

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Diseñar un dispositivo de producción
de filamentos para impresiones 3D
Arequipa - 2023**

Jose Henry Benitez Portugal

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Waldrick Cesar Morro Sumary
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 12 de Octubre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Diseñar un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D Arequipa - 2023

Autores:

1. Jose Henry Benitez Portugal – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 15 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 20 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	ix
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I	11
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	11
1.1.1. Planteamiento del problema:	11
1.1.2. Formulación del problema:.....	12
1.2 Objetivos	12
1.2.1. Objetivo general.....	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	13
1.3. Justificación e importancia	13
1.3.1. Por conveniencia	13
1.3.2. Relevancia social.....	14
1.3.3. Implicancia práctica.....	16
1.3.4. Valor teórico	16
1.3.5. Utilidad metodológica.....	17
1.4. Limitaciones de la presente investigación.....	18
CAPÍTULO II	20
2.1 Antecedentes de la investigación	20
2.1.2. Antecedentes internacionales	20
2.1.3. Antecedentes nacionales.....	23
2.1.4. Antecedentes locales	27
2.2 Bases teóricas.....	30
2.3. Términos básicos.....	49
CAPÍTULO III	52
3.1. Enfoque de la investigación	52
3.2. Diseño de la investigación: No experimental.....	52
3.3. Tipo de Investigación	53
3.4. Alcance de la investigación	54
3.5. Técnicas e instrumentos.....	54
3.5.1. Técnicas.....	54

3.5.2. Instrumentos.....	55
CAPÍTULO IV.....	56
4.1. Identificación de requerimientos.....	56
4.1.1. Trituradora:.....	56
4.2. Análisis de la solución.....	70
4.2.1. Obtención de botellas PET.....	71
4.2.2. Proceso funcional de la máquina.....	73
4.2.3. Determinación del proceso productivo de 1 KG de filamento PET.....	74
4.3. Diseño.....	79
4.3.1. Diseño de la trituradora de plástico PET.....	79
4.3.2. Diseño de la extrusora de plástico PET.....	88
CAPÍTULO V.....	107
5.1. Construcción.....	107
5.2. Pruebas y resultados.....	109
5.2.1. Simulaciones.....	109
5.2.2. Pruebas y resultados.....	116
CONCLUSIONES.....	120
RECOMENDACIONES.....	123
TRABAJOS FUTUROS.....	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
ANEXOS.....	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Propiedades físicas del tereftalato de polietileno «PET».....	33
Tabla 02. Calibre AWG.....	51
Tabla 03. Evaluación de las diferentes alternativas de la solución.....	58
Tabla 04. Capacidades de la trituradora.....	60
Tabla 05. Consumo de energía del dispositivo	60
Tabla 06. Consumo de energía	66
Tabla 07. Peso de diferentes botellas PET.....	70
Tabla 08. Cantidad aproximada de botellas PET para crear 1 kg de filamento.	70
Tabla 09. Medidas de la tolva	80
Tabla 10. Dimensiones de las cuchillas.....	82
Tabla 11. Propiedades mecánicas del tereftalato de polietileno.....	82
Tabla 13. Dimensiones y pesos nominales del tubo de acero.....	91
Tabla 14. Dimensiones del barril del extrusor.	91
Tabla 15. Propiedades del acero SAE 1010.	92
Tabla 16. Dimensiones del tornillo del extrusor.....	94
Tabla 17. Tabla de coeficientes de convección.....	97
Tabla 18. Componentes del sistema de trituración.....	120
Tabla 19. Componentes del sistema de extrusión.....	120
Tabla 20. Instalación y puesta en marcha.....	121
Tabla 21. Costos operativos.	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Vista de las limitaciones del estudio.	19
Figura 02. Estructura química, tereftalato de polietileno «PET»	31
Figura 03. triturador de hojas	35
Figura 04. triturador de impacto.	36
Figura 05. triturador de cuchillas.	36
Figura 06. Modelo de máquina de inyección de plásticos.	37
Figura 07. Extrusora de tornillo	38
Figura 08. Tornillo de extrusora.	39
Figura 09. Barril.	39
Figura 10. Motor eléctrico monofásico.	40
Figura 11. Boquilla de un extrusor industrial.	40
Figura 12. Ventilador 120 mm.	41
Figura 13. Características de las llaves termomagnéticas.	51
Figura 14. Triturador de impacto.	56
Figura 15. Triturador de hojas	57
Figura 16. Triturador de cuchillas.	57
Figura 17. Elementos de protección personal.....	62
Figura 18. Elementos de protección personal.....	63
Figura 19. Extrusora de tornillo	63
Figura 20. Elementos de protección personal.....	69
Figura 21. Tolva del triturador.	81
Figura 22. Cuchilla del triturador.....	83
Figura 23. Bases de cuchillas.....	84
Figura 24. Separador de cuchillas.....	85
Figura 25. Configuración final de las cuchillas.....	85
Figura 27. Catálogo de motores FAR ALONG	87
Figura 28. Configuración de un sistema extrusor de plástico.....	88

Figura 29. Tolva del extrusor de plástico.....	90
Figura 30. Barril de un extrusor de plástico.	92
Figura 31. Tornillo de un extrusor de plástico.	95
Figura 32. Calentadores de barril.....	99
Figura 33. Barril con calentadores.	99
Figura 34. Boquilla del extrusor.....	100
Figura 35. Catálogo de motores FAR ALONG	101
Figura 36. Control de temperatura.....	101
Figura 37. Configuración del carrete de acopio del filamento PET.....	103
Figura 38. Motor JGB37-520.....	103
Figura 39. Vista de la configuración del motor JGB37-520 y el tornillo sinfín.....	104
Figura 40. Sensor fotoeléctrico marca GTRIC.....	105
Figura 41. Dispositivo de filamento para impresiones 3D (vista del extrusor).	108
Figura 42. Dispositivo de filamento para impresiones 3D (vista del triturador).....	109
Figura 43. Simulación de esfuerzos de la tolva del triturador.....	110
Figura 44. Simulación de esfuerzos de la cuchilla del triturador	111
Figura 45. Simulación de esfuerzos del eje de cuchillas del triturador	112
Figura 46. Simulación de esfuerzos del tornillo del extrusor	113
Figura 47. Simulación de esfuerzos del barril del extrusor.....	114

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 01. Diagrama del proceso de obtención de botellas PET.	71
Diagrama 02. Proceso funcional de la máquina VDI-2221	73
Diagrama 03. Diagrama de operaciones de procesos (DOP).	74
Diagrama 04. Diagrama de análisis de procesos.	77
Diagrama 05. Diagrama del proceso de triturado.	80
Diagrama 06. Diagrama de control del motor del triturador.	88
Diagrama 07. Diagrama de conexión eléctrica del extrusor.	102
Diagrama 08. Diagrama de conexión eléctrica del bobinador automático.	105
Diagrama 09. Diagrama de control de motores eléctricos y calentador.	115
Diagrama 10. Diagrama de conexión eléctrica del bobinador automático.	116

RESUMEN

El estudio «Diseñar un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D AREQUIPA 2023» tiene como objetivo principal la creación de un dispositivo que utilice botellas PET recicladas para producir filamentos destinados a impresiones 3D. Los objetivos específicos incluyen determinar los requisitos para el diseño, el proceso para obtener botellas PET, la cantidad necesaria para crear 1 kg de filamento, los procesos de transformación de botellas a filamentos, y el ensamblado del dispositivo.

La metodología adoptada es de enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para abordar la complejidad del problema. Se utiliza un enfoque no experimental, recopilando datos a través de observación, análisis documental y simulación. La investigación se clasifica como tecnológica, enfocándose en pruebas para verificar la idoneidad del filamento en la producción de impresiones 3D.

Los resultados de las simulaciones confirman la viabilidad de componentes críticos del dispositivo, como la trituradora y el extrusor. Se ha logrado implementar completamente el dispositivo y se ha diseñado un plan operativo integral para la obtención de botellas PET.

En las conclusiones, se destaca el éxito en la implementación del dispositivo, con la capacidad de producir filamentos a partir de botellas PET recicladas. Se identificaron los componentes necesarios, se determinó el proceso de obtención de botellas, la cantidad necesaria para la producción y se analizaron los procesos de transformación. La investigación proporciona una guía práctica para la gestión eficiente de recursos y la implementación del proceso de reciclaje en la fabricación de filamentos 3D.

ABSTRACT

The main objective of the project "Design a filament production device for 3D printing AREQUIPA 2023" is the creation of a device that uses recycled PET bottles to produce filaments for 3D printing. Specific objectives include determining the requirements for the design, the process to obtain PET bottles, the amount necessary to create 1 kg of filament, the transformation processes from bottles to filaments, and the assembly of the device.

The methodology adopted is a mixed approach, combining quantitative and qualitative methods to address the complexity of the problem. A non-experimental approach is used, collecting data through observation, documentary analysis and simulation. The research is classified as technological, focusing on tests to verify the suitability of the filament in the production of 3D prints.

The simulation results confirm the viability of critical components of the device, such as the crusher and extruder. The device has been fully implemented and a comprehensive operational plan has been designed to obtain PET bottles.

In the conclusions, the success in the implementation of the device is highlighted, with the ability to produce filaments from recycled PET bottles. The necessary components were identified, the process of obtaining bottles was determined, the quantity necessary for production and the transformation processes were analyzed. The research provides practical guidance for efficient resource management and implementation of the recycling process in 3D filament manufacturing.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto de investigación aborda una problemática significativa relacionada con la gestión de desechos plásticos, específicamente el Tereftalato de Polietileno (PET), en el distrito de Yanahuara, Arequipa, Perú. La creciente conciencia ambiental y la necesidad de encontrar soluciones sostenibles han llevado a explorar la viabilidad de utilizar botellas PET recicladas para la producción de filamentos 3D a través de un dispositivo de producción.

La trascendencia del problema radica en la falta de opciones efectivas y sostenibles para el reciclaje y reutilización de botellas PET, lo que resulta en una acumulación de residuos plásticos y contaminación ambiental en Perú. A pesar de los esfuerzos en otras partes del mundo, Perú enfrenta desafíos técnicos y económicos específicos, como la limitada infraestructura de reciclaje, la variabilidad en la calidad del material reciclado, los costos asociados y la falta de conciencia pública.

La investigación propuesta se centra en el diseño de un dispositivo de producción de filamentos para impresoras 3D en Arequipa, 2023, que permita transformar las botellas PET en material filamentos de alta calidad. Los objetivos específicos incluyen determinar los requerimientos del dispositivo, establecer un proceso eficiente para obtener botellas PET, calcular la cantidad necesaria para producir 1 kg de filamento 3D, identificar los procesos de transformación y definir el ensamblado del dispositivo.

La justificación de esta investigación se basa en los beneficios ambientales, económicos, educativos y prácticos que se derivarían de la fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas. Entre los beneficios se encuentran la reducción de residuos plásticos, la disminución de la huella de carbono, la promoción de la economía circular, la generación de empleo y la promoción de la conciencia ambiental y la creatividad.

Además, el proyecto tiene una relevancia social significativa para Arequipa, Cerro Colorado, ya que aborda problemas como la contaminación ambiental, fomenta el reciclaje, promueve la innovación y la tecnología, y contribuye a la generación de empleo. La iniciativa también tiene un valor teórico al explorar nuevas técnicas de reciclaje, evaluar propiedades físicas y mecánicas del filamento y reducir costos de producción.

Metodológicamente, el proyecto contribuye al abordar la problemática de manera integral, desde la recolección de botellas hasta la fabricación de filamentos, utilizando

tecnología de impresión 3D. La simulación y verificación de componentes críticos, como la trituradora, el extrusor y el sistema eléctrico, respaldan la viabilidad y eficacia del diseño propuesto.

En conclusión, este proyecto no solo busca diseñar un dispositivo de producción de filamentos, sino que también tiene el potencial de impactar positivamente en el medio ambiente, la economía local y la conciencia social en Arequipa. La investigación y los resultados obtenidos proporcionarán valiosos conocimientos para abordar los desafíos específicos de la gestión de botellas PET en la región.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

1.1.1.1. Perspectiva internacional

A nivel internacional, la gestión inadecuada de los desechos plásticos, particularmente las botellas de PET, representa un desafío ambiental significativo. Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas, se estima que cada año se producen más de 300 millones de toneladas de plástico a nivel mundial, de las cuales solo se recicla alrededor del 9 %. El resto termina en vertederos, océanos y otros ecosistemas, contribuyendo a la contaminación ambiental y representando una pérdida de recursos potenciales (ONU, 2021). Sin embargo, existen iniciativas innovadoras que buscan aprovechar estos desechos plásticos de manera sostenible. Por ejemplo, en Canadá, Owais ha desarrollado directrices de código abierto para transformar las botellas de PET en material filamentoso apto para impresión 3D (ZILERI, 2020). En Ámsterdam, la empresa Reflow emplea tecnología de código abierto para transformar plástico reciclado en material filamentoso destinado a la impresión 3D, lo que puede incrementar los ingresos de los recicladores hasta en un factor de 20 (Lara 2022 a).

1.1.1.2. Perspectiva nacional

En el contexto actual de Perú, la gestión inadecuada de los desechos plásticos también representa un desafío ambiental significativo. Según datos del Ministerio del Ambiente, en el año 2021 se generaron más de 7 millones de toneladas de residuos sólidos en el país, de los cuales el 19 % corresponde a plásticos. A pesar de los esfuerzos de reciclaje existentes, una cantidad considerable de botellas PET termina en vertederos, contribuyendo a la contaminación ambiental y representando una pérdida de recursos potenciales.

1.1.1.3. Perspectiva local

En el departamento de Arequipa, la planta de valorización ubicada en el distrito de Yanahuara maneja miles de envases de plástico diariamente, siendo el PET el material más prevalente en este proceso (El Búho, 2023). Sin embargo, los desafíos técnicos y económicos en la producción de filamentos 3D a partir de botellas PET son múltiples. La infraestructura de reciclaje limitada dificulta la recolección y el procesamiento eficiente de las botellas, lo que obstaculiza la disponibilidad de materia prima para la producción de filamentos. Además, la variabilidad en la composición

química y las propiedades físicas del PET reciclado plantea desafíos para garantizar la calidad y consistencia del filamento resultante.

1.1.1.4. Perspectiva de empresa

En este contexto, la investigación propuesta busca abordar estos desafíos mediante el diseño y desarrollo de un dispositivo de producción de filamentos 3D a partir de botellas PET adaptado a las condiciones y necesidades específicas del departamento de Arequipa. Se espera que este dispositivo contribuya a mejorar las opciones de filamento producido, así como a reducir la contaminación producida por las botellas PET.

La resolución de este problema no solo beneficiaría a la comunidad de impresión 3D en general, sino también tendría un impacto significativo en Arequipa y otras regiones de Perú. Mejoraría la disponibilidad de filamentos para impresión 3D, lo que podría fomentar la adopción de la tecnología de impresión 3D en diversos sectores como la industria, la investigación, la medicina y la educación. Además, al promover el reciclaje y la reutilización de botellas PET, se contribuiría a mitigar la contaminación ambiental y a promover prácticas más sostenibles en la gestión de residuos plásticos.

1.1.2. Formulación del problema:

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo diseñar un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D a partir de botellas PET?

1.1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los requerimientos necesarios para el diseño un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D?
- ¿Cuál es el proceso para obtener las botellas PET?
- ¿Cuál es la cantidad de botellas PET necesarias para crear 1 kg de filamento 3D?
- ¿Cuáles serán los procesos involucrados para transformar botellas PET en filamentos para impresiones 3D?
- ¿Cuál será el proceso de ensamblado del dispositivo de producción de filamento a partir de botellas de plástico PET para impresiones 3D?

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D a partir de botellas PET

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos necesarios para el diseño del dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D.
- Identificar el proceso de obtención de las botellas PET.
- Calcular la cantidad de botellas PET necesarias para producir 1 kg de filamento 3D.
- Describir los procesos involucrados en la transformación de botellas PET en filamentos aptos para impresiones 3D.

Detallar el proceso de ensamblado del dispositivo de producción de filamentos.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Por conveniencia

La fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET desechadas, puede tener múltiples beneficios en términos ambientales, económicos, educativos y didácticos. A continuación, se detallan algunos de estos beneficios.

Beneficios ambientales

Reducción de residuos: La fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas puede ayudar a reducir la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos o en el medio ambiente. En lugar de desechar las botellas, se les da una segunda vida como materia prima para la impresión 3D (Miño Durán y Molina Carrión, 2019)

Menor huella de carbono: La producción de filamento a partir de botellas PET recicladas puede tener una huella de carbono menor que la producción de filamento a partir de materiales básicos. Esto se debe a que el proceso de reciclaje consume menos energía y emite menos gases de efecto invernadero que el proceso de producción de materiales vírgenes (Santiago y León, 2019)

Fomento de la economía circular: La fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas es un ejemplo de economía circular, ya que se utiliza un residuo para crear un nuevo producto. Esto puede fomentar la adopción de prácticas más sostenibles en la industria de la impresión 3D (Lucía, 2019)

Beneficios económicos

Reducción de costos: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, puede ser más económica que la producción de filamento a partir de materiales vírgenes. Esto se debe a que el costo de adquisición de las botellas

recicladas es menor que el costo de adquisición de materiales vírgenes) (Santiago y León [sin fecha])

Generación de empleo: La fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas puede generar empleo en la industria del reciclaje y en la industria de la impresión 3D. Esto puede tener un impacto positivo en la economía local (Miño Durán y Molina Carrión, 2019)

Beneficios educativos y didácticos

Fomento de la conciencia ambiental: La fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas puede fomentar la conciencia ambiental en la sociedad. Al utilizar un residuo para crear un nuevo producto, se puede mostrar a las personas la importancia del reciclaje y la reutilización (Santiago y León, 2019)

Promoción de la creatividad: La fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas puede promover la creatividad y la innovación en la industria de la impresión 3D. Al tener acceso a una materia prima más económica y sostenible, los usuarios pueden experimentar con nuevos diseños y aplicaciones (Lucía, 2019)

Fomento de la educación STEM: La fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas puede fomentar la educación STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) en las escuelas y universidades. Al utilizar la impresión 3D como herramienta educativa, se puede enseñar a los estudiantes sobre los procesos de reciclaje, la sostenibilidad y la innovación (Ramírez Díaz et al., 2022)

La fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas puede tener múltiples beneficios en términos ambientales, económicos, educativos y didácticos. Al utilizar un residuo para crear un nuevo producto, se puede fomentar la adopción de prácticas más sostenibles en la industria de la impresión 3D y en la sociedad en general. Además, la fabricación de filamento a partir de botellas PET recicladas puede ser más económica que la producción de filamento a partir de materiales vírgenes, lo que puede tener un impacto positivo en la economía local.

1.3.2. Relevancia social

La fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas es un proyecto que puede tener un gran alcance social en el departamento de Arequipa, distrito de Cerro Colorado. Este proyecto podría tener un impacto positivo en la región en los siguientes puntos:

Reducción de la contaminación ambiental: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, podría tener un impacto positivo en la reducción de la contaminación ambiental en la región. Al reciclar botellas PET y convertirlas en filamento para impresoras 3D, se podría reducir la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos o en el medio ambiente. Además, la fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas podría ser una forma de reducir la huella de carbono de la región, ya que se estaría utilizando un recurso renovable y sostenible para producir filamento. (Ibón Machaca 2023)

Fomento del reciclaje: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, puede ser una forma efectiva de fomentar el reciclaje en la región. Al ofrecer un incentivo económico para reciclar botellas PET, se podría motivar a la ciudadanía a participar en programas de reciclaje y reducir la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos o en el medio ambiente. Además, la fabricación de filamento 3D en las condiciones mencionadas, podría ser una forma de darle un valor agregado a los residuos plásticos, convirtiéndolos en un recurso útil y valioso.

Promoción de la innovación y la tecnología: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, es una tecnología innovadora que podría promover la creatividad y la innovación en la región. Al ofrecer una forma económica y sostenible de obtener filamento para impresoras 3D, se podría fomentar el desarrollo de nuevas aplicaciones y usos para esta tecnología. Además, la fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas podría ser una forma de promover la educación y la capacitación en tecnología y ciencia, lo que podría tener un impacto positivo en la economía y el desarrollo de la región. (Miño Durán y Molina Carrión, 2019)

Generación de empleo: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, podría ser una fuente de empleo para la región. Al crear una industria de reciclaje y fabricación de filamento 3D, se podría generar empleo para personas con diferentes habilidades y niveles de educación. Además, la fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, podría ser una forma de promover el emprendimiento y la creación de pequeñas empresas en la región.

Este es un proyecto con un gran potencial para tener un impacto positivo en la región de Arequipa, Perú. Al fomentar el reciclaje, promover la innovación y la tecnología, reducir la contaminación ambiental y generar empleo, este proyecto podría contribuir al desarrollo sostenible y al bienestar de la región.

1.3.3. Implicancia práctica

La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, es una iniciativa que puede ayudar a resolver algunos problemas reales en el departamento de Arequipa, distrito de Cerro Colorado, enfatizando en los siguientes puntos:

Problemas ambientales: El reciclaje de botellas PET es una forma de reducir la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos o en el medio ambiente. En Arequipa, la gestión de residuos sólidos es un problema importante, especialmente en las zonas rurales y urbanas. Según un informe del Ministerio del Ambiente de Perú, solo el 60 % de los residuos sólidos se recolectan adecuadamente en el país, y solo el 10 % se recicla (Sandoval Alvarado, 2012). La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, puede ayudar a reducir la cantidad de residuos plásticos y, por lo tanto, contribuir a la protección del medio ambiente.

Problemas económicos: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, también puede tener un impacto positivo en la economía local. En Arequipa, la tasa de desempleo es de 5.5 % (La Cámara, 2022). La creación de empleos en la industria del reciclaje y la fabricación de filamento 3D puede ayudar a reducir el desempleo y mejorar la calidad de vida de las personas. Además, la fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, puede ser una alternativa más económica que la compra de filamento nuevo, lo que puede beneficiar a los usuarios de impresoras 3D en Arequipa.

Problemas educativos: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, también puede ser una oportunidad para la educación y el aprendizaje, dado que su fabricación implica el uso de tecnología y habilidades técnicas, lo que puede ser una forma de fomentar el aprendizaje y la innovación en las escuelas y universidades de Arequipa. Además, la fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, puede ser una forma de fomentar la conciencia ambiental y la responsabilidad social en la comunidad.

1.3.4. Valor teórico

La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET desechadas, es un proyecto que puede aportar significativamente al campo de la impresión 3D y al reciclaje de plásticos. El modelo experimental que se propone permitirá entender los procesos de transformación de botellas PET en filamento de impresoras 3D, explorar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas y evaluar la calidad de los que se han producido. A continuación, se detallan los aportes específicos que este proyecto podría generar:

Desarrollo de nuevas técnicas de reciclaje: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, implica el desarrollo de nuevas técnicas de reciclaje de plásticos. Esto puede llevar a la creación de nuevas tecnologías y procesos que permitan reciclar otros tipos de plásticos y reducir aún más la cantidad de residuos que se generan.

Exploración de propiedades físicas, mecánicas y químicas del filamento: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, permitirá explorar las propiedades físicas, mecánicas y químicas del filamento producido. Esto puede llevar a la creación de filamentos con propiedades específicas que se adapten a diferentes necesidades y aplicaciones.

Evaluación de la calidad del filamento producido: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, permitirá evaluar la calidad del filamento producido y compararlo con el filamento producido a partir de materiales no reciclados. Esto puede llevar a la creación de filamentos de alta calidad a partir de materiales reciclados.

Reducción de costos: La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET recicladas, puede reducir los costos de producción de filamento y hacer que la impresión 3D sea más accesible para más personas. Esto puede llevar a la creación de nuevas aplicaciones y usos de la impresión 3D.

La fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET desechadas, es un proyecto que puede aportar significativamente al campo de la impresión 3D y al reciclaje de plásticos. Este proyecto permitirá entender los procesos de transformación de botellas PET en filamento de impresoras 3D, explorar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los filamentos producidos a partir de botellas de PET recicladas, evaluar la calidad del filamento producido y reducir los costos de producción de filamento.

1.3.5. Utilidad metodológica

El proyecto de fabricación de filamento 3D, a partir de botellas PET desechadas, contribuye a las formas tradicionales de abordar un proceso o analizar una realidad de varias maneras. En primer lugar, el proyecto se enfoca en la reutilización y el reciclaje de botellas PET, lo que es una práctica cada vez más importante en la actualidad, debido a la creciente preocupación por el medio ambiente y la necesidad de reducir los residuos plásticos. La tecnología de impresión 3D es una herramienta innovadora que puede ayudar a lograr este objetivo al permitir la creación de objetos a partir de materiales reciclados.

El proyecto también emplea técnicas de recolección y análisis de datos para evaluar las propiedades de los filamentos producidos y su idoneidad para la impresión 3D. Esto implica la realización de pruebas y experimentos para evaluar la viabilidad y eficacia del modelo en la transformación de botellas PET en filamentos de calidad. La metodología utilizada permitirá obtener resultados confiables y validados, lo que contribuirá al avance científico y tecnológico en el campo de la reutilización y el reciclaje de botellas PET a través de la tecnología de impresión 3D.

Además, el proyecto llevará a cabo análisis económicos y ambientales para evaluar la viabilidad técnica y económica del modelo experimental. Esto permitirá determinar si el proceso de fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas es una alternativa viable y sostenible a los métodos tradicionales de producción de filamento. Los resultados de estos análisis podrían ser útiles para las empresas que buscan reducir su impacto ambiental y mejorar su sostenibilidad.

En cuanto a la contribución a las formas tradicionales de abordar un proceso o analizar una realidad, el proyecto de fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas es una muestra de cómo la tecnología puede ser utilizada para abordar problemas ambientales y sociales. En lugar de simplemente desechar las botellas de PET, se les da una segunda vida como materia prima para la impresión 3D. Esto es un ejemplo de economía circular, que busca reducir los residuos y maximizar el valor de los recursos.

En resumen, el proyecto de fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET recicladas contribuye a las formas tradicionales de abordar un proceso o analizar una realidad al enfocarse en la reutilización y el reciclaje de materiales, emplear técnicas de recolección y análisis de datos para evaluar la viabilidad y eficacia del modelo, y llevar a cabo análisis económicos y ambientales para evaluar la viabilidad técnica y económica del modelo experimental. Además, el proyecto es un ejemplo de cómo la tecnología puede ser utilizada para abordar problemas ambientales y sociales y promover la economía circular.

1.4. Limitaciones de la presente investigación

Las limitaciones que se han presentado en este estudio son las siguientes:

Temporal: En cuanto a la dimensión temporal, esta investigación titulada «Diseñar un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D Arequipa - 2023» se estará llevando a cabo desde el año 2023 hasta el año 2024.

Espacial: En términos de la dimensión espacial, el alcance de este estudio se limitó a la ciudad de Arequipa, distrito de Cerro Colorado, específicamente en las urbanizaciones Teresa de Jesús, 12 de octubre, Colegio de ingenieros.

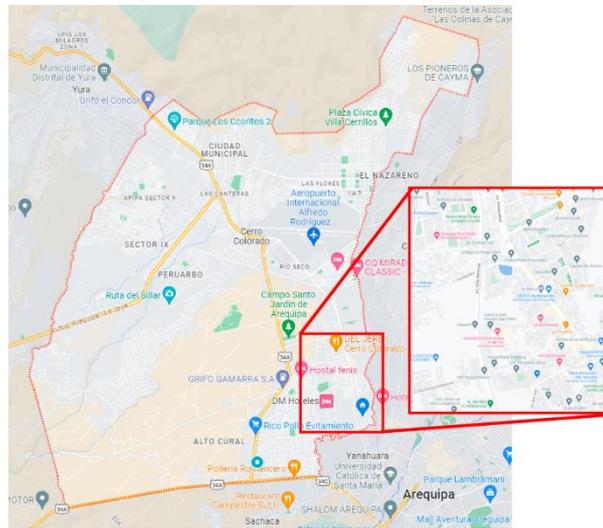


Figura 1. Vista de las limitaciones del estudio

Fuente: Google Maps

Recursos: En lo que respecta a los recursos, es importante destacar que los recursos disponibles fueron adecuados y suficientes para llevar a cabo la investigación de manera completa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Se redacta los antecedentes nacionales e internacionales, así como las bases teóricas a partir de fuentes primarias y secundarias que estén directamente relacionadas con el tema.

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.2. Antecedentes internacionales

Según (Nikam et al., 2023), en su investigación titulada «Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic», realizada en la ciudad de Maharashtra en la India, la industria de la impresión 3D está experimentando un rápido crecimiento, con un valor de mercado esperado de 83,9 mil millones de dólares en 2029, un salto significativo desde los 18,33 millones de dólares en 2022 [1]. Sin embargo, este crecimiento va acompañado de varios desafíos. Las opciones limitadas de materiales y los problemas de compatibilidad con diferentes impresoras plantean obstáculos para la industria. Además, es necesario abordar las dificultades en el posprocesamiento y el reciclaje, como la obstrucción de las boquillas cuando se utiliza plástico reciclado como filamento.

Como objetivo se busca una solución para abordar estos desafíos en la fabricación de filamentos de impresión 3D a partir de plástico PET reciclado. Este proceso implica una serie de pasos críticos que requieren un control cuidadoso de la temperatura en varias etapas para garantizar una fusión y extrusión adecuadas. La Filament Bot Machine, equipada con un cilindro calentado y un mecanismo similar a un tornillo, es una herramienta valiosa para derretir y empujar el plástico para crear el filamento. Para lograr un diámetro y una calidad constantes del filamento, se emplea un sistema de control del diámetro durante el proceso de extrusión. El filamento extruido se enfría rápidamente para solidificarlo y un bobinado preciso garantiza que el filamento se enrolle cuidadosamente y sin enredos. Antes de la extrusión, el plástico reciclado se limpia y prepara minuciosamente, mejorando la calidad del producto final. Para garantizar un producto final de alta calidad, se realizan controles de calidad periódicos durante todo el proceso. Estas comprobaciones controlan el diámetro, la resistencia y la apariencia del filamento, garantizando así que el filamento de PET reciclado cumpla con los estándares requeridos. A pesar del potencial emergente de esta tecnología, existen desafíos que superar, como la contaminación en el flujo de desechos plásticos, las dificultades para obtener un diámetro de filamento consistente y la falta de estandarización en las propiedades de los filamentos [3]. No obstante, el proceso de

creación de filamentos de impresión 3D a partir de residuos plásticos tiene el potencial de tener un impacto significativo tanto en la industria de la impresión 3D como en el medio ambiente [3]. Los investigadores e innovadores en este campo están trabajando activamente para desarrollar filamentos que sean compatibles con las impresoras 3D existentes y ofrecer soluciones a problemas de posprocesamiento y reciclaje. Al hacerlo, su objetivo es aprovechar todo el potencial de la impresión 3D y al mismo tiempo contribuir a un enfoque de fabricación más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Como conclusión, la fabricación de filamentos de impresión 3D a partir de plástico PET reciclado promete abordar los desafíos que enfrenta la industria de la impresión 3D. Con esfuerzos continuos de investigación, desarrollo y estandarización, esta tecnología emergente podría desempeñar un papel crucial en la configuración del futuro de la impresión 3D y su impacto ambiental.

Según (Aristizábal-Alzate, González-Manosalva y Gutiérrez-Cano, 2020) en su artículo «Análisis del ciclo de vida y cálculo de la huella de Carbono para un proceso de reciclaje de botellas PET en Medellín». El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) posibilita la identificación de las entradas y salidas de materiales y energía de un proceso, producto, servicio, persona u organización a lo largo de su ciclo de vida o según la delimitación del objeto de estudio. Junto con la Huella de Carbono (HC), este análisis permite la normalización de la información para realizar comparaciones y determinar el impacto ambiental del objeto de estudio en una unidad común (KgCO_2eq), independientemente del contexto. El objetivo del estudio es presentar un ACV y determinar la HC para una empresa de reciclaje de botellas de plástico PET en Medellín.

