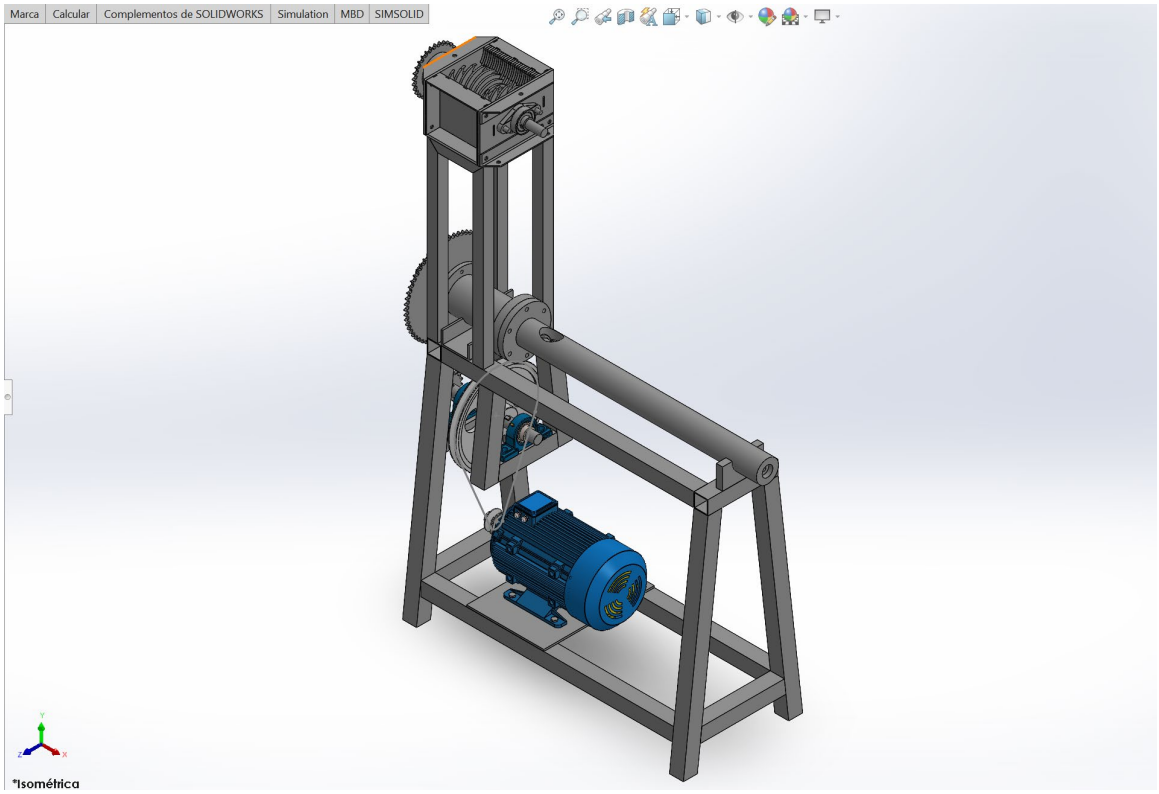
Simulación Mecánica (Sistema de transmisión de potencia-Ejes principales)

La simulación mecánica se realiza con la ayuda del software Solidworks, se determina el uso de este software por su calidad y rapidez en la generación de los resultados, además de su facilidad de configuración de mallado al elemento a un punto más fino.

Los parámetros en este software son colocados en base al cálculo previo dimensiones de las catarinas, poleas y pesos que aplicados sobre los ejes de la trituradora y extrusora, con el fin de validar la información y diseño de Precious Plastic, en la simulación se obtienen los valores de desplazamiento, deformaciones y el factor de seguridad de la (Trituradora y extrusora), con el fin de verificar el comportamiento de estas partes.

El software permite trabajar con el modelo de la máquina, sin embargo, el alcance en este apartado es para el diseño mecánico enfocado a los ejes principales de la máquina durante un estudio estático. En la figura 21, se observa el modelo de la máquina plasmado en SolidWorks y se utiliza la configuración de materiales del software con las mismas de construcción de la máquina.

Figura 21. *Máquina trituradora y extrusora de plásticos – Software SolidWorks.*

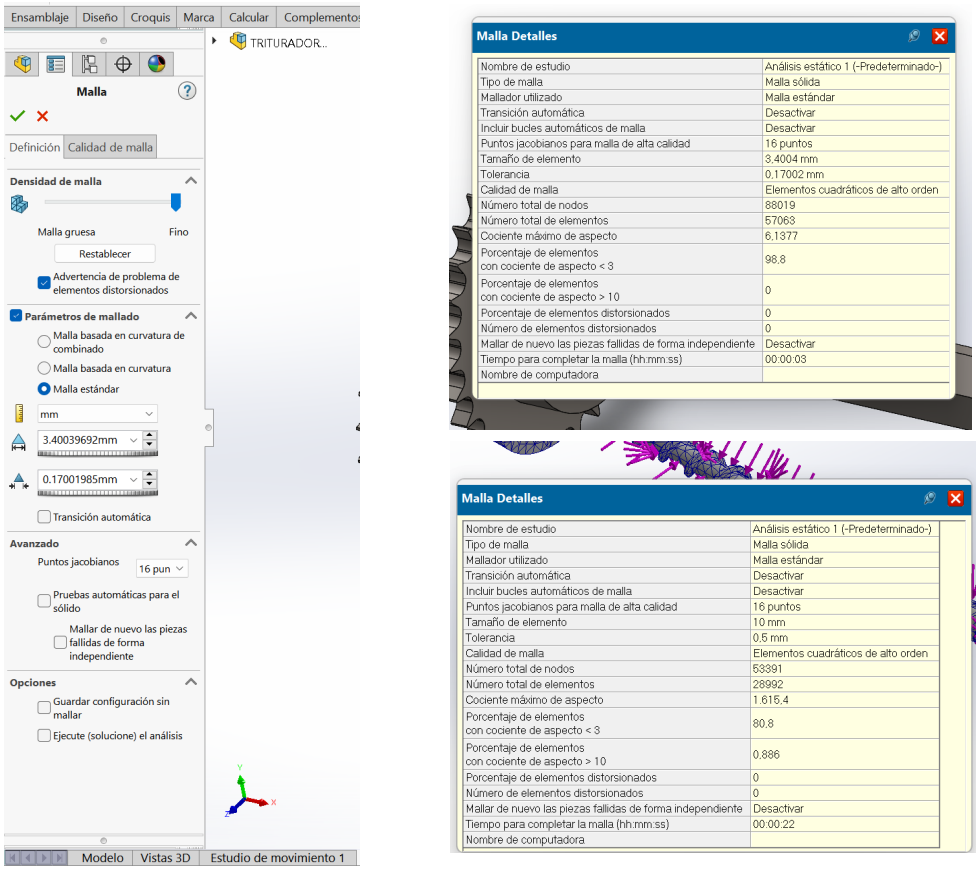


Mallado (Simulación de partes mecánicas)

El mallado que se utiliza para la simulación de las partes mecánicas y del estudio estático tiene ciertos parámetros: Tipo, dimensión, geometría y densidad. En la figura 22, se puede identificar los valores utilizados.

Se usa un mallado estándar para la simulación de 3.4mm para la trituradora y 10mm para la extrusora, ambas de 16 puntos, con la respectiva advertencia en caso de fallo en el mallado y parámetros sugeridos determinados por el software SolidWorks. En la selección de parámetros se omiten opciones adicionales para una simulación ágil y de resultados exactos.

Figura 22. *Parámetros de mallado – Software SolidWorks.*



Configuraciones de Sujeciones (Simulación de partes mecánicas)

Se configura las sujeciones para los ejes principales de la máquina. En la figura 23 (trituradora) y 24 (extrusora), se observa los valores correspondientes. Se toma en cuenta la sujeción de tipo geometría fija colocadas en las chumaceras, bases y puntas.

Figura 23. *Configuración de sujeciones (trituradora) – Software SolidWorks.*

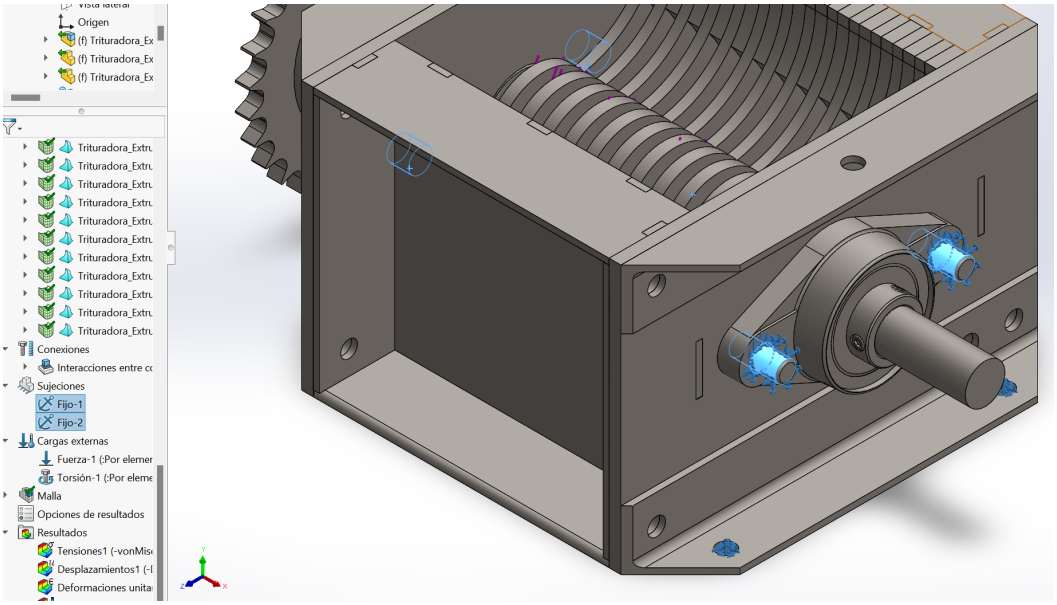
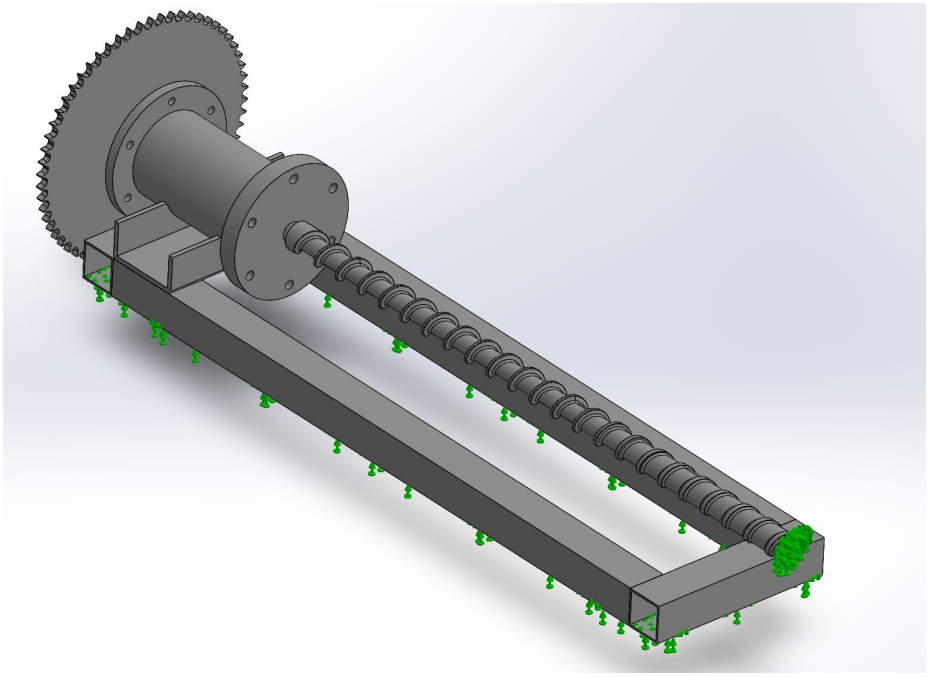


Figura 24. *Configuración de sujeciones (extrusora) – Software SolidWorks*



Configuraciones de Cargas (Simulación de partes mecánicas)

Se configura las cargas de forma estática con el peso de las partes a las que se están expuestos los ejes, para la trituradora el peso de las cuchillas de acero inox. Tiene un valor de 5kg = 50N, como se observa en la figura 25 y para la extrusora el peso del cobertor del husillo un valor de 10kg = 100N, como se observa en la figura 26. Estas cargas están distribuidas a lo largo del eje con una fuerza de torsión de 2 Nm y 4 Nm respectivamente.

Figura 25. *Configuración de cargas (trituradora) – Software SolidWorks*

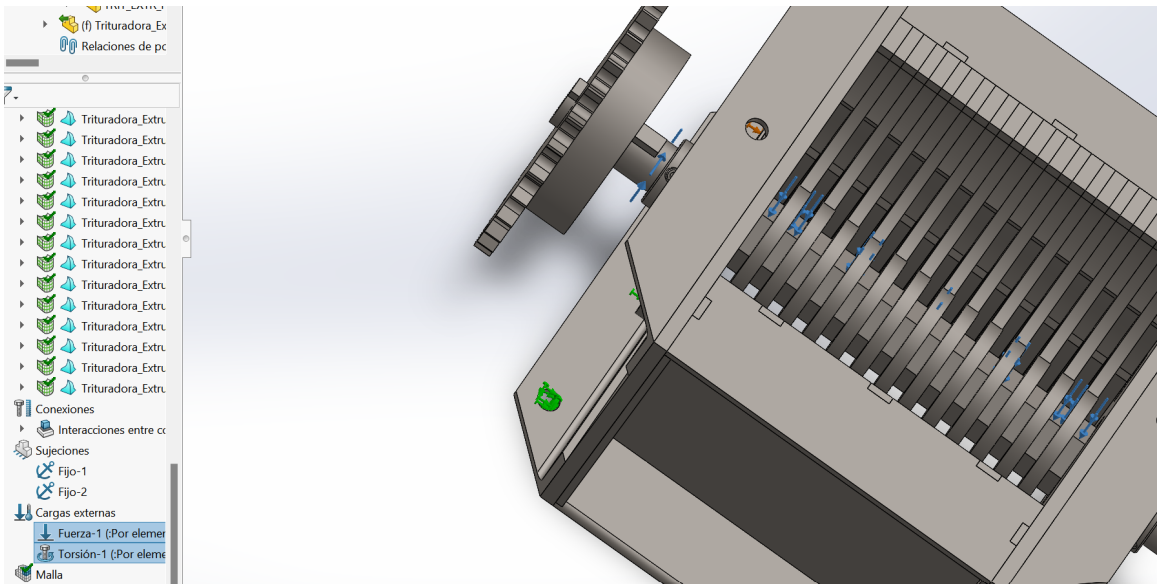
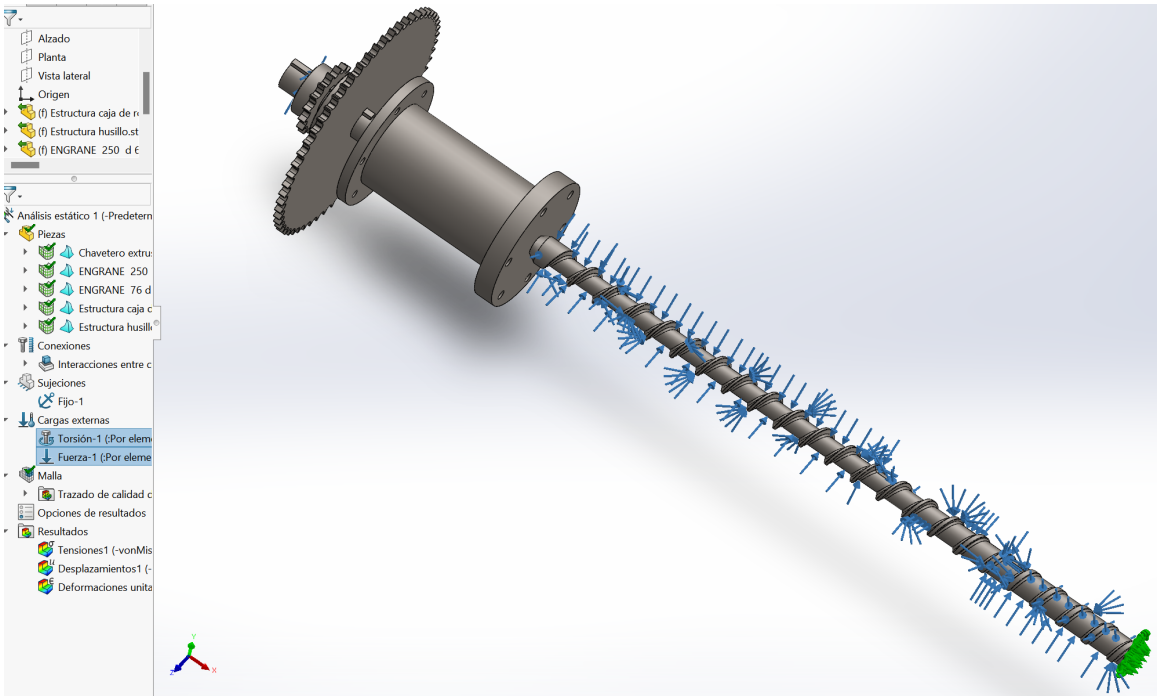


Figura 26. *Configuración de cargas (extrusora) – Software SolidWorks*

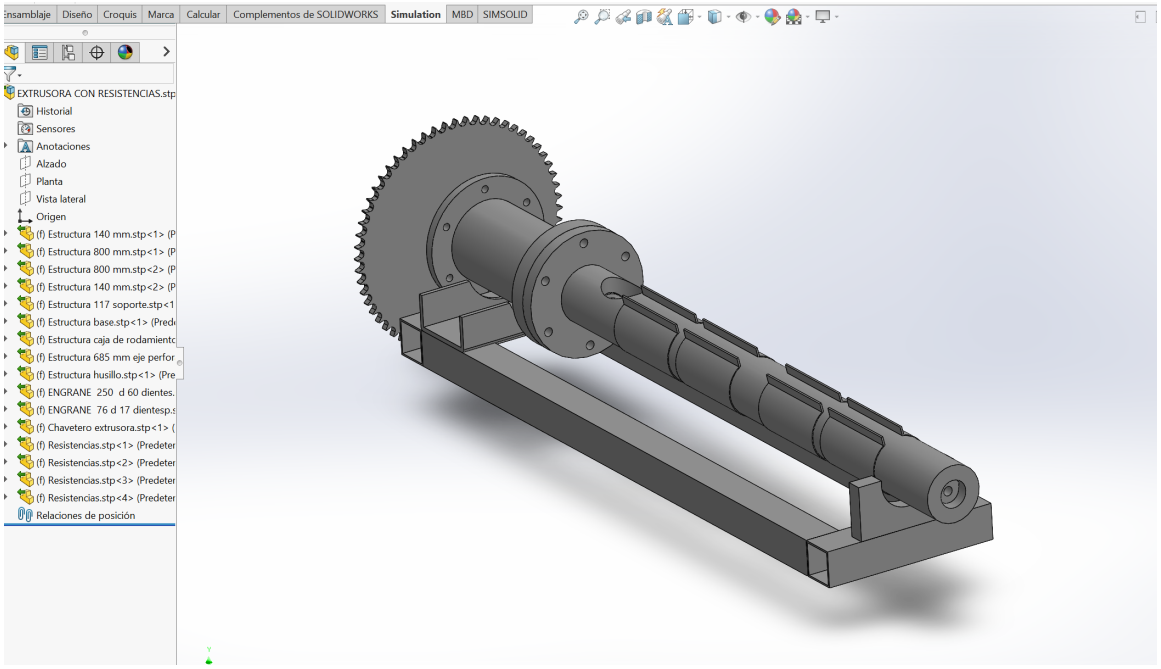


Simulación Térmica (Extrusora)

La simulación térmica se realiza con la ayuda del software SolidWorks, se determina el uso de este software por su calidad y capacidad de análisis térmico, facilidad de configuración de resistencias y cargas térmicas.

El software permite trabajar con el modelo de la máquina, sin embargo, el alcance en este apartado es para la parte de la extrusora. En la figura 27, se observa el modelo CAD importado a Solidworks.

Figura 27. *Extrusora SolidWorks*



Mallado (Extrusora)

El mallado que se utiliza para la simulación térmica de la extrusora tiene ciertos parámetros: Tipo, dimensión y geometría. En la figura 28, se puede identificar los valores utilizados.

El elemento de la malla será de 16 puntos de tipo estándar y fina, por el análisis a realizarse y por simplicidad en la pieza los resultados con esta malla son exactos y ayudan a verificar el diseño térmico implementado para la transferencia de calor entre resistencias

y extrusora. El dimensionamiento sugerido para el análisis es de 10mm y con valores previos determinados por el software Solidworks.

Figura 28. *Parámetros de mallado SolidWorks*

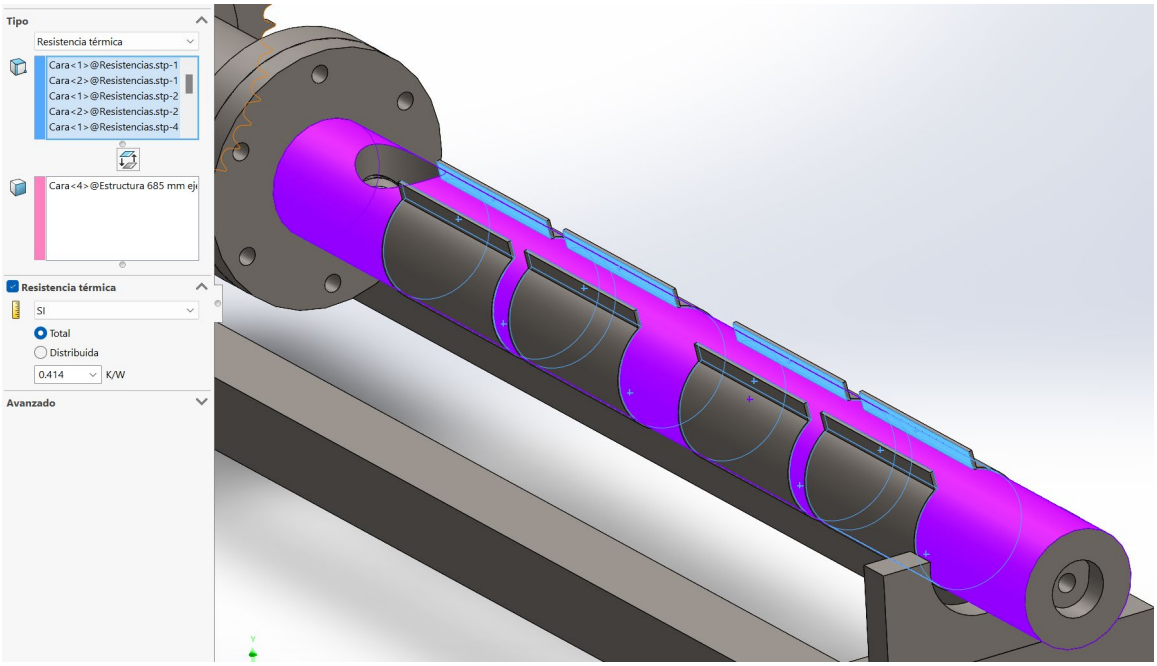
Malla Detalles

Nombre de estudio	Térmico 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elemento	10 mm
Tolerancia	0,5 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	129167
Número total de elementos	68124
Cociente máximo de aspecto	1.655
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	57,6
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	5,39
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Número de elementos distorsionados	0
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:15
Nombre de computadora	

Configuración resistencias (Extrusora)

Con los valores del cálculo obtenidos, se configura las resistencias usa la máquina. En la figura 29, se observa los valores correspondientes. Se toma en cuenta que la resistencia afecta al cilindro de la extrusora por lo cual se considera “On Surface” como parámetro inicial y se selecciona cada una de las resistencias.

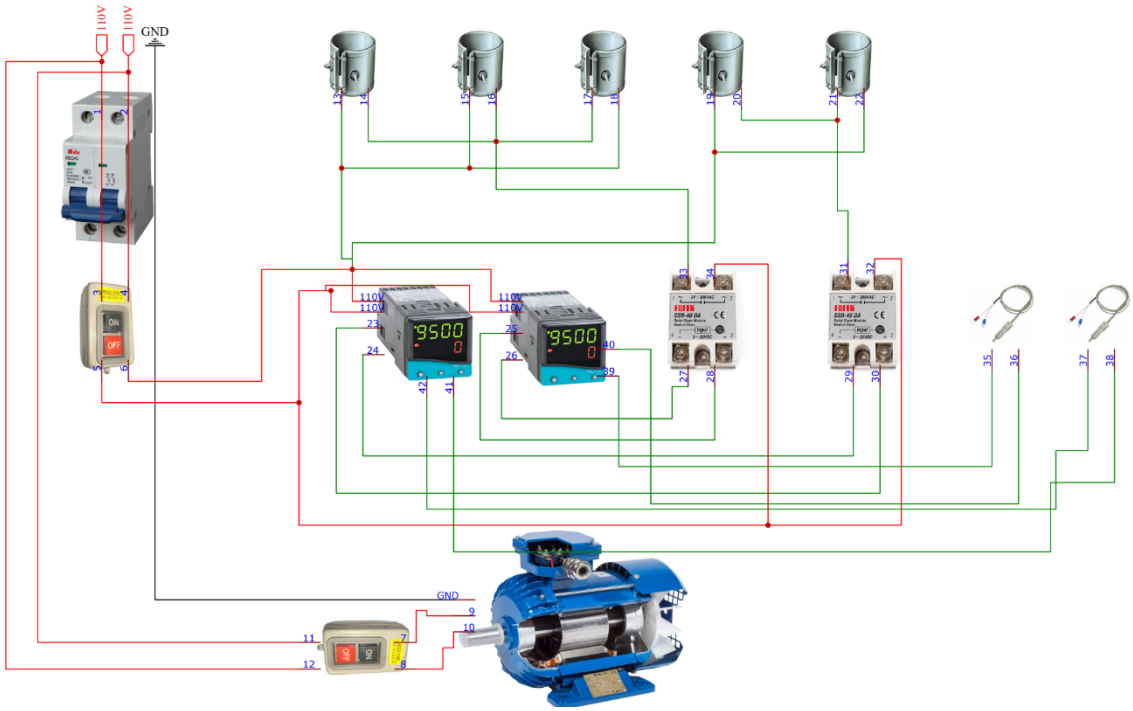
Figura 29. *Configuración de resistencias SolidWorks*



Control eléctrico para extrusora.

Para el control de temperatura mediante las resistencias de la extrusora, se implementa un Tablero con controladores PID, en la figura 30 se muestra el diagrama eléctrico con sus respectivos componentes realizado en Schematic.

Figura 30. *Diagrama eléctrico extrusora – Schematic*



Resultados

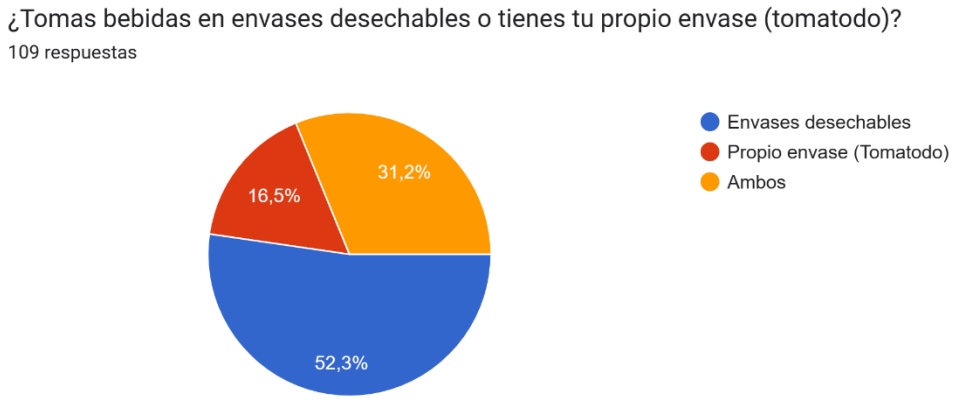
Los resultados obtenidos, durante el desarrollo de este trabajo de investigación están relacionados con los objetivos específicos que se han planteado.