Los materiales y métodos se basaron en las normas internacionales ISO 14040-14044 y la ISO 14064, abarcando desde la recolección del PET en las instalaciones de la empresa hasta su procesamiento y consideración como apto para su entrega. Además, se incluyó un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al metabolismo del personal de la empresa durante sus actividades internas.

Los resultados del análisis del proceso de reciclaje PET revelaron una huella de carbono de $1,4026 \text{ KgCO}_2\text{eq/ton}$, siendo el consumo de energía eléctrica el principal contribuyente con un 63,32 %. Como conclusión, se sugiere que la huella de carbono de EKORED podría ser utilizada como indicador de gestión y sostenibilidad, sirviendo como línea base para la implementación de estrategias y acciones orientadas hacia la construcción de una industria carbono neutral.

(Sora Camargo, 2020), presenta su tesis de maestría realizada en Colombia «Estudios realizados sobre procesos de transformación de residuos plásticos en el municipio de Boyacá departamento de Boyacá a partir de la producción de postes de plástico residual», con base en las proyecciones emitidas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE en 2015, Boyacá, un municipio con una extensión de 48 km², presenta una densidad poblacional actual de aproximadamente 98 habitantes por km², totalizando alrededor de 5,000 habitantes. La investigación se llevó a cabo en este municipio con el propósito de indagar en los procesos de transformación de residuos plásticos, específicamente en la producción de postes elaborados a partir de plástico residual.

El método de investigación adoptado fue de tipo exploratorio y descriptivo-cuantitativo, enfocado en conocer tanto las cantidades como las cualidades relacionadas con los residuos plásticos. La metodología incluyó una revisión bibliográfica y documental sobre el procesamiento de plásticos residuales, un análisis de la generación y recolección de residuos plásticos municipales, el cálculo de las cantidades de reciclaje generadas por la comunidad, la identificación de métodos de fabricación de productos basados en residuos plásticos para la producción de postes, la formulación del proceso de elaboración y producción de estos postes de plástico, y el análisis del impacto resultante de la disminución de carga residual en la empresa de gestión de residuos del municipio.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la implementación de este proyecto posibilita la creación de capacidades para integrar consideraciones medioambientales en planes y estrategias de desarrollo. Esto incluye la promoción del manejo y uso sostenible de los recursos naturales, el estímulo a la recuperación económica y los medios de vida, y la contribución a políticas de reciclaje más efectivas para el aprovechamiento correspondiente de los residuos plásticos.

Según (Veillon López, 2020), en su tesis para optar el Título de Ingeniero Civil Industrial realizado en Chile, denominado «Diseño prototipo de máquina recicladora de residuos de impresora 3d para plásticos PLA Y ABS», en la actualidad, la tecnología de impresión 3D se desarrolla vertiginosamente en el mundo debido a su infinita variedad de productos resultantes gracias a su fácil acceso, velocidad de obtención de piezas resultantes y bajos costos de materia prima.

El objetivo principal es desarrollar un prototipo de máquina recicladora de polímeros destinada a la elaboración de filamento para impresión 3D. Para lograr esto, se plantean objetivos específicos que incluyen realizar el levantamiento de los

requerimientos necesarios, diseñar la estructura mecánica de los subsistemas relevantes, construir el prototipo, diseñar la interfaz HMI y el controlador, y finalmente, validar su funcionamiento extruyendo un carrete de 250 gramos y realizando la impresión de una pieza funcional.

Se decidió emplear la metodología en V en el diseño de ingeniería y desarrollo de software, ya que abarca las etapas esenciales (diseño y validación) necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del sistema desarrollado.

Bajo la premisa de reutilizar polímeros termoplásticos en la impresión 3D, surge una problemática relacionada con los residuos plásticos generados durante el proceso de diseño y fabricación de una pieza deseada. Dependiendo del tamaño y nivel de detalle de la pieza que se imprime, se suele generar un excedente de plástico que podría ser reutilizado.

Finalmente, el investigador concluye que, la fase de triturado se modificó durante la construcción, debido a que el diseño original resultaba demasiado costoso. Sin embargo, se consideró como una oportunidad de mejora, ya que el diseño original ofrecía mayor autonomía y eficiencia en la trituración del material. En su lugar, se construyó una máquina de triturado casera y simple con el objetivo de poder triturar el plástico, el cual posteriormente fue extruido en forma de filamento.

2.1.3. Antecedentes nacionales

(Carrillo Quintero, 2020), en su trabajo de investigación realizado en Lima «Los efectos del Covid-19 en el reciclaje de plástico PET en La Molina» para la Universidad San Ignacio de Loyola, nos indica que dicho estudio examinó los impactos del COVID-19 en el reciclaje del plástico PET en La Molina, considerando además la influencia del comercio exterior en el problema del aumento de plásticos PET en el ecosistema.

La estructura de la investigación fue cuasi experimental de corte transversal, dado que se enfocó en un grupo de control específico. Adoptó una perspectiva metodológica tanto cualitativa como cuantitativa, es decir, un enfoque mixto. Es importante destacar que el propósito fundamental de la investigación cualitativa es comprender la subjetividad. A pesar de ello, se enfoca en conocer más acerca del público objetivo definido sin generalizar los resultados.

En la metodología, se incluyó la participación de 10 representantes de organizaciones enfocadas en la preservación ambiental o con áreas de gestión de residuos, como el MINAM (Ministerio del Ambiente), la Municipalidad de La Molina, la UNALM y las ONG Ciudad Saludable y Recicla Pe. Algunos resultados indicaron que el

80 % de los participantes considera que el COVID-19 afectaría el reciclaje de plásticos PET. Además, el 40 % sugiere que la medida para evitar la interrupción del reciclaje durante la pandemia sería proporcionar equipos de protección para el personal, mientras que el 60 % opina que es necesario gestionar los residuos locales antes de continuar importando plásticos PET. El estudio evalúa diversos aspectos del impacto del COVID-19 en la gestión tradicional de residuos de plástico PET y su efecto tanto en el mercado local como en el internacional.

Según los resultados obtenidos, el 90 % de los encuestados considera que la gravedad de la contaminación ambiental por plástico PET es muy alta, sugiriendo la necesidad de más leyes restrictivas de producción. Respecto a la influencia del COVID-19 en el reciclaje de plástico PET, el 80 % cree que impactaría negativamente. Además, el 40 % observa que proyectos ambientales quedaron en espera durante la pandemia. En cuanto a posibles cambios post pandemia, el 40 % anticipa un aumento en la gestión de plásticos, el 20 % espera más presión ciudadana para el reciclaje y el 30 % prevé protocolos para reciclar desde casa. Respecto a las acciones tomadas durante la pandemia, el 40 % señala equipos de protección para evitar detener el reciclaje, el 30 % menciona respaldo a la municipalidad de La Molina y el 10 % indica financiamiento del MINAM. Sin embargo, el 90 % confirma una disminución en el reciclaje en La Molina al inicio de la pandemia. Finalmente, el 60 % destaca la influencia del comercio exterior en el reciclaje de plásticos PET, enfocándose en la necesidad de gestionar los residuos locales antes de continuar importando.

Según (Chumpitaz Tome y Milla Huesa, 2020), en su trabajo de investigación «Estudio de métodos en el proceso de reciclaje de botellas PET para las municipalidades de Lima y Callao» para la Universidad Tecnológica del Perú, una de las razones detrás del incremento en los niveles de contaminación en las calles de Lima es la limitada efectividad de la gestión municipal en los distritos de Lima y Callao. En la actualidad, la mayoría de los municipios solo se encargan de recoger los desechos sin separarlos, y los envían directamente a un vertedero.

El objetivo es evaluar el impacto del estudio de métodos en diversas fases del proceso de reciclaje de botellas PET para las municipalidades de Lima y Callao. Esto incluye analizar su influencia en la ejecución del proceso de reciclaje, la concientización de los residentes sobre el reciclaje de botellas PET y la eficiencia en la recolección de estos materiales.

En esta investigación, se llevó a cabo una revisión bibliográfica para examinar cómo el estudio de métodos puede influir en la concienciación de los residentes y en la

recolección de botellas PET por parte de las autoridades municipales de Lima y Callao. Aunque la indagación se vio restringida por la falta de bibliografía disponible, las fuentes consultadas indican que la implementación de métodos de estudio tiene un impacto positivo en los dos aspectos más críticos de la Gestión de Residuos Sólidos (GRS).

En conclusión, este trabajo de revisión bibliográfica establece que la influencia del estudio de métodos en el proceso de reciclaje de botellas PET para las municipalidades es positiva, ya que la aplicación de sus pasos y la implementación de la propuesta resultante condujeron a mejoras significativas en los procesos de la Gestión de Residuos Sólidos (GRS). Además, se determinó que el estudio de métodos tiene una influencia positiva en la sensibilización de los pobladores sobre el reciclado de botellas PET, al proponer la difusión boca a boca como alternativa más eficiente que la difusión a través de medios masivos. Esta estrategia generó resultados positivos significativos, reflejándose en una mejora en la segregación de los residuos por parte de los pobladores. Asimismo, se logró determinar la influencia positiva del estudio de métodos en el proceso de recolección del reciclaje de botellas PET. Los pasos del estudio de método contribuyeron a formular propuestas de mejora, incluyendo la optimización del recorrido y movimiento, asegurando resultados positivos y eficacia en el proceso de recolección.

Según (Moncada Padilla y Velasquez Avalos 2021) en su tesis realizada en Lima «Diseño de un Sistema Integrado para la producción de filamento para impresora 3D de calidad comercial a partir de plástico reciclado» para la Universidad César Vallejo, «Anualmente, en nuestro país los plásticos ocupan el segundo lugar en cantidad de residuos desechados luego de los restos orgánicos. La mayor parte del plástico no es reciclado». Según el informe del Ministerio del Ambiente, en el 2018, en Perú, solo se recicla el 0.3 % de las 950 mil toneladas de plástico desechadas. A nivel nacional, carecemos de una política efectiva que aborde de manera directa el problema de la gestión de residuos y su reciclaje. Entre los pocos ejemplos de máquinas recicladoras de plástico se encuentra la máquina compactadora de la empresa Ecoven, la cual opera de manera similar a una máquina expendedora de bebidas. Esta máquina incentiva la donación de plástico mediante la entrega de vales de consumo y descuentos en compras realizadas en supermercados.

Para la metodología, la investigación aplicada se centra en abordar de manera concreta y eficiente el problema de producir filamento para impresoras 3D utilizando plástico reciclado, con el objetivo de encontrar soluciones en un periodo de tiempo corto. Se adopta un enfoque cuantitativo, recopilando datos a través de entrevistas con dos

empresas que trabajan con este producto, para comprender los parámetros necesarios en la producción de filamento de calidad. Esta investigación se clasifica como descriptiva, ya que busca medir las variables relevantes y analizar su incidencia e interrelación en un momento específico. Utilizará un diseño no experimental transversal para recoger datos en un solo momento y analizar la situación en ese instante a través de una medición única.

Finalmente, el investigador concluye que es factible predecir con precisión las propiedades mecánicas de los polímeros reciclados utilizados en filamentos de impresoras 3D si se conocen el número de veces que el plástico reciclado ha sido previamente utilizado y la temperatura de reciclaje. En el caso específico del polipropileno (PP) utilizado en este estudio, la predicción basada en datos experimentales demostró ser consistente y aceptable.

Según (Salazar Gutierrez et al. 2022), en su tesis llamada «Kawsay, una propuesta para reutilizar el plástico PET generado por empresas industriales», realizada en Lima, Perú, la producción anual de plástico PET alcanza aproximadamente 237.5 mil toneladas, con un 50 % de un solo uso y solo un 22 % reciclado en los sectores civil y textil. En el año 2020, los Ministerios de la Producción y del Medio Ambiente aprobaron la hoja de ruta hacia una economía circular, buscando incentivar el aprovechamiento de residuos reciclables. A pesar de que las empresas industriales realizan actividades ambientales, como la segregación y disposición de residuos sólidos, estas acciones siguen un enfoque de economía lineal.

Este estudio tiene como objetivo abordar el problema actual que enfrentan las empresas para valorizar los residuos reciclables, alineándose con la hoja de ruta de la economía circular.

Utilizando la metodología *design thinking*, se propone un servicio de recolección de residuos PET de empresas industriales, transformando el RPET en tela para la fabricación de uniformes para sus colaboradores. Este enfoque busca impulsar la economía circular. El proyecto, denominado Kawsay, se proyecta con un Valor Actual Neto (VAN) de 1.5 millones de soles, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 96 % en los primeros cinco años y un periodo de recuperación de aproximadamente dos años. La implementación requerirá una inversión inicial de 230 mil soles por parte de los socios y un préstamo bancario de 140 mil soles.

El análisis financiero respalda la viabilidad económica del proyecto, demostrando que ofrece un servicio rentable que apoya a las empresas participantes en su camino hacia la economía circular.

2.1.4. Antecedentes locales

Según (Flores Vizarreta, 2018), en su tesis desarrollada en Arequipa «Gestión familiar de residuos sólidos y su implicancia en la generación de ingresos económicos de recicladores del distrito de Paucarpata, 2018» para la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, la participación de las familias en programas de segregación en la fuente tiene un doble impacto: contribuye a la conservación ambiental y genera ingresos para quienes se dedican al reciclaje. Las acciones de sensibilización son cruciales, comprometiendo a las familias a separar adecuadamente los residuos, lo que facilita su recolección y venta a intermediarios.

Como conclusiones, la participación de las familias en los programas de segregación en la fuente es una práctica que no solo contribuye a la conservación del medio ambiente, sino que también genera ingresos económicos para aquellos que se dedican a esta actividad. Las acciones de sensibilización desempeñan un papel crucial en el proceso de reciclaje al comprometer a las familias a entregar residuos sólidos de manera seleccionada, lo que facilita el recojo y la venta a intermediarios. Aunque el 16 % de la producción de residuos en el distrito de Paucarpata es material reciclable, solo un pequeño porcentaje de la población participa en el programa de segregación en la fuente. Aquellas personas dedicadas al reciclaje obtienen un ingreso promedio mensual de alrededor de 800 soles, con jornadas de trabajo diarias que oscilan entre 10 y 12 horas, siendo las mujeres las principales involucradas en esta actividad.

Según (Cutipa Mamani y Rodríguez Flores 2020a) en su proyecto desarrollado en Arequipa «Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental Arequipa-2020» para la Universidad Continental, «el uso de la impresión 3D dentro del entorno universitario es solicitado, así mismo la adquisición de filamento para la impresión va en aumento».

La investigación presentada tiene como objetivo el diseño de una máquina extrusora que posea la capacidad de procesar polímeros termoplásticos. Esta máquina también cuenta con la capacidad de triturar los residuos generados en el FabLab de la universidad, específicamente los provenientes de impresiones 3D, con el propósito de producir filamento PLA para las impresoras 3D.

La metodología utilizada para este diseño se basa en la normativa VDI 2221 y 2225, la cual permitió la definición de la estructura de la extrusora, así como de sus componentes mecánicos y eléctricos. Además, se llevó a cabo una investigación

detallada sobre los plásticos PLA y ABS para realizar los cálculos necesarios y llevar a cabo el diseño adecuado.

El resultado obtenido es una máquina extrusora con un motor principal de 111 Watts y una velocidad del tornillo de 13 RPM, lo cual es necesario para la producción de 2 kg/h de filamento PLA con un diámetro de 1.75 mm, medida estándar utilizada por las impresoras 3D en el FabLab.

(Brenda, 2020), en su tesis desarrollada en Arequipa, «Fábrica de ladrillos plásticos en base a residuos PET para la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa» indica que, en los años recientes, el diseño arquitectónico de instalaciones industriales en la ciudad de Arequipa ha mostrado deficiencias que se reflejan en la falta de refinamiento en la apariencia de todas las áreas destinadas a la industria. Además, la escasa presencia de industrias orientadas hacia la reutilización de materiales como los residuos de polietileno tereftalato (PET) ha generado la necesidad de disponer de espacios destinados a albergar dichos procesos productivos.

El objetivo es desarrollar el diseño de una fábrica de ladrillos plásticos a partir de residuos PET, logrando mejorar las condiciones habitacionales en espacios industriales y agregar valor a los materiales plásticos descartados. También es importante la definición del proceso de fabricación de ladrillos con base en plástico PET y la determinación de un programa arquitectónico óptimo para su producción. Además, se busca identificar las características y atributos proporcionados por referentes arquitectónicos en el contexto de infraestructuras de fábricas.

Metodológicamente, este estudio como se configura como un enfoque descriptivo y propositivo que se divide en dos etapas. La primera fase implica la investigación como base y validación para la segunda etapa, denominada el proyecto arquitectónico. La investigación comprenderá la definición del tema, seguida por el estudio propiamente dicho, que incluirá la determinación de premisas de diseño. La segunda fase del proyecto arquitectónico se estructurará con criterios de diseño, anteproyecto, proyecto y memoria descriptiva con especificaciones.

Como conclusiones, la propuesta para establecer una fábrica de ladrillos plásticos en base a residuos PET es altamente viable y recomendable, ya que impacta positivamente en los ámbitos arquitectónico, social y ambiental. El estudio detallado de los procesos de fabricación de ladrillos con plástico PET sirvió como base para la formulación del programa arquitectónico. Las características y atributos proporcionados por empresas referentes en la fabricación de ladrillos PET fueron cruciales para determinar el volumen de producción y realizar un predimensionamiento de los espacios

necesarios. Documentos como la resolución 699 de plástico 0, la carta de interés del área de infraestructuras de la universidad y el estatuto de la universidad fueron fundamentales para abordar diversos aspectos teóricos y metodológicos en la investigación y el proyecto arquitectónico.

(Cutipa Mamani y Rodríguez Flores, 2020) en su tesis «Estudio de factibilidad para una planta recicladora de materiales plásticos para la producción de tablas y similares en Arequipa», para la Universidad Católica San Pablo, nos indica que esta investigación propone la implementación de una planta recicladora de materiales plásticos para la fabricación de tablas en Arequipa, como una solución alternativa para mitigar los elevados niveles de contaminación en la ciudad y, al mismo tiempo, ofrecer una alternativa a la madera convencional en el sector de la construcción. Para llevar a cabo este proyecto, se ha realizado una serie de estudios, entre ellos un estudio de investigación de mercado, estudio técnico, organizacional, económico financiero y estudio de impacto ambiental, los cuales tienen como objetivo principal evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto. Es importante destacar que la investigación cobra relevancia debido a la creciente demanda insatisfecha de madera en el Perú, lo que ha resultado en un aumento significativo de las importaciones. Ante esta problemática, las tablas fabricadas con plástico reciclado se presentan como una alternativa sustitutiva a la madera convencional. Además, este proyecto se alinea con la situación actual del planeta en relación con el cambio climático derivado de la contaminación, siendo una propuesta que busca abordar esta problemática.

El objetivo es llevar a cabo un estudio de viabilidad para una planta recicladora de materiales plásticos destinada a la fabricación de tablas, con el propósito de reducir la contaminación ambiental en la ciudad de Arequipa. También, abarcar la realización de un estudio de mercado para analizar la oferta y demanda del producto en el departamento de Arequipa, un estudio técnico para determinar la ubicación, tamaño óptimo de la planta, tipo de producción y distribución, un estudio organizacional para definir el tipo de empresa, estructura organizacional y cantidad de personal necesario, un estudio económico-financiero para evaluar la rentabilidad del proyecto, y un estudio social-ambiental para identificar factores, impactos ambientales y medidas de mitigación pertinentes.

La metodología seleccionada para llevar a cabo la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) fue la Matriz de evaluación rápida de impacto, conocida como RIAM. Esta metodología se fundamenta en la evaluación de datos cualitativos, expresando sus hallazgos de manera semicuantitativa. Este enfoque de análisis

favorece la interactividad y coherencia con el contexto ambiental en el que se prevé la instalación del proyecto.

Como conclusiones: la producción se centrará en la fabricación de tablas de madera plástica, pesando 60 kg cada una, con una composición de 75 % de plásticos variados (PP, HDPE, LDPE, PS, PVC) y un 25 % de plástico PET. La materia prima se adquirirá a S/. 165.00 por tonelada, proveniente de distritos seleccionados y empresas recicladoras. El público objetivo abarcará a personas de los niveles socioeconómicos A, B y C, con una proyección de demanda anual de 42,774 tablas en el primer año, basada en el análisis de una muestra de 73 personas representativas de una demanda total de 427,736 personas. La ubicación óptima de la planta se determinó mediante análisis locacionales ponderados, destacándose el parque industrial de Río Seco. La estructura legal de la empresa será una Sociedad Anónima Cerrada, organizada funcionalmente, con una inversión total de S/. 375,795.00, cubierta en un 60 % por una entidad bancaria y un 40% por aportes propios. El análisis económico y financiero revela un Valor Actual Neto Estimado (VANE) de S/541,779.69, un Valor Actual Neto Financiero (VANF) de S/159,759.75, una Tasa Interna de Retorno Estimada (TIRE) del 54 %, y una Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF) del 36 %, ratificando la viabilidad del proyecto.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Plástico

Los plásticos son materiales sintéticos que se caracterizan por ser moldeables y resistentes. Estos materiales se utilizan en una amplia variedad de productos, desde envases y botellas hasta juguetes y piezas de automóviles. Se pueden clasificar en diferentes tipos según su composición química y sus propiedades físicas. Algunos de los tipos más comunes incluyen el polietileno, el polipropileno, el PVC y el PET (4).

El uso de plásticos ha aumentado significativamente en las últimas décadas, lo que ha llevado a preocupaciones sobre su impacto ambiental. Los plásticos son difíciles de degradar y pueden persistir en el medio ambiente durante cientos de años. Además, la producción de plásticos requiere grandes cantidades de energía y recursos naturales (Oquendo Ferrer et al. 2019).

A pesar de estos problemas, los plásticos siguen siendo ampliamente utilizados debido a su versatilidad y bajo costo. En los últimos años, ha habido un mayor enfoque en la reducción del uso de plásticos de un solo uso y en la promoción de alternativas más sostenibles (Oquendo Ferrer et al. 2019).

2.2.2. Reciclaje

El reciclaje de plásticos es una estrategia para recuperar los residuos y evitar el uso de materia prima virgen, contribuyendo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El reciclaje de plásticos dentro de una economía circular es una alternativa prometedora que puede ayudar a alcanzar la conservación del ambiente y disminuir la crisis por plástico. Al reciclar residuos plásticos posconsumo, se puede obtener un ahorro ambiental con respecto a la producción del producto a partir de materia prima virgen y la disposición final de los residuos plásticos en el vertedero (Valarezo Ulloa y Ruiz Virgen, 2022)

El reciclaje de plásticos es una práctica importante para reducir la contaminación por plásticos y contribuir a la conservación del ambiente. Además, puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y evitar el uso de materia prima virgen. Sin embargo, es importante implementar políticas públicas y apoyar a los recicladores para que puedan desempeñar su labor de manera digna y efectiva. (Valarezo Ulloa y Ruiz Virgen, 2022)

2.2.3. Plástico PET (Tereftalato de polietileno)

El PET (polietilentereftalato) es un polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Es un polímero lineal, con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado. El PET es un tipo de plástico fuerte, flexible y 100 % reciclable. Es resistente al desgaste, a los químicos y soporta bien la corrosión. Además, el PET bloquea de manera eficaz la humedad y sus cualidades mecánicas son las que posibilitan que sea un material con el que se puede fabricar hilo, telas sintéticas y todo tipo de tejidos. (Ecoembes, 2021)

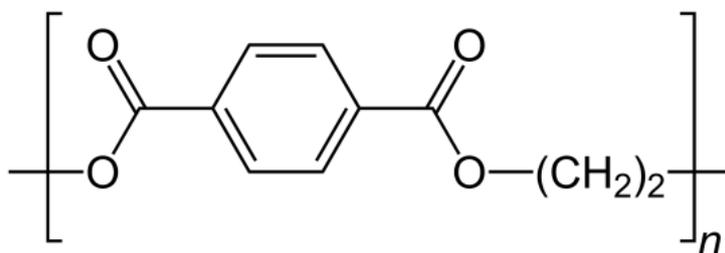


Figura 02. Estructura química, tereftalato de polietileno «PET»

Fuente:(Lizcano, 2020)

Las botellas de plástico son envases de los que a duras penas podríamos prescindir hoy en día, y es por eso que las botellas PET son una buena forma de cuidar del medio ambiente sin tener que renunciar a las funcionalidades tan prácticas que nos aportan estos envases plásticos. El PET es el material más utilizado para fabricar botellas de plástico. Es asequible económicamente y resiste bien la corrosión. Además, el PET es totalmente reciclable, lo que lo convierte en una opción sostenible para la fabricación de envases y tejidos sintéticos (Alcion, 2021).

Propiedades del PET

Tabla 01. *Propiedades físicas del tereftalato de polietileno PET*

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color		Natural	BL/Ne
Densidad	1183	g/cm ³	1,39
Absorcion de agua:			
despues de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C	62	mg	jun-13
	62	%	0,07/0,16
hasta la saturacion en aire a 23°C / 50% HR		%	0,25
hasta la saturacion en aire a 23°C		%	0,5
PROPIEDADES TERMICAS			
Temperatura de Fusion		°C	255
Conductividad termica a 23°C		W/(K-m)	0,29
Coefficiente de dilatacion termica lineal:			
-Valor medio entre 23 y 60 °C		m/(m-K)	60-10 ⁻⁶
-Valor medio entre 23 y 100°C		m/(m-K)	80-10 ⁻⁶
Temperatura por deformacion por carga:			
-por metodo A: 1,8MPa	75	°C	75
Temperatura maxima de servicio en aire:			
-en periodos cortos		°C	160
-en continuo: durante 5.000/20.000 h		°C	115/100
Temperatura minima de servicio			
			-20
Inflamabilidad			
-Indice de oxigeno	4589	%	25
-con respecto a la clasificacion UL 94 (para 3/6 mm de espeso)			HB/HB

Fuente: Elaplas

En la Tabla 1, se observa las propiedades físicas del tereftalato de polietileno, donde resanan dos propiedades importantes para nuestro estudio, la densidad del PET, que nos indica 1.39 g/cm³ y la temperatura de fusión, que es de 225 C°. Estos datos nos ayudarán a realizar nuestros cálculos más adelante.

2.2.4. Reciclaje del plástico PET

El reciclaje del plástico PET es una práctica importante en todo el mundo para reducir el impacto ambiental de este material y prolongar su vida útil. A continuación, se presentan algunos proyectos y estudios a nivel mundial que se han realizado para reciclar el plástico PET:

- Recientes avances en el reciclaje biológico de residuos plásticos de tereftalato de polietileno (PET) (Soong, Sobkowicz y Xie, 2022): Este estudio discute los métodos actuales de reciclaje de PET para mejorar el ciclo de vida y la gestión de residuos, que pueden ser implementados para reducir la contaminación plástica y sus impactos en la salud y el medio ambiente.

- Reciclaje químico de PET usado por glicólisis utilizando catalizadores basados en niobia (Shirazimoghaddam et al. 2023): Este estudio describe el reciclaje químico de PET a su monómero bis (2-hidroxietil) tereftalato (BHET) a través de glicólisis, utilizando catalizadores basados en niobia. Este enfoque permite el reciclaje del PET en condiciones razonables utilizando un material catalizador barato y no tóxico.
- Reciclaje biocatalítico de plástico de tereftalato de polietileno (PET) (10): Este estudio describe cómo los poliésteres sintéticos como el PET pueden ser hidrolizados por enzimas microbianas en condiciones suaves en medios acuosos. En una economía circular de plásticos, los monómeros resultantes pueden ser recuperados y reutilizados para fabricar productos PET u otros productos químicos sin agotar los recursos fósiles y dañar el medio ambiente.

Tenacidad a la fractura del PET

La tenacidad del plástico PET ronda entre los 9.5 Mega Pascales (Pecorini y Hertzberg, 1993).

2.2.5. Trituración

La trituración es el proceso de reducción de tamaño de las partículas de una sustancia, ya sea por molienda, aplastamiento o desmenuzamiento. Este proceso se aplica en diversas industrias, como la minería, la farmacéutica y la alimentaria. Dependiendo del tipo de material a triturar, se utilizan diferentes métodos y maquinaria especializada. Por ejemplo, en el caso de la trituración de rocas, se emplean trituradoras con revestimientos de desgaste y mecanismos de accionamiento específico (Taco, Gonzales y Bonifaz, 2021).

2.2.5.1. Trituración de plástico PET

La trituración de plástico PET es un proceso que permite reducir el tamaño de las botellas y envases de plástico PET a fragmentos más pequeños y manejables. Estos fragmentos pueden ser utilizados para fabricar nuevos productos de plástico, como velas, lonas, cuerdas, hilos, textiles, bolsas industriales y para residuos, botellas de detergentes, tubos, uso agrícola, muebles de jardín, vallas y tuberías (Taco, Gonzales y Bonifaz, 2021).

2.2.5.2. El proceso de trituración de plástico PET

1. Separación de envases: Primero, se separan los envases de plástico PET según su tipo, verificando la etiqueta que indica el número de plástico.

2. Corte: Se cortan los envases en trozos o piezas más pequeñas (Internaco, 2022).
3. Trituración: Los trozos de plástico PET se introducen en una trituradora, que cuenta con cuchillas que cortan y Trituran las piezas de plástico (Internaco, 2022).
4. Selección de tamaño: Después de la trituración, se utiliza un tamiz o rejilla que permite el paso de los trozos de un tamaño deseado (Recytrans, 2015).
5. Almacenamiento: Finalmente, los trozos de plástico triturado se almacenan hasta que se utilicen para fabricar nuevos productos (Recytrans, 2015).

2.2.6. Máquina trituradora

Una máquina trituradora, también conocida como trituradora, machacadora o chancador, es un equipo que procesa materiales para reducir su tamaño a trozos más pequeños. Este proceso de trituración puede realizarse mediante molienda, aplastamiento o desmenuzamiento, dependiendo del tipo de material a procesar. Las máquinas trituradoras son ampliamente utilizadas en diversas industrias, como la minería, la construcción, el reciclaje y la alimentaria, para el tratamiento de materiales como rocas, minerales, madera, plástico, huesos, entre otros (Internaco, 2022).

Existen varios tipos de máquinas trituradoras utilizadas en el reciclaje, cada una diseñada para triturar y procesar diferentes tipos de residuos. Algunos de los tipos de trituradoras más comunes en el reciclaje son:

- A. Trituradoras de hojas:** Una trituradora de cuchillas es una máquina diseñada para triturar materiales utilizando cuchillas afiladas. Este tipo de trituradora es comúnmente utilizado para la trituración de residuos de jardinería, como ramas y hojas.

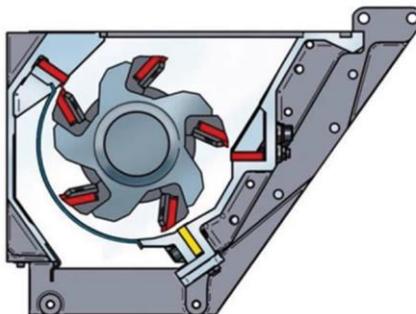


Figura 03. Tritrador de hojas

Fuente: (911metallurgist, 2021)

Se puede observar los componentes en rojo, estas son las hojas que cortan el material a medida que es introducido en la trituradora. El componente giratorio mantiene las hojas en movimiento y con el torque suficiente para realizar el corte del material.

B. Trituradoras de impacto: Ideales para la trituración de materiales de gran tamaño y alta dureza.

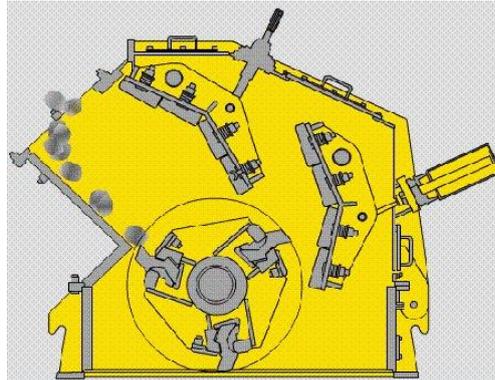


Figura 4. Triturador de impacto

Fuente: (Daswell, 2013)

Como se muestra en la figura, este tipo de trituradora utiliza martillos que golpean constantemente al material introducido, fragmentándolo en pedazos más pequeños hasta que pueda pasar por los topos instalados. Debido a su configuración, este tipo de triturador no es útil para materiales blandos o deformables, ya que estos absorben el impacto.

C. Trituradoras de cuchillas: Perfectos para triturar residuos sólidos de baja dureza, como elásticos, plásticos y residuos orgánicos. (911metallurgist, 2021)



Figura 05. Triturador de cuchillas

Fuente: (Daswell, 2013)

Este tipo de trituradora utiliza cuchillas de tamaño moderado, las cuales se encargan de arrancar pedazos del material introducido hasta cortarlo completamente. Este tipo de trituradora es muy útil con materiales deformables de mediana resistencia. El tamaño de las cuchillas dependerá del tamaño final de las partículas que se requiere obtener.

Cada tipo de trituradora es seleccionado según el tipo de residuo que se desea procesar, teniendo en cuenta las propiedades de dureza, tenacidad y flexibilidad de los materiales (Italesmex, 2018).

2.2.7 Fabricación por inyección de plástico

El modelado por inyección de plástico es un proceso de fabricación en el que se inyecta material fundido, generalmente un termoplástico o polímero, en un molde para producir una pieza. El proceso comienza con la fusión de la materia prima en un barril calentado, que se utiliza para mezclar el material deseado antes de la inyección. Luego, este plástico fundido se inyecta a alta presión en una cavidad de molde y se enfría para darle la forma deseada. El moldeo por inyección se utiliza para fabricar una amplia gama de productos de uso habitual, desde componentes pequeños hasta piezas grandes de automóviles y naves espaciales. Es un proceso muy popular debido a su capacidad para producir piezas complejas e intrincadas con tolerancias extremadamente pequeñas, en grandes volúmenes y a un costo relativamente bajo. (Protolabs, 2021)

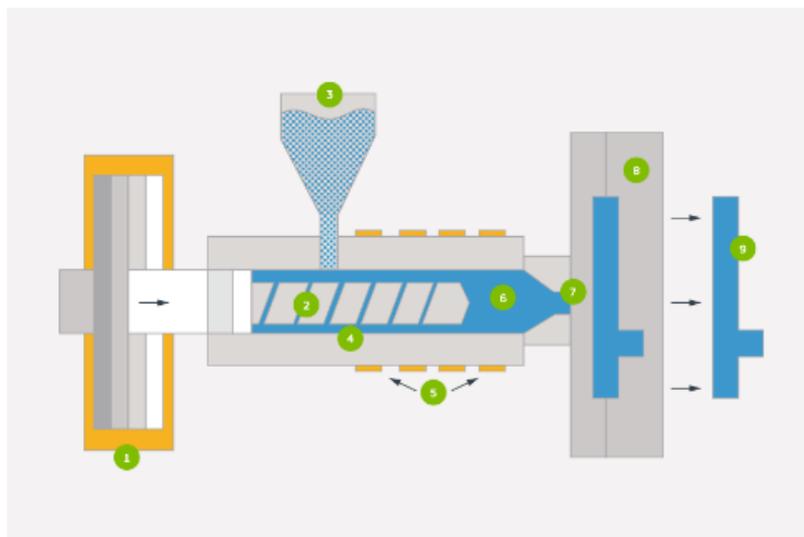


Figura 06. Modelo de máquina de inyección de plásticos

Fuente: (Protolabs, 2021)

Se puede observar: el motor (1) entrega el torque necesario al tornillo (2), el cual se encarga de empujar el plástico transmitido desde la tolva (3) e introducido al barril (4)

el cual posee calentadores (5) que se encargan de aumentar la temperatura del plástico, generando plástico fundido (6). Este plástico fundido ingresa por la boquilla (7) al molde (8), el cual, luego de recubrir todo el molde, se enfría para retirar el producto final (9)

2.2.8. Extrusora de tornillo

Una extrusora de un tornillo es un equipo utilizado en el proceso de extrusión para fundir y dar forma a materiales plásticos. Consiste en un tornillo que gira dentro de un cilindro calentado, y su función principal es transportar, fundir y presurizar el material para la operación de extrusión. Este tipo de extrusora se utiliza para el transporte y la mezcla de materiales, y es común en aplicaciones como la fabricación de perfiles, tuberías, láminas y películas. Por otro lado, las extrusoras de doble tornillo se utilizan para mezclar, formular o reaccionar materiales poliméricos, y ofrecen una mejor capacidad de mezcla en comparación con las extrusoras de un tornillo. Estas máquinas son ampliamente utilizadas en la polimerización a granel, el procesamiento y el compounding de plásticos. (Protolabs, 2021)

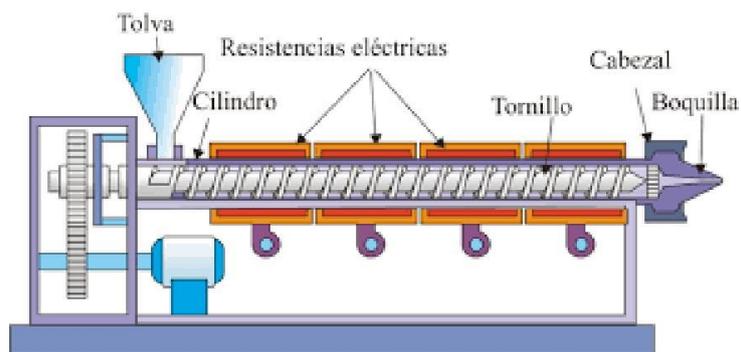


Figura 07. Extrusora de tornillo

Fuente: (Protolabs, 2021)

El tornillo en este tipo de extrusoras, se encarga de presionar el material hacia la boquilla, esto más el aumento de temperatura, permite que el material se funda y pueda fluir por la boquilla.

A. Componentes de la extrusora de tornillo

Tornillo o tornillo:



Tornillo de extrusora

Fuente: (Plástico, 2015)

Es el elemento principal del extrusor y se encarga de transportar, mezclar y comprimir el material a través del cilindro de la máquina.

B. Barril:

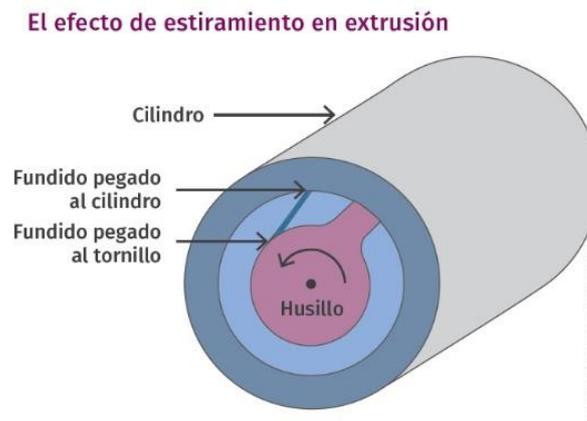


Figura 09. Barril

Fuente: (Plástico, 2015)

Es la carcasa que rodea al tornillo y en la que se lleva a cabo el proceso de extrusión. Generalmente está equipado con sistemas de calentamiento para fundir el material.

C. Motor eléctrico:



Figura 10. Motor eléctrico monofásico

Fuente: (Inducom, 2020)

Proporciona la potencia necesaria para girar el tornillo y mover el material a través del cilindro hasta la boquilla del extrusor.

D. Boquilla:



Figura 11. Boquilla de un extrusor industrial

Fuente: (Espert, 2011)

Es la parte final del cilindro a través de la cual el material fundido es extruido para formar el producto fino. (Espert, 2011)

E. Tolva: Se trata de un contenedor cónico con una boquilla de menor tamaño en comparación con otra, que puede o no presentar esquinas. Su función principal consiste en suministrar de manera constante y con un flujo predefinido el material a procesar al barril de la máquina, asegurando así la alimentación continua del sistema.

F. Calentadores: Un sistema destinado a incrementar la temperatura interna del barril mediante conducción térmica. Estos sistemas son regulados para alcanzar la temperatura óptima de fusión del material y gestionar el proceso de enfriamiento, garantizando resultados satisfactorios al momento en que el material llega al troquel. (Espert, 2011)

G. Aislamiento: Con el propósito de optimizar el sistema de extrusión, se implementa un aislamiento que recubrirá el barril y cumplirá la función de prevenir la pérdida de calor en el sistema. Este aislamiento permitirá mantener una temperatura óptima, eliminando la necesidad de ajustes en los calentadores. (Espert Bernia, 2011)

2.2.9. Ventiladores



Figura 12. Ventilador 120 mm

Fuente: (Akyga, 2022)

Los ventiladores desempeñan la función de refrigerar el material proveniente del proceso de extrusión, ajustando su temperatura para facilitar el procedimiento de hilado del polímero extruido. (Akyga, 2022)

2.2.10. Motor eléctrico

Un motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica de rotación mediante la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Estos motores son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor, y algunos de ellos son reversibles, ya que pueden convertir energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. (Etsist, 2011)

2.2.11. Impresión 3D

La impresión 3D es un proceso de fabricación aditiva que permite la creación de objetos tridimensionales mediante la superposición de capas sucesivas de material. La impresión 3D es una tecnología que ha evolucionado en las últimas décadas y ha permitido la creación de objetos de manera más rápida, eficiente y personalizada. A continuación, se describen algunos aspectos importantes de la impresión 3D:

Proceso de impresión: La impresión 3D se realiza a partir de un archivo digital que contiene un modelo tridimensional del objeto que se desea imprimir. Este archivo se carga en un software específico que divide el modelo en capas finas y genera un código G que la impresora 3D lee para saber cuándo y dónde depositar el material. La impresora 3D deposita el material capa por capa hasta que se completa el objeto. (Dekoup, 2019)

Materiales: La impresión 3D utiliza una amplia variedad de materiales, desde plásticos hasta metales, cerámicas y tejidos vivos. Los materiales más comunes utilizados en la impresión 3D son el PLA, ABS, nylon, PETG y TPU. La elección del material adecuado depende de las propiedades mecánicas, características funcionales o aspecto deseados de la pieza que se quiere imprimir.

Aplicaciones: La impresión 3D se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde la creación de prototipos y piezas de producción hasta la fabricación de prótesis personalizadas y modelos anatómicos para la medicina. La impresión 3D también se utiliza en la creación de piezas de arte y joyería, así como en la fabricación de piezas para la industria aeroespacial y automotriz. (Dekoup, 2019)

Ventajas: La impresión 3D ofrece varias ventajas en comparación con los métodos de fabricación tradicionales. Permite la creación de objetos personalizados y complejos con geometrías que serían difíciles o imposibles de crear con otros métodos. Además, la impresión 3D es más rápida y eficiente que otros métodos de fabricación, lo que reduce los costos y el tiempo de producción (Horcasitas-Pous y González, 2020).

Desventajas: Aunque la impresión 3D ofrece muchas ventajas, también tiene algunas limitaciones. La calidad de la impresión puede verse afectada por la resolución de la impresora y la calidad del material utilizado. Además, la impresión 3D puede ser costosa para la producción en masa y no es adecuada para la fabricación de piezas grandes (Horcasitas-Pous y González, 2020).

2.2.11.1. Impresora 3D

Una impresora 3D FDM (Fused Deposition Modeling) es una tecnología de fabricación aditiva que utiliza un filamento termoplástico para construir objetos capa por capa (Stratasys, 2022). A continuación, se detallan los componentes y el funcionamiento de una impresora 3D FDM:

Componentes:

- Extrusor: Es el componente que funde el filamento termoplástico y lo deposita en la plataforma de impresión.
- Plataforma de impresión: Es la superficie donde se construye el objeto.
- Filamento termoplástico: Es el material que se utiliza para construir el objeto. Los materiales más comunes son el PLA y el ABS.
- Software de diseño: Es el programa que se utiliza para diseñar el objeto que se va a imprimir.
- Software de impresión: Es el programa que se utiliza para preparar el diseño para la impresión.

Funcionamiento:

- A. **Diseño del objeto:** El primer paso es diseñar el objeto que se va a imprimir utilizando un software de diseño.
- B. **Preparación del diseño:** El siguiente paso es preparar el diseño para la impresión utilizando un software de impresión. En este paso se ajustan los parámetros de impresión, como la velocidad de impresión y la temperatura del extrusor.
- C. **Carga del filamento:** El filamento termoplástico se carga en el extrusor.
- D. **Impresión:** La impresora comienza a imprimir el objeto capa por capa. El extrusor funde el filamento termoplástico y lo deposita en la plataforma de impresión. Una vez que se ha completado una capa, la plataforma se mueve hacia abajo para permitir la impresión de la siguiente capa.
- E. **Finalización:** Una vez que se ha completado la impresión, se retira el objeto de la plataforma de impresión.

Las impresoras 3D FDM son una tecnología de fabricación por adición que permite la creación de objetos tridimensionales mediante la superposición de capas sucesivas de material. Son más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición (Mesa Rodríguez, 2021). Además, la tecnología

FDM ofrece valiosas eficiencias sobre los métodos de manufactura convencionales, lo que permite reducir los costos de producción mientras se beneficia de tiempos de espera más cortos para una entrada más rápida al mercado (stratasys, 2022).

2.2.11.2. Filamento para impresión 3D

El filamento 3D es un material utilizado en la impresión 3D que se utiliza para crear objetos tridimensionales mediante la deposición de capas sucesivas de material. El filamento se alimenta a través de una boquilla de impresión y se funde a una temperatura específica para que pueda ser depositado en la plataforma de impresión. El filamento 3D está disponible en diferentes materiales, cada uno con sus propias propiedades y características. A continuación, se describen algunos de los materiales más comunes utilizados en la impresión 3D:

- A. PLA (ácido poliláctico): es uno de los materiales más populares para la impresión 3D, debido a su facilidad de uso y bajo costo. Está hecho de materiales renovables como el almidón de maíz y es biodegradable. El PLA es un material rígido y resistente, pero no es adecuado para aplicaciones que requieren resistencia a altas temperaturas o a la humedad (Quiroga Vergel et al. 2022).
- B. ABS (acrilonitrilo butadieno estireno): es un material termoplástico que se utiliza comúnmente en la fabricación de piezas de automóviles y electrodomésticos. Es resistente a los impactos y a la abrasión, y puede soportar temperaturas elevadas. Sin embargo, no es biodegradable y emite gases tóxicos durante la impresión (Quiroga Vergel et al. 2022).
- C. Nylon: es un material fuerte y duradero que se utiliza en aplicaciones que requieren resistencia a la abrasión y a la tracción. Es resistente a la humedad y a los productos químicos, y es adecuado para la fabricación de piezas mecánicas (Quiroga Vergel et al. 2022).
- D. PETG (tereftalato de polietileno glicol): es un material resistente y duradero que se utiliza en aplicaciones que requieren resistencia a la humedad y a los productos químicos. Es fácil de imprimir y no emite gases tóxicos durante la impresión. (Rodríguez Hernández y Reinecke, 2020)
- E. TPU (poliuretano termoplástico): es un material flexible y elástico que se utiliza en aplicaciones que requieren resistencia a la tracción y a la abrasión. Es adecuado para la fabricación de piezas que necesitan ser dobladas o estiradas. (Blanch y Espinel, 2022)

2.2.12. Proceso de fabricación de filamento 3D a partir de botellas PET

El proceso de convertir botellas PET en filamento de impresión 3D es una forma de reciclar y reutilizar el plástico para crear nuevos objetos. A continuación, se describen los pasos necesarios para llevar a cabo este proceso:

2.2.12.1. Recopilación de botellas PET: Se recolectan botellas de plástico PET, que son las más comunes en el mercado y que se pueden reciclar para crear filamento para impresoras 3D. Para obtener las botellas PET se pueden realizar las siguientes tareas:

- A. **Educación y concientización:** Es importante educar a la población sobre la importancia del reciclaje y la recolección de botellas PET. Se pueden realizar campañas de concientización en escuelas, universidades y comunidades para fomentar la cultura del reciclaje. (Gutiérrez Paredes y Vargas Ayala, 2017)
- B. **Establecer puntos de recolección:** Se pueden establecer puntos de recolección en lugares estratégicos como parques, plazas, centros comerciales y edificios públicos. Estos puntos de recolección deben ser visibles y accesibles para la población. (Gutiérrez Paredes y Vargas Ayala, 2017)
- C. **Implementar un sistema de recolección selectiva:** Se puede implementar un sistema de recolección selectiva en el que se separen los residuos por tipo de material. De esta manera, se facilita el proceso de reciclaje y se evita la contaminación de los materiales. (Gutiérrez Paredes y Vargas Ayala, 2017)
- D. **Asociarse con empresas recicladoras:** Se pueden establecer alianzas con empresas recicladoras para que se encarguen de la recolección y el procesamiento de las botellas PET. De esta manera, se asegura que las botellas sean recicladas de manera adecuada y se evita que terminen en vertederos. (Gutiérrez Paredes y Vargas Ayala, 2017)
- E. **Incentivar la recolección:** Se pueden implementar programas de incentivos para motivar a la población a recolectar botellas PET. Por ejemplo, se pueden ofrecer descuentos en tiendas o restaurantes a cambio de botellas recolectadas. (Gutiérrez Paredes y Vargas Ayala, 2017)

2.2.12.2. Limpieza y secado: Para limpiar y secar botellas PET para reciclar, se pueden seguir las siguientes recomendaciones:

- A. **Separar las botellas PET:** Es importante separar las botellas PET de otros materiales para facilitar su posterior procesamiento.
- B. **Eliminar las etiquetas:** Las etiquetas de las botellas deben ser eliminadas para evitar que contaminen el proceso de reciclaje.

- C. **Lavado:** Las botellas deben ser lavadas con agua y jabón para eliminar cualquier residuo o impureza que puedan tener. Es importante asegurarse de que las botellas estén completamente limpias antes de continuar con el proceso de reciclaje.
- D. **Secado:** Las botellas deben ser secadas completamente antes de ser enviadas a la planta de reciclaje. Esto puede hacerse de manera manual o utilizando una máquina secadora.

Es importante destacar que el proceso de limpieza y secado de botellas PET puede variar dependiendo de la técnica utilizada en la planta de reciclaje. Por ejemplo, en algunas plantas se utilizan máquinas especiales para lavar y secar las botellas de manera automática. Además, existen proyectos DIY que permiten construir una máquina para lavar y secar botellas PET. (Elkay, 2019)

2.2.12.3. Trituración: Para triturar botellas PET para reciclar, se pueden seguir las siguientes recomendaciones:

- A. **Separar las botellas PET:** Es importante separar las botellas PET de otros materiales para facilitar su posterior procesamiento.
- B. **Eliminar las etiquetas:** Las etiquetas de las botellas deben ser eliminadas para evitar que contaminen el proceso de reciclaje.
- C. **Trituración:** Las botellas se introducen en una máquina trituradora, que las corta en pequeños trozos. Este proceso es importante para reducir el tamaño de las botellas y facilitar su posterior procesamiento.
- D. **Separación de materiales:** Después de la trituración, se pueden separar los materiales por tipo utilizando una máquina separadora. De esta manera, se pueden separar los materiales que no son PET y facilitar su posterior procesamiento.

Es importante destacar que el proceso de trituración de botellas PET puede variar dependiendo de la técnica utilizada en la planta de reciclaje. Por ejemplo, en algunas plantas se utilizan máquinas especiales para triturar y separar los materiales de manera automática. Además, existen proyectos DIY que permiten construir una máquina para triturar botellas PET. (Paz, 2016)

2.2.12.4. Extrusión: Para extruir botellas PET trituradas para reciclar en el distrito de Cerro Colorado, en la ciudad de Arequipa, país de Perú, se pueden seguir las siguientes recomendaciones:

- A. **Preparación del material:** Las botellas PET deben ser trituradas y limpiadas antes de ser extruidas. Es importante asegurarse de que las botellas estén completamente limpias y secas antes de continuar con el proceso de extrusión.
- B. **Introducción del material en la máquina extrusora:** Los trozos de botellas PET trituradas se introducen en una máquina extrusora, que los funde y los convierte en filamento. La temperatura y la velocidad de extrusión pueden variar dependiendo del tipo de plástico utilizado.
- C. **Enfriamiento y bobinado:** El filamento se enfría y se bobina en carretes para su uso posterior en una impresora 3D.

El proceso de extrusión de botellas PET trituradas puede variar dependiendo de la técnica utilizada en la planta de reciclaje. Por ejemplo, en algunas plantas se utilizan máquinas especiales para extruir y procesar los materiales de manera automática. Además, existen proyectos DIY que permiten construir una máquina para extruir filamento con botellas de plástico. (Patiño Ortiz, 2020)

Es importante destacar que el proceso de convertir botellas PET en filamento de impresión 3D utilizando un triturador y un extrusor de plástico es una técnica que puede ser realizada en casa con equipos de bajo costo. Además, existen proyectos DIY que permiten construir una máquina para crear filamento con botellas de plástico. Por otro lado, la máquina Polyformer es una máquina de código abierto que permite convertir botellas de plástico recicladas en material para impresión 3D. (Lara, 2022b)

En conclusión, el proceso de convertir botellas PET en filamento de impresión 3D utilizando un triturador y un extrusor de plástico es una técnica accesible y económica que permite dar una segunda vida a las botellas de plástico y reducir la cantidad de residuos producidos.

2.2.13. Qué es un desecho

Un desecho es cualquier material sólido, líquido o gaseoso que se considera basura y que debe ser eliminado después de haber cumplido con su misión, ya que se considera sin valor para ser conservado. Los desechos pueden ser generados por actividades humanas, como la producción industrial, la construcción, la agricultura, la pesca, la minería, el transporte, la alimentación, entre otras. (EPA, 2019)

Los desechos pueden ser clasificados de diferentes maneras, dependiendo de su origen, composición y características. A continuación, se describen algunas de las clasificaciones más comunes:

Según su origen, los desechos pueden ser clasificados según su origen en:

- Domésticos: son aquellos que se generan en el hogar, como restos de comida, papel, cartón, plásticos, vidrios, entre otros.
- Municipales: son aquellos que se generan en las calles, mercados, jardines, entre otros.
- Industriales: son aquellos que se generan en la producción industrial, como residuos químicos, metales, plásticos, entre otros.
- Agrícolas: son aquellos que se generan en la agricultura, como restos de cultivos, estiércol, entre otros.
- Pesqueros: son aquellos que se generan en la pesca, como restos de pescado, redes, entre otros.
- Mineros: son aquellos que se generan en la minería, como restos de roca, tierra, entre otros.

Según su composición: Los desechos pueden ser clasificados según su composición en:

- Orgánicos: son aquellos que se descomponen de manera natural, como restos de comida, hojas, ramas, entre otros.
- Inorgánicos: son aquellos que no se descomponen de manera natural, como plásticos, vidrios, metales, entre otros.
- Según su peligrosidad: Los desechos pueden ser clasificados según su peligrosidad en:
- Peligrosos: son aquellos que contienen sustancias tóxicas o peligrosas para la salud humana o el medio ambiente, como residuos químicos, baterías, pilas, entre otros.
- No peligrosos: son aquellos que no contienen sustancias tóxicas o peligrosas para la salud humana o el medio ambiente, como restos de comida, papel, cartón, entre otros.

2.2.14. Impacto económico

El impacto económico se refiere a los efectos que una actividad o evento tiene en la economía de un país, región o comunidad. Este impacto puede ser positivo o negativo y puede medirse en términos de producción, empleo, ingresos, gastos, entre otros indicadores económicos. (Domínguez, 2023)

A continuación, se describen algunos ejemplos de impacto económico:

- Impacto económico positivo: Un evento deportivo, como los Juegos Olímpicos, puede tener un impacto económico positivo en la ciudad anfitriona. Este impacto se

debe a que el evento atrae a turistas y genera empleo en la industria turística y en otros sectores relacionados, como la construcción y el transporte. Además, el evento puede mejorar la figura de la ciudad y atraer inversiones.

- **Impacto económico negativo:** Un desastre natural, como un terremoto o una inundación, puede tener un impacto económico negativo en la región afectada. Este impacto se debe a que el desastre puede destruir infraestructura y viviendas, afectar la producción agrícola y generar pérdidas económicas para las empresas y los trabajadores afectados.
- **Impacto económico directo:** El impacto económico directo se refiere a los efectos inmediatos que una actividad tiene en la economía. Por ejemplo, la construcción de un nuevo edificio genera empleo y gastos en materiales de construcción.
- **Impacto económico indirecto:** El impacto económico indirecto se refiere a los efectos que una actividad tiene en otros sectores de la economía. Por ejemplo, la construcción de un nuevo edificio puede generar empleo en la industria de materiales de construcción y en otros sectores relacionados, como el transporte y la logística.

Es importante destacar que el impacto económico puede ser medido utilizando diferentes metodologías y herramientas. Por ejemplo, se pueden utilizar modelos económicos para estimar el impacto de un evento o actividad en la economía. Además, es importante considerar tanto los efectos positivos como los negativos del impacto económico para tener una visión completa de la situación. (Domínguez, 2023)

2.3. Términos básicos

a. Conformado de polímeros:

Este proceso implica calentar el polímero hasta alcanzar su temperatura plástica y obligarlo a fluir a una elevada presión a través de una cavidad o molde.

b. Triturado de polímeros:

Proceso que reduce el volumen y las dimensiones de un polímero mediante cortes a alta presión.

c. Carrete de filamento:

Se refiere a una bobina o carrete que contiene material en forma de filamento. Este filamento suele ser un polímero termoplástico, y se utiliza como materia prima para alimentar a una impresora 3D. (Filament2print 2019)



Figura 13. Carrete de filamento

Fuente: (Filament2print, 2019)

Carrete de filamento, utilizado para el almacenamiento de este. A la izquierda se puede ver un carrete vacío, a la derecha, un carrete con 1 KG de filamento.

d. Holgura:

Espacio vacío entre el tornillo y el barril.

e. Cavitación:

Fenómeno que ocurre cuando el material plástico enfrenta dificultades al ingresar al tornillo.

f. Resistencia a la tracción:

Máximo esfuerzo que puede soportar un objeto antes de romperse.

g. Esfuerzo cortante:

Resultante de las tensiones cortantes.

h. Manta cerámica:

Resistencia térmica compuesta principalmente por alúmina y sílice, utilizada para aislar el calor en la máquina y prevenir el choque térmico.

i. Filamento:

Hilo plástico con un diámetro determinado por el troquel y una longitud continua, resultante de la extrusión del plástico PLA.

j. Cable eléctrico:

Un cable eléctrico es un conductor que transporta corriente eléctrica y está compuesto por materiales conductores, recubiertos por un aislante protector.

k. Calibre de un cable eléctrico:

El calibre de un cable se refiere a su grosor y capacidad para transportar corriente eléctrica; se expresa comúnmente en unidades como calibre AWG. (Electrotec 2019)

Tabla 02. Calibre AWG

Cables	Calibre A.W.G.	Seccion mm ²	Cant. Amperes	Resistencia Ω/Km
	14	2.5	15	8.45
	12	4.0	20	5.32
	10	6.0	30	3.34
	08	10.0	40 - 55	2.10
	06	16.0	55 - 75	1.32

Fuente: (Electrotec, 2019)

En la Tabla 2 se puede verificar el calibre AWG de los cables de luz eléctrica. Mientras menor sea el calibre, mayor será la sección del cable, además, de su capacidad para conducir la corriente eléctrica.

I. Llave termomagnética:

Una llave termomagnética es un dispositivo de protección utilizado en instalaciones eléctricas para interrumpir el flujo de corriente en caso de sobrecargas o cortocircuitos. (Avellaneda, 2020)

Easy9

Protección termomagnética, diferencial y contra sobretensiones transitorias



Interruptor Termomagnético

- > Conforme a Norma IEC 60898.
- > Calibre In: 6 a 63 A.
- > Poder de ruptura 4,5 kA
- > Curva de disparo C
- > Tensión de empleo: 230/400 Vca
- > Bornes de 25 mm² máximo para cable rígido y 16 mm² para cable flexible

Termomagnéticos				
Calibre	1P	2P	3P	4P
6A	EZ9F34106	EZ9F34206	EZ9F34306	EZ9F34406
10A	EZ9F34110	EZ9F34210	EZ9F34310	EZ9F34410
16A	EZ9F34116	EZ9F34216	EZ9F34316	EZ9F34416
20A	EZ9F34120	EZ9F34220	EZ9F34320	EZ9F34420
25A	EZ9F34125	EZ9F34225	EZ9F34325	EZ9F34425
32A	EZ9F34132	EZ9F34232	EZ9F34332	EZ9F34432
40A	EZ9F34140	EZ9F34240	EZ9F34340	EZ9F34440
50A	EZ9F34150	EZ9F34250	EZ9F34350	EZ9F34450
63A	EZ9F34163	EZ9F34263	EZ9F34363	EZ9F34463

Figura 13. Características de las llaves termomagnéticas

Fuente: (Avellaneda 2020)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Enfoque de la investigación

La investigación propuesta tiene un enfoque mixto, ya que según (Otero Ortega, 2018), los estudios de enfoque mixto se originan como respuesta a la necesidad de abordar la complejidad de los problemas de investigación desde una perspectiva integral en el campo de la ingeniería. En esta aproximación, se integran métodos tanto cuantitativos como cualitativos con el objetivo de aprovechar las ventajas inherentes a cada uno de estos enfoques, lo que permite una comprensión más completa y efectiva de los desafíos analizados. El proceso de investigación mixta se caracteriza por ser un procedimiento sistemático, basado en evidencia empírica y enfoque crítico, mediante el cual se fusionan la perspectiva objetiva de la investigación cuantitativa con la perspectiva subjetiva de la investigación cualitativa, con el propósito de abordar cuestionamientos.

De acuerdo con (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), este enfoque involucra la recopilación, examen, combinación, transformación e integración de datos tanto cualitativos como cuantitativos, brindando así una visión más amplia, una mayor robustez y rigor, así como una mayor exploración y aprovechamiento de la información.

Los métodos mixtos, en el contexto del reciclaje de botellas PET para la fabricación de filamento 3D a través de una máquina de extrusión, constituyen un proceso riguroso y crítico de investigación, que engloba la recopilación y el análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, seguidos por su combinación y análisis conjunto. Estos métodos permiten realizar inferencias a partir de la totalidad de la información recopilada, lo que resulta en una comprensión más profunda del proceso. En el ámbito del reciclaje de botellas PET, para la creación de filamento 3D mediante una máquina de extrusión, los métodos de investigación mixta representan la fusión estratégica de técnicas cuantitativas y cualitativas en un solo estudio, con el propósito de obtener una visión más completa y detallada de todo el proceso.

3.2. Diseño de la investigación: No experimental

Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. (Domínguez, 2023)

En un enfoque no experimental, el investigador no manipula directamente las variables independientes ni crea grupos de control y experimental. En cambio, se recopilan datos y se analizan en función de la observación y la correlación de variables existentes.