Encuesta

Con el fin de tener el aprovechamiento de material que se tiene dentro del campus Carcelén de la UISEK, la pregunta 1 y de acuerdo a la figura 31 la comunidad tiene una tendencia a la compra de bebidas en tiendas, causando de esta forma desechos plásticos.

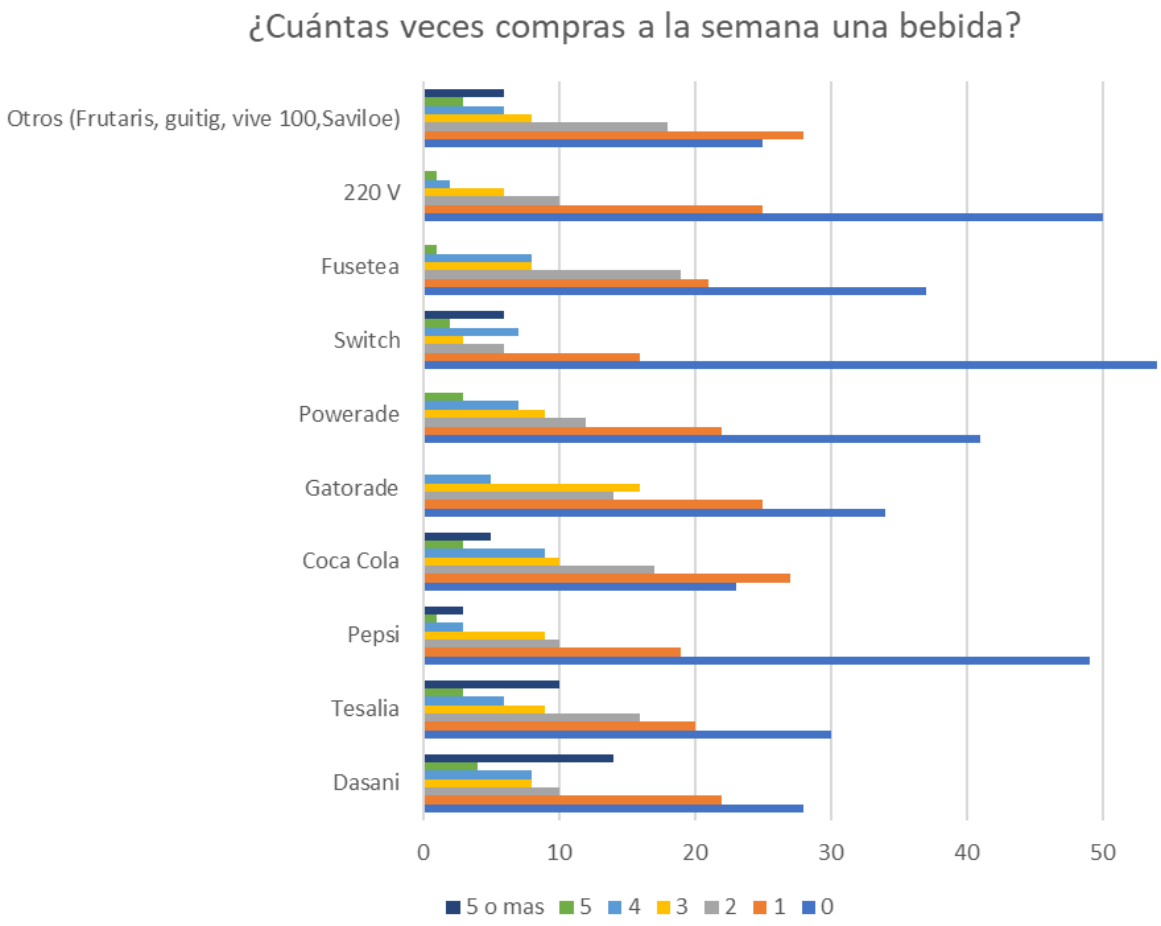
Este resultado respalda el uso y aprovechamiento de la máquina trituradora y extrusora de plásticos.

Figura 31. *Resultado Pregunta 1*



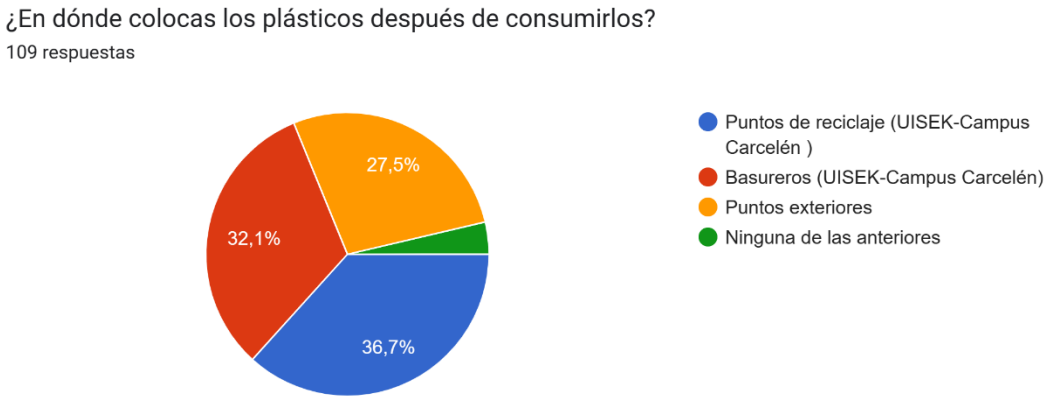
Para poder determinar el tipo de plástico y cantidad de plástico que se va a dar uso en la máquina trituradora y extrusora se utiliza el resultado obtenido de la pregunta 2 como se observa en la figura 32. Siendo el (PET) de botellas de “Dasani y Tesalia” el más consumido por la comunidad, es por esto que el funcionamiento principal de la máquina está centrado para este material, velocidad y temperaturas de extrusión.

Figura 32. *Resultado Pregunta 2*



La máquina tiene el fin de funcionar con el aprovechamiento del programa de reciclaje de la UISEK (campus Carcelén), por lo que de acuerdo con la pregunta 3, el enfoque de uso es correcto ya que la comunidad tiene un uso adecuado del programa llevado por parte de la Universidad como se observa en la figura 33 y el material podrá ser usado sin inconvenientes en la máquina.

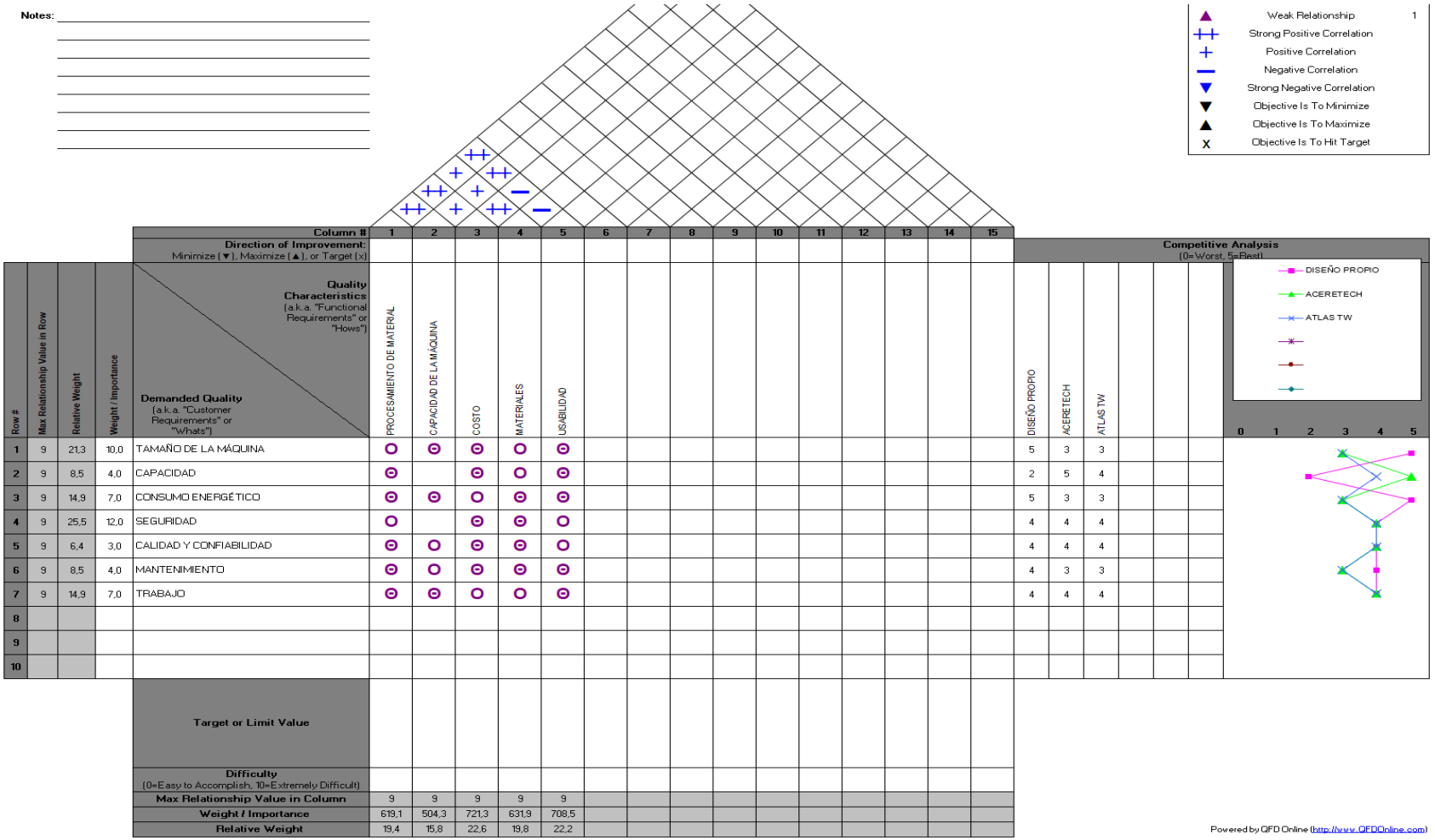
Figura 33. *Resultado Pregunta 3*



Matriz QFD

Los resultados obtenidos de la matriz QFD como se muestra en la figura 34, indican la prioridad que se debe dar a los conceptos de diseño, teniendo como punto de partida que el mayor peso compromete al “costo”, por lo que la máquina tiene en comparación un menor costo que las existentes en el mercado. La usabilidad que tiene la máquina es otro factor que se ha tomado en cuenta, por lo que la máquina puede trabajar con otro tipo de plásticos como el HDPE, el cual se pondrá en experimentación. Se observa, que la capacidad de la máquina no es una prioridad por lo que este será un principio muy bajo para el diseño de la máquina.

Figura 34. *Matriz QFD máquina trituradora y extrusora de plásticos.*



Notes:

Weak Relationship 1
Strong Positive Correlation
Positive Correlation
Negative Correlation
Strong Negative Correlation
Objective Is To Minimize
Objective Is To Maximize
Objective Is To Hit Target

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows") / Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	1 PROCESAMIENTO DE MATERIAL	2 CAPACIDAD DE LA MÁQUINA	3 COSTO	4 MATERIALES	5 USABILIDAD	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Competitive Analysis (0=Worst, 5=Best) DISEÑO PROPIO	ACERETECH	ATLAS TW			
Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)																										
1	9	21,3	10,0	TAMAÑO DE LA MÁQUINA	○	⊝	⊝	○	⊝											5	3	3			
2	9	8,5	4,0	CAPACIDAD	⊝		⊝	○	⊝											2	5	4			
3	9	14,9	7,0	CONSUMO ENERGÉTICO	⊝	⊝	○	⊝	⊝											5	3	3			
4	9	25,5	12,0	SEGURIDAD	○		⊝	⊝	○											4	4	4			
5	9	6,4	3,0	CALIDAD Y CONFIABILIDAD	⊝	○	⊝	⊝	○											4	4	4			
6	9	8,5	4,0	MANTENIMIENTO	⊝	○	⊝	⊝	⊝											4	3	3			
7	9	14,9	7,0	TRABAJO	⊝	⊝	○	○	⊝											4	4	4			
8																									
9																									
10																									
Target or Limit Value																									
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)																									
Max Relationship Value in Column					9	9	9	9	9																
Weight / Importance					619,1	504,3	721,3	631,9	708,5																
Relative Weight					19,4	15,8	22,6	19,8	22,2																

DISEÑO PROPIO
ACERETECH
ATLAS TW
0 1 2 3 4 5

Powered by QFD Online (http://www.QFDOnline.com)

Experimentación

La experimentación muestra el correcto funcionamiento de la máquina en diferentes pruebas y etapas (tratamientos), en las tablas 5, 6 y 7. Se muestran los valores de trituración y extrusión, los cuales no varían considerablemente conforme al tiempo de utilización de la máquina, además se observa que la cantidad de filamento extruido corresponde casi a la totalidad del plástico triturado, validando el correcto flujo de arrastre que presenta el husillo y las condiciones de temperatura que se han usado.

Tabla 5.

Experimentación 1, trituración y extrusión de plásticos.

Tipo de plástico	Descripción	Cantidad de Plástico (gr)	Peso plástico triturado (gr)	Tiempo de trituración (min)	Rango de temperatura (°C)	Tiempo de extrusión (min)	Peso Extruido (gr)
Plástico (PET)	Dasani y Tesalia	128	58	10	250-310	10.26	50
HDPE	Aceite	128	37	10	250-310	3.25	20
Plástico (PET)	Dasani y Tesalia	127	96	10	200-385	25.00	91
HDPE	Aceite	128	64	10	200-385	3.50	63

Tabla 6.

Experimentación 2, trituración y extrusión de plásticos.

Tipo de plástico	Descripción	Cantidad de Plástico (gr)	Peso plástico triturado (gr)	Tiempo de trituración (min)	Rango de temperatura (°C)	Tiempo de extrusión (min)	Peso Extruido (gr)
Plástico (PET)	Dasani y Tesalia	129	81	10	250-310	10.26	73
HDPE	Aceite	128	56	10	250-310	4.38	45
Plástico (PET)	Dasani y Tesalia	128	98	10	200-385	28.00	85
HDPE	Aceite	128	48	10	200-385	4.25	39

Tabla 7.