En el contexto de la tesis sobre la elaboración de un modelo de dispositivo de producción de filamentos para tecnología de impresión 3D, aplicado a la reutilización y reciclaje de recipientes de plástico PET, un enfoque no experimental podría implicar lo siguiente:

1. Estudio observacional: El investigador podría recopilar datos de la reutilización y el reciclaje de recipientes de plástico PET en diferentes escenarios, sin intervenir ni manipular variables. Por ejemplo, se podrían recopilar datos de la cantidad de recipientes de plástico PET reciclados y reutilizados en una comunidad o en diferentes empresas que utilizan métodos tradicionales de reciclaje y reutilización. (Domínguez, 2023)
2. Estudio de casos: En lugar de implementar un modelo experimental de dispositivo de producción de filamentos, el investigador podría analizar casos específicos de empresas, organizaciones o comunidades que ya están utilizando métodos de producción de filamentos para la reutilización y el reciclaje de recipientes de plástico PET. El enfoque se centraría en estudiar y comprender los factores que contribuyen al éxito o al desafío en la implementación de estos modelos existentes. (Domínguez, 2023)

3.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación utilizado para este trabajo de investigación es del tipo tecnológico, ya que se basa en pruebas para verificar la idoneidad del filamento en la producción de impresiones 3D. Este proceso permitió activar la producción una vez que se confirmó que el filamento cumplía con las especificaciones requeridas. Durante este análisis, se evaluaron parámetros como diámetros, tolerancias, propiedades mecánicas y físicas del material. Además, se contempló la capacidad de identificar y rectificar cualquier error o defecto que pudiera surgir a lo largo del proyecto.

Se buscó la adquisición de conocimientos prácticos dirigidos a la resolución de la problemática de contaminación ambiental ocasionada por desechos plásticos. Esto se logró mediante la idea de un prototipo de extrusora que incorpora un sistema de control basado en retroalimentación, destinado a la producción de filamentos a partir de materiales plásticos descartados.

3.4. Alcance de la investigación

El estudio es de naturaleza descriptiva, ya que según (Risque y Col, 2002) esta modalidad de investigación se orienta hacia la especificación de rasgos y características importantes de un fenómeno, tomando en consideración sus atributos, actitudes y el comportamiento exhibido por las unidades bajo investigación. Esto se lleva a cabo con el propósito de responder de manera precisa a cuestiones relacionadas con el alcance, la magnitud, el método y el contexto en el cual se manifiesta la problemática estudiada,

Es esencial obtener una comprensión precisa de la situación actual y las circunstancias relativas al tema en cuestión. Por esta razón, se recurre a la investigación descriptiva como enlace hacia la investigación analítica. El propósito de esta conexión es facilitar una comprensión más profunda y una aclaración exhaustiva acerca del comportamiento del material plástico PET cuando se emplea como filamento en la impresión 3D.

3.5. Técnicas e instrumentos

La metodología para la recopilación de datos hace referencia a acciones específicas y particulares destinadas a obtener información vinculada al enfoque de investigación propuesto. Asimismo, se enfatiza que cada instrumento empleado en este proceso debe poseer fiabilidad, objetividad y validez. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014)

3.5.1. Técnicas

Observación: La información necesaria de la impresora 3D fue descrita, registrada y comparada mediante la observación, que permitió la obtención de datos durante la fase de recolección.

Análisis documental: Se refiere al conjunto de actividades, algunas de naturaleza intelectual y otras de carácter mecánico y repetitivo, que inciden en el contenido y la estructura de documentos originales. Estas acciones implican la elaboración y transformación de los documentos, generando versiones instrumentales o secundarias que facilitan al usuario la identificación precisa, la recuperación y la difusión de la información contenida en ellos.

Simulación: La simulación implica la imitación de un sistema mediante un modelo, comúnmente en un entorno computacional. Se utiliza para comprender, analizar o prever el comportamiento de sistemas reales en diversos campos, permitiendo estudiar el impacto de variables o decisiones antes de su implementación práctica.

3.5.2. Instrumentos

Ficha registro de datos

La tabulación de datos involucró la medición de los diámetros de los filamentos producidos durante la extrusión. Se buscó la medida apropiada que permitiera dirigir el producto hacia la impresión 3D, considerando el diámetro de la boquilla de la impresora. Todas estas mediciones fueron registradas en fichas de observación, que también incluyeron detalles visuales de cada tipo de filamento.

Guía de análisis

Se trata de una herramienta con contenido que documenta las preguntas de evaluación para orientar la investigación de la revisión bibliográfica realizada en un documento. Se creará una guía bibliográfica que incluirá preguntas específicas esenciales para la investigación, con el objetivo de registrar de manera detallada las revisiones bibliográficas.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1. Identificación de requerimientos

4.1.1. Trituradora

4.1.1.1. Alternativas de solución

La primera opción consiste en una trituradora de impacto, la cual cuenta con un eje equipado con un conjunto de martillos fijamente acoplados. Estos martillos giran a alta velocidad para impactar el material reciclado, desintegrándolo en el proceso. Además, la máquina está equipada con una criba o malla que separa el material con el tamaño adecuado. Sin embargo, la desventaja inherente a este diseño radica en que se requiere un tiempo y una cantidad de energía mayores para llevar a cabo la trituración de los materiales PET reciclados.

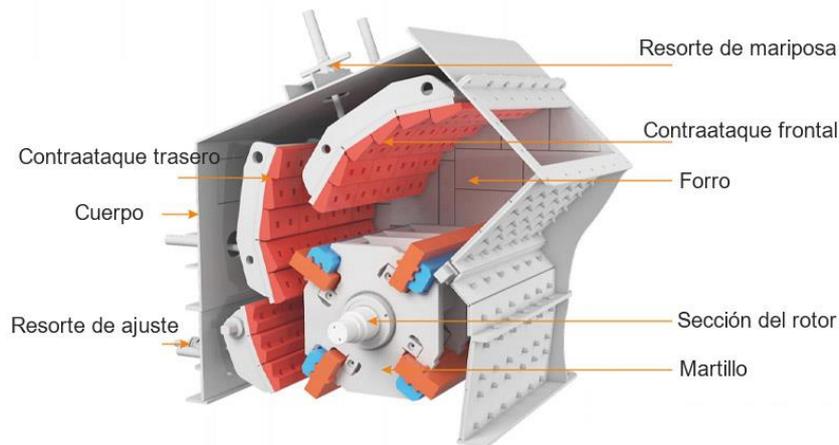


Figura 14. triturador de impacto

Fuente: (Yepes Piqueras, 2013)

Como segunda opción se considera una trituradora equipada con hojas cortadoras rotativas. Esta máquina realiza el corte del material reciclado mediante la interacción entre cuchillas fijas y móviles. Las cuchillas móviles están conectadas a un eje, mientras que las cuchillas fijas están vinculadas a la cámara de trituración. En la parte inferior de esta cámara se sitúa una criba o malla, encargada de separar el material triturado que cumple con las dimensiones adecuadas.



Figura 15. Triturador de hojas

Fuente: (911metallurgist, 2021)

Como tercera opción optamos por una trituradora específica para PET, que emplea un sistema de trituración de un eje con cuchillas girando en direcciones opuestas, como se ilustra en la figura 15. Este diseño permite el corte del material reciclado a una velocidad moderada. Sin embargo, una desventaja asociada a este diseño es la ausencia de un mecanismo de cribado o malla que permita obtener un tamaño estándar para las partículas cortadas. Para solucionar este inconveniente se puede realizar un tamizado de los elementos triturados.



Figura 16. Triturador de cuchillas

Fuente: (Daswell, 2013)

4.1.1.2. Selección de las alternativas de solución

Para determinar la opción más viable, se examinan las tres soluciones propuestas anteriormente. Todas las alternativas incorporan una tolva y son aptas para ser impulsadas por un motor eléctrico; la distinción primordial entre ellas radica en el mecanismo de trituración. Por esta razón, se llevará a cabo una evaluación de dicho

mecanismo basada en criterios tanto técnicos como económicos. Las alternativas enlistadas son las siguientes:

A) Trituradora de martillos, representada en la Figura 14.

B) Trituradora con hojas giratorias, ilustrada en la Figura 15.

C) Trituradora con cuchillas cortadoras rotativas, mostrada en la Figura 16.

Evaluación

Puntuación (p): valor numérico en el rango de 0 a 4:

- 0 representa un nivel de satisfacción nulo
- 1 representa una aceptación mínima
- 2 representa un nivel suficiente
- 3 representa un desempeño bueno
- 4 representa un rendimiento excelente (óptimo).

El factor de ponderación (G) se define como el peso asignado en proporción a la importancia relativa de los criterios de evaluación.

Tabla 03. Evaluación de las diferentes alternativas de la solución

Criterio de evaluación	Alternativas						G
	A		B		C		
Velocidad de trituración	2	0.2	4	0.4	3	0.3	10 %
Tamaño final del material	1	0.4	3	1.2	3	1.2	40 %
Consumo de energía	3	0.6	2	0.8	4	0.8	20 %
Costo total de la trituradora	2	0.4	3	0.6	4	0.8	20 %
Mantenimiento	2	0.2	2	0.2	3	0.3	10 %
Total	2		3.2		3.4		100 %

Fuente: Elaboración propia

La solución preferida es la opción C, la cual alcanzó la calificación máxima en la evaluación. Se trata de una máquina trituradora de PET que emplea cuchillas. Este dispositivo corta el material reciclado de manera sencilla, sin mucho consumo energético. Como alternativa secundaria, se presenta una máquina trituradora con hojas.

4.1.1.3. Desarrollo de la alternativa seleccionada

La máquina trituradora a desarrollar tiene la capacidad de procesar botellas de tamaño pequeño y mediano fabricadas con PET, así como otros materiales plásticos como polipropileno, polietileno y poliéster. Una vez que el material es capturado por las cuchillas trituradoras, se procede a su corte hasta alcanzar dimensiones apropiadas para su posterior paso a través de un tamiz situado debajo de la caja de las cuchillas.

Esta máquina está diseñada en función del tamaño estándar de una botella plástica PET de hasta tres litros. En consecuencia, en el caso de recipientes de mayores dimensiones, se requiere realizar un corte previo antes de su inserción en el dispositivo.

La construcción de la máquina trituradora contempla los siguientes componentes:

- Tolva
- Cuchillas y separadores
- Eje propulsor a la trituradora
- Estructura que conforma la caja
- Carcasa
- Motor eléctrico

4.1.1.3.1. Dimensiones de la trituradora:

El dispositivo de trituración para la fabricación de filamento 3D posee una construcción compacta y, con unas dimensiones de 100 cm de largo, 50 cm de ancho y 50 cm de alto, apoyado sobre un soporte de 50 cm de alto.

La compacidad de este dispositivo es uno de sus rasgos más sobresalientes. Su tamaño reducido lo hace adecuado para entornos con espacio limitado, como talleres de impresión 3D o laboratorios de investigación. En lugares donde el espacio es un recurso valioso, esta máquina se convierte en la elección ideal. Su diseño compacto significa que puede ubicarse en lugares donde máquinas más grandes no.

4.1.1.3.2. Capacidad de la trituradora

El proceso de trituración es una operación fundamental en la ingeniería de reciclaje de materiales plásticos. Este dispositivo, cumple un papel crucial en la reducción de desechos de PET en su forma original a pequeñas piezas y su posterior transformación en un material de alta calidad apto para la impresión 3D.

Tabla 04. Capacidades de la trituradora

Descripción	Capacidad	Unidades
Potencia del motor	500	Watts
Velocidad de trituración	2	Kg/hora
Tamaño del material	3	mm
Velocidad de giro de las cuchillas	46	RPM

Fuente: Elaboración propia

La trituración es el primer paso de este proceso y se lleva a cabo utilizando un conjunto de cuchillas y sistemas de corte. Estas cuchillas, realizan un trabajo en la reducción de los desechos de PET a tamaños uniformes y gestionables de alrededor de 5 mm de diámetro. La uniformidad en el tamaño de las piezas trituradas es de vital importancia, ya que esto asegura una alimentación constante y precisa en el proceso de extrusión posterior.

La trituradora será accionada por un motor eléctrico de 220 Voltios y 500 Watts y debe ser capaz de suministrar 2 Kg por hora de material para poder alimentar a la extrusora, entregando a esta un flujo constante sin retrasos o sobrecarga

La velocidad de giro de las cuchillas debe ser de 46 RPM, lo que nos permite control de torque necesario para el corte del plástico PET. (Rodríguez y Córdova, 2022)

4.1.1.3.3. Requerimiento energético de la trituradora

El requerimiento energético para operar eficazmente el dispositivo de trituración es un aspecto fundamental a considerar. Una comprensión clara de los consumos de energía y los costos asociados es esencial para optimizar el funcionamiento de la máquina y garantizar que su operación sea sostenible en términos de gastos.

Motor de trituración (500 watts): Este motor es responsable de reducir los desechos de plástico PET a piezas pequeñas, un paso esencial en el proceso de fabricación del filamento 3D. La potencia de 500 watts es necesaria para operar eficazmente las cuchillas y los sistemas de corte de alta precisión.

El costo por hora de operación de este dispositivo, necesitamos tener en cuenta la tarifa de electricidad actual, que es de 0.71 soles por kilovatio-hora (Kwatt/hora). Para calcular el costo por hora, primero debemos determinar la potencia total en kilovatios (Kw) que consume el dispositivo, que es la suma de la potencia de los tres componentes:

Tabla 05. Consumo de energía del dispositivo

Consumo de energía	
1. Potencia del Motor de Trituración	500 Watts
2. Costo de energía eléctrica	0.71 soles/Kwatt-hora
6. Costo por hora de trabajo	0.36 Soles por hora de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el costo por hora de operar el dispositivo de trituración, es de 0.71 soles. Esto significa que cada hora de funcionamiento de la máquina con la potencia mencionada conlleva un costo de 0.36 soles en electricidad, basado en la tarifa actual.

Es importante destacar que este cálculo es una estimación del costo de operación de la máquina en términos de energía eléctrica y puede variar según las tarifas de electricidad locales y las tasas de eficiencia del dispositivo. La gestión adecuada del consumo de energía es esencial para maximizar la eficiencia y minimizar los costos de producción en la fabricación de filamento 3D a partir de plástico PET.

4.1.1.3.4. Medidas de seguridad

La operación de un dispositivo de requiere un enfoque riguroso en cuanto a la seguridad, dado que involucra la manipulación de materiales reciclados y la utilización de una trituradora.

Los desechos de botellas PET deben ser almacenados de manera segura en contenedores designados y, si es necesario, en áreas con acceso controlado para evitar caídas y accidentes.

Traslado del material

Cuando se transporten los desechos hacia la trituradora, se debe hacer de manera cuidadosa para evitar caídas y derrames. Se debe prestar especial atención a las áreas de tráfico.

Equipo de Protección Personal (EPP): Antes de manipular los desechos, los operadores deben usar guantes anticorte, careta de seguridad y ropa adecuada para evitar el contacto directo con los desechos y posibles bordes afilados.



Figura 17. Elementos de protección personal

Fuente: (Senalesindustriales, 2018)

Introducción de los desechos en la trituradora:

El operador debe introducir los desechos en la trituradora de manera controlada y gradual, evitando introducir material en exceso que pueda obstruir la máquina. Se debe prestar especial atención a la ubicación del operador durante la alimentación para asegurarse de que estén a una distancia segura de las partes móviles de la máquina.

Equipo de Protección Personal (EPP): Durante el proceso de alimentación de desechos de botellas PET a la trituradora, los operadores deben continuar utilizando guantes y careta de seguridad para evitar lesiones al interactuar con la maquinaria.



Figura 18. Elementos de protección personal

Fuente: (Senalesindustriales, 2018)

4.1.2. máquina extrusora:

La etapa de extrusión se inicia con la alimentación de los elementos PET triturados a la cámara, donde el tornillo extrusor está en rotación. La rotación del tornillo impulsa la mezcla y el avance del material a lo largo de la cámara, que se mantiene a una temperatura elevada. La combinación de calor en la cámara y el movimiento del tornillo provoca la fusión uniforme del material, transformándolo en un flujo maleable que, finalmente, pasa a través de la boquilla para adquirir la sección transversal deseada. El material extruido requiere un proceso de enfriamiento para solidificar la pieza y obtener el perfil deseado al final del proceso de termoconformado.

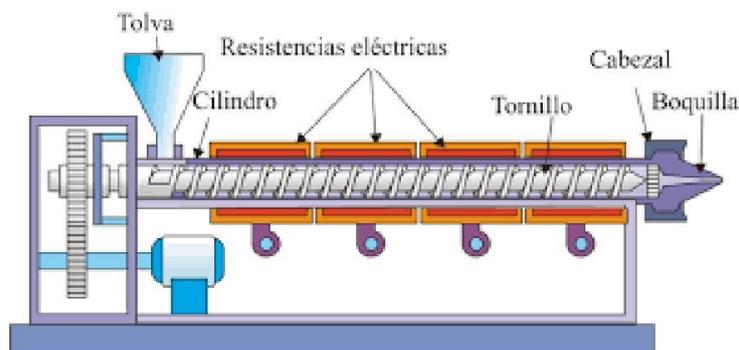


Figura 19. Extrusora de tornillo

Fuente: (Rodríguez y Córdova, 2022)

El tornillo en este tipo de extrusoras, se encarga de presionar el material hacia la boquilla, esto más el aumento de temperatura, permite que el material se funda y pueda fluir por la boquilla.

4.1.2.1. Dimensiones de la maquina extrusora:

La máquina extrusora para la fabricación de filamento 3D, posee una construcción compacta, con unas dimensiones de 25 cm de largo, 10 cm de ancho y 50 cm de alto incluyendo la tolva, apoyada sobre un soporte de 50 cm de alto.

Entendiendo que el filamento PET tiene un punto de fusión de 250 °C, no se requiere de un extenso sistema de calentamiento.

4.1.2.2. Capacidad de la maquina extrusora

Una vez que los desechos de PET se han transformado en pequeñas piezas, el proceso de extrusión entra en juego. Este dispositivo cuenta con una capacidad de extrusión de filamento PET a una velocidad de 500 gramos por hora. La extrusión es el proceso de forzar el material plástico a través de una matriz que lo moldea en la forma deseada. En este caso, se crea un filamento continuo con las características específicas requeridas para la impresión 3D.

El control de la velocidad de extrusión es constante, debido a la construcción del tornillo y la tobera. La extrusora incorpora sistemas de control que regulan la temperatura, mientras que la velocidad de avance del tornillo es siempre constante. Esto asegura que el filamento tenga una sección transversal constante y una excelente consistencia, lo que es esencial para una impresión 3D exitosa.

La medida estándar de un carrete de filamento es de 1 kilogramo. Este peso es una referencia común en la industria y permite a los usuarios calcular fácilmente la cantidad de material disponible para sus proyectos.

4.1.2.3. Requerimiento energético de la maquina extrusora

El requerimiento energético para operar eficazmente la máquina extrusora es un aspecto fundamental a considerar. Una comprensión clara de los consumos de energía y los costos asociados es esencial para optimizar el funcionamiento de la máquina y garantizar que su operación sea sostenible en términos de gastos.

En este dispositivo, se distribuye el requerimiento energético de la siguiente manera:

Motor del Extrusor (250 watts): El extrusor es el componente que da forma al material triturado en el filamento continuo. El motor de 250 watts controla la velocidad de extrusión y garantiza una producción constante y uniforme del filamento PET.

Sistema de Calentamiento (250 watts): Este sistema es esencial para mantener la temperatura adecuada en el proceso de extrusión. La potencia de 250 watts se utiliza para calentar y mantener la viscosidad óptima del plástico PET antes de la extrusión.

Para definir el costo por hora de operación de este dispositivo, necesitamos tener en cuenta la tarifa de electricidad actual, que es de 0.71 soles por kilovatio-hora (Kwatt/hora). Para calcular el costo por hora, primero debemos determinar la potencia total en kilovatios (Kw) que consume el dispositivo, que es la suma de la potencia de los tres componentes:

Tabla 06. Consumo de energía

Consumo de energía	
Potencia del Motor del Extrusor	300 Watts
Potencia del Sistema de Calentamiento	250 Watts
Potencia del Motor del Enrollador	5 Watts
Potencia total:	555 Watts
Costo de energía eléctrica (31)	0.71 soles/Kwatt-hora
Costo por hora de trabajo	0.39 Soles por hora de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el costo por hora de operar la máquina de extrusión es de 0.37 soles. Esto significa que cada hora de funcionamiento de la máquina con la potencia mencionada conlleva un costo de 0.36 soles en electricidad, basado en la tarifa actual.

Es importante destacar que este cálculo es una estimación del costo de operación de la máquina en términos de energía eléctrica y puede variar según las tarifas de electricidad locales y las tasas de eficiencia del dispositivo. La gestión adecuada del consumo de energía es esencial para maximizar la eficiencia y minimizar los costos de producción en la fabricación de filamento 3D a partir de plástico PET.

4.1.2.4. Medidas de seguridad

La operación de un dispositivo requiere un enfoque riguroso en cuanto a la seguridad, dado que involucra la manipulación de materiales reciclados y la utilización de una trituradora.

Los desechos de botellas PET deben ser almacenados de manera segura en contenedores designados y, si es necesario, en áreas con acceso controlado para evitar caídas y accidentes.

Manipulación del sistema de calentamiento del extrusor:

El sistema de calentamiento del extrusor no requiere manipulación directa, ya que el control de temperatura se realizará de manera electrónica. Las resistencias encargadas de aumentar la temperatura del sistema estarán aisladas del exterior, y protegidas por guardas físicas. Antes de realizar cualquier trabajo de mantenimiento en el sistema de calentamiento, es imprescindible asegurarse de que el extrusor esté apagado y enfriado.

Equipo de Protección Personal (EPP): Cuando se trabaje cerca del sistema de calentamiento, los operadores deben usar guantes resistentes al calor, protección ocular y ropa de trabajo resistente a altas temperaturas para evitar lesiones al interactuar con la maquinaria.



Figura 19. Elementos de protección personal

Fuente: (Senalesindustriales, 2018)

Medidas de Seguridad Eléctrica:

Todas las entradas de energía de la máquina como la entrada del interruptor principal, la entrada de alimentación de los motores eléctrico y el sistema eléctrico de calentamiento deben estar protegidos y aislados para prevenir cualquier incidente.

Antes de realizar cualquier mantenimiento o ajuste en el dispositivo, se debe asegurar que esté desconectado de la fuente de alimentación eléctrica. Utilice bloqueos y etiquetas de seguridad para garantizar que nadie lo encienda accidentalmente durante el trabajo.

El dispositivo debe estar adecuadamente conectado a tierra para evitar descargas eléctricas.

Se debe realizar un mantenimiento periódico y verificar el estado de los cables, enchufes y sistemas eléctricos. Cualquier daño o desgaste debe ser reparado de inmediato por personal calificado.

Equipo de Protección Personal (EPP): Cuando se trabaje con instrumentos eléctricos, los operadores deben usar guantes aislantes, botas aislantes y protección ocular para evitar lesiones al interactuar con la maquinaria.



Figura 20. Elementos de protección personal

Fuente: (Senalesindustriales, 2018)

4.1.3. Requerimiento de materia prima

El peso de las botellas PET de 600 ml, 1 litro y 2.5 litros puede variar dependiendo del tamaño y la marca de la botella. Como referencia, las botellas PET fabricadas por la empresa ICEM, posee las siguientes características:

Tabla 07. Peso de diferentes botellas PET

Tipo	Peso
BOTELLA DESCARTABLE PET – TRANSPARENTE – FORMATO 250 M	12.7 gr
BOTELLA DESCARTABLE PET – TRANSPARENTE – FORMATO 350 ML	12.7 gr
BOTELLA DESCARTABLE PET – BEBIDAS CARBONATADAS – FORMATO 500 ML	15.7 gr
BOTELLA DESCARTABLE PET – TRANSPARENTE – FORMATO 1000 ML	23.7 gr
BOTELLA DESCARTABLE PET – FORMATO 3000 ML	51.2 gr

Fuente: icemplast.com

Teniendo en cuenta los datos mencionados, para determinar cuántas botellas de cada tipo se necesitará para sumar 1 kg de PET reciclado, calculamos cuántas botellas de cada tipo se requiere para sumar 1 kg (1000 gramos) de PET reciclado:

Tabla 08. Cantidad aproximada de botellas PET para crear 1 kg de filamento

Cantidad de botellas para 1 Kg de filamento			
Botellas tipo 1 (250 ml)	1000 gramos	12.7 gramos/botella	79 botellas
Botellas tipo 2 (350 ml)	1000 gramos	12.7 gramos/botella	79 botellas
Botellas tipo 3 (500 ml)	1000 gramos	15.7 gramos/botella	64 botellas
Botellas tipo 4 (1000 ml)	1000 gramos	27.3 gramos/botella	43 botellas
Botellas tipo 5 (3000 ml)	1000 gramos	51.2 gramos/botella	20 botellas

Fuentes: Elaboración propia

4.2. Análisis de la solución

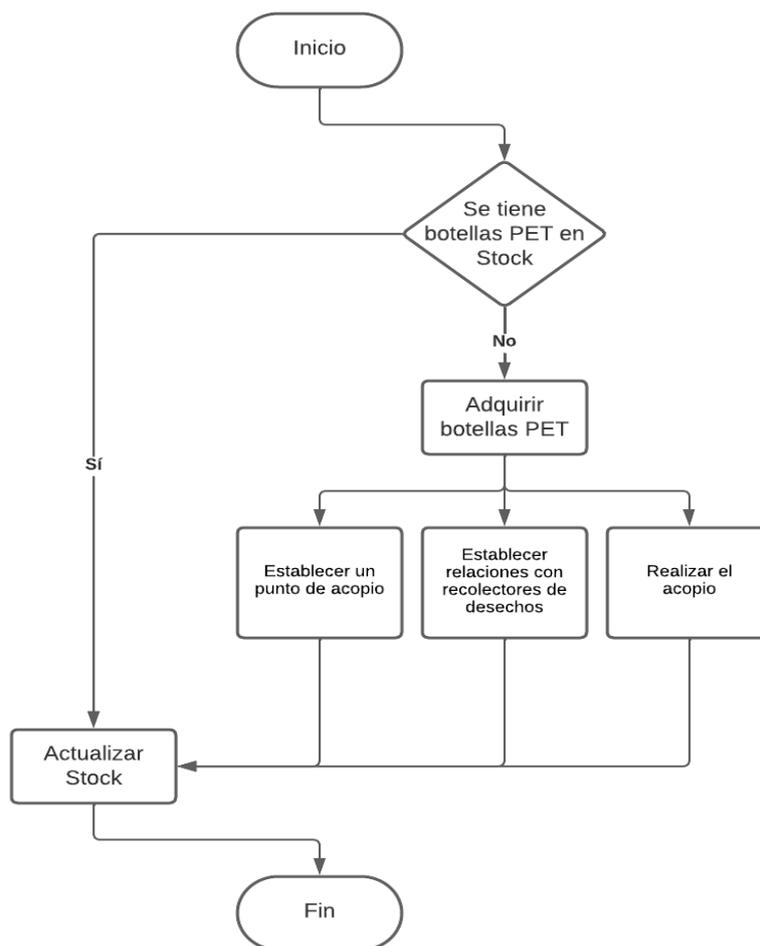
La problemática a abordar se vincula con el aumento constante de las botellas de plástico PET que se desechan a la basura, lo cual genera un incremento en los desechos totales que se acopia y reubica en botaderos municipales. Para reducir la contaminación por botellas PET se optó por la conversión de dichas botellas a filamento para impresoras 3D, ya que gracias a esta tecnología que está creciendo en nuestro mercado, se puede dar un uso comercial a las botellas PET desechadas. La

transformación de este material PET reciclado se presenta como una oportunidad para disminuir la contaminación y utilizarlo como materia prima para impresión 3D, la cual, después puede ser utilizada con fines artísticos, recreacionales o educativos, ya que esta tecnología tiene un amplio umbral de posibilidades. No obstante, este proceso de transformación conlleva costos adicionales, como la inversión en equipos o maquinaria especializadas. Por este motivo, se propone el diseño de un dispositivo capaz de transformar las botellas PET en filamento 3D.

4.2.1. Obtención de botellas PET

Para realizar el acopio de botellas plásticas PET para reciclar y utilizarlas como materia prima para filamento 3D en la ciudad de Arequipa, distrito de Cerro Colorado, se pueden seguir los siguientes pasos mostrados en el diagrama:

Diagrama 01. Diagrama del proceso de obtención de botellas PET

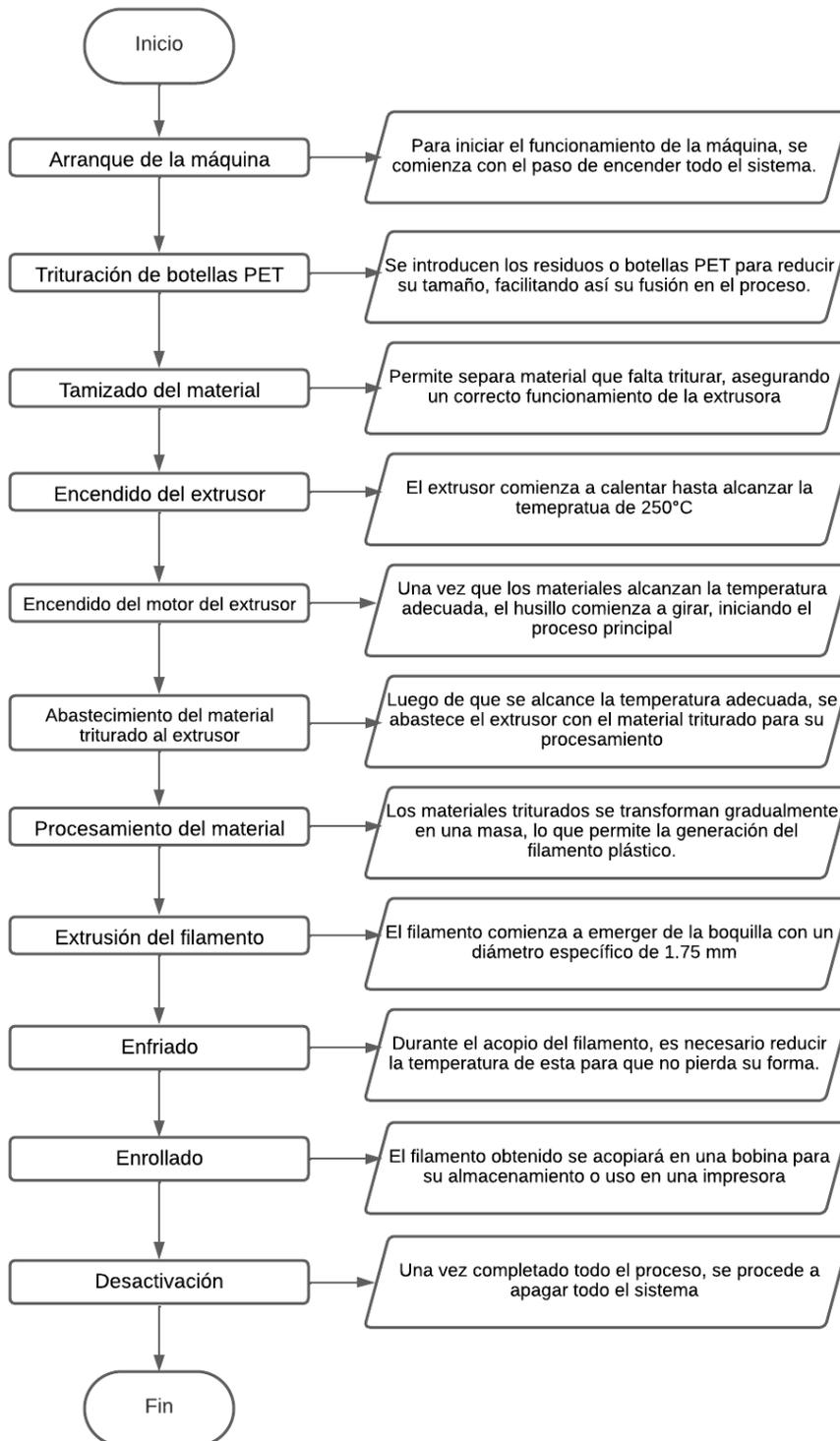


Fuente: Elaboración propia

1. Establecer un punto de acopio: Se debe establecer un lugar donde la gente pueda llevar sus botellas de plástico PET para su reciclaje. Este punto de acopio puede ser una instalación central o un punto de acopio satélite, como bares, hoteles, entre otros.
2. Establecer relaciones con recolectores de desechos: Es importante establecer relaciones con recolectores de desechos para asegurar una fuente confiable y continua de plástico. También se debe hacer seguimiento y rastreo del dinero pagado a los recolectores para medir el impacto.
3. Realizar el acopio: Se debe pesar y examinar el plástico PET recogido y luego pagar al reciclador. Según un estudio realizado en Colombia, 15 estudiantes generan alrededor de 1 botella de plástico PET al día, lo que equivale a 180 botellas en una semana de trabajo.

4.2.2. Proceso funcional de la máquina

Diagrama 02. *Proceso funcional de la máquina VDI-2221*

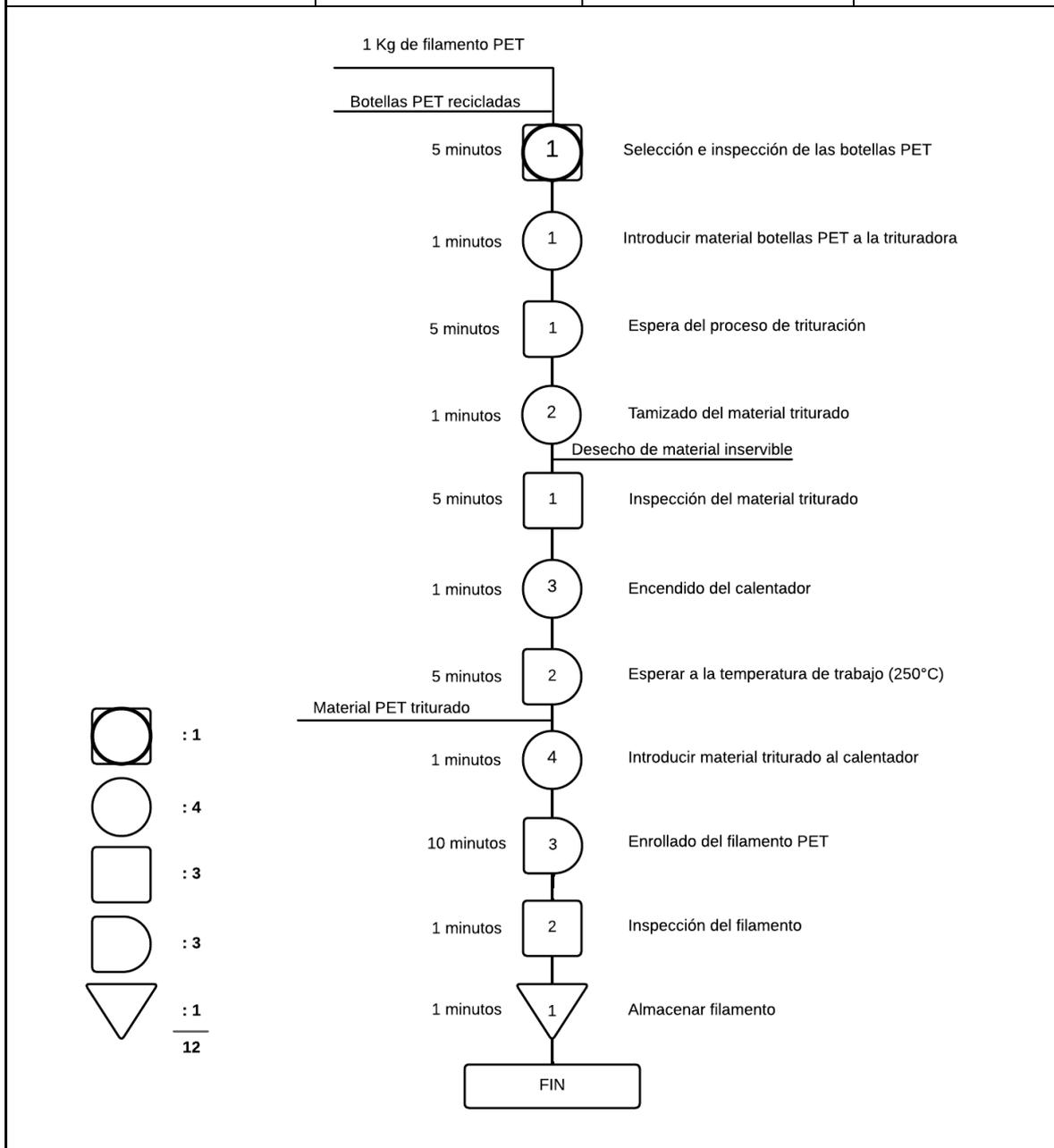


Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Determinación del proceso productivo de 1 KG de filamento PET

Diagrama 03. *Diagrama de operaciones de procesos (DOP)*

Diagrama de operaciones de procesos (DOP)			
PROCESO:	Elaboración de un 1Kg de filamento	PÁGINA:	
PRODUCTO:	Rollo de Filamento	FECHA:	16/11/2023
LUGAR:	Arequipa	METODO DE TRABAJO:	Mecánico
ELABORADO POR:	José Benitez	APROBADO:	José Benitez



Fuente: Elaboración propia

En el Diagrama 03, se presenta el diagrama de operaciones de procesos. Cada etapa del proceso mostrado, juega un papel crucial en garantizar la calidad y la consistencia del filamento resultante.

Selección e inspección de las botellas PET (Duración: 5 minutos):

En esta fase inicial, se realiza una cuidadosa selección e inspección de las botellas PET recicladas. Este paso es crucial para garantizar que solo se utilicen botellas de alta calidad, sin impurezas o contaminantes que puedan afectar la calidad final del filamento.

Introducción del material de botellas PET a la trituradora (Duración: 1 minuto):

Una vez seleccionadas, las botellas PET se introducen en una trituradora. Este equipo descompone las botellas en pequeños fragmentos, facilitando el procesamiento posterior y la preparación para la fase de calentamiento.

Espera del proceso de trituración (Duración: 5 minutos):

Una vez introducidas las botellas PET en la maquina trituradora, esta debe triturarlas hasta reducirlas al tamaño adecuado.

Tamizado del material triturado (Duración: 1 minuto):

Se debe asegurar que las partículas trituradas de botellas plásticas PET, tenga un tamaño máximo de 5 mm de diámetro, en caso contrario, el material mayor a 3 mm debe regresar a la trituradora.

Inspección del material triturado (Duración: 5 minutos):

Tras el proceso de trituración, se realiza una inspección detallada del material triturado para asegurarse de que esté libre de cualquier contaminante. La calidad del material en esta etapa es esencial para la integridad del producto final.

Encendido del calentador (Duración: 1 minuto):

Se enciende el calentador, un componente fundamental en el proceso de fabricación. Este dispositivo elevará la temperatura del material triturado a un nivel óptimo para el siguiente paso.

Espera a la temperatura de trabajo (250°C) (Duración: 5 minutos):

Durante este tiempo, se espera a que el calentador alcance la temperatura de trabajo específica para el PET, generalmente alrededor de 250°C. Este control preciso de la temperatura es esencial para obtener un filamento de alta calidad y consistencia.

Introducción del material triturado al calentador (Duración: 1 minuto):

Una vez que se alcanza la temperatura de trabajo, el material triturado se introduce en el calentador. Aquí, el calor fundirá el material, preparándolo para el siguiente proceso de estirado.

Enrollado del filamento PET (Duración: 10 minutos):

El material fundido sale en forma de filamento. Este filamento luego se enfría utilizando ventiladores y se enrolla en bobinas la gira automáticamente utilizando un sensor láser, el cual activa el motor del enrollador. Esto para facilitar su manejo y almacenamiento posterior.

Inspección del filamento (Duración: 2 minutos):

Una vez que el filamento se ha producido, se realiza una inspección exhaustiva para verificar su diámetro, color y cualquier posible imperfección. Esta etapa de control de calidad es crucial para garantizar que el filamento cumpla con los estándares requeridos.

Almacenar filamento (Duración: 1 minuto):

Finalmente, el filamento inspeccionado se almacena adecuadamente para su distribución. Esto implica un proceso de embalaje cuidadoso para proteger el filamento de posibles daños durante el transporte y asegurar que llegue a los clientes en condiciones óptimas.

Cada uno de estos pasos contribuye de manera integral al éxito del proceso de fabricación del filamento PET, garantizando la calidad, consistencia y funcionalidad del producto final.

Diagrama 04. Diagrama de análisis de procesos

Ficha Núm: 01		Diagrama de análisis de proceso (DAP)							
Diagrama Num: 1	Hoja 1 de 2	Resumen							
Objetivo: Elaboración de un 1Kg de filamento		Actividad			Propuesta	Económico			
Procesos Analizado: Elaboración de		Operación			4	S/ 0.082			
Método: Actual		Inspección			2	S/ 0.041			
Lugar: Arequipa		Demora			3	S/ 0.117			
Operario:		Operación combinada			1	S/ 0.029			
Jose Benitez		Transporte			0	S/ -			
		Almacenamiento			1	S/ 0.006			
Elaborado por:		Distancia			3 m				
Jose Benitez		Tiempo (min-hombre)			37 min				
		Costo			Und.				
		Mano de obra por persona			1 Op	S/ 9.250			
		Materiales / Insumos							
Aprobado por:		Botellas PET			1 kg	S/ 1.700			
Jose Benitez		Depreciación de la trituradora			1	S/ 0.060			
		Depreciación del calentador			1	S/ 0.040			
		Energía			1 Kw	S/ 0.710			
		TOTAL					S/ 12.034		
Descripción	Cantidad	Tiempo	Distancia	Símbolo				Observaciones	
	(Kg)	(min)	(m)	○	□	▭	◁		▽
Selección e inspección de las botellas PET	1	5							1 operario
Introducir material botellas PET a la trituradora		1							1 operario
Espera del proceso de trituración		5							Trituradora
Tamizado del material triturado		1							1 operario
Inspección del material triturado		5							1 operario
Encendido del calentador		1							1 operario
Esperar a la temperatura de trabajo (250°C)		5							Extrusora
Introducir material triturado al calentador	1	1							1 operario
Enrollado del filamento PET		10							Enrollador
Inspección del filamento		2							1 operario
Almacenar filamento	1	1	3						1 operario
Total	1	37	3						

Fuente: Elaboración propia

El proceso de fabricación de filamento PET a partir de botellas descartables es un conjunto de operaciones técnicas que transforman materias primas recicladas en un producto útil y versátil. En el Diagrama 04, se proporciona datos específicos sobre diversas actividades, tiempos y costos asociados con cada fase del proceso.

Operación

La actividad de operación se propone realizarse cuatro veces en el proceso, lo que implica: Introducción del material de botellas PET a la trituradora (5 min), encendido del calentador (1 min), introducción del material triturado al calentador (1 min), estirado y enrollado del filamento PET (10 min). En total los pasos de operación suman 17 min y requiere de un operador.

Inspección

La inspección se propone dos veces en el proceso. La inspección se realiza para verificar el material triturado (5 min) y para la inspección final del filamento (1 min). Ello garantiza la calidad final del filamento PET.

Demora

La actividad de demora se realiza una sola vez. Representa una pausa o espera estratégica en el proceso, en este caso, se requiere esperar a que el calentador alcance la temperatura de trabajo que es de 250°C (5 min).

Operación combinada

Operación e inspección, esta se realiza al introducir las botellas PET en la trituradora, debido a estas botellas deben ser seleccionadas. Este proceso dura 5 min

Transporte

La actividad de transporte indica un movimiento de material entre ubicaciones durante el proceso de fabricación. Para este proceso, no se realiza un traslado significativo.

Almacenamiento

En la fase de almacenamiento se propone el proceso donde es crucial almacenar o acumular el material. El traslado se realiza hacia el almacén, el cual está a una distancia de 3 m (0.003 Km) del dispositivo, esta actividad demora 1 min.

Distancia

La distancia total en todo el proceso es de 3 m.

Tiempo

El tiempo total de todo el proceso es de 31 minutos, por cada Kg de filamento fabricado.

Mano de obra

La mano de obra con 1 operario genera un costo de S/. 12 por Kg de filamento, teniendo en cuenta que el costo hora-hombre es de 23 S/. y se demora 31 minutos en crear un Kg de filamento.

Materiales e Insumos

Los materiales e insumos incluyen 1 kg de botellas PET a un costo de S/. 1.7, junto con las depreciaciones de la trituradora que es de 0.06 S/. el calentador que es de 0.04S/. y el costo de la energía total por Kg fabricado que es de 0.71 S/.

Costo Total

El costo total es de S/. 14.51 por cada filamento fabricado. Este valor incluye la mano de obra, los materiales, la depreciación de la trituradora y el calentador, así como el costo de la energía utilizada durante el proceso.

En conclusión, la tabla proporciona una visión detallada del proceso de fabricación de filamento PET, destacando la importancia de la eficiencia en cada fase, la atención a la calidad mediante inspecciones, y la contribución significativa de la mano de obra y los materiales al costo total del proceso.

4.3. Diseño

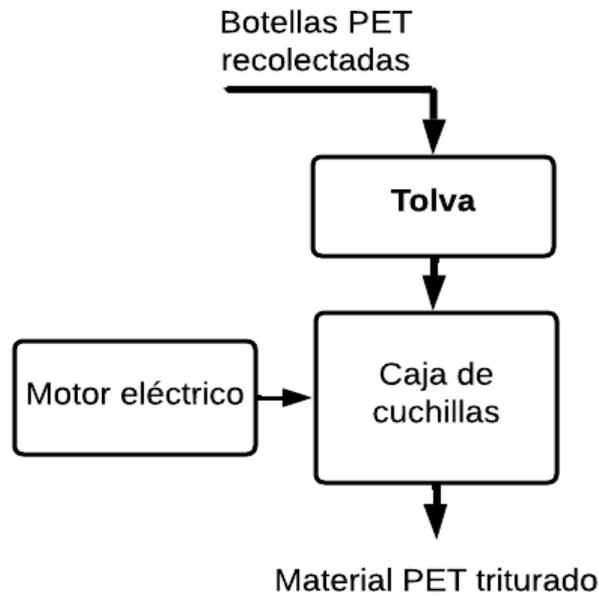
4.3.1. Diseño de la trituradora de plástico PET

Las trituradoras PET se configuran con cuchillas rotativas conectadas a un portacuchillas, las cuales se encuentran montadas en un eje giratorio mediante cuñas y chumaceras. En un extremo del eje, se ubica el motor eléctrico encargado de transmitir la potencia y poder triturar las botellas de forma continua. Para el diseño de la trituradora se toma como base a los planos de acceso público suministrados por la plataforma *preciousplastic.com*, desarrollada por Dave Hakkens (2022), los cuales se aplicarán igualmente en el marco de este proyecto. Con la diferencia que se calculará una capacidad menor para mejorar su accesibilidad.

La trituradora se compone de tres partes, siendo la primera la tolva, destinada a recibir las botellas PET. La segunda parte es la caja de cuchillas, encargada de llevar a

cabo la trituración del material. Y, por último, el motor eléctrico, que se encargará de proporcionar la potencia a la trituradora.

Diagrama 05. Diagrama del proceso de triturado



Fuente: Elaboración propia

4.3.1.1. Diseño de la tolva

La concepción de este diseño se llevó a cabo mediante el uso del software CAD Inventor, considerando los planos de Dave Hakkens (2022), para producir una cantidad promedio de 2 kg por hora de PET triturado, ya que el material PET reciclado ocupa un gran volumen, pero tiene poco peso. En función de lo anterior, las dimensiones fueron determinadas de manera que permitan la trituración de 2 kg de PET en cada carga, como se detalla en la Tabla 09.

Tabla 09. Medidas de la tolva

Dimensiones	Cantidad
Alto	30 cm
Ancho	15 cm
Largo	12 cm
Espesor	1.5 mm

Fuente: Elaboración propia

El material elegido, considerando sus propiedades mecánicas y ventajas económicas, es lámina galvanizada ASTM A36 de 1.5 mm para la construcción integral de la tolva. La unión entre la tolva y la parte superior de la caja de cuchillas se llevará a cabo mediante remaches de 3/16" espaciados a intervalos no mayores de 5 cm a lo largo de todo el perímetro. Además, la tolva fue diseñada bajo condiciones similares a la caja para prevenir daños por abolladuras o golpes.

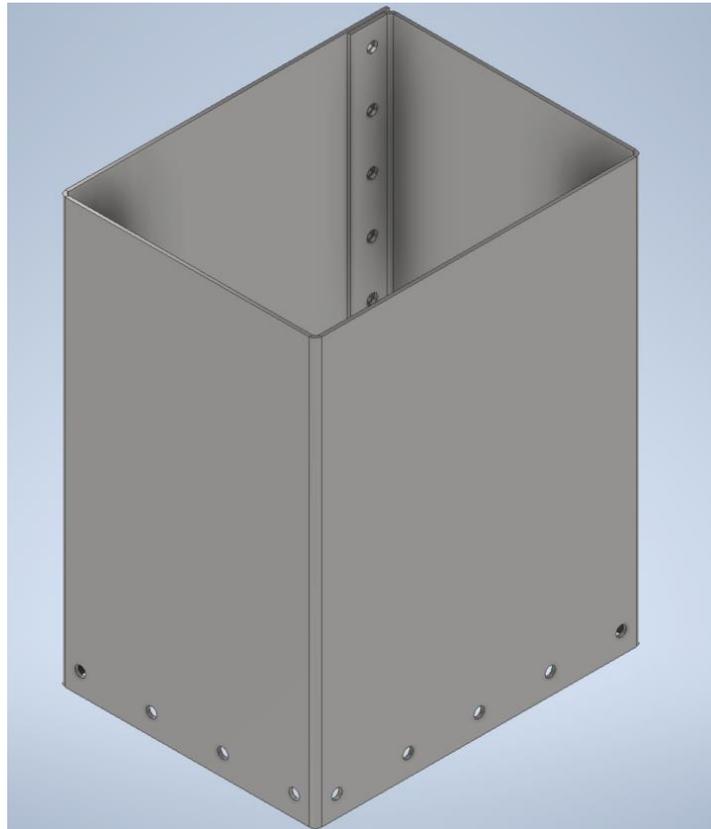


Figura 21. Tolva del triturador

Fuente: Elaboración propia

La tolva presenta una hilera de agujeros para asegurar a la caja de cuchillas mediante remaches permanentes, además de una hilera de agujeros en vertical para cerrar esta.

4.3.1.2 Diseño de la caja de cuchillas

A) Cuchillas de corte

El diseño de las cuchillas se ha concebido considerando los planos de Dave Hakkens (2022). La cuchilla se construyó con un diámetro de 10 cm, con un núcleo de configuración hexagonal.

La geometría hexagonal ofrece beneficios en comparación con los ejes circulares, permitiendo una mayor capacidad de fuerza gracias a su mayor área de contacto y eliminando la posibilidad de desalineación entre cuchillas y eje. Cada cuchilla deberá incorporar un opresor 5 mm. Se requieren un total de 4 discos, con una separación de 5 mm entre ellos.

Tabla 10 Dimensiones de las cuchillas

Dimensiones	Cantidad
Diámetro exterior	10 cm
Diámetro interior	15 cm
Grosor	5 cm

Fuente: Elaboración propia

Es importante conocer la capacidad que deben tener las cuchillas para realizar el corte a las botellas PET, y con ello determinar la potencia del motor más idónea para realizar el trabajo de trituración

Tabla 11. Propiedades mecánicas del Tereftalato de polietileno

Propiedades mecánicas del Tereftalato de polietileno	
Resistencia la tracción	80 MPa.
Módulo de elasticidad	3300 MPa (ensayo a tracción)
Tensión límite de elasticidad	91 MPa
Elongación a la fluencia	4 %
Resistencia a la flexión	134 MPa
Elongación a la rotura	14 %
Módulo de elasticidad	3400 MPa (ensayo a flexión)
Resistencia a compresión	21/38/89 MPa

Fuente: (Villafañe Calvo, 2018)

Resistencia la tracción = 80 Mpa

Utilizando la información que nos brinda Monteza (2019), la evaluación del esfuerzo cortante en las cuchillas se lleva a cabo mediante un cálculo derivado de una norma general, correspondiendo al 80 % del rendimiento del material que está siendo sometido al proceso de corte.

$$\text{Resistencia la tracción} = 80 \text{ Mpa} * 80 \%$$

Resistencia la tracción = 64 Mpa

Para determinar la resistencia al corte de las cuchillas, se tiene en cuenta la variabilidad en los espesores de las botellas PET, estando estas entre con un promedio de 0.25 mm (Villafañe Calvo 2018). Se procede a realizar los cálculos considerando la dimensión de la pared de la botella, Teniendo en cuenta que las botellas se introducirán completas y de forma continua. En este escenario, se establece un grosor de 0.25 mm por cada pared de PET, multiplicándolo por 2 (representando las dos paredes de cada botella reciclada), resultando en un valor de 0.5 mm de espesor. La longitud de la cuchilla es de 5 cm.



Figura 22. Cuchilla del triturador

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la fórmula se tiene que:

$$F = 64 \text{ Mpa} * 0.05 \text{ m} * 0.0005 \text{ m} = 1600 \text{ N}$$

La fuerza necesaria para llevar a cabo el corte de un material PET con un espesor de 0.5 mm y un ancho de 5 cm es de 1600 N. Al emplear un factor de diseño de 2, se obtiene una fuerza de 3200 N.

Para la fabricación de las cuchillas se utilizará el acero ASTM A36. La resistencia máxima a la tracción del material ASTM A36 es de 250 MPa, según se indica en el anexo referente al acero ASTM-A36, Aceros Arequipa.

C) Bases de cuchillas

El diseño de las bases de cuchillas se ha concebido considerando los planos de Dave Hakkens (2022). El detalle de la medida se puede revisar en el anexo correspondiente.

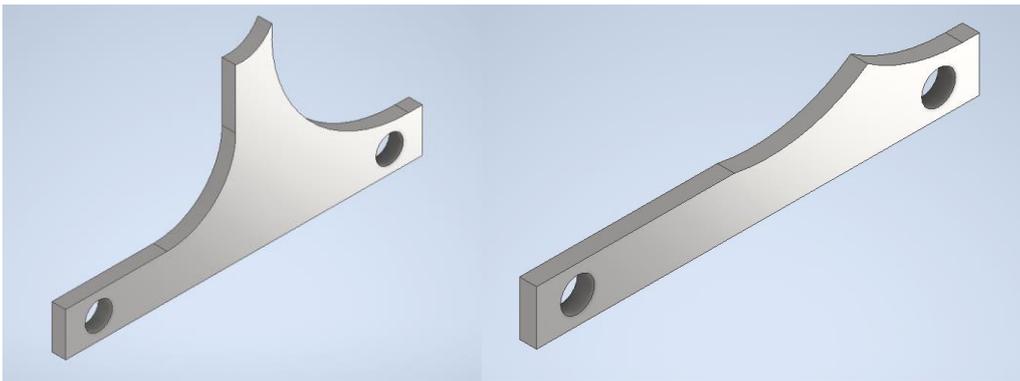


Figura 23. Bases de cuchillas

Fuente: Elaboración propia

La geometría de las bases permite un corte limpio y debido a su configuración más robusta que las cuchillas y utilizando el mismo material de construcción, podemos concluir que satisface los requerimientos del diseño.

D) Espaciadores

Del mismo material se construyen espaciadores para dar la distancia necesaria a las cuchillas y estas puedan realizar el corte.

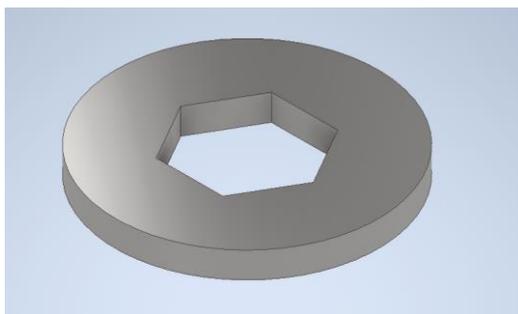


Figura 24. Separador de cuchillas

Fuente: Elaboración propia

E) Configuración de las cuchillas

Ya que el objetivo de la trituradora es reducir las botellas PET a partículas de 5 mm de diámetro, se configuran las cuchillas con una separación entre estas de 5 mm, utilizando separadores. Además de una desviación angular de 60° para reducir el esfuerzo del motor eléctrico como se muestra en la figura:

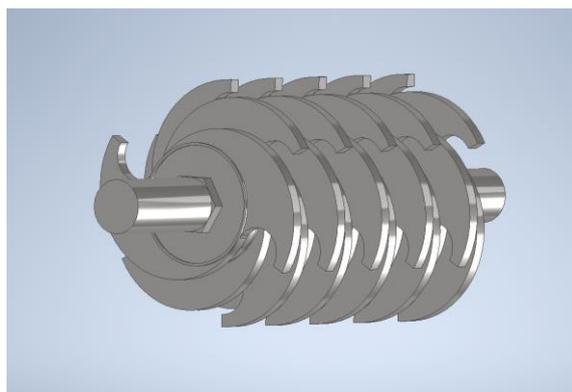


Figura 25. Configuración final de las cuchillas

Fuente: Elaboración propia

La configuración final consta de 15 cuchillas desfasadas a 60 grados, una siguiente de la otra para mantener un flujo constante.

F) Eje de cuchillas

Debido a la configuración progresiva del corte, diseño de referencia obtenido de Dave Hakkens (2022), el eje de transmisión utilizado tendrá una configuración hexagonal para poder fácilmente montar las cuchillas y separadores, también para dar un soporte a estas e impedir que las cuchillas se deslicen al realizar el corte.

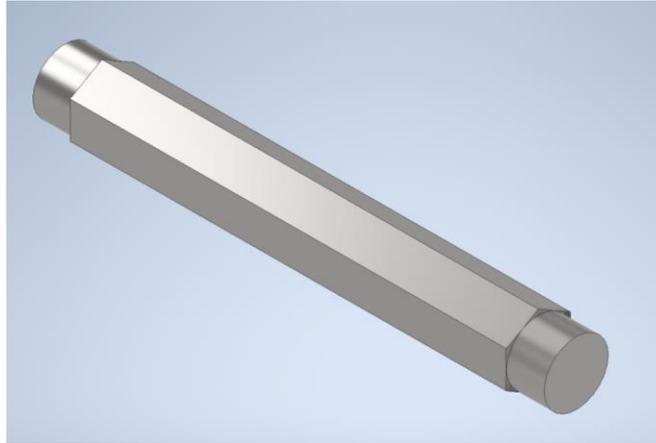


Figura 26. Eje de cuchillas

Fuente: Elaboración propia

Para la fabricación del eje, se optó por una barra hexagonal, calidad SAE 1045 de Aceros Arequipa (Ver anexo).

G) Motor eléctrico

Este componente tiene la responsabilidad de convertir determinada energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo así el movimiento del eje y, por ende, las cuchillas. La relación entre la potencia (P), la velocidad angular (ω) y el momento de torsión en un eje se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Para determinación de la potencia del motor, al realizar su cálculo, se cuenta con los valores $\omega = 10 \text{ rpm}$ y $T = 32 \text{ N} \cdot \text{m}$. Es crucial tener presente la ecuación previamente mencionada para llevar a cabo este cálculo.

$$P = T * \omega$$

$$P = 32 \text{ N} \cdot \text{m} * 60 \text{ rpm}$$

$$P = 32 \text{ N} \cdot \text{m} * 6.28 \text{ rad/s}$$

$$P = 201 \text{ W}$$

Es necesario considerar que estos motores eléctricos cuentan con un factor de servicio proporcionado por el fabricante. Para un motor monofásico, de uso general, este factor de servicio es de F.S: 1.15. En consecuencia, seleccionamos una potencia final de:

$$P = 201 \text{ W} * 1.15 = 231 \text{ W}$$

$$P = 231 \text{ W} = 0.3 \text{ hp}$$

Con la información recopilada, se lleva a cabo una exploración en el catálogo de FAR ALONG (distribuidor chino de motores) utilizando la potencia calculada como referencia a 250 W y una velocidad de trabajo de 60 RPM, lo que nos permite elegir el motor 6GU-10-K.

180W-200W-250W geared motor

減速參數 Geared-down parameter	同步轉速r/mn Synchronous speed	500	300	200	150	120	100	85	75	60	50	40	37	30	25	20	15	12	10	8	7	6
	減速比 ratio	3	5	7.5	10	12.5	15	18	20	2.5	30	36	40	50	60	75	100	120	150	180	200	250
最大允許負載 Max allowable load	200W	$\frac{\text{kg.cm}}{\text{N.m}}$	39.4 3.86	66 6.44	89.8 8.8	119 11.7	149 14.5	180 17.6	214 21.0	239 23.3	299 29.3	358 35.1	392 38.4	435 42.6								440 43
	250W	$\frac{\text{kg.cm}}{\text{N.m}}$	49.3 4.83	82.1 8.1	112 11	149 14.6	186 18.3	224 22	268 26.4	298 29	375 36.6	438 43								440 43		

Figura 27. Catálogo de motores FAR ALONG

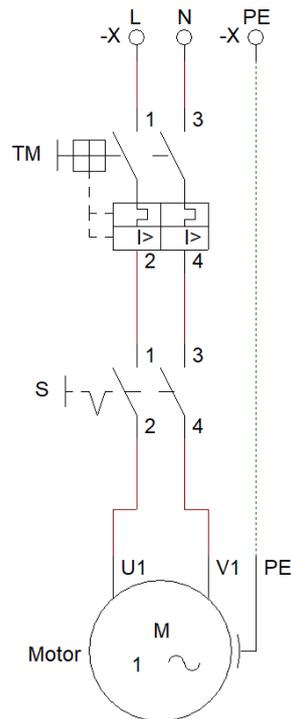
Fuente: (aliexpress, 2022)

Podemos observar también que, eligiendo el motor 6GU-10-K de FAR ALONG, este al trabajar a 250 W y a 60 RPM, puede generar hasta 36.6 N.m lo cual satisface los requerimientos del diseño.

H) Sistema eléctrico

Para el sistema eléctrico del triturador, solo es necesario un sistema de seguridad, para el cual se utiliza una llave termomagnética de 10 amperios que alimentará a todo el dispositivo, y un interruptor que controlará el motor eléctrico, como se muestra en el diagrama 06:

Diagrama 06. Diagrama de control del motor del triturador



Fuente: Elaboración propia

De la línea de luz de 220 voltios del hogar se podrá obtener energía para el motor eléctrico, para el control de este se necesita una llave termogénica (TM) que protegerá el sistema, un interruptor (S) y las conexiones al motor, toda la conexión se realizará con cable AWG 14.

4.3.2. Diseño de la extrusora de plástico PET

El PET triturado experimenta tres fases de procesamiento en el interior de la extrusora, las cuales se identifican como alimentación, compresión y medición.