Experimentación 3, trituración y extrusión de plásticos.

Tipo de plástico	Descripción	Cantidad de Plástico (gr)	Peso plástico triturado (gr)	Tiempo de trituración (min)	Rango de temperatura (°C)	Tiempo de extrusión (min)	Peso Extruido (gr)
Plástico (PET)	Dasani y Tesalia	128	111	10	250-310	40.00	108
HDPE	Aceite	128	78	10	250-310	7.10	71
Plástico (PET)	Dasani y Tesalia	128	140	10	200-385	45.00	134
HDPE	Aceite	128	64	10	200-385	6.00	51

Simulación Mecánica

En la figura 35 y 36, se muestran los resultados de la simulación con las cargas aplicadas a los ejes. En la parte de la trituradora, se observan los valores máximos y mínimos, las secciones más comprometidas y por donde ocurriría una falla (Von Mises). El desplazamiento que presenta el diseño es mínimo e imperceptible. Y las deformaciones que se observan en las simulaciones ocurren con mayor impacto en los chaveteros al tener un mayor concentrador de esfuerzo en el eje, sin embargo, la deformación para el funcionamiento y el análisis es mínimo por lo que se descarta un problema en el diseño. En la extrusora, se observa que el mayor punto de concentramiento es en la parte central del husillo y la catarina al tener un mayor diámetro. Para el análisis al utilizar una sujeción de geometría fija al extremo del eje causa que el desplazamiento que recibe por la carga de 100N incremente y se vuelve considerable. Las dimensiones del husillo pueden

comprometer el funcionamiento o diseño en caso de que la máquina no presente los respectivos soportes para la extrusora.

Figura 35. *Resultados de simulación – trituradora*

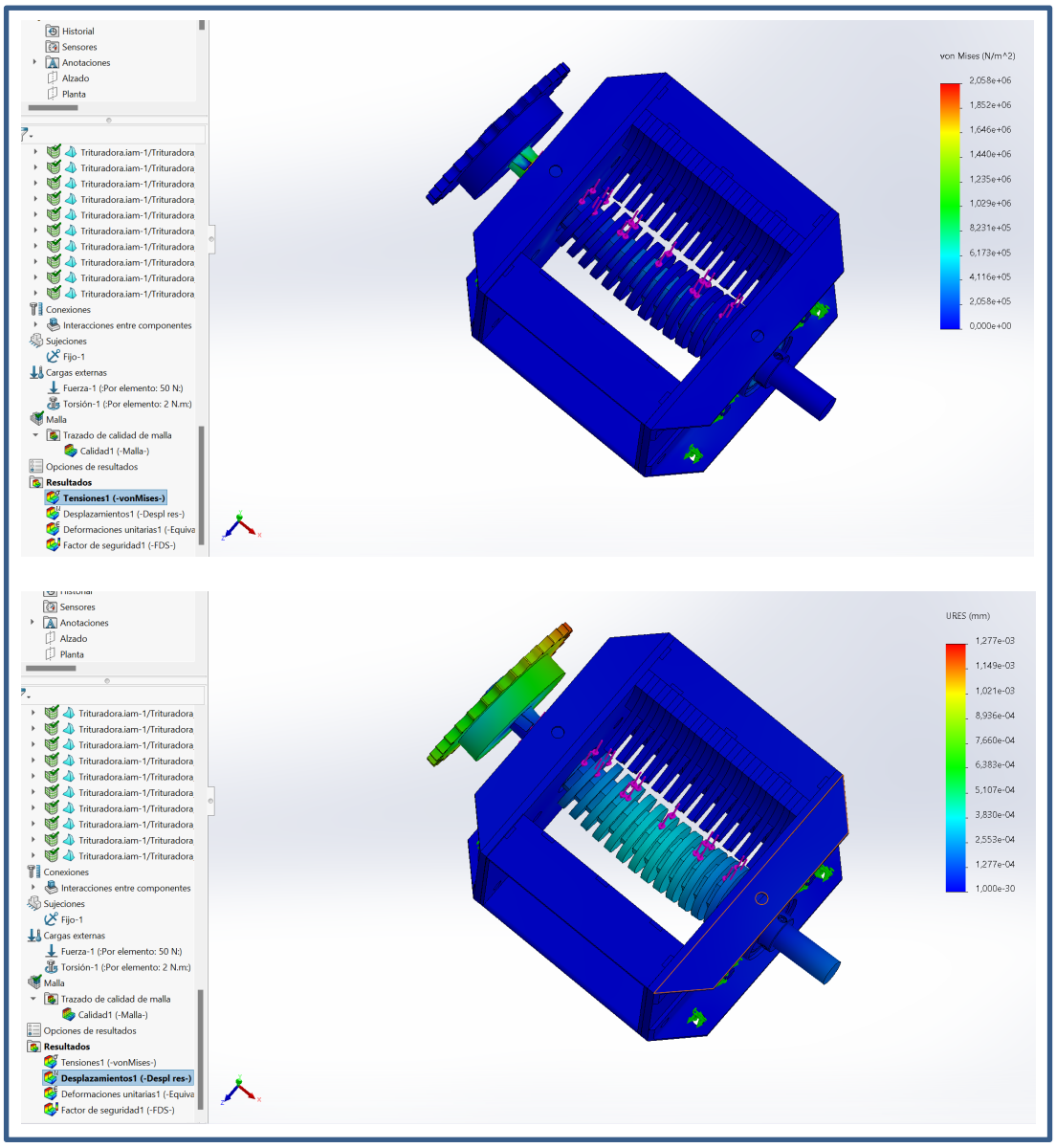
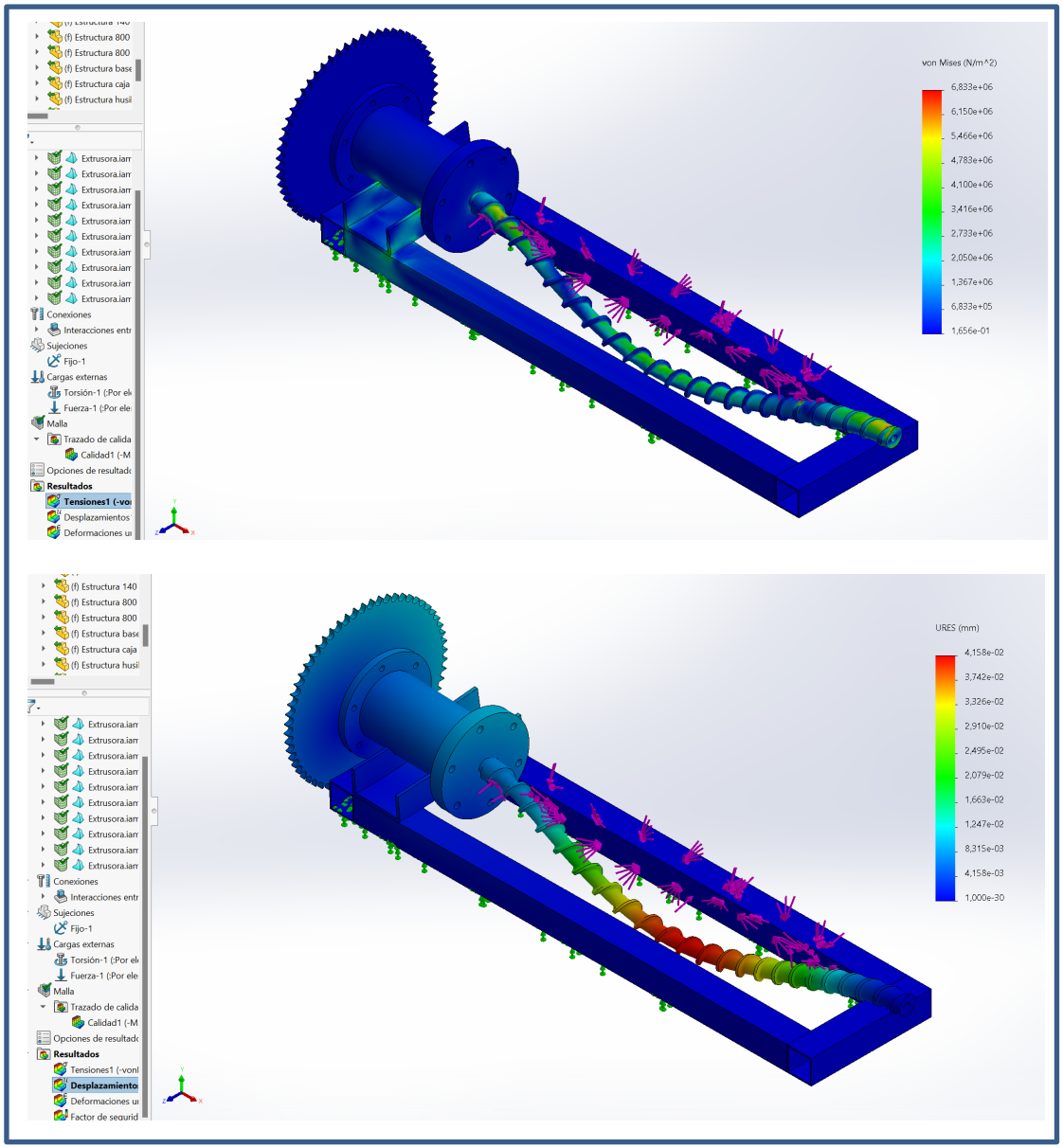


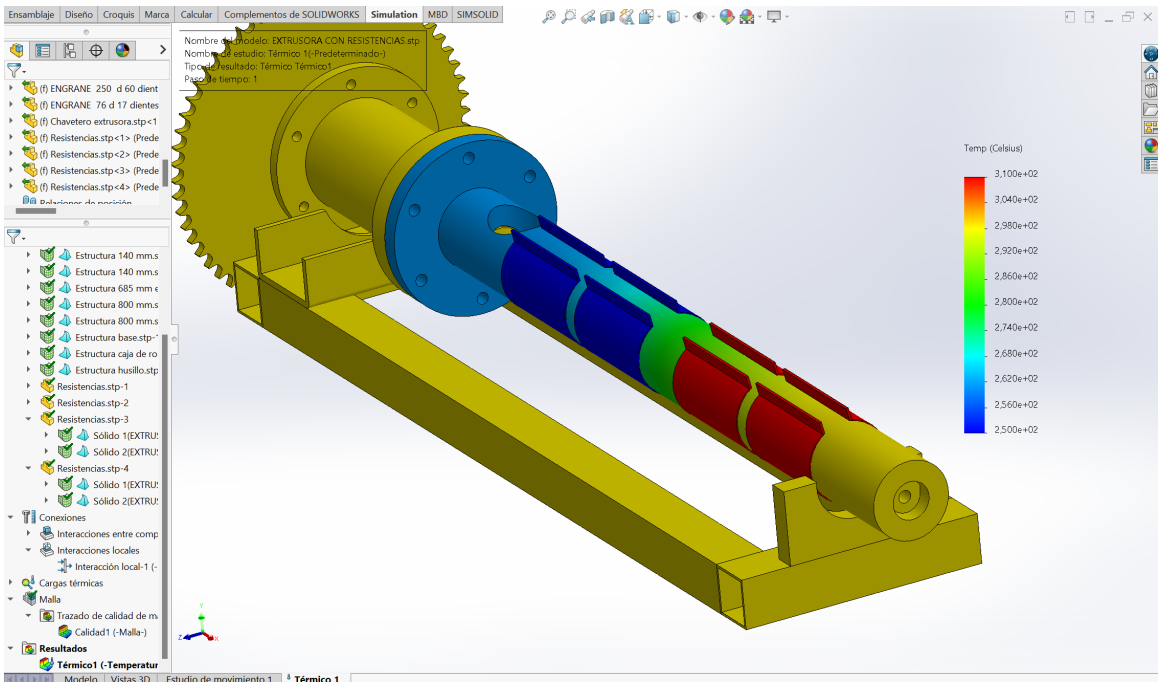
Figura 36. *Resultados de simulación – extrusora.*



Simulación Térmica

En la figura 37, se muestran los resultados de la simulación térmica, donde se puede observar que la temperatura alcanzada por las resistencias es cercana a los 400°C, y mostrando como afectan a los demás componentes teniendo principalmente una afectación en la parte intermedia, en la cual debe tener la mayor concentración al ser la parte de compresión de la extrusora, el material entra previamente calentado, como se observa en la sección de alimentación, al no estar consideradas otras opciones como: temperatura ambiente y control eléctrico, la estructura se ve afectada y solo presenta un resultado de temperatura en la extrusora.

Figura 37. *Resultados de simulación térmica – extrusora*



Máquina trituradora-extrusora de plástico

En la figura 38 y 39, conforme a los resultados anteriores, se cumple con los objetivos planteados en la investigación en el correcto funcionamiento del sistema integrado y se muestra la máquina construida.

Figura 38. *Máquina trituradora y extrusora*

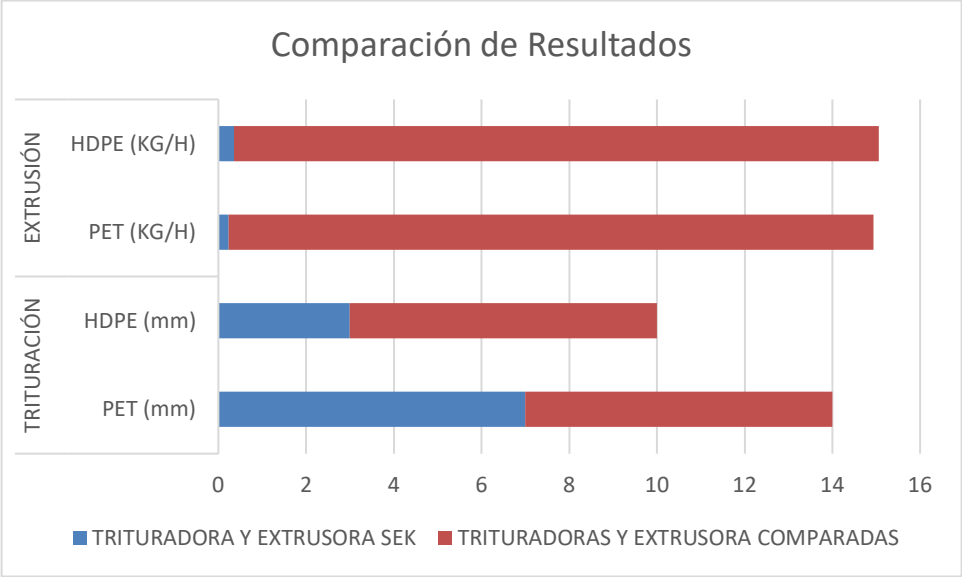
Figura 39. *Máquina trituradora y extrusora (Terminada).*

Discusión de Resultados

De acuerdo a los materiales seleccionados para la trituración y extrusión se mantuvo un resultado de los pellets con una dimensión de: (6-7) mm del plástico PET, mientras que para el plástico HDPE fue de: (2-3) mm. Esto concuerda con la investigación realizada por Martínez Ávila (2021) “en donde se explica que el tamaño ideal de trituración es de (7 mm), debido a que presenta una variación en su viscosidad”. página 23.

El resultado obtenido de la extrusión de la máquina fue de 0.231 kg/h con plástico PET y 0.357 kg/h con plástico HDPE, se puede comparar con la investigación de Gómez, J., J. G., & Gutiérrez, J. (2007) "realizó pruebas con el plástico PP, en donde obtuvo un resultado de 14.7 kg/h de extrusión". Se puede validar que los diferentes materiales afectan en la extrusión, por las dimensiones y diseños de la máquina extrusora, sin embargo, el valor obtenido en este trabajo de investigación y al ser una máquina de menor tamaño presenta una alta efectividad. En la figura 40, se muestra una gráfica comparativa.

Figura 40. *Comparación de resultados*



Con la experimentación del manejo del plástico HDPE, se lograron identificar diferentes características del material, ya que concuerda con Cáceres (2020) donde indica que "Mantiene un impacto químico los plásticos LDPE, HDPE Y PEAD", durante el

proceso de extrusión en la máquina la expulsión de gases y olor causaban afectación a las personas alrededor de la misma.

De acuerdo al diseño de Precious Plastic, se muestran tres tipos de materiales para la trituradora y extrusora: (PP, PS y HDPE), durante las pruebas y por requerimientos de funcionamiento de la máquina al tener una cantidad mayor de desechos plásticos PET en la Universidad Internacional Particular SEK (Campus Carcelén), la máquina de este trabajo investigativo presentó una eficiencia considerable durante el procesamiento de este plástico.

El control de temperaturas que mantiene la extrusora de Precious Plastic es a partir de 3 controladores con diferentes parámetros, sin embargo, la máquina de este trabajo investigativo con el fin de mantener una tener una mayor optimización de recursos, se realizó un control con 2 PID demostrando un resultado correcto de extrusión.

Conclusiones

Las encuestas realizadas a la comunidad del campus Carcelén, tuvo como resultado que el 52.3% de personas adquiere envases plásticos desechables, siendo la mayor cantidad de estos desechos botellas PET de dasani y tesalia. Cerca del 36.7% de la comunidad coloca los envases en los puntos de reciclaje establecidos por la UISEK, permitiendo de esta manera la viabilidad de la construcción de la máquina trituradora y extrusora de plástico.

El método QFD, presenta diferentes características técnicas y requerimientos de usuarios para determinar el diseño de la máquina. Con valores de peso en cuanto a diseño de 22.6 y 22.2 para el costo y usabilidad respectivamente, debe priorizarse en el diseño de

la máquina estos aspectos que de igual forma han sido comparados con competidores como Aceretech y Atlas TW.

El diseño de la máquina trituradora y extrusora, mantiene diferentes criterios de diseño por la comunidad de Precious Plastic enfocados en la trituradora y extrusora. Además, de tener requerimientos previos anclados a las encuestas y QFD. Los principales criterios que presenta la máquina son: calidad, confiabilidad, seguridad y tamaño.

La simulación mecánica obtuvo valores de desplazamiento que ocurren dentro de la trituradora y extrusora de 0.00127mm y 0.04158mm respectivamente, siendo un valor mínimo que no genera afectación en el funcionamiento de la máquina. De acuerdo al esfuerzo de tensión que se muestra en la simulación, la zona expuesta a un posible fallo se encuentra en el eje de la trituradora al tener un chavetero (concentrador de esfuerzo) y para la extrusora en la zona de alimentación y dosificación, siendo mínima por lo que se descarta.

La simulación térmica, mantiene resultados ideales y acercados a la realidad de la máquina durante la experimentación. La simulación muestra tres etapas de temperatura a lo largo del husillo alcanzando en la zona de alimentación cerca de 265°C, en la zona de compresión 298°C y para la dosificación cerca de 305°C, estas temperaturas permiten identificar un correcto proceso de extrusión del plástico y que son colocadas con facilidad en los PID.

Recomendaciones

Al momento de colocar el material para trituración, no colocar tapas o cintas adhesivas de los envases, esto para evitar posibles atascos del sistema de cuchillas. En caso de que las dimensiones de las botellas o desechos plásticos sean de una dimensión mayor, este debe ser despedazado para que el sistema no tenga o presente inconvenientes.

Se debe considerar una mejora en el motor de la máquina con iguales o mejores prestaciones que cumplan con una conexión de tipo bifásica, esto facilitará el uso en la mayoría de lugares en caso de que la máquina requiera ser transportada o movilizada a otro lugar. Al momento la máquina tiene un motor trifásico el cual funciona únicamente a un voltaje de 220V.

Rediseñar ciertas piezas como el eje de la trituradora, permitiría mejorar las condiciones de operación de la máquina, facilitando la trituración de materiales mucho más complejos en cuanto a su espesor y tamaño. De acuerdo a las experimentaciones, sería recomendable incrementar el diámetro del eje en sus puntos de apoyo o extremos para evitar posibles deformaciones y poder triturar estos materiales.

El encendido previo del sistema térmico-eléctrico, debería contar con una tecnología más avanzada como el uso de un PLC o microcontroladores para que realice una autolimpieza previa de la extrusora, controle las temperaturas de la extrusora y ayude a que la persona no corra riesgos al momento de operar o dar mantenimientos a la máquina por un posible atascamiento del sistema mecánico (husillo).

Se recomienda retirar el protector del sistema de cadenas al menos 1 vez por semana (máquina apagada), para verificar que se encuentra correctamente engrasada, tiemple de la cadena u movimientos oscilatorios no comunes para un correcto funcionamiento.

Se recomienda en futuras investigaciones sobre este trabajo, realizar un recubrimiento de la extrusora para evitar pérdidas de calor, al tener una dispersión considerable, los PID´s tienen que configurarse a temperaturas más altas de operación, sin embargo, al controlarse estas pérdidas se reduciría significativamente el consumo que tiene la máquina.

Lista de referencias

[1] P., & Castillo, J. (2006). Metodología para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras monohusillo. Colombia: Universidad Autónoma de Colombia.

[2] Caviedes Aguirre, J. D. (2020). Diseño de una máquina trituradora para plástico pet (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

[3] Caviedes Aguirre, J. D. (2020). Diseño de una máquina trituradora para plástico pet (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

[4] Groover Mikell, P. (1997). Fundamentos de manufactura moderna. Estado de México, México: Pearson Prentice

[5] de Luna, A. M., Reyes, E. G., & Herrada, R. G. (2022). Diseño y construcción de extrusora de PET reciclado. Conciencia Tecnológica, (63), 3.

[6] Hoyos Mateus, D., & Hoyos Mateus, M. R. (19 de Diciembre de 2022). Diseño de Trituradora PET / Universidad Distrital Francisco José Caldas - Repositorio Institucional. Obtenido de https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5292.

[7] Jiménez, A. G. F. (2022). Diseño del eje de una trituradora de plástico PET. Revista Tecnología Digital, 12(1), 33-41.

[8] Gómez, J. J. G., & Gutiérrez, J. (2007). Diseño de una extrusora para plásticos (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Mecánica).

[9] Plastic 2 Plactic / De Plástico a Plástico. (19 de Diciembre de 2022). Montaje de Eje de Triturado / Plastic 2 Plastic. Obtenido de https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/plastic2plastic/2019/01/31/montaje-del-eje-de-triturado/.

[10] SHIGLEY, Joseph Edgard, MITCHELL, LarryD. Diseño de Maquinas. 3 ed. Bogota: MacGraw Hill, 1990, 420p,440p

[11] Avilez Arévalo, R. S., & Ochoa Guaraca, S. D. (2021). Diseño de una máquina trituradora-extrusora de residuos de impresiones 3D para la empresa ALIUM EC ubicada en la ciudad de Cuenca (Bachelor's thesis).

[12] Chuquilin Zoto, A. (2021). Diseño de una máquina trituradora extrusora de botellas de plástico para la obtención de filamento pet a bajo costo.

[13] Sandoya Lara, D. G., & Macías Coello, C. M. (2021). Diseño y construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno

(pet) para la elaboración de filamento para impresoras 3d (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).

[14] Martínez Avila, J. J. (2021). Diseño de elementos mecánicos para extrusora de polímeros para producción de filamento para impresión 3D.

[15] Kanu, T. U., & Troulis, E. P. (2023). Precious Plastics-Plastic Brick Machine Fabrication.

[16] Luque Mendoza, E. Y. (2019). Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET.

[17] Clevel Angulo, J. A. (2020). Diseño de una trituradora de PET como herramienta de apoyo para las asignaturas de Ingeniería de UNICATÓLICA.

[18] Martínez Avila, J. J. (2021). Diseño de elementos mecánicos para extrusora de polímeros para producción de filamento para impresión 3D.

[19] Donoso Peñaherrera, M. A. (2021). Diseño y validación mediante CFD de un múltiple de admisión variable para el motor bah 1.6 l 8v de Volkswagen.

[20] Duarte Heredia, R. J. (2020). Diseño y manufactura de un tornillo de potencia para una máquina extrusora de plástico (Doctoral dissertation, Universidad del Valle de Guatemala). Recuperado de: https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3926&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=11300410252850640441&ei=N2dIZM3wA-CWy9YPzZW9uA8&scisig=AJ9-iYusJzhxw3Fi664M_6zo1spL

Anexos

ANEXO 1. ENCUESTA

Pregunta 1. ¿Tomas bebidas en envases desechables o tienes tu propio envase (tomatodo)?

a) Tienda.

b) Envase (Tomatodo).

c) Ambos.

Pregunta 2. ¿Qué tipo y cantidad de bebida consumes? (Independiente los litros)

Agua envasada ☐…….

Bebidas energéticas ☐…….

Colas ☐…….

Otros ☐ …….

Pregunta 3. ¿En dónde colocas los plásticos después de consumirlos?

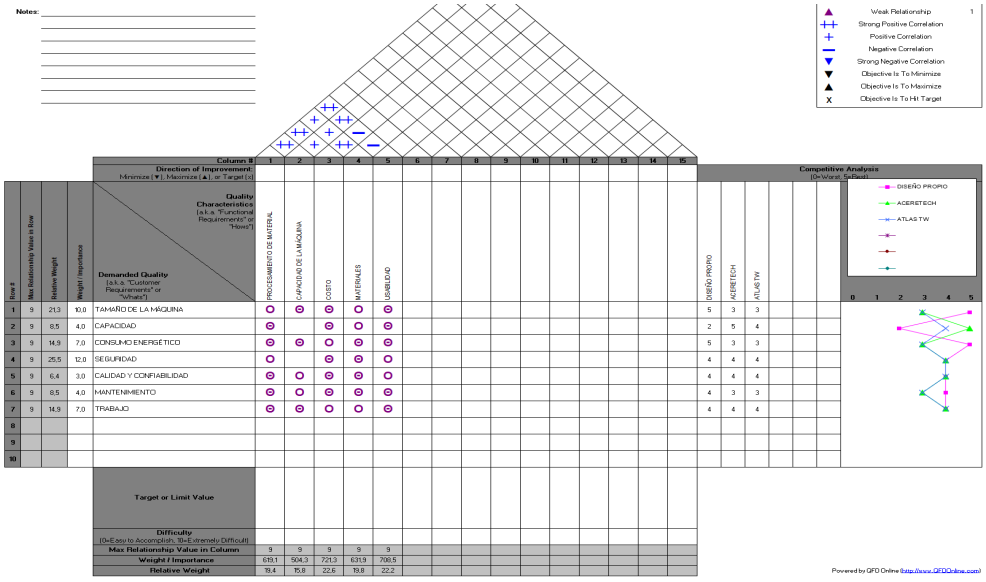
a) Puntos de reciclaje (UISEK-Campus Carcelén).

b) Basureros (UISEK-Campus Carcelén).

c) Puntos exteriores.

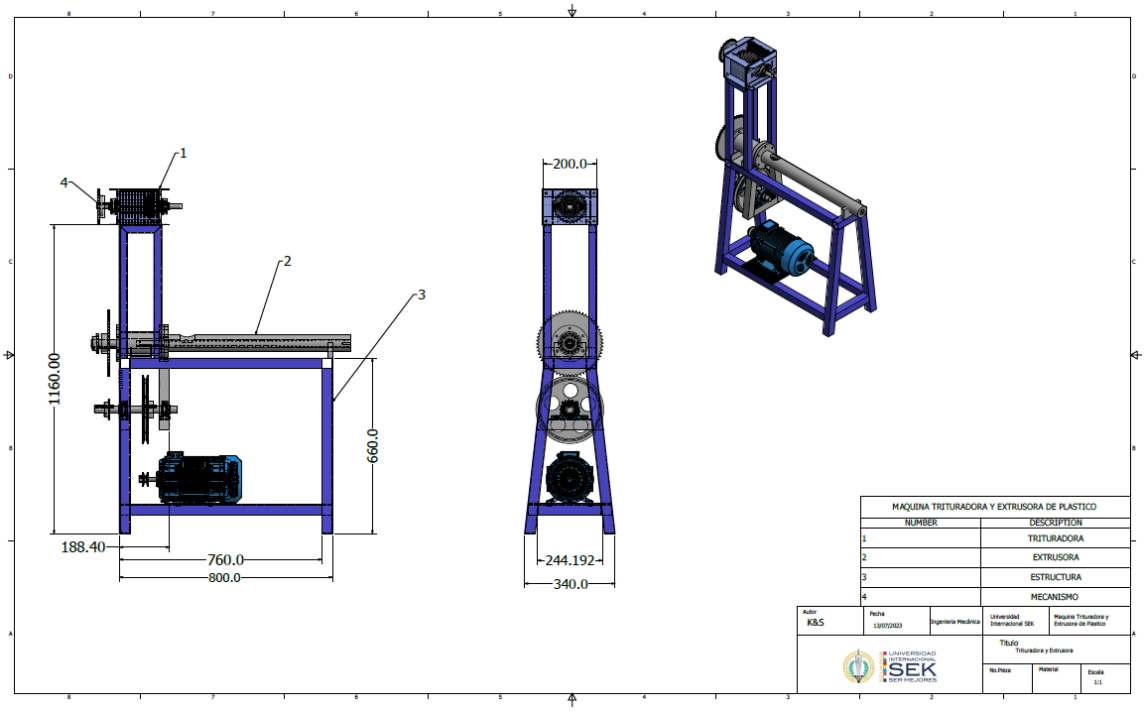
d) Ninguna de las anteriores.