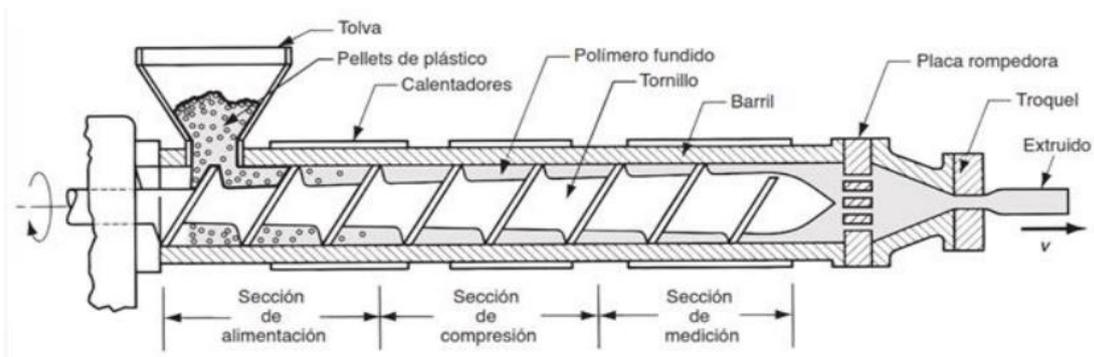


Figura 28. Configuración de un sistema extrusor de plástico

Fuente: Lafleur Pierre, 2018

La configuración geométrica del tornillo, esencial para la realización del proceso de extrusión, se describe de la siguiente manera: inicialmente, se sitúa a una distancia considerable del barril, ya que en esta primera sección es donde el material se almacena y se inicia su proceso de transporte y calentamiento. En la sección media, la separación entre el tornillo y las paredes del barril se reduce, y la materia prima comienza a mezclarse hasta lograr una homogeneidad. Finalmente, la punta del tornillo se encuentra casi en contacto con las paredes del barril, marcando el inicio del proceso de compresión del material hacia el troquel, donde alcanza la placa rompedora y, por último, el troquel.

A) Tolva

La capacidad de la tolva de alimentación debe ser suficiente para contener la cantidad de material que se va a extruir durante aproximadamente una hora de operación, que en este caso es de 2 kg/h. Para calcular el volumen necesario, se emplea la siguiente ecuación, teniendo en cuenta la capacidad y la densidad del PET que es de 1360 Kg/m³.

$$V = \frac{2 \frac{Kg}{h}}{1360 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V = 0.0015 \frac{m^3}{h}$$

Teniendo en cuenta razón volumétrica de 0.0015 m³ por hora, y utilizando la medida actual del diámetro exterior del barril, el cual es de 27.9 mm, lo utilizamos como referencia para el diámetro menor de la tolva.

Para el diámetro mayor, utilizando un ángulo de rampa de 60° (X) con respecto a la horizontal y una altura de 200 mm, se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$DM = 2 * \tan 30 * H + Dm$$

$$DM = 2 * \tan 30 * 200 \text{ mm} + 33.7 \text{ mm}$$

$$DM = 260.6 \text{ mm}$$

Con estos datos, podemos completar la siguiente tabla:

Tabla 12. Dimensiones de la tolva del extrusor

Dimensiones de la tolva	
Diámetro mayor	260.6 mm
Diámetro Menor	33.7 mm
Altura	200 mm

Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de la tolva se utilizará una plancha ASTM 1008 de 0.5 mm de espesor y se entra en cuenta una redirección de 90° hacia el tornillo.



Figura 29. Tolva del extrusor de plástico

Fuente: Elaboración propia

B) Barril

El barril es un cilindro metálico de forma, diseñado para contener tanto el tornillo como el material que será extruido. Su función principal es facilitar la conducción del calor generado por los calentadores hacia la materia prima y el tornillo, asegurando así la efectividad del proceso de extrusión.

En la configuración, el objetivo constante es maximizar la durabilidad, reducir al mínimo las alteraciones dimensionales causadas por las temperaturas operativas y garantizar una alta eficiencia en la transferencia de calor en el barril.

Para facilitar la construcción y reducir el costo del componente, se utilizará tubo ISO 65 de aceros Arequipa de 1 pulgada de diámetro nominal, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 13. Dimensiones y pesos nominales del tubo de acero

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	SERIE I STANDARD		SERIE II STANDARD		DIÁMETRO EXTERIOR (mm)
		ESPESOR DE PARED (mm)	PESO TEÓRICO (kg/m)	ESPESOR DE PARED (mm)	PESO TEÓRICO (kg/m)	
1/2"	21.3	2.30	1.08	2.00	0.95	710
3/4"	26.9	2.30	1.39	**2.00	1.23	710
1"	33.7	2.90	2.20	2.60	1.98	710
1 1/4"	42.4	2.90	2.82	2.60	2.54	710
1 1/2"	48.3	2.90	3.24	**2.65	2.98	710
2"	60.3	3.20	4.49	2.90	4.08	710
*2 1/2"	73.0	3.20	5.73	**3.00	5.18	710
2 1/2"	76.3	3.20	5.73	3.20	5.71	710
3"	88.9	3.60	7.55	3.20	6.72	710
4"	114.3	4.00	10.80	3.60	9.75	710

Fuente: Aceros Arequipa

Con esta selección nos permite trabajo con los siguientes datos:

Tabla 14. Dimensiones del barril del extrusor

Diámetro exterior	D	33.7 mm
Espesor de pared	e	2.9 mm
Diámetro interior	Di	27.9 mm
Largo	L	600 mm
Tolerancia		8 %

Fuente: Elaboración propia

Este tubo utiliza el acero SAE 1010 para su construcción, el cual posee una resistencia la tracción de 176 MPa (18 Kg/mm²) como se muestra en la Tabla 15:

Tabla 15. *Propiedades del acero SAE 1010*

SAE 1010	COMPOSICIÓN QUÍMICA								PROPIEDADES MECÁNICAS					
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Estado de suministro	Limite elástico kg/mm ²	Resistencia a la tracción kg/mm ²	% de alargamiento	% de reducción de área	Dureza Brinell
	0,08/0,13%	0,30/0,60%	0,040% máx.	0,050% máx.	0,10% máx.					Laminado en caliente	32	18	25	50
									Calibrado	37	30	18	40	210
									Cementado, temple y revenido	45/60	40	20	40	58-60 HRC
TRATAMIENTO TÉRMICO														
TRATAMIENTO					TEMPERATURA °C					ENFRIAMIENTO				
Forja					900 – 1.150 °C					Aire				
Normalizado					910 – 930 °C					Aire				
Recocido sub crítico					890 – 910 °C					Horno				
Cementación					900 – 950 °C					Gases/Sales				
Temple					850 – 900 °C					Agua				
Revenido					150 – 200 °C					Aire				
CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES														
CARACTERÍSTICAS:		Acero muy dúctil y maleable, de fácil conformación en frío y muy buena soldabilidad. Puede ser utilizado como acero de cementación; permite estampación en frío.												
APLICACIONES:		Bulones, ejes, cadenas, pasadores, bujes, tornillos, tuercas, acoples, racores, remaches; en estado calibrado se usa para la fabricación de ejes. Las piezas no pueden estar sometidas a grandes esfuerzos mecánicos. Muy usado en crucetas del sector eléctrico, ya que dobla y perfora con gran facilidad.												
NORMAS EQUIVALENTES														
AFNOR XC-10 - DIN C-70 - BS EN2E - UNI C-10 - SAE/AISI 1010														
PERFILES USUALES	●	Desde 3 mm hasta 31 mm (1/8" a 1 1/4")												
	—	Desde 19 mm x 3 mm hasta 50 mm x 6 mm (3/4 x 3" a 2 x 1/4")												
	■	Desde 4 mm hasta 25 mm (3/16" a 1")												

Fuente: (AcerosCol, 2020)

Para estas capacidades, teniendo en cuenta el diseño de referencia desarrollada por Dave Hakkens (2022), el barril tendrá un largo de 60 cm de largo para garantizar la correcta fundición del PET. Además, se realizará una ranura al inicio del barril, para que el plástico triturado pueda ingresar.



Figura 30. Barril de un extrusor de plástico

Fuente: Elaboración propia

C) Tornillo

Según las recomendaciones de Savgorodny para calcular la relación longitud/diámetro (L/D), se sugiere que se encuentre en el rango de 20 a 30. Esta proporción es crucial, ya que un incremento en la longitud del tornillo resultaría en una mayor generación de calor en el material, contribuyendo así a un aumento en la producción de filamento.

$$R = \frac{L}{D}$$

Teniendo en cuenta las dimensiones del barril que es de diámetro de 27.9 mm interior (D) y largo (L) de 60 cm, podemos hallar la relación:

$$R = \frac{600 \text{ mm}}{27.9 \text{ mm}}$$

$$R = 21.5$$

La relación será de 21.5, el cual está dentro de los estándares mencionados por Savgorodny.

El cálculo del paso del tornillo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$t = 0.8 * D$$

$$t = 0.8 * 27.9 \text{ mm}$$

$$t = 22.32 \text{ mm}$$

Para el cálculo del canal del tornillo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$h = 0.16 * D$$

$$h = 0.16 * 27.9 \text{ mm}$$

$$h = 4.5 \text{ mm}$$

El cálculo de la cresta del tornillo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$e = 0.06 * D$$

$$e = 0.06 * 27.9 \text{ mm}$$

$$e = 1.64 \text{ mm}$$

El cálculo del diámetro del alma del tornillo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$d = 0.6 * D$$

$$d = 0.6 * 27.9 \text{ mm}$$

$$d = 16.74 \text{ mm}$$

El cálculo del Angulo de la cresta del tornillo se realiza mediante la siguiente formula:

$$\phi = \tan^{-1} \frac{t}{\pi * d}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{22.32 \text{ mm}}{\pi * 16.74 \text{ mm}}$$

$$\phi = 23^\circ$$

El cálculo de la superficie transversal del tornillo se realiza mediante la siguiente formula:

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

$$S = \frac{\pi * 27.9^2}{4} * (1 - (\frac{16.74}{27.9})^2)$$

$$S = 3.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Con los datos obtenidos, podemos realizar la siguiente tabla:

Tabla 16. Dimensiones del tornillo del extrusor

Longitud del tornillo	L	600 mm
Diámetro del tornillo	D	27.9 mm
Paso del tornillo	t	22.32 mm
Canal del tornillo	h	4.5 mm
Cresta del tornillo	e	1.64 mm
Diámetro del alma	d	16.74 mm
Angulo de la cresta	ϕ	23°
Sección transversal	S	3.91x10 ⁴ m ²

Fuente: Elaboración propia

Con esta información podemos diseñar el tornillo:

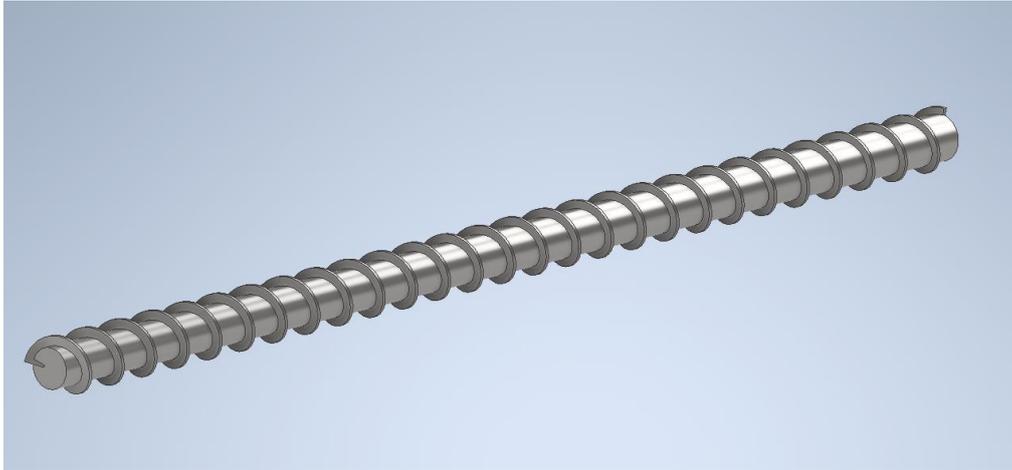


Figura 31. Tornillo de un extrusor de plástico

Fuente: Elaboración propia

Para verificar el esfuerzo que puede soportar el tornillo, nos guiamos de Parra (2017), quien propone que, según el material, se debe evaluar los siguientes criterios:

- Resistencia a la torsión
- Temperatura de operación
- Condiciones operativas
- Disponibilidad y facilidad de manejo

Utilizando la fórmula de Savgorodny podemos calcular las RPM que requiere nuestro tornillo para poder extruir a razón de 2 Kg/hora, entendiendo las propiedades del PET que posee una gravedad específica de 1.59 (X). Calculamos:

$$n = \frac{R}{2.3 * D^2 * h * G}$$

Para este cálculo, la fórmula se encuentra en el sistema inglés, por ello se tiene que realizar las coerciones:

$$R = 2 \text{ Kg/hora} = 4.4 \text{ lb/hora}$$

$$D = 27.9 \text{ mm} = 1.1 \text{ in}$$

$$h = 4.5 \text{ mm} = 0.18 \text{ in}$$

$$n = \frac{4.4 \text{ lb}}{2.3 * (1.1 \text{ in})^2 * 0.18 \text{ in} * 1.59 \text{ lb/in}^3}$$

$$n = 6 \text{ RPM}$$

Con la velocidad calculada, hallamos la potencia necesaria para el accionamiento:

$$N = \frac{n * \pi * D^3}{K^2}$$

Donde la constante K representa el factor de proporcionalidad de acuerdo con Saugorondy, para el cual se ha adoptado un valor específico de 66.7.

$$N = \frac{6 * \pi * 27.9^3}{66.7^2}$$

$$N = 92 \text{ Watts}$$

El cálculo de la presión máxima que puede generar el tornillo, sabiendo que la viscosidad efectiva del PET es de 500 Pa.s, se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{6 * \pi * D * L * n * v}{h^2 * \tan \phi}$$

$$P = \frac{6 * \pi * 0.0279 * 0.6 * 360 * 500}{0.0045^2 * \tan \phi 23}$$

$$P = 1835479.86 \text{ N/m}^2$$

$$P = 1.84 \text{ Mpa}$$

Con la presión hallada podemos calcular la fuerza axial a la que está sometido el tornillo:

$$F = P * S$$

$$F = 316.53 \text{ Mpa} * 3.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 717.67 \text{ N}$$

Para la fabricación del tornillo se opta por utilizar una barra redonda de 1 ¼ de pulgada de diámetro nominal ASTM A36 con una resistencia a la tracción de 400 Mpa (Ver anexo).

D) Calentadores

Para calcular la potencia requerida para la resistencia encargada de calentar el tornillo, se toma como factor primordial la cantidad de flujo de calor necesaria para lograr la fusión plástico PET.

Pero se debe tener en cuenta que siempre habrá pérdida de calor, debido a la energía liberada por radiación y la energía liberada por convección, como se muestra en la siguiente formula:

$$Q_{real} = Q - Q_r - Q_c$$

Para calcular **las pérdidas por convección**, se debe tener en cuenta que el sistema de calentadores estará expuesto al aire, con ello, ya utilizando las tablas termodinámicas, podemos saber que se generaría una convección natural de 10 W/m².K, dado el escenario actual. Como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17. Tabla de coeficientes de convección

Fluido	Coefficiente convectivo de transferencia de calor (W/m ² .K
Aire	
Convección libre	5-25
Convección forzada	10-200
Agua	
Convección libre	20-100
Convección forzada	50-10.000
Agua hirviendo	3.000-100.000
Condensación de vapro de agua	5.000-100.000

Fuente: (TABLAS Coeficiente de Convección, 2020)

Teniendo el coeficiente de convección del aire libre que tomamos de una media de 10 W/m².K, podemos calcular las pérdidas por convección con la siguiente formula:

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

$$Q_c = 10 \frac{W}{m^2} \cdot K * (523.15 - 293.15)K * \pi * 0.034m * 0.6 m$$

$$Q_c = 147.4 W$$

Para este estudio, las pérdidas por conducción son despreciables, debido a las dimensiones del dispositivo.

Las pérdidas por radiación podemos calcularlas de la siguiente manera:

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

$$Q_r = 0.6 * 5.67 \times 10^{-8} * (523.15^4 - 293.15^4) * \pi * 0.034m * 0.6 m$$

$$Q_r = 147.2 W$$

La potencia de entrada se refiere a la cantidad necesaria que demanda el sistema para llevar a cabo la fusión del plástico PET, y está determinada por la capacidad de la máquina y el calor específico del material. Lo cual podemos calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_{int} = m * C_p * \Delta T$$

$$Q_{int} = 2 \text{ kg/h} * 1350 \text{ J/KgK} * (523.15 - 293.15)$$

$$Q_{int} = 621000 \frac{\text{J}}{\text{h}}$$

$$Q_{int} = 172.5 \text{ W}$$

Para poder seleccionar los calentadores, es esencial contrastar la potencia efectiva suministrada por todos los calentadores al sistema en relación con la energía que sale del sistema. Para ello se requiere hallar una potencia total que abarque todo el sistema, esta sería la capacidad necesaria para llevar a cabo la fusión del plástico PET.

$$Q_{total} = Q_r + Q_c + Q_{int}$$

$$Q_{total} = 147.2 \text{ W} + 147.4 \text{ W} + 172.5 \text{ W}$$

$$Q_{total} = 467.1 \text{ W}$$

Para que el calentador pueda fundir el plástico PET, el cual se suministra a razón de 2 kg/h, es necesario un calentador o calentadores que en total puedan generar 467.1 W de potencia.

Para la selección del calentador se optó por tres resistencias de 200 W (32 mm de diámetro interior y 35 mm de altura) instaladas en el barril de forma continua, esto para distribuir la temperatura a todo el conjunto, manteniendo la potencia indicada, ya que estas, sumadas, nos proveen 600 W de potencia.

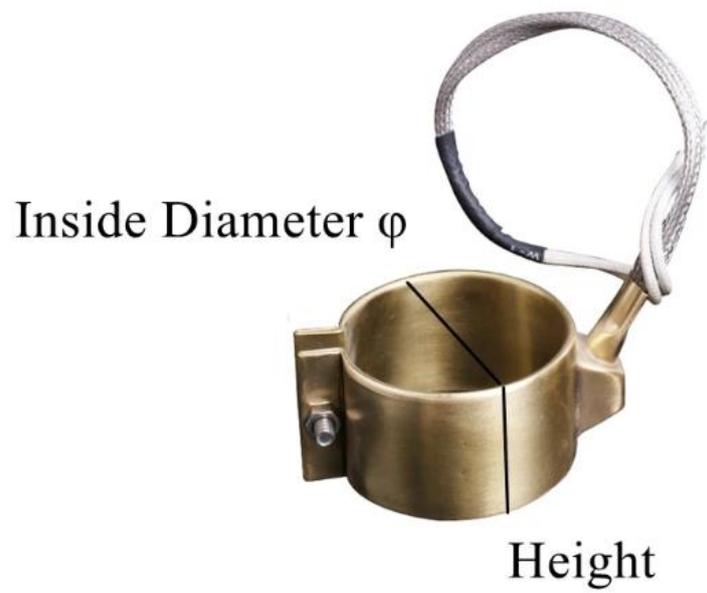


Figura 32. Calentadores de barril

Fuente: (Aliexpress, 2023b)

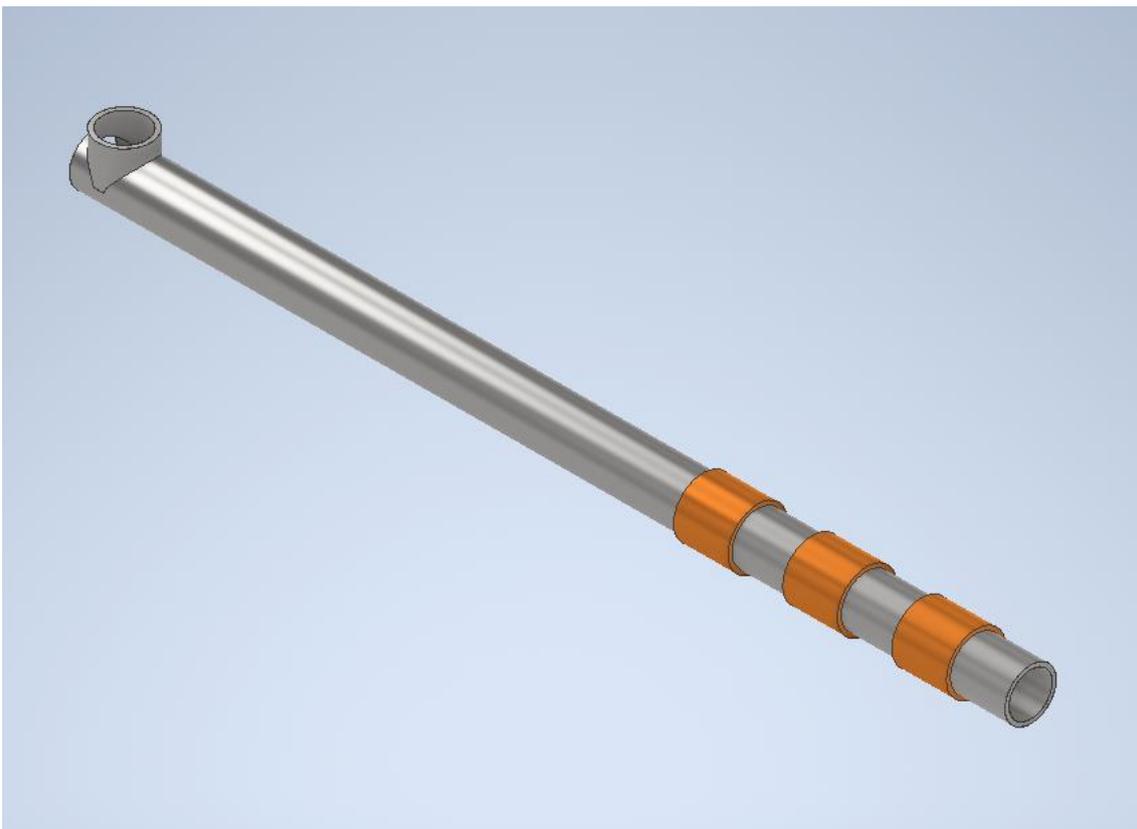


Figura 33. Barril con calentadores

Fuente: Elaboración propia

E) Boquilla de extrusión:

Debido a la necesidad de que el filamento tenga un diámetro de 1.75 mm, es crucial fabricar una boquilla apropiada que no solo proporcione el diámetro requerido, sino que también pueda soportar la fuerza de descarga. Esta boquilla presentará una entrada de 10 mm y una salida de 1.75 mm, con un diseño interior cónico y una forma cilíndrica en su exterior para prevenir deformaciones durante el proceso.

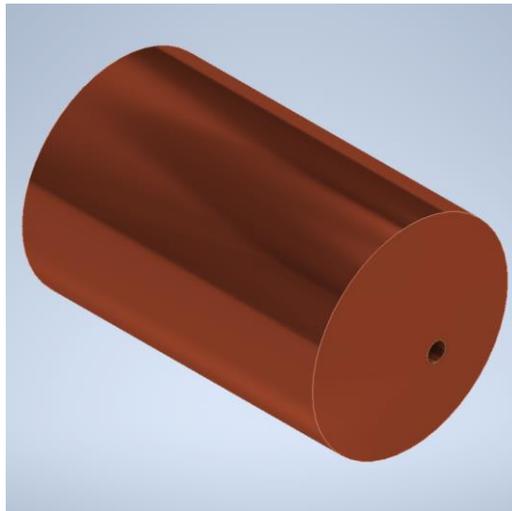


Figura 34. Boquilla del extrusor

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al largo de la boquilla, se ha establecido un valor de 60 mm y un diámetro de 33 mm, considerando el espacio necesario para acoplarla al cilindro mediante una rosca.

F) Motor eléctrico:

Para poder elegir un motor adecuado, es necesario conocer la potencia requerida para que el sistema funcione adecuadamente. Esta se calculó anteriormente en el análisis del tornillo, hallando una potencia de:

$$N = 92 \text{ Watts}$$

Para proporcionar una potencia adecuada, se eligió utilizar un motor 120 W con una reducción a 6 RPM de velocidad.

90W-120W geared motor

減速參數 Geared-down parameter	同步轉速r/mn Synchronous speed		500	300	250	200	150	120	100	75	60	50	45	37.5	30	25	20	15	12.5	10	8	7.5	6	5	3
	減速比i ratio		3	5	6	7.5	10	12.5	15	20	25	30	36	40	50	60	75	100	120	150	180	200	250	300	500
允許負載 Max allowable load	90W	kg.cm N.m	15.7 1.54	26.5 2.6	31.5 3.1	39.4 3.86	52.5 5.15	65.7 6.44	71 6.96	94.6 9.28	118 11.6	141 13.9	170 16.7	189 18.5											200 19.6
	120W	kg.cm N.m	21.5 2.11	36 3.52	42 4.13	54 5.28	70 6.88	87.5 8.59	98 9.6	126 12.4	148 14.5	189 18.5											200 19.6		

Figura 35. Catálogo de motores FAR ALONG

Fuente: (aliexpress, 2022)

H) Sistema eléctrico y control de temperatura

Para controlar la temperatura del calentador, es necesario un dispositivo eléctrico que pueda activar los calentadores de 220 voltios cuando este detecte que la temperatura de trabajo actual sea menor a la temperatura seleccionada. Para esta tarea se utilizará un termostato digital PID REX-C100.

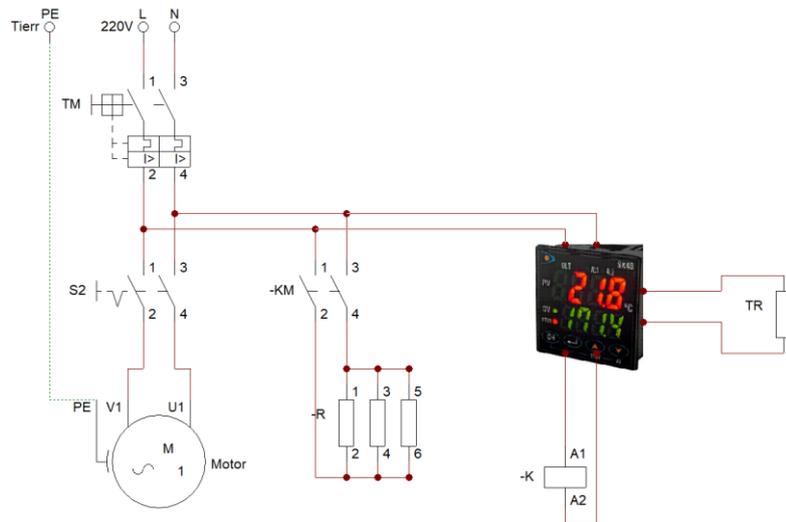


Figura 36. Control de temperatura

Fuente: (Aliexpress, 2023)

Para el sistema eléctrico del extrusor, solo es necesario un sistema de seguridad, para el cual se utiliza una llave termomagnética de 10 amperios que alimentará a todo el dispositivo, un interruptor que controlará el motor eléctrico, un transformador de 220 voltios a 12 voltios para el control térmico y una alimentación de 220 voltios para los calentadores, como se muestra en el Diagrama 07.

Diagrama 07. Diagrama de conexión eléctrica del extrusor



Fuente: Elaboración propia

De la línea de luz de 220 voltios del hogar se podrá obtener energía para el motor eléctrico, para el control de este se necesita una llave termogénica (TM) que protegerá el sistema, un interruptor (S2) y las conexiones al motor, además, a partir de la llave termomagnética se conectará un relé que controlará los calentadores de 220 voltios mediante la señal enviada por el controlador de temperatura. Toda la conexión se realizará con cable AWG 14.

4.3.3. Diseño del sistema de bobinado

El sistema de bobinado de filamento PET se ha diseñado utilizando un carrete de filamento PLA vacío, potenciado por un sistema de engranaje sinfín el cual se acopla al carrete, permitiendo una transferencia de movimiento suave y constante y un motor eléctrico de 12 voltios para proporcionar la potencia necesaria para el bobinado del filamento PET. Este motor está controlado desde el panel.

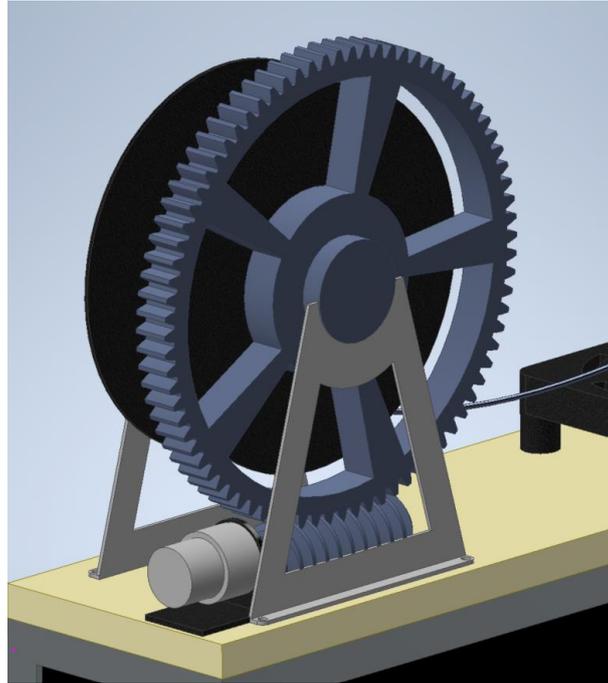


Figura 37. Configuración del carrete de acopio del filamento PET

Fuente: Elaboración propia

La relación de transmisión del tornillo sinfín es de 85:1, se utilizará un motor JGB37-520 de 12 voltios que gira a relación de 300 RPM, el cual permite un giro constante del carrete a 4 RPM aproximadamente.



Figura 38. Motor JGB37-520

Fuente: (Aliexpress, 2023)

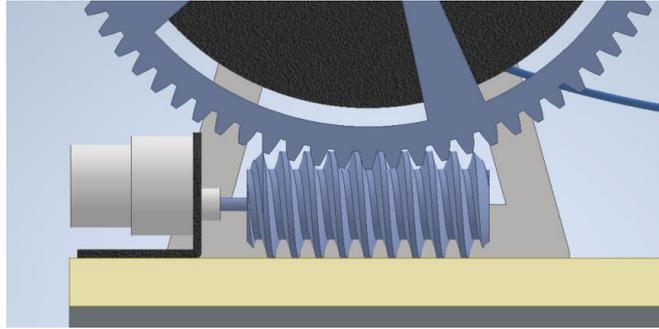


Figura 39. Vista de la configuración del motor JGB37-520 y el tornillo sinfín

Fuente: Elaboración propia

Para que el acopio del filamento sea automático, esta será controlado por un sensor infrarrojo que detectará la posición del filamento y activará el motor eléctrico cuando este sea detectado. El sensor, al detectar el filamento, envía una señal a un relevador que cerrará el circuito y activará el motor eléctrico, moviendo el carrete y enrollando el filamento PET.

Sistema eléctrico

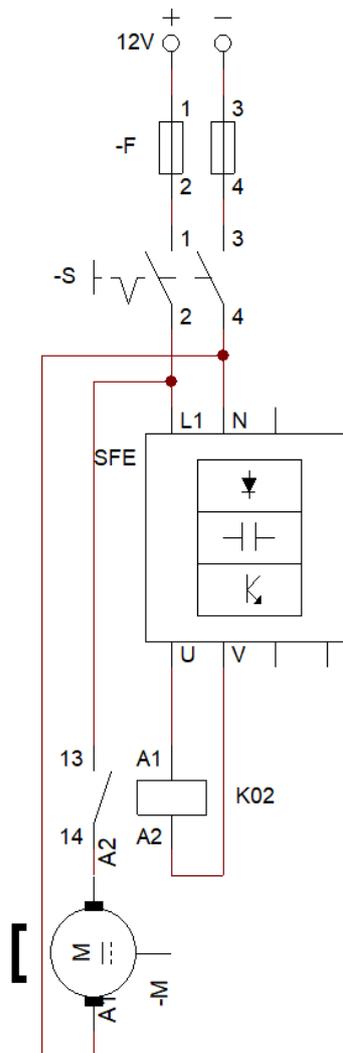
Para el sistema eléctrico del bobinador, se necesitará de un sensor que verificará la posición del filamento al salir del extrusor. Este sensor, al no detectar el filamento, enviará una señal eléctrica a un relé que permitirá el paso de 12 voltios al motor eléctrico que controla el bobinador, activándolo y moviendo el carrete. Cuando el sensor detecta el filamento, abrirá el circuito, deteniendo el motor eléctrico. Para impulsar el sistema se utilizará un motor JGB37-520 mencionado anteriormente y un sensor fotoeléctrico E3Z-B61 de la marca GTRIC el cual trabaja con 12 voltios y puede detectar objetos de hasta 0.5 mm.