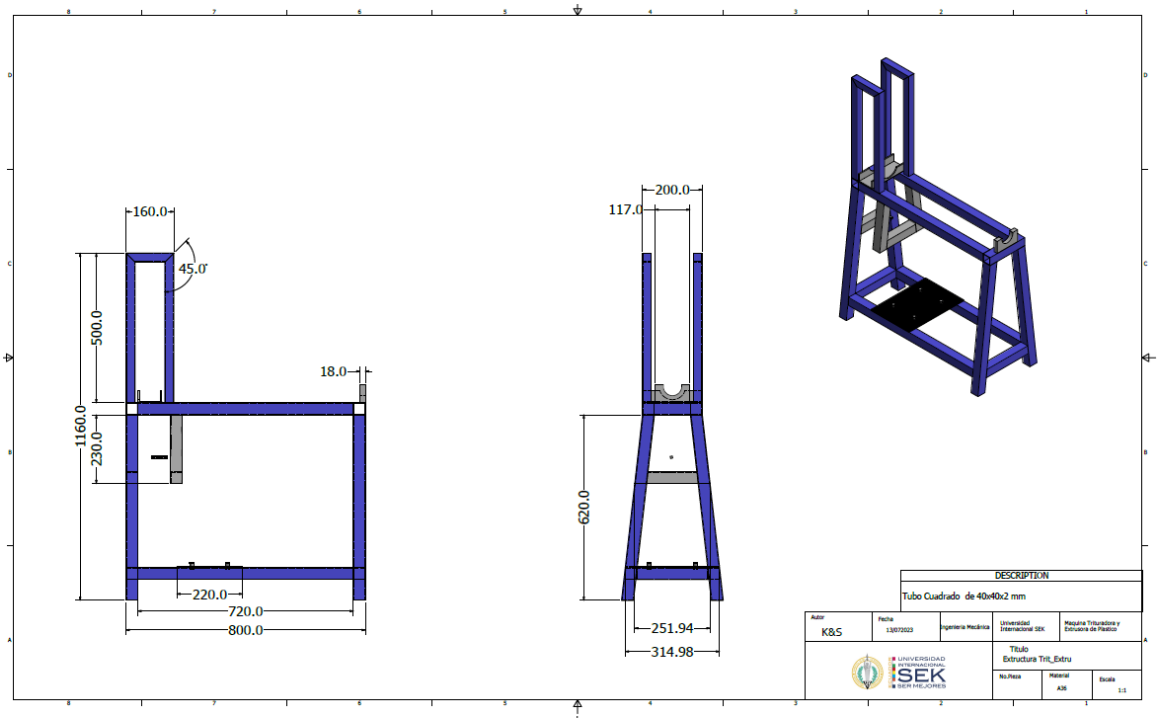
ANEXO 2. MATRIZ QFD-MÁQUINA TRITURADORA Y EXTRUSORA

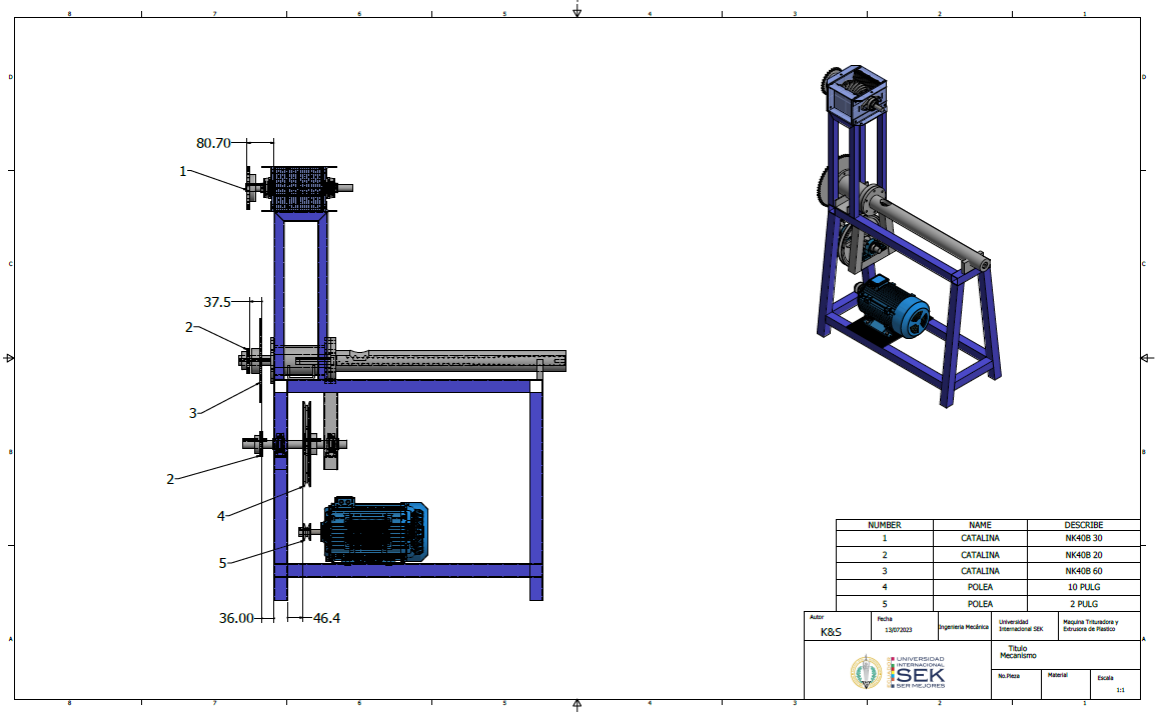


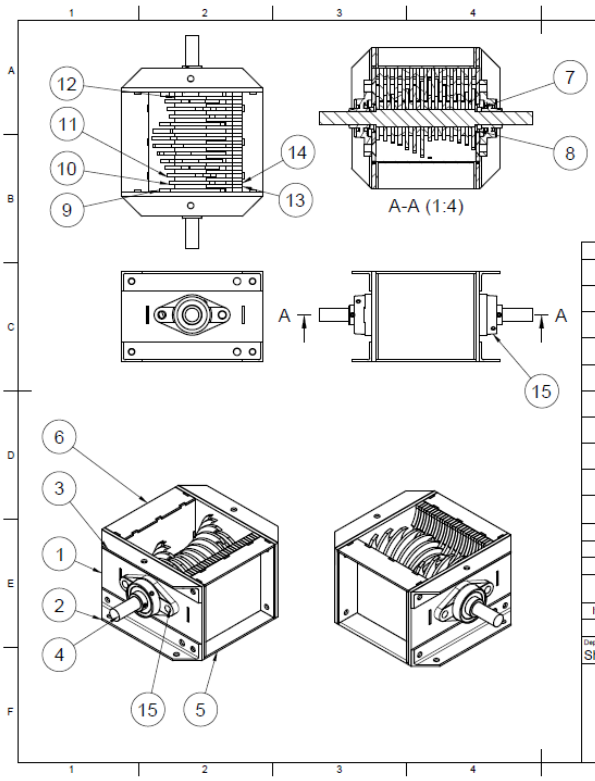
Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality	PROCESAMIENTO DE MATERIAL	CAPACIDAD DE LA MAQUINA	COSTO	MATERIALES	USABILIDAD	DISEÑO PROPIO	ACERETECH	ATLAS TW
1	9	21,3	10,0	TAMAÑO DE LA MÁQUINA	○	⊖	⊖	○	⊖	5	3	3
2	9	8,5	4,0	CAPACIDAD	⊖		⊖	○	⊖	2	5	4
3	9	14,9	7,0	CONSUMO ENERGÉTICO	⊖	⊖	○	⊖	⊖	5	3	3
4	9	25,5	12,0	SEGURIDAD	○		⊖	⊖	○	4	4	4
5	9	6,4	3,0	CALIDAD Y CONFIABILIDAD	⊖	○	⊖	⊖	○	4	4	4
6	9	8,5	4,0	MANTENIMIENTO	⊖	○	⊖	⊖	⊖	4	3	3
7	9	14,9	7,0	TRABAJO	⊖	⊖	○	○	⊖	4	4	4
8												
9												
10												
				Target or Limit Value								
				Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)								
				Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9			
				Weight / Importance	619,1	504,3	721,3	631,9	706,5			
				Relative Weight	19,4	15,8	22,6	19,8	22,2			

ANEXO 3. PLANOS DE LA MÁQUINA TRITURADORA Y EXTRUSORA




160.0
45.0°
500.0
1160.0
230.0
18.0
220.0
720.0
800.0
200.0
117.0
620.0
251.94
314.98
DESCRIPTION
Tubo Cuadrado de 40x40x2 mm
Autor
K&S
Fecha
13/07/2023
Ingeniería Mecánica
Universidad Internacional SEK
Maquina Trituradora y Extrusora de Plastico
Titulo
Extructura Trit_Extru
No.Pieza
Material
A36
Escala
1:1
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
SER MEJORES

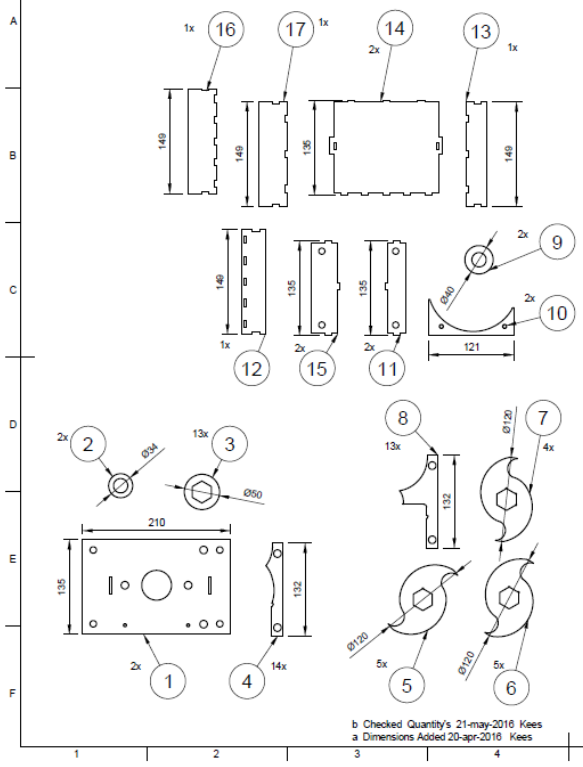

80.70
1
37.5
2
3
2
4
5
36.00
46.4
NUMBER
NAME
DESCRIBE
1
CATALINA
NK40B 30
2
CATALINA
NK40B 20
3
CATALINA
NK40B 60
4
POLEA
10 PULG
5
POLEA
2 PULG
Autor
K&S
Fecha
13/07/2023
Ingeniería Mecánica
Universidad Internacional SEK
Maquina Trituradora y Extrusora de Plastico
Titulo
Mecanismo
No.Pieza
Material
Escala
1:1
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
SER MEJORES



Item	Qty	Part Number	Description	Material
15	2	Bearing	UCFL204 20mm	Steel
14	14	Shredding Fixed Knife 6mm		Stainless Steel AISI 304
13	13	Shredding Fixed Knife 5 mm		Stainless Steel AISI 304
12	13	Shredding Knife Spacer 6mm		Stainless Steel AISI 304
11	4	Shredding Knife 3 5mm		Stainless Steel AISI 304
10	5	Shredding Knife 2 5mm		Stainless Steel AISI 304
9	5	Shredding Knife 1 5mm		Stainless Steel AISI 304
8	2	Shredding BearingSpacer 3mm		Stainless Steel AISI 304
7	2	Shredding BearingSpacer 6mm	32x32	Stainless Steel AISI 304
6	1	Shredding Framing Lasercutted Left		Stainless Steel AISI 304
5	1	Shredding Framing Lasercutted Right		Stainless Steel AISI 304
4	1	Shredding Shaft	Hex. 27mm L=320	Steel
3	1	Shredding Bracket Top		Steel
2	1	Shredding Bracket Bottom		Steel
1	1	Shredding Sideplate Lasercutted		Stainless Steel AISI 304

Parts List

Dept. Shredder	Technical reference Website	Created by Precious Plastic	Approved by Dave Hakkens
		Document type Sizes in mm.	Document status Scale 1:4
		Title Shredding Overview	DWG No. V2.0
			Rev. A3 / Date of issue 10-03-2016 / Sheet 1/11



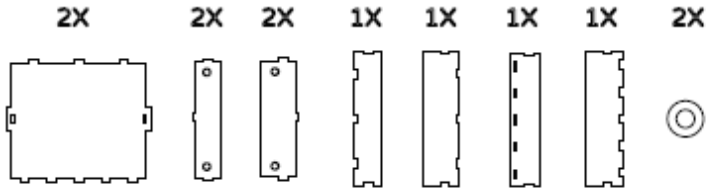
b Checked Quantity's 21-may-2016 Kees
a Dimensions Added 20-apr-2016 Kees