Figura 40. Sensor fotoeléctrico marca GTRIC

Fuente: (Aliexpress, 2023)

Diagrama 08. Diagrama de conexión eléctrica del bobinador automático



Fuente: Elaboración propia

En el diagrama se puede verificar cómo el interruptor S energiza el circuito del bobinador, el sensor fotoeléctrico SFE verifica la posición del filamento y este, al no detectarlo, envía una señal al relé K02 cerrando circuito al motor M, haciendo que este gire y active el bobinador.

CAPÍTULO V CONSTRUCCIÓN

5.1. Construcción

El trabajo actual expone la propuesta de diseño de un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D, diseñado para utilizar el material reciclado PET y convertirlo en filamento. Esta máquina posee dos sistemas, sistema de trituración y sistema de extrusión. El dispositivo, al conectarse al sistema eléctrico, permite al sistema de trituración reducir las botellas PET a granos de 5 mm de diámetro, además, el sistema de extrusión genera una temperatura de 250 °C, que permite el cambio de estado del plástico PET a un fluido con la capacidad de ser convertido en filamento al ser forzado mediante un tornillo. El resultado como producto final es la fabricación de filamento PET para su uso en impresoras 3D. A continuación, se detallan los componentes del dispositivo separados por sus sistemas respectivos:

Sistema de trituración

Componentes eléctricos: Conjunto de dispositivos que suministran la energía eléctrica necesaria para el arranque y funcionamiento adecuado del dispositivo.

- a) Motor propulsor: Genera el torque necesario para el proceso

Sistema mecánico: Permite el transporte de las fuerzas necesarias desde el motor electico hasta el material

- a) Tolva: Genera un flujo constante de material al dispositivo.
- b) Caja de cuchillas: Donde se realiza la trituración de botellas PET en partículas.
- c) Cernidor
- d) Bandeja de almacenaje

Sistema de extrusión:

Componentes eléctricos: Conjunto de dispositivos que suministran la energía eléctrica necesaria para el arranque y funcionamiento adecuado del dispositivo.

- b) Motor propulsor: Genera el torque necesario para el proceso.
- c) Resistencias térmicas: Generan la temperatura necesaria para fundir el plástico PET.
- d) Control de temperatura: Mantiene una temperatura estable en el sistema.
- e) Control de bobinado: Permite el movimiento de la bobina para acopiar el filamento PET.
- f) Ventiladores

g) Sensor fotoeléctrico

Sistema mecánico: Permite el transporte de las fuerzas necesarias desde el motor eléctrico hasta el material

e) Tolva: genera un flujo constante de material al dispositivo

f) Extrusor: Donde las partículas se calientan y presionan para generar el filamento

g) Bobinador: Permite acopiar el material e instalarlo en un carrete.

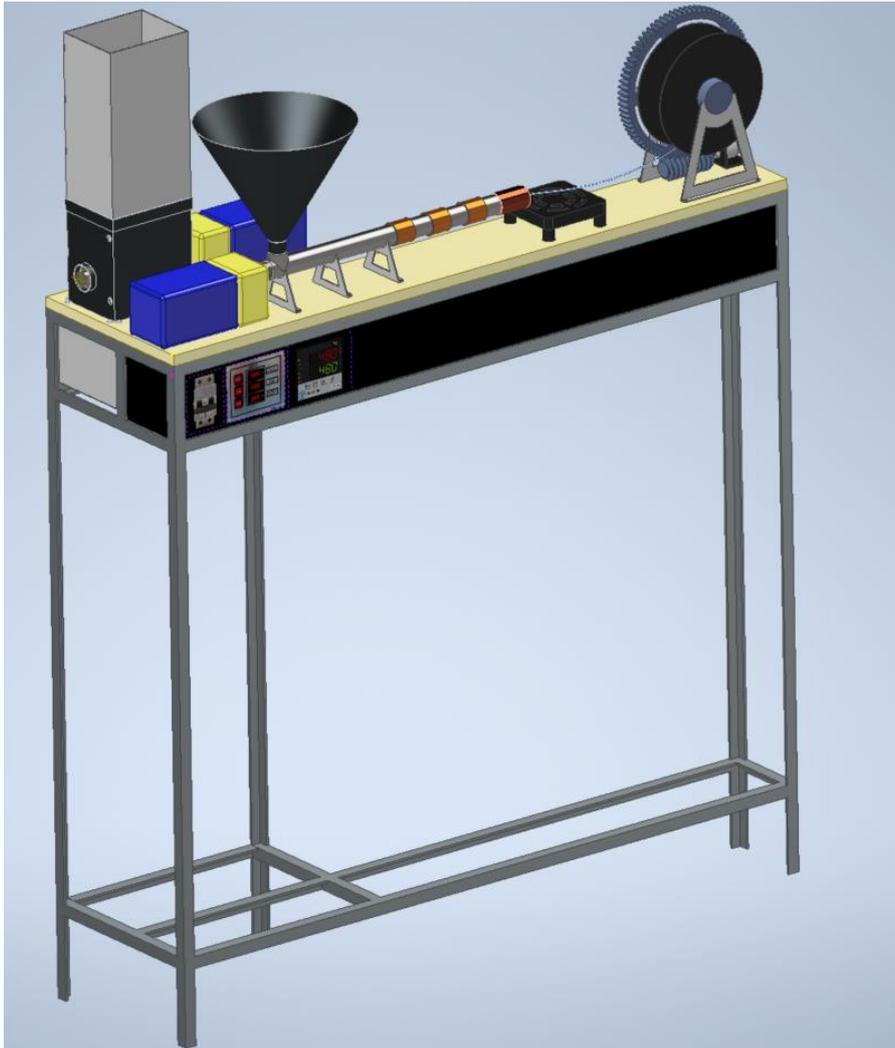


Figura 41. Dispositivo de filamento para impresiones 3D (vista del extrusor)

Fuente: Elaboración propia

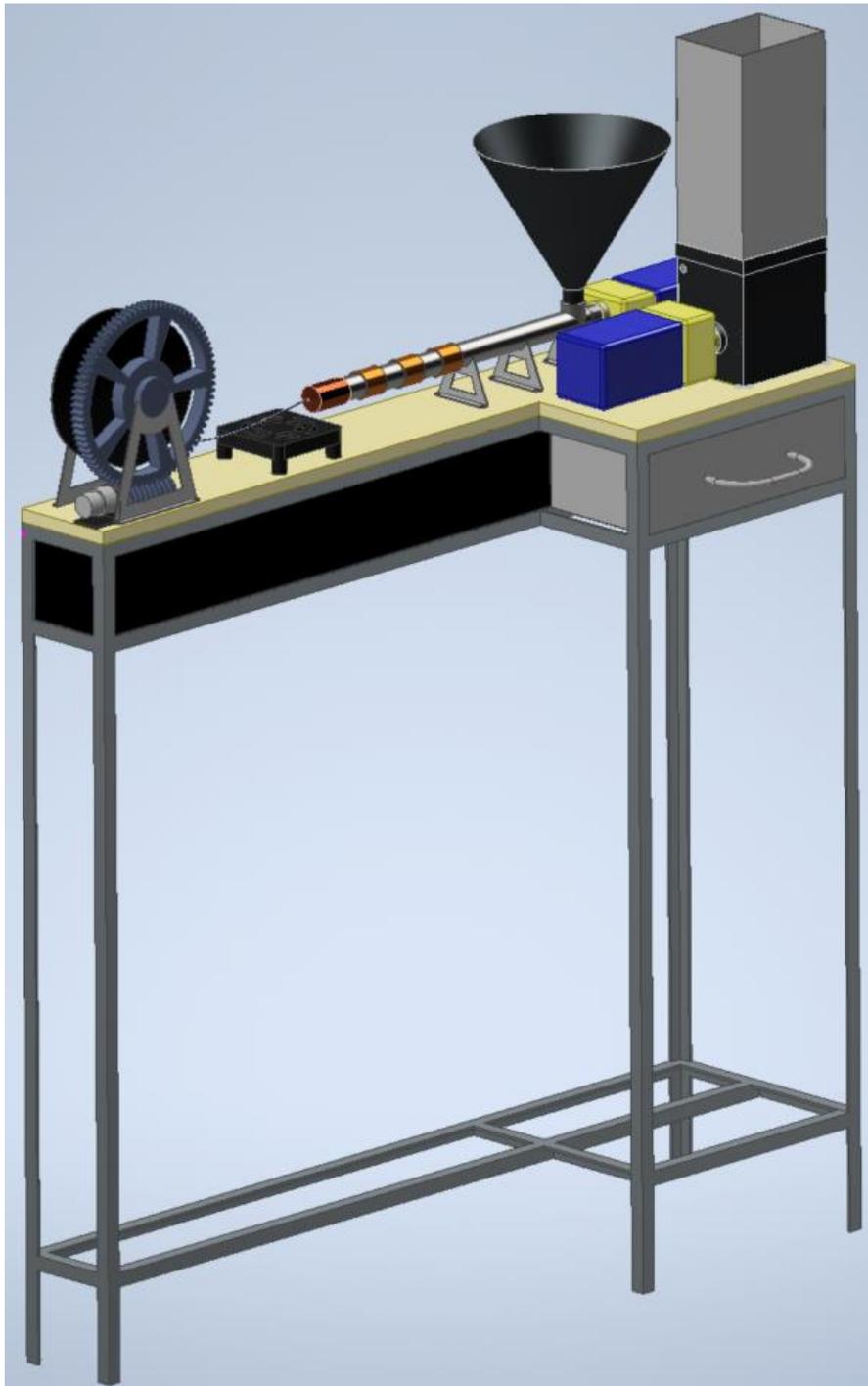


Figura 42. Dispositivo de filamento para impresiones 3D (vista del triturador)

Fuente: Elaboración propia

5.2. Pruebas y resultados

5.2.1. Simulaciones

a. Simulación y verificación de la tolva del triturador

La tolva del triturador nos permite coleccionar las botellas PET, manteniendo un flujo constante de botellas y permitiendo al operador introducir estas sin arriesgar sus manos

a las cuchillas del triturador. Para verificar la capacidad de la tolva, se llevó a cabo una simulación con 4 fuerzas de 100 N cada una, como se muestra en la figura 43. La simulación resultó en un esfuerzo máximo de 23.11 MPa, considerablemente menor que los 54 MPa, que es el esfuerzo máximo de tensión permitido para el material ASTM A36.

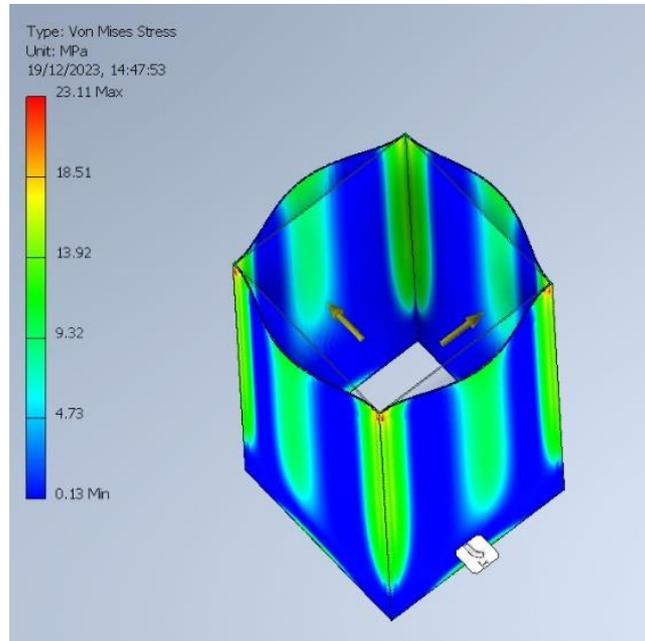


Figura 43. Simulación de esfuerzos de la tolva del triturador

Fuente: Elaboración propia

La dimensión del conducto de entrada de la tolva a la cámara de trituración se diseñó para acomodar las botellas recicladas más grandes disponibles hasta de 03 litros, específicamente botellas con dimensiones de altura y diámetro de 36 y 12 cm, respectivamente.

b. Simulación y verificación de las cuchillas del triturador

Sabiendo que la fuerza necesaria para llevar a cabo el corte de un material PET con un espesor de 0.5 mm y un ancho de 5 cm es de 1600 N., al emplear un factor de diseño de 2, se obtiene una fuerza de 3200 N.

Para la fabricación de las cuchillas se utilizará el acero ASTM A36. La resistencia máxima a la tracción del material ASTM A36 es de 250 MPa, se indica en el anexo referente al acero ASTM-A36, Aceros Arequipa.

Se llevó a cabo análisis de estrés de la cuchilla bajo una carga de 3200 N utilizando el software Inventor 2019. El resultado muestra un esfuerzo máximo de 235.2 MPa, como se ilustra en la figura correspondiente.

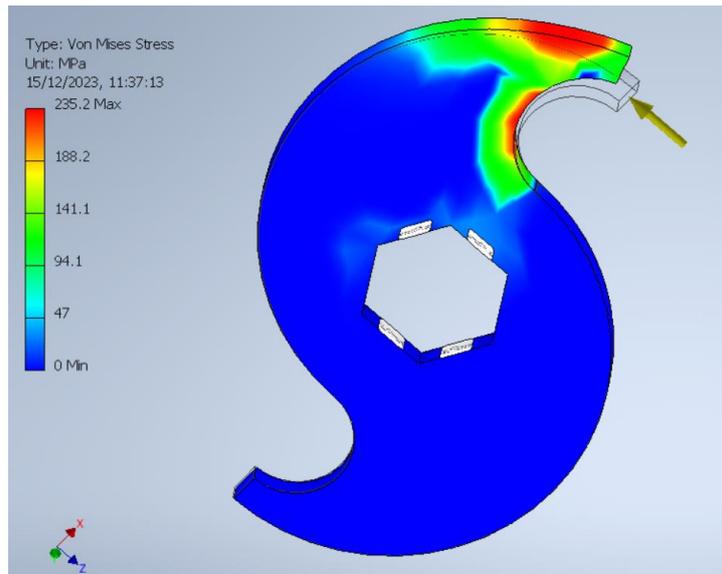


Figura 44. Simulación de esfuerzos de la cuchilla del triturador

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 44 puede observar la deformación teórica de la cuchilla debido al esfuerzo generado por el corte de las botellas PET.

La resistencia máxima a la tracción del material ASTM A36 es de 250 MPa, según se indica en el Anexo referente al acero ASTM-A36, Aceros Arequipa. Por lo tanto, utilizar este material, satisface los requerimientos del diseño.

c. Simulación y verificación del eje del triturador

Debido a la configuración del triturador, este soportará el esfuerzo total transmitido por solo una cuchilla en un tiempo determinado, esto nos permite verificar el punto de máximo esfuerzo, cuando la cuchilla más alejada del motor soporta la carga respectiva, como se muestra en la figura siguiente:

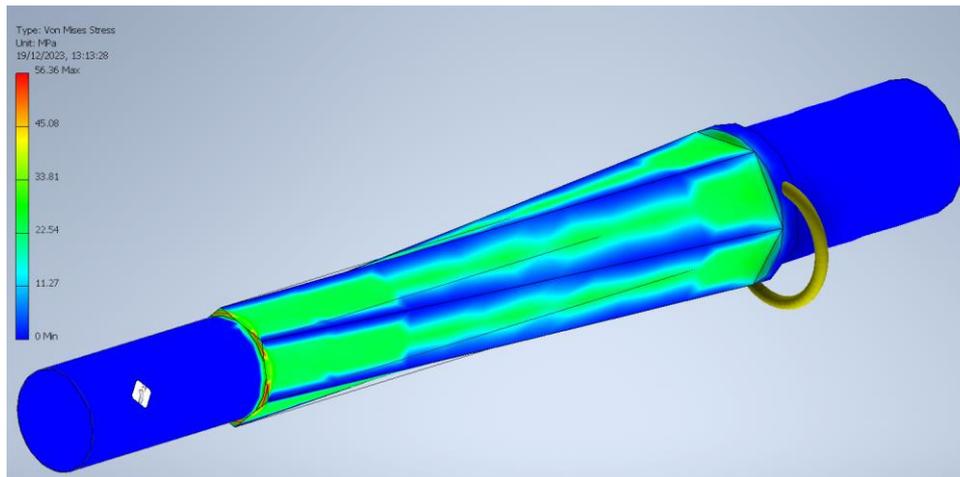


Figura 45. Simulación de esfuerzos del eje de cuchillas del triturador

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la deformación teórica del eje debido al esfuerzo generado por la cuchilla más lejana al motor, al realizar el corte de las botellas PET. La cual genera un esfuerzo máximo de 56.36 MPa.

La resistencia máxima a la tracción del material SAE 1045 es de 735 MPa, según se indica en el anexo referente a la barra hexagonal calidad SAE 1045 de Aceros Arequipa. Por lo tanto, utilizar este material, satisface los requerimientos del diseño.

d. Simulación y verificación del Tornillo de extrusor

Al realizar los cálculos del esfuerzo que soportaría el tornillo del extrusor, nos da como resultado que este debe soportar una carga axial de 717.67 Newtons. Con esta información podremos simular el esfuerzo axial:

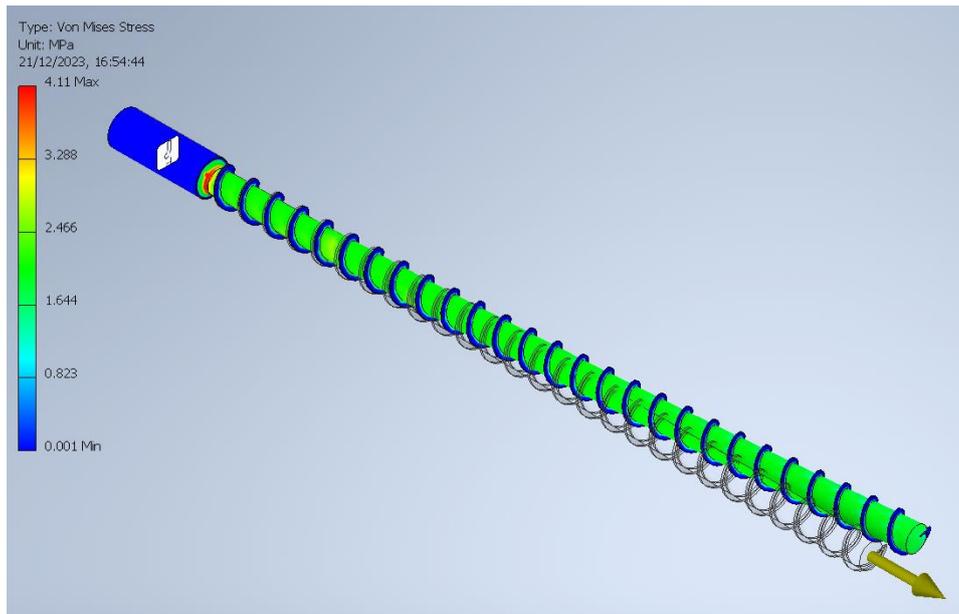


Figura 46. Simulación de esfuerzos del tornillo del extrusor

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la Figura 46, la fuerza axial generada por el tornillo genera un esfuerzo máximo de 4.11 MPa a plena carga.

Para la fabricación del tornillo se opta por utilizar una barra redonda de 1 de pulgada de diámetro nominal ASTM A36 con una resistencia a la tracción de 400 Mpa. Por lo tanto, utilizar este material, satisface los requerimientos del diseño.

e. Simulación y verificación del barril del extrusor

Al analizar los cálculos realizados para el tornillo, pudimos calcular una presión máxima generada por el sistema de 1.84 MPa, la cual se traslada a las paredes del barril. Con esta información podremos simular la presión generada al interior del barril:

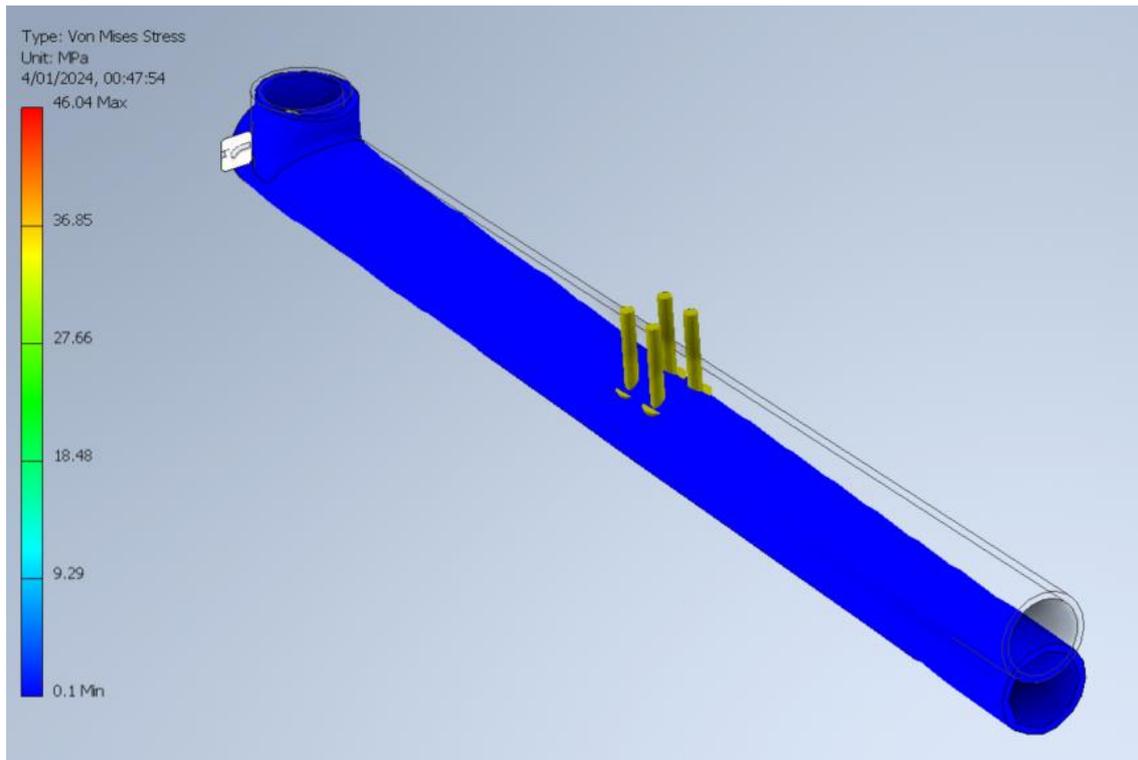


Figura 47. Simulación de esfuerzos del barril del extrusor

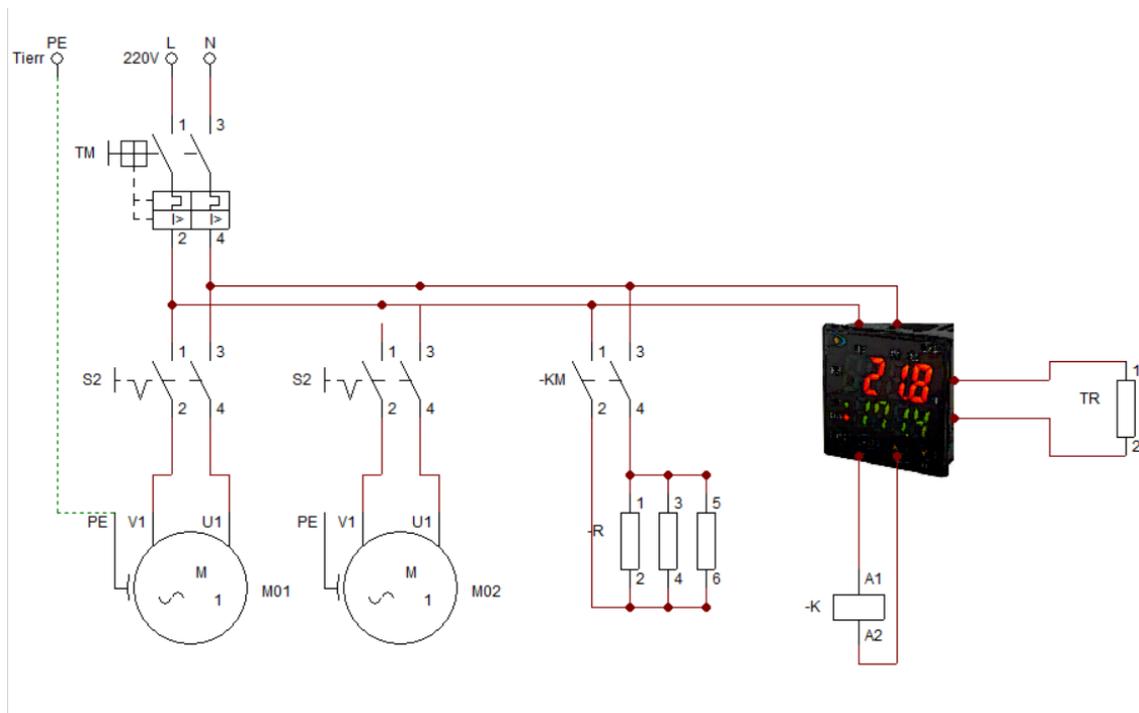
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la figura, la presión que realiza el sistema al barril genera un esfuerzo máximo de 46 MPa a plena carga.

Para la fabricación del barril, se utiliza un tubo de una pulgada de diámetro, nómima de acero SAE 1010, el cual posee una resistencia a la tracción de 176 MPa. Por lo tanto, utilizar este material, satisface los requerimientos del diseño.

f. Simulación del sistema eléctrico

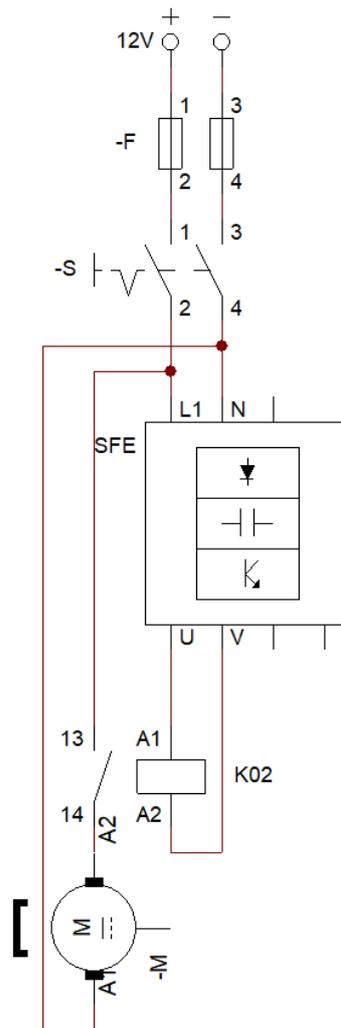
Diagrama 09. Diagrama de control de motores eléctricos y calentador



Fuente: Elaboración propia

Se realizó la simulación del sistema de alta potencia, el cual comprende el motor del triturador, el motor del extrusor y el sistema de calentadores; además del uso de una llave termomagnética para la protección del sistema y un interruptor único para el motor del triturador, el motor del extrusor y el control de temperatura del calentador, respectivamente.

Diagrama 10. Diagrama de conexión eléctrica del bobinador automático



Fuente: Elaboración propia

Se realizó la simulación del sistema de baja potencia, el cual comprende de una fuente de 12 voltios, un juego de fusibles para la protección del sistema, un interruptor de encendido y apagado del sensor fotoeléctrico, que controla el motor de corriente continua mediante un relé. El sensor fotoeléctrico verifica la posición del filamento y este, al no detectarlo, envía una señal al relé cerrando circuito al motor, haciendo que este gire y active el bobinador.

5.2.2. Pruebas y resultados

5.2.2.1. Resultados en las simulaciones de la trituradora

Se pudo verificar que los componentes más críticos que son la tolva, las cuchillas y el eje de las cuchillas, soportan las cargas realizadas por el trabajo de trituración de las botellas PET, ya que el resultado de la simulación de cargas en la tolva es de 23.11 MPa, teniendo un factor de seguridad de 2.33. El resultado de la simulación de cargas

en la cuchilla es de 235.2 MPa, teniendo un factor de seguridad de 1.06. El resultado de la simulación de cargas en la cuchilla es de 56.36 MPa, teniendo un factor de seguridad de 13. Se validan, de ese modo, los resultados obtenidos y la viabilidad de los componentes.

5.2.2.2. Resultados en las simulaciones del extrusor

Se pudo verificar que los componentes más críticos son el tornillo y el barril, ya que soportan la presión y la temperatura del sistema de extrusión. El resultado de la simulación de cargas en tornillo es de 4.11 MPa, teniendo un factor de seguridad de 100. El resultado de la simulación de cargas en el barril es de 46 MPa, teniendo un factor de seguridad de 3.8. Validando así los resultados obtenidos y la viabilidad de los componentes.

5.2.2.3. Resultados en las simulaciones del sistema eléctrico

Teniendo en cuenta que el motor del triturador es de 250 Watts a 220 voltios, su amperaje nominal es de 1 amperio aproximadamente. Por otra parte, el motor del extrusor es de 120 watts a 220 voltios, su amperaje es de 0.6 amperios aproximadamente. El sistema que consume más es el de los calentadores, ya que se instala 3 calentadores de 200 Watts cada uno, dando un total de 600 Watts a 220 voltios, su amperaje nominal es de 3 amperios. El consumo total de todas las cargas es de 4.5 amperios (el consumo del controlador de temperatura es despreciable). El consumo del sistema de bobinado activado es de 0.5 amperios, en total, la corriente del sistema es de 5 amperios. Se utiliza una llave termomagnética de 10 amperios y cables AWG 14 para un correcto funcionamiento.

5.2.3. Viabilidad económica del proyecto

5.2.3.1. Costos de Construcción del dispositivo de producción de filamento PET

Lista de componentes del sistema de trituración

El sistema de trituración es el más robusto del dispositivo, ya que requiere de una gran fuerza para convertir las botellas PET en partículas pequeñas.

Tabla 18. Componentes del sistema de trituración

Ítem		Cantidad	Costo	Costo total
1	Estructura de acero	1	S/ 120.00	S/ 120.00
2	Tolva del triturador	1	S/ 50.00	S/ 50.00
3	Caja del triturador	1	S/ 188.00	S/ 188.00
4	Rodamientos	2	S/ 23.00	S/ 46.00
5	Cuchillas de triturador	15	S/ 8.00	S/ 120.00
6	Bases de cuchillas	31	S/ 6.00	S/ 186.00
7	Espaciadores	16	S/ 4.00	S/ 64.00
8	Eje de cuchillas	1	S/ 8.00	S/ 8.00
9	Motor reductor 250 W	1	S/ 285.00	S/ 285.00
Total				S/ 1,067.00

Fuente: Elaboración propia

En total, el costo del sistema de trituración del dispositivo es de 1067.00 soles. Este costo solo contempla los componentes y materiales utilizados.

Lista de componentes del sistema de extrusión

El sistema de extrusión comprende la mayor cantidad de componentes eléctricos y trabaja a temperaturas elevadas.