Item	Qty	Part Number	Description	Material
17	1	3mm 1x 01.04.19 Top2	149x41x3	Stainless Steel AISI 304
16	1	3mm 1x 01.04.18 Bottom2	149x41x3	Stainless Steel AISI 304
15	1	3mm 2x 01.04.17 Side	135x41x3	Stainless Steel AISI 304
14	1	3mm 2x 01.04.15 Middle	161x135x3	Stainless Steel AISI 304
13	1	3mm 1x 01.04.14 Top	149x30x3	Stainless Steel AISI 304
12	1	3mm 1x 01.04.13 Bottom	149x33x3	Stainless Steel AISI 304
11	1	3mm 2x 01.04.12 Side	135x30x3	Stainless Steel AISI 304
10	1	3mm 2x 01.04.10 SieveBracket	121x50x3	Stainless Steel AISI 304
9	1	3mm 2x 01.04.09 BearingSpacer	40x40x3	Stainless Steel AISI 304
8	1	5mm 13x 01.04.08 FixedKnife Big	132x55x5	Stainless Steel AISI 304
7	1	5mm 4x 01.04.05 Knife 3	120x120x5	Stainless Steel AISI 304
6	1	5mm 5x 01.04.04 Knife 2	120x120x5	Stainless Steel AISI 304
5	1	5mm 5x 01.04.03 Knife 1	120x120x5	Stainless Steel AISI 304
4	1	6mm 14x 01.04.07 FixedKnife small	132x25x6	Stainless Steel AISI 304
3	1	6mm 13x 01.04.06 KnifeSpacer	50x50x6	Stainless Steel AISI 304
2	1	6mm 2x 01.04.02 Bearing spacer	34x34x6	Stainless Steel AISI 304
1	1	6mm 2x 01.04.01 SidePlate	210x135x6	Stainless Steel AISI 304

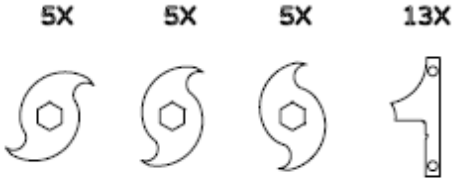
Parts List

Dept. Shredder	Technical reference website	Created by Precious Plastic10-03-2016	Approved by Dave Hakkens
		Document type sizes in MM	Document status scale 1:4
		Title Shredding Dxf Laser Files	DWG No. V2.0
			Rev. A3 / Date of issue 20-04-2016 / Sheet 2/11

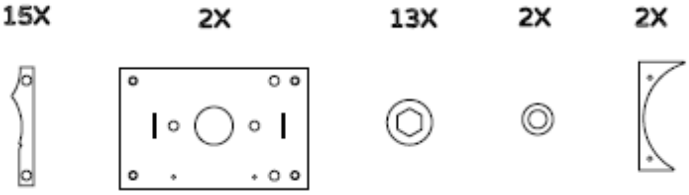
3MM

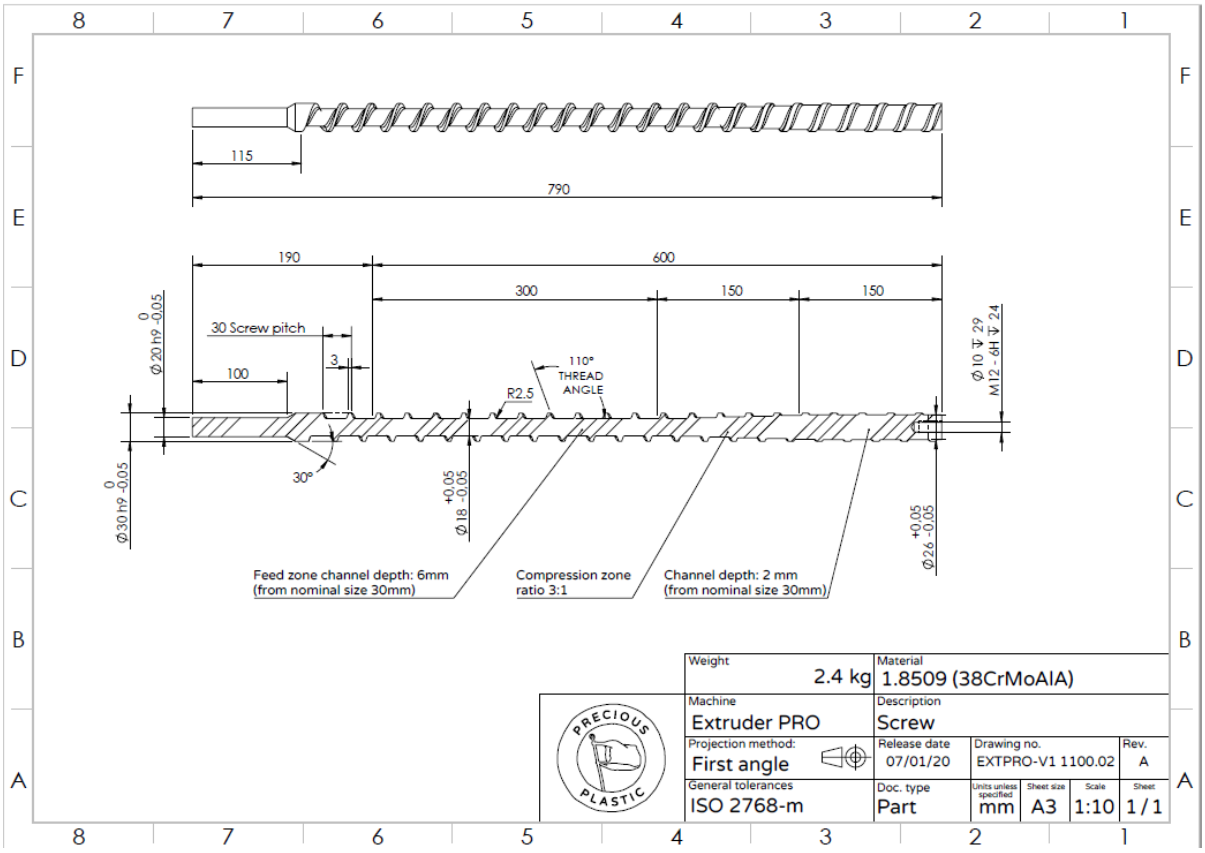


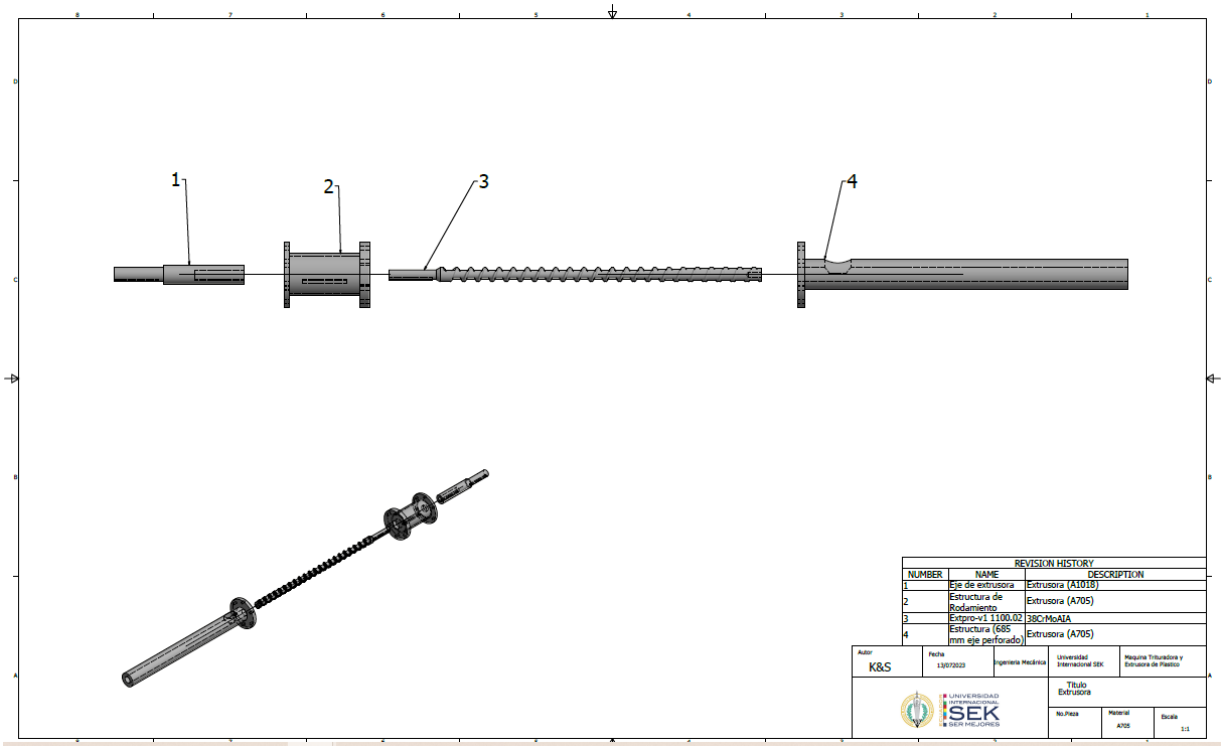
5MM

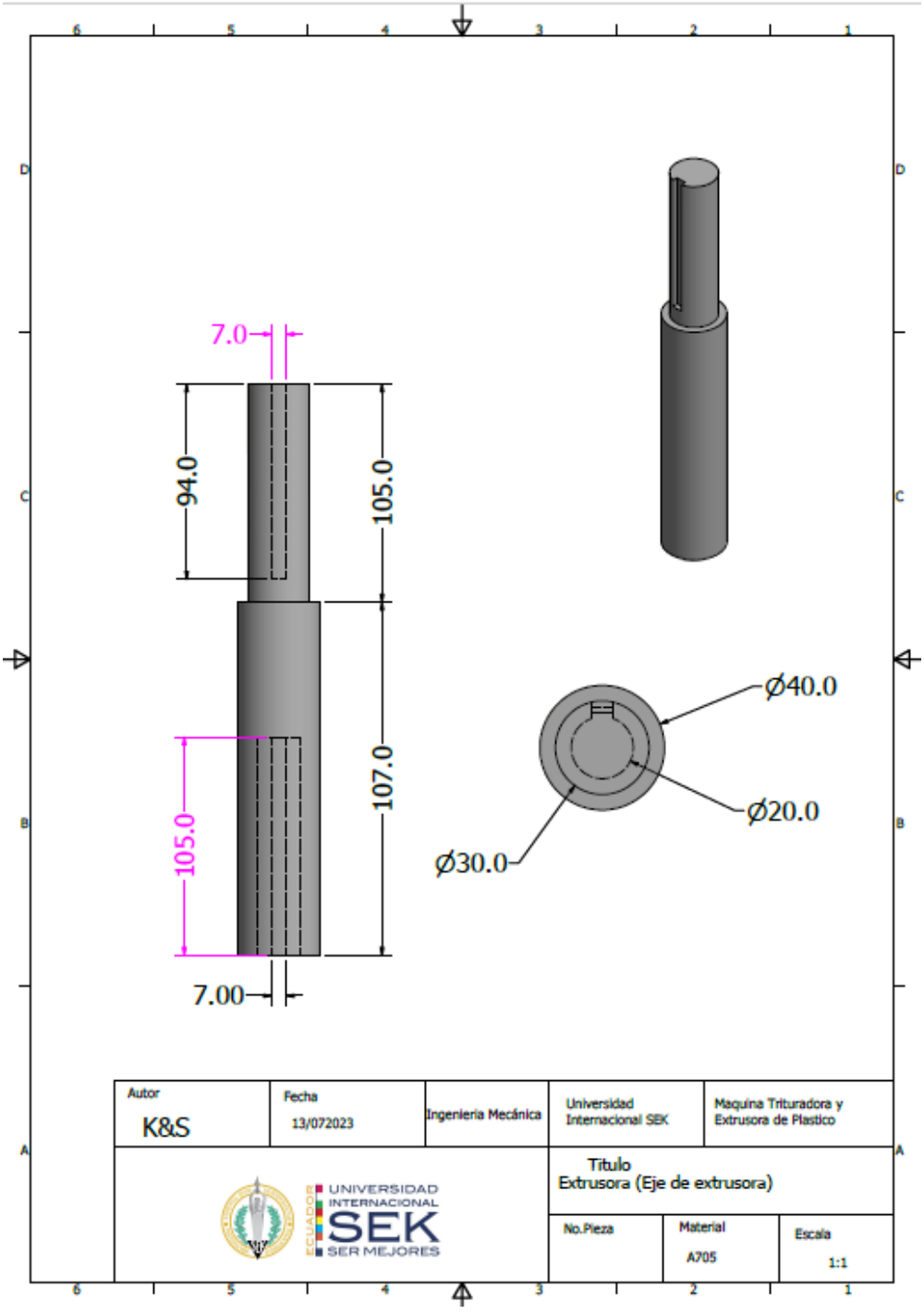


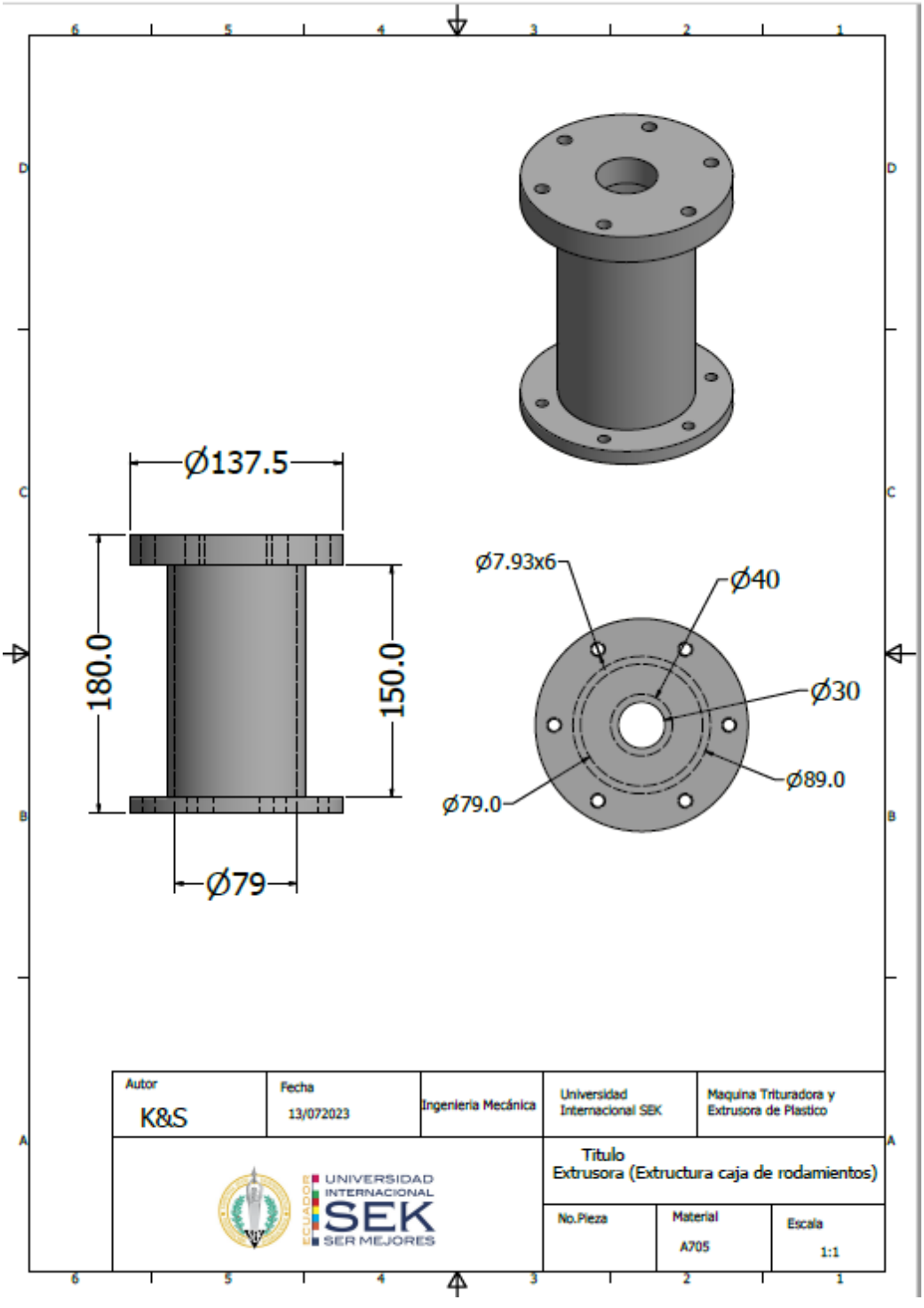
6MM

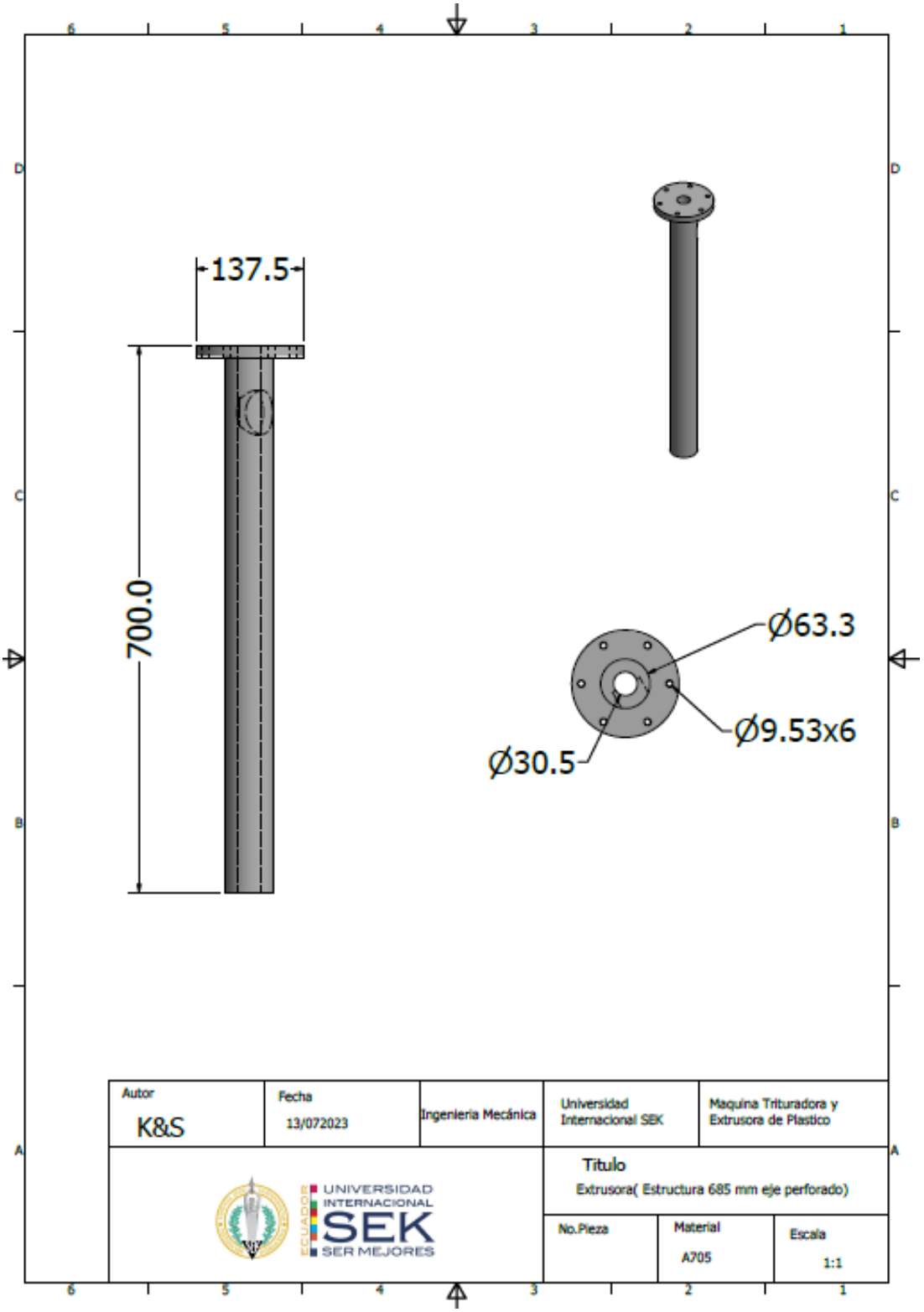



115
790
190
600
300
150
150
30 Screw pitch
3
100
110°
THREAD
ANGLE
R2.5
30°
Ø 20 h9 0 -0.05
Ø 30 h9 0 -0.05
Ø 18 +0.05 -0.05
Ø 26 +0.05 -0.05
Ø 10 ↧ 29
M12 - 6H ↧ 24
Feed zone channel depth: 6mm
(from nominal size 30mm)
Compression zone
ratio 3:1
Channel depth: 2 mm
(from nominal size 30mm)
Weight
2.4 kg
Material
1.8509 (38CrMoAlA)
Machine
Extruder PRO
Description
Screw
Projection method:
First angle
Release date
07/01/20
Drawing no.
EXTPRO-V1 1100.02
Rev.
A
General tolerances
ISO 2768-m
Doc. type
Part
Units unless specified
mm
Sheet size
A3
Scale
1:10
Sheet
1 / 1
PRECIOUS PLASTIC

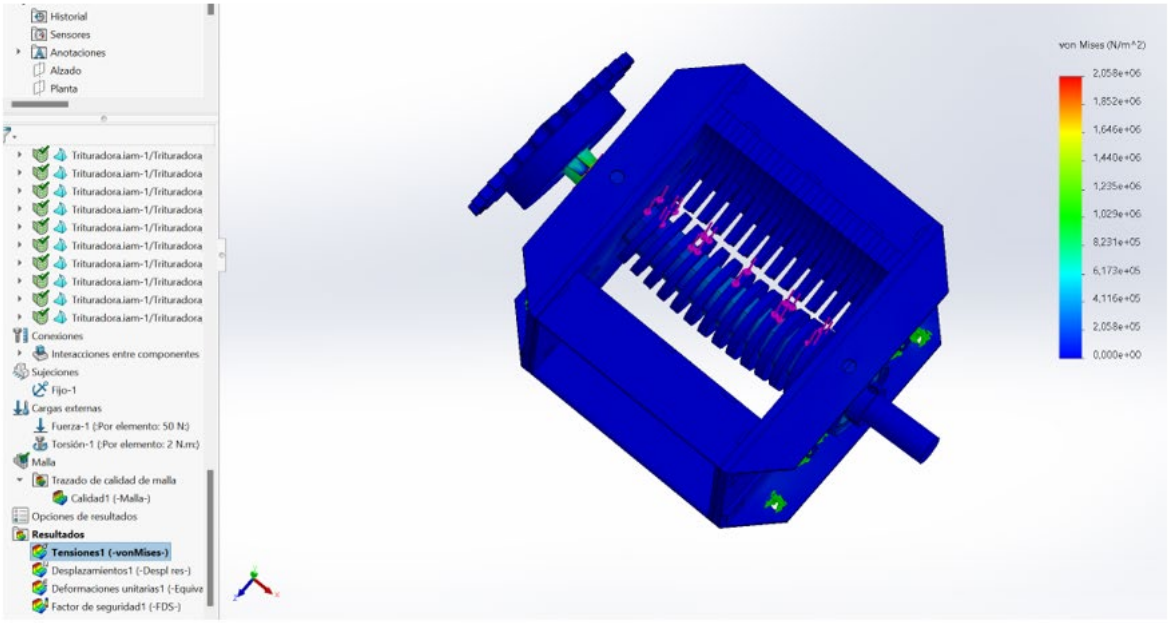

1
2
3
4
REVISION HISTORY
NUMBER
NAME
DESCRIPTION
1
Eje de extrusora
Extrusora (A1018)
2
Estructura de Rodamiento
Extrusora (A705)
3
Extpro-v1 1100.02
38CrMoAlA
4
Estructura (685 mm eje perforado)
Extrusora (A705)
Autor
K&S
Fecha
13/07/2023
Ingeniería Mecánica
Universidad Internacional SEK
Maquina Trituradora y Extrusora de Plastico
Título
Extrusora
No.Pieza
Material
A705
Escala
1:1
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

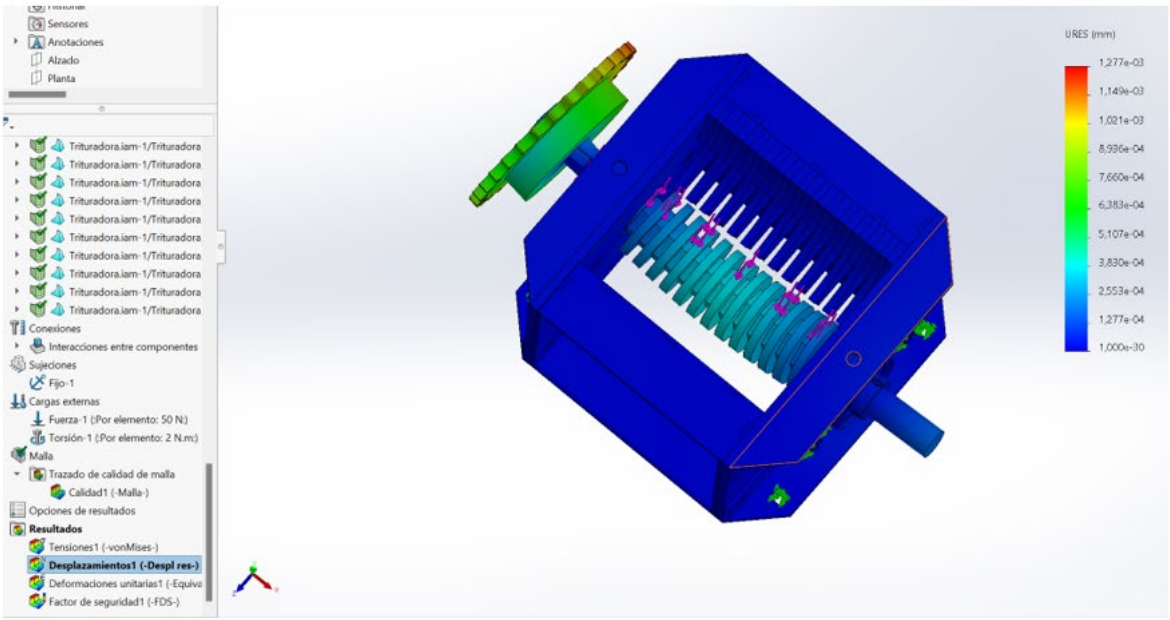

7.0
94.0
105.0
107.0
105.0
7.00
Ø40.0
Ø20.0
Ø30.0
Autor
K&S
Fecha
13/072023
Ingenieria Mecánica
Universidad Internacional SEK
Maquina Trituradora y Extrusora de Plastico
Titulo
Extrusora (Eje de extrusora)
No.Pieza
Material
A705
Escala
1:1
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
SER MEJORES

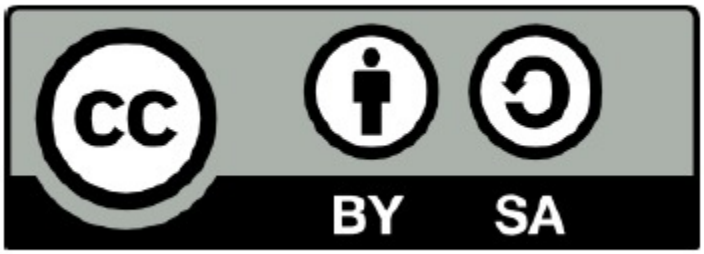

Ø137.5
180.0
150.0
Ø79
Ø7.93x6
Ø40
Ø30
Ø89.0
Ø79.0
Autor
K&S
Fecha
13/072023
Ingenieria Mecánica
Universidad Internacional SEK
Maquina Trituradora y Extrusora de Plastico
Titulo
Extrusora (Extructura caja de rodamientos)
No.Pieza
Material
A705
Escala
1:1
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
ECUADOR
SER MEJORES


137.5
700.0
Ø63.3
Ø9.53x6
Ø30.5
Autor
K&S
Fecha
13/072023
Ingenieria Mecánica
Universidad Internacional SEK
Maquina Trituradora y Extrusora de Plastico
Titulo
Extrusora(Estructura 685 mm eje perforado)
No.Pieza
Material
A705
Escala
1:1
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
SER MEJORES

ANEXO 4. SIMULACIÓN – SOLIDWORKS.





ANEXO 5. ENSAMBLE – MÁQUINA TRITURADORA Y EXTRUSORA.

ANEXO 6. LICENCIA PRECIOUS PLASTIC.