Tabla 19. Componentes del sistema de extrusión

Ítem		Cantidad	Costo	Costo total
1	Tolva	1	S/ 32.00	S/ 32.00
2	Barril	1	S/ 72.00	S/ 72.00
3	Tornillo	1	S/ 62.00	S/ 62.00
4	Calentadores	3	S/ 39.00	S/ 117.00
5	Boquilla	1	S/ 12.00	S/ 12.00
6	Motor reductor 120 W	1	S/ 145.00	S/ 145.00
7	Control de temperatura	1	S/ 25.00	S/ 25.00
8	Sistema de acopio	1	S/ 25.00	S/ 25.00
9	Motor JGB37	1	S/ 45.00	S/ 45.00
10	Sensor fotoeléctrico	1	S/ 62.00	S/ 62.00
11	Sistema de cabling y conexión	1	S/ 25.00	S/ 25.00
Total				S/ 622.00

Fuente: Elaboración propia

En total, costo del sistema de extrusión del dispositivo es de 622.00 soles. Este costo solo contempla los componentes y materiales utilizados.

Instalación y puesta en marcha

Tabla 20. Instalación y puesta en marcha

Costos de los componentes del sistema de trituración	S/ 1,067.00
Costos de los componentes del sistema de extrusión	S/ 622.00
Mano de obra para armado (6 horas de trabajo)	S/ 55.50
Consumibles adicionales para puesta en marcha	S/ 18.00
Total	S/ 1,762.50

Fuente: Elaboración propia

La instalación y puesta en marcha del dispositivo tendría un costo total de 1762.50 soles, donde 1689.00 soles correspondería al costo total de componentes del dispositivo, 55.50 soles el costo de la mano de obra para el armado y pruebas de funcionamiento y 18.00 soles en costos adicionales contemplado para el proyecto.

Para la venta, agregando el IGV del producto (299.63 soles). La venta final del dispositivo sería de 3000 soles, con una ganancia total de **937.86 soles**.

5.2.3.2. Costos operativos del dispositivo de producción de filamento PET

El costo de operatividad se calculará para la producción de 1Kg de filamento PET, utilizando los datos vistos en el Diagrama 04.

Tabla 21. Costos operativos

Mano de obra	S/ 9.25
Costos de energía	S/ 0.40
Mantenimiento de equipos	S/ 0.10
Transporte y logística para la recolección y entrega de botellas PET	S/ 5.00
01 Kg de botellas PET para su transformación	S/ 3.00
Carrete para el bobinado del filamento	S/ 4.00
Costos administrativos y de gestión	S/ 6.00
Total	S/ 27.75

Fuente: Elaboración propia

En total, para la producción de 01 Kg de filamento PET, se requiere una inversión de 27.75 soles. Entendiendo que, en el mercado actual, el producto similar, catalogado como filamento PETG, tiene un costo al mercado de 60 soles (DigitalZ3D 2024). Con un costo final de venta de 1 Kg de filamento PET a 50 soles, entendiendo que se agrega el IGV de 4.71 soles, podemos conseguir una ganancia de 17.53 soles, un 35 % de utilidad por unidad.

CONCLUSIONES

1. Según los resultados obtenidos, en primer lugar, aludiendo al objetivo general de este estudio que es «Diseñar un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D Arequipa, 2023», se alcanzó una implementación completa al 100 % de todos los pasos y procedimientos, utilizando los métodos, técnicas e instrumentos como una solución al problema general. Se ha conseguido desarrollar una máquina capaz de producir filamentos a partir de botellas PET con unas dimensiones de 120 cm x 33 cm x 150 cm. Además, se logró implementar una trituradora incorporada para reducir las botellas PET a partículas utilizables. Esta innovación contribuirá a la disminución de la contaminación al reutilizar termoplástico PET en el proceso de impresión 3D.
2. En segundo lugar, aludiendo al objetivo específico de esta investigación «Determinar los requerimientos necesarios para el diseño un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D», se logró concluir con la identificación de los componentes necesarios para el diseño del dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D, tales como el tornillo, barril, tolva y la boquilla en el equipo de extrusión del filamento. También se verificó los componentes del triturador, tales como las cuchillas, las bases, el eje de cuchillas la tolva y la caja de cuchillas. Se pudo determinar también el consumo energético del dispositivo, un total de 555 Watts, con un costo total de 0.39 soles por hora de trabajo. Además, se llevó a cabo la selección del diseño óptimo para el mencionado dispositivo, evaluando diversas alternativas propuestas.
3. En tercer lugar, aludiendo al objetivo específico de este estudio «Determinar el proceso para obtener las botellas PET», se ha diseñado un plan operativo integral. Esto implica la creación de un punto de acopio accesible, ya sea una instalación central o puntos satélite como bares u hoteles. Asimismo, se ha establecido la importancia de forjar relaciones con recolectores de desechos para asegurar una fuente continua y confiable de plástico PET, gestionando pagos y realizando un seguimiento meticuloso. En el proceso de acopio, se pesa y examina el plástico PET recolectado, procediendo al pago correspondiente al recolector y destinando el material al reciclaje y su uso como materia prima para la fabricación de filamento 3D en Arequipa, distrito de Cerro Colorado.
4. En cuarto lugar, aludiendo al objetivo específico de este estudio «Determinar la cantidad de botellas PET necesarias para crear 1 kg de filamento 3D», con base

en el análisis del peso de las botellas PET de diferentes tamaños, proporcionado por la empresa ICEM, se ha determinado la cantidad aproximada de botellas necesarias para obtener 1 kg de PET reciclado, fundamental para la producción de filamento 3D. Según los datos, se requerirían alrededor de 79 botellas del tipo 1 (250 ml) o tipo 2 (350 ml), 64 botellas del tipo 3 (500 ml), 43 botellas del tipo 4 (1000 ml), o 20 botellas del tipo 5 (3000 ml) para alcanzar la cantidad deseada de material reciclado. Estos cálculos brindan una guía práctica para la recolección de botellas PET, permitiendo una gestión eficiente de recursos y estableciendo pautas claras para la implementación del proceso de reciclaje en la fabricación de filamento 3D. (Ver Tablas 7 – 8)

5. En quinto lugar, aludiendo al objetivo específico de este estudio llamado «Determinar los procesos involucrados para transformar botellas PET en filamentos para impresiones 3D», se ha logrado identificar de manera efectiva los procesos involucrados en la transformación de botellas PET en filamentos para impresiones 3D, utilizando herramientas como el Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP) y el Diagrama de Análisis de Proceso (DAP). A través del DOP, se determinaron cuatro operaciones clave, incluyendo una operación combinada, dos inspecciones cuatro operaciones, dos esperas y un almacenamiento (Diagrama 03). Además, el DAP proporcionó una visión detallada de las actividades específicas, como cuatro operaciones, una inspección, dos demoras, una operación combinada, cero transportes y un almacenamiento, con sus respectivas representaciones simbólicas (Diagrama 04). En consonancia con este objetivo, se llevó a cabo un análisis técnico-económico, considerando el costo total empleado en todo el proceso de transformación de botellas PET en filamentos para impresiones 3D.
6. En sexto lugar, aludiendo al objetivo específico de este estudio «Determinar el proceso de ensamblado del dispositivo de producción», se ha logrado determinar el proceso de ensamblado del dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D. Este dispositivo, diseñado para utilizar material reciclado PET, comprende dos sistemas fundamentales: el sistema de trituración y el sistema de extrusión. Al conectarse al sistema eléctrico, el sistema de trituración reduce las botellas PET a gránulos de 5 mm de diámetro, mientras que el sistema de extrusión genera una temperatura de 250 °C, permitiendo la transformación del plástico PET en un fluido apto para convertirse en filamento mediante un tornillo. La estructura del dispositivo se ha detallado, dividiendo los componentes por

sistemas y presentando. Además, se llevaron a cabo pruebas y simulaciones, demostrando la eficacia y viabilidad de componentes críticos como la tolva, cuchillas, eje, tornillo y barril, así como del sistema eléctrico en su conjunto. Estas evaluaciones aseguran la capacidad del dispositivo para cumplir con su función de producir filamentos PET para su aplicación en impresoras 3D, respaldando su diseño y rendimiento.

7. El análisis económico del proyecto revela que la fabricación y comercialización del dispositivo de producción de filamento PET es viable y rentable. Con un costo total de construcción de S/1,762.50, y un precio de venta final de S/3,000, el dispositivo genera una ganancia significativa de S/937.86 por unidad. Además, los costos operativos para la producción de 1 kg de filamento PET son de S/27.75, lo que permite un margen de utilidad del 35 % cuando se vende a S/50 por kilogramo, un precio competitivo frente a los S/60 por kg del filamento PETG en el mercado.

RECOMENDACIONES

1. Dada la implementación del dispositivo para la producción de filamentos a partir de botellas PET recicladas, se recomienda continuar con pruebas y monitoreo continuo para evaluar su rendimiento a largo plazo. Además, se sugiere explorar oportunidades para optimizar el diseño y la eficiencia del dispositivo en futuras iteraciones, considerando avances tecnológicos y retroalimentación de usuarios.
2. Con la identificación de los componentes necesarios y la selección del diseño óptimo, se sugiere establecer un programa de mantenimiento regular para garantizar el funcionamiento óptimo del dispositivo a lo largo del tiempo. También, se recomienda mantenerse informado sobre nuevas tecnologías y materiales que puedan mejorar aún más la eficiencia y la sostenibilidad del dispositivo.
3. Dada la importancia de forjar relaciones con recolectores de desechos, se recomienda establecer acuerdos formales y sostenibles con estos socios. Esto puede incluir la implementación de incentivos para recolectores, asegurando una fuente continua de botellas PET y fortaleciendo la cadena de suministro para garantizar la disponibilidad constante de materia prima.
4. Con la determinación de la cantidad de botellas necesarias para producir 1 kg de filamento, se sugiere establecer campañas de concientización pública para fomentar la recolección y entrega de botellas PET. La colaboración con comunidades locales, escuelas y empresas puede aumentar la participación y garantizar un suministro constante de material reciclado.
5. Para optimizar los procesos identificados en la transformación de botellas PET en filamentos, se recomienda realizar auditorías periódicas para evaluar la eficiencia y la rentabilidad del proceso. Además, se sugiere investigar continuamente nuevas tecnologías y métodos que puedan mejorar la sostenibilidad y reducir los costos operativos.
6. Considerando la eficacia y viabilidad de los componentes críticos del dispositivo, se recomienda documentar y compartir las mejores prácticas para el ensamblado y mantenimiento del equipo. Asimismo, se sugiere ofrecer capacitación a operadores y técnicos para asegurar un uso adecuado del dispositivo y prevenir posibles problemas operativos.
7. Dado que el mercado actual ofrece filamento PETG a un precio de S/60 por kg, y considerando que el proyecto puede ofrecer un producto a un precio competitivo de S/50 por kg, se recomienda enfocar la estrategia de comercialización en destacar el valor añadido del producto, como su origen,

reciclado y la sostenibilidad del proceso. Además, sería beneficioso realizar un estudio de mercado más detallado para identificar nichos específicos que valoren la sostenibilidad y estén dispuestos a pagar un precio *premium* por productos ecológicos. La introducción de un producto con un precio competitivo y un enfoque en la sostenibilidad podría atraer a un segmento creciente de consumidores conscientes de la necesidad de proteger el medio ambiente.

TRABAJOS FUTUROS

1. Evaluación del rendimiento:

Realizar una evaluación exhaustiva del rendimiento del dispositivo. Compara los resultados obtenidos con los objetivos establecidos en la fase inicial y analiza cualquier desviación.

2. Feedback del usuario:

Recopilar feedback de los usuarios. Sus comentarios pueden revelar aspectos que no se consideraron durante el diseño inicial.

3. Optimización de consumo de energía:

Trabajar en la optimización del consumo de energía. Esto puede extender la vida útil de las baterías y hacer que el dispositivo sea más eficiente.

4. Mejoras en el diseño:

Considerar mejoras en el diseño que podrían aumentar la eficiencia, la durabilidad o la facilidad de uso del dispositivo. Pueden surgir oportunidades para reducir costos o mejorar la estética.

5. Seguridad continua:

Mantener un enfoque constante en la seguridad. Realiza revisiones periódicas para identificar posibles vulnerabilidades y aplica medidas correctivas.

6. Análisis de costos:

Evaluar el rendimiento en relación con el costo. Puede haber oportunidades para reducir costos sin comprometer la calidad del dispositivo.

7. Documentación de mejoras:

Documentar todas las mejoras y cambios realizados después de la construcción. Esto es valioso, tanto para tu propio conocimiento como para futuros usuarios o desarrolladores.

8. Capacitación del usuario:

Proporcionar capacitación adicional a los usuarios para aprovechar al máximo las capacidades del dispositivo.

9. Considera aspectos éticos:

Evaluar cualquier impacto ético del uso del dispositivo y ajusta su diseño o funcionalidad según sea necesario.

10. Exploración de nuevas aplicaciones:

Evaluar en nuevas aplicaciones o usos potenciales para el dispositivo. Esto podría abrir oportunidades para expandir su alcance y utilidad.

11. Participación en comunidades científicas:

Compartir los resultados y aprendizajes en comunidades científicas relevantes. Esto puede generar interés y retroalimentación valiosa de la comunidad científica.

12. Preparación para el escalamiento:

Realizar planes para escalar la producción o implementar el dispositivo en mayor escala, asegurarse de que esté listo para enfrentar los desafíos asociados con el escalamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **911METALLURGIST.** Triturador de hojas. 2021. <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/molino-de-cuchillas-rotatorio/>.
2. **ACEROSCOL.** SAE1010. 2020. <https://www.aceroscol.com/wp-content/uploads/2018/03/SAE-1010.pdf>.
3. **AGENCIA** de Protección Ambiental de Los Estados Unidos de América (EPA). Cómo manejar sus residuos peligrosos: Una Guía para la pequeña empresa. 2019. [en línea]. S.l.: [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-02/documents/spanish_small_business_guide_.pdf.
4. **AKYGA.** Ventilador 120mm 3-pin negro AW-12B-BK. 2022. <https://es.akyga.com/productos/438-ventilador-120mm-3-pin-negro-aw-12b-bk.html>.
5. **ALCION.** Botellas PET: qué son y cuáles son sus beneficios. 2021. <https://alcion.com/botellas-pet-que-son-y-cuales-son-sus-beneficios/>.
6. **ALIEXPRESS.** Motor de Control de velocidad. 2022
7. **ALIEXPRESS.** GTRIC sensores fotoeléctricos. 2023d.
8. **ALIEXPRESS.** Controlador de temperatura PID REX-C100. 2023c.
9. **ALIEXPRESS.** Calentador de bobina de banda de Mica de cobre. 2023b.
10. **ALIEXPRESS,** Caja de engranajes de alto par, Motor eléctrico JGB37-520. 2023a
11. **ARISTIZÁBAL-ALZATE C., GONZÁLEZ-MANOSALVA J. y GUTIÉRREZ-CANO J.** Análisis del ciclo de vida y cálculo de la huella de Carbono para un proceso de reciclaje de botellas PET en Medellín (ANT). Producción + Limpia. 2020, Vol. 15, n.º. 1, ISSN 2323-0703. DOI 10.22507/pml.v15n1a1.
12. **AVELLANEDA** Electricidad e iluminación, 2020. Llave Termica Bipolar 2x25 25a Schneider Easy9 Nf. https://www.electricidadavellaneda.com.ar/MLA-854079787-llave-termica-bipolar-2x25-25a-schneider-easy9-nf-_JM.
13. **BLANCH, E. y ESPINEL, J.** Modelado digital e impresión 3D de relieves y las posibilidades de implementación en la formación de artistas. Arte, Individuo y Sociedad. 2022, Vol. 34, n.º. 4, ISSN 1988-2408. DOI 10.5209/aris.82655.
14. **CARRILLO, D. 2020.** Los efectos del Covid-19 en el reciclaje de plástico PET en La Molina [en línea]. Trabajo de Investigación (Bachiller en Negocios Internacionales). Lima: Universidad San Ignacio de Loyola. 2020. [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14005/11199>.
15. **CHUMPITAZ, L. y MILLA, C.** 2020. Estudio de métodos en el proceso de reciclaje de botellas PET para las municipalidades de Lima y Callao. Tesis (Bachiller en Ingeniería Industrial) Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2020. 55 pp. [en línea],

[consulta: 14 enero 2024]. Disponible en:
<https://hdl.handle.net/20.500.12867/3582>.

16. **CUTIPA, O. y RODRÍGUEZ, E.** Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental Arequipa-2020. Tesis (Bachiller en Ingeniería Mecánica) Arequipa: Universidad Continental, 2020b. 147 pp. [en línea], [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9058>.
17. **CUTIPA, O y RODRÍGUEZ, E.** Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental Arequipa-2020. Tesis (Bachiller en Ingeniería Mecánica) Arequipa: Universidad Continental, 2020a, 147 pp. [en línea], [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9058>.
18. **DASWELL.** Trituradora de Impacto. 2013. <https://daswell.com/es/crusher-machine/impact-crusher/>.
19. **DEKOUPI.** Acerca de la impresión 3D. 2019. <https://www.dekoup.com/es-zo/pages/uber-3d-druck-la-impresion-3d>.
20. **DIGITAL3D.** Filamento 3D PETG 1.75mm 1Kg Esun. 2024. <https://www.digital3d.com/product-page/petg-1-75mm-1kg-esun>.
21. **DOMÍNGUEZ, M.** Las Fallas generan a València 1.000 millones de euros de impacto económico. Levante EMV. 2023 <https://www.levante-emv.com/fallas/2023/09/28/impacto-economico-fallas-superara-1-92616370.html>.
22. **ECOEMBES.** ¿Qué es exactamente el PET? 2021. <https://reducereutilizarecicla.org/que-es-exactamente-el-pet/>.
23. **ELECTROTEC.** Tipos de cables que usamos en una instalación eléctrica. 2019. <https://electrotec.pe/blog/TiposDeCables>.
24. **ELKAY.** Estudio sobre las botellas de pet y su impacto negativo en la naturaleza. [en línea]. 2019. S.l.: [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: https://latam.elkay.com/content/dam/intllatam/extra/literature/caso-de-estudios/F-4787S_Caso_de_estudio_Botellas_PET.pdf.
25. **ESPERT, A.** EXTRUSIÓN: Informe de vigilancia Tecnológica 2011. AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico. 2011. https://www.observatorioplastico.com/ficheros/publicaciones/126155748IT-19_Extrusion_version_web.pdf [en línea], [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: https://www.observatorioplastico.com/ficheros/publicaciones/126155748IT-19_Extrusion_version_web.pdf.
26. **ETSIST.** Motor eléctrico. 2011. <https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/tecnologias/item/527-motor-el%C3%A9ctrico.html>.

27. **FRISANCHO, J.** Inversión de S/ 2 millones incrementará 8 veces la producción de planta recicladora de Yanahuara. El Buho, Arequipa, 5 de junio de 2023. <https://elbuho.pe/2023/06/arequipa-inversion-de-s-2-millones-incrementara-8-veces-la-produccion-de-planta-recicladora-de-yanahuara/#:~:text=La%20planta%20recicladora%20de%20Yanahuara,se%20convierten%20en%20nuevos%20pl%C3%A1sticos.>
28. **FILAMENT2PRINT.** Ideas para reutilizar las bobinas de filamento vacías. 2019. https://filament2print.com/es/blog/54_reutilizar-bobinas-filamento-vacias.html.
29. **FLORES VIZARRETA, C.** Gestión familiar de residuos sólidos y su implicancia en la generación de ingresos económicos de recicladores del distrito de Paucarpata, 2018 [en línea]. Tesis (Título Profesional de Economista) Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2018, 136 pp. [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7649>.
30. **GUTIÉRREZ, C. y VARGAS, L.** Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir de material plástico. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Riobamba: Escuela Superior Técnica de Chimborazo. 2017, 138 pp. [en línea], [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7922>.
31. **HERNÁNDEZ R., FERNÁNDEZ C. y BAPTISTA P.** *Metodología de la investigación*. 2014. McGraw – Hill/ Interamericana Editores, S. A. DE C. V. [en línea]. S.l.: [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>.
32. **HORCASITAS-POUS, R. y GONZÁLEZ, A.** La importancia de la creación de un modelo de hueso temporal en impresora 3D para el laboratorio de fresado. Revisión de casos recreados. Anales de Otorrinolaringología Mexicana. 2020, Vol. 65, n.º 4 [en línea]. [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/anaotomex/aom-2020/aom204h.pdf>.
33. **INDUCOM.** Motor eléctrico monofásico IE2. 2020. <https://inducocom.pe/producto/motor-electrico-monofasico-ie2/>.
34. **INTERNACO.** Qué es una máquina trituradora, para qué sirve y ejemplos de trituradoras. 2022b. <https://internacomedioambiente.es/noticias/que-es-una-maquina-trituradora-para-que-sirve-y-ejemplos-de-trituradoras/>.
35. **INTERNACO.** Qué es una trituradora PET y cómo funciona. 2022a. <https://internacomedioambiente.es/noticias/que-es-una-trituradora-pet-y-como-funciona/>.
36. **ITALESMEX.** Tipos de trituradoras para un reciclaje óptimo. 2018 <https://italesmex.com/tipos-de-trituradoras-reciclaje-optimo/>.
37. **LARA, J.** Polyformer convierte el plástico en hilo para impresoras 3D. 2022b. <https://www.neo2.com/iqos-iluma-oasis/>.

38. **LARA, J.** Polyformer convierte el plástico en hilo para impresoras 3D. 2022a. <https://www.neo2.com/iqos-iluma-oasis/>.
39. **LA CAMARA. Revista Digital de la Cámara de Comercio de Lima.** INEI: Desempleo a nivel nacional se ubicó en 4,7% en 2022. 22 de junio de 2023. [https://lacamara.pe/inei-desempleo-a-nivel-nacional-se-ubico-en-47-en-2022/#:~:text=Le%20sigue%2C%20Moquegua%20\(7%2C,Ucayali%20\(2%2C0%25\).](https://lacamara.pe/inei-desempleo-a-nivel-nacional-se-ubico-en-47-en-2022/#:~:text=Le%20sigue%2C%20Moquegua%20(7%2C,Ucayali%20(2%2C0%25).)
40. **LIZCANO, V. y GUERRERO, D.** Análisis del Tereftalato de Polietileno (Plástico PET) en tuberías hidráulicas domésticas bajo diversos régimen de flujo. Tesis (Título de Ingeniero Civil) Barranquilla: Universidad de la Costa, 2020. 100 pp. [en línea]. [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/8472/An%C3%A1lisis%20del%20tereftalato%20de%20polietileno%20%28pl%C3%A1stico%20PET%29%20en%20tuber%C3%ADas%20hidr%C3%A1ulicas%20dom%C3%A9sticas%20bajo%20diversos%20r%C3%A9gimen%20de%20flujo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
41. **LUCÍA C.** Impresión 3D y la ecología: 12 iniciativas que cambiaran el mundo. 3Dnatives, el sitio web de la impresión 3D. 2019. <https://www.3dnatives.com/es/top-10-de-iniciativas-que-combinan-la-impresion-3d-y-la-ecologia-19012016/>.
42. **MACHACA, I.** Ahogados en basura: La insostenible situación de los botaderos en Arequipa. El búho, Arequipa. 20 de agosto de 2023. <https://elbuho.pe/2023/08/ahogados-en-basura-la-insostenible-situacion-de-los-botaderos-en-el-sur-peruano/>.
43. **MESA, N.** La impresión 3d como herramienta para el desarrollo de medicamentos personalizados. Trabajo de Fin de Grado (Grado en Farmacia) Sevilla: Universidad de Sevilla. 2021. [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD DE SEVILLA. [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/133035/MESA%20RODRIGUEZ%20NAZARET.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
44. **MINISTERIO del Ambiente.** Informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales en el Perú gestión 2012. 2012. [en línea]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/residuos>.
45. **MIÑO, R. y MOLINA, R.** Estudio de mercado para determinar la producción y comercialización de filamentos para impresión 3D a base de Polietileno Tereftalato (PET) en la ciudad de Guayaquil. Tesis (Título de Ingeniero en Negocios Internacionales) Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2019, 87 pp. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52960/1/T-111214.pdf>
46. **MONCADA, J. y VELASQUEZ, M.** Diseño de un sistema integrado para la producción de filamento para impresora 3D de calidad comercial a partir de plástico reciclado. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista) Trujillo: Universidad César Vallejo. 2021, 105 pp. [en línea], [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65027>.

47. **NIKAM M., PAWAR P., PATI, A., PATIL A., MOKAL K. y JADHAV S.** Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic. *Materials Today: Proceedings*. 2023. ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2023.08.205.
48. **ORGANIZACIÓN de las Naciones Unidas (ONU).** Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente. Programa para el medioambiente. 2021. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>.
49. **OQUENDO FERRER H., RODRÍGUEZ MONTESDEOCA M., CRESPO ZAFRA L. y MATOS MOSQUEDA L.** Mejoras en la eficiencia de los procesos a partir de la definición de las competencias laborales. *TAYACAJA*, 2019., Vol. 2, n.º. 1, ISSN 2617-9156. DOI 10.46908/rict.v2i1.40.
50. **OTERO-ORTEGA, A.** *Enfoques de investigación*. Researchgate. 2018. [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION/citation/download.
51. **PATIÑO, B.** Fábrica de ladrillos plásticos en base a residuos PET para la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Tesis (Título Profesional de Arquitecta) Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2020, 155 pp. [en línea] [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11780>.
52. **PAZ, M.** Reciclado de PET a partir de botellas post consumo. Tesis (Título de Ingeniero Industrial) Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2016. 190 pp. [en línea], [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11086/5567>.
53. **PECORINI, T. J. y HERTZBERG, R. W.** The fracture toughness and fatigue crack propagation behaviour of annealed PET. *POLYMER*, 1993, Vol. 34, n.º 24. [en línea]. [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://cpm.kpi.ua/polymer/1993/24/5053-5062.pdf>.
54. **PROTOLABS Manufacturing Accelerated.** Moldeo por Inyección de Plásticos. 2021. <https://www.protolabs.com/es-es/servicios/moldeo-por-inyeccion/moldeo-por-inyeccion-de-plasticos/>.
55. **PULECIO LEÓN, G.** Estudio de factibilidad de la producción de filamento para la impresión 3D, a partir de botellas (PET) recicladas en Uniempresarial. 2019.
56. **PULECIO LEÓN, G.** Estudio de factibilidad de la producción de filamento para la impresión 3D, a partir de botellas (PET) recicladas en Uniempresarial. (Sin fecha).
57. **QUIROGA VERGEL A., CRUZ VILLABÓN Y., ROJAS SÁNCHEZ K., SALSARRIAGA PORRAS V. y GOMEZ VILLALOBOS I.** Obtención de filamentos de ABS mezclado con PLA, Almidón, Figue y PP para impresión 3D. *Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*. 2022. ISSN 2619-3973. DOI 10.23850/23899573.5355.

58. **RAMÍREZ DÍAZ, M., VALENCIA RÍOS J., MUÑOZ PORTILLA L., MONCAYO VELASCO J., NARVÁEZ J., BRAVO BOLAÑOS Y. y DÍAZ TORO, J.** desarrollo de un prototipo de máquina fabricadora de filamento para impresión 3d, mediante la reutilización de botellas de plástico PET. 2022, Vol. 6, n.º 2. [en línea]. Disponible en: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/conciencia/article/view/5019>
59. **RECYTRANS Soluciones Globales para el reciclaje.** Trituración de plástico. 2015. <https://www.recytrans.com/blog/trituracion-de-plastico/>.
60. **RODRÍGUEZ, B. y CÓRDOVA, C.** Diseño de un prototipo de una máquina trituradora de plástico. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana. 2022. [en línea]. [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23933/1/UPS-GT004118.pdf>.
61. **RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, J. y REINECKE, H.** Plásticos de alto rendimiento para impresión 3D fabricación aditiva versus moldeo por inyección. Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros. 2020, Vol. 119, n.º 754
62. **SALAZAR A., VALERA B., DEL ROSARIO G. y FRANCIA J.** Modelo prolab: Kawsay, una propuesta para reutilizar el plástico PET generado por empresas industriales. Tesis (Grado de Magíster en Administración Estratégica de Empresas) Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2022. 109 pp. [en línea], [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/22762>.
63. **SENALES INDUSTRIALES.** Uso obligatorio (EPP). 2018. http://senalesindustriales.com/uso_obligatorio.html.
64. **SHIRAZIMOGHADDAM S., AMIN I., FARIA ALBANESE J.A. y SHIJU N.R.** Chemical Recycling of Used PET by Glycolysis Using Niobia-Based Catalysts. ACS Engineering. 2023 Au, vol. 3, no. 1, ISSN 2694-2488. DOI 10.1021/acsengineeringau.2c00029.
65. **SOONG, Y.-H.V., SOBKOWICZ, M.J. y XIE, D.** Recent Advances in Biological Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Wastes. Bioengineering. 2022, Vol. 9, n.º 3, ISSN 2306-5354. DOI 10.3390/bioengineering9030098.
66. **SORA, R.** Estudios realizados sobre procesos de transformación de residuos plásticos en el Municipio de Boyacá, Departamento de Boyacá a partir de la producción de postes de plástico residual. Tesis (Magíster en Proyectos de Desarrollo Sostenible) Bogotá: Universidad EAN, 2020. 121 pp. [en línea], [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/10012/SoraRafel2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
67. **STRATASYS.** Tecnología FDM. 2022. [en línea]. [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://www.stratasys.com/mx/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/fdm-technology/>.
68. **TABLAS** Coeficiente de Conveccion. SCRIBD. 2020. <https://es.scribd.com/document/464532211/TABLAS-COEFICIENTE-DE-CONVECCION>.

69. **TACO, V., GONZALES, O. y BONIFAZ, P.** Diseño y construcción de una máquina trituradora y granuladora de plástico de baja densidad como una herramienta de reciclaje. *Ecuadorian Science Journal*. 2021, Vol. 5, n.º 3, ISSN 2602-8077. DOI 10.46480/esj.5.3.143.
70. **TECNOLOGIA DEL PLASTICO.** 30 años de innovación en extrusión. 2015. <https://www.plastico.com/es/noticias/30-anos-de-innovacion-en-extrusion>.
71. **VALAREZO, M. y RUIZ, L.** El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular. *CEDAMAZ*. 2022, Vol. 12, n.º 2, ISSN 1390-5902. DOI 10.54753/cedamaz.v12i2.1265.
72. **VEILLON LÓPEZ, C.** Diseño prototipo de máquina recicladora de residuos de impresora 3d para plásticos PLA y ABS. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico) Tarapacá: Universidad de Tarapacá, 2020. [en línea]. S.l.: [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uta.cl/xmlui/bitstream/handle/20.500.14396/829/79560-Veill%c3%b3n%20Claudio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
73. **VILLAFAÑE, I.** Análisis mecánico del material polimérico PET proveniente de botellas de plástico. Tesis (Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales) Valladolid: Universidad de Valladolid, 2018. 97 pp. [en línea], [consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/30144>.
74. **ZILERI, M.** El planeta en sus manos – y el plástico. *Revista Caretas*. 2020. <https://caretas.pe/medio-ambiente/el-planeta-en-sus-manos-y-el-plastico/>.

ANEXOS

ANEXO 1

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Metodología	Técnicas e instrumentos
<p>Problema General</p> <p>¿Cómo diseñar un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D AREQUIPA 2023?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Diseñar un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D AREQUIPA 2023</p>	<p>Enfoque de la Investigación</p> <p>Enfoque mixto que integra métodos cuantitativos y cualitativos para abordar la problemática de manera integral.</p>	<p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de contenido • Simulación • Observación <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Operación de procesos
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la cantidad de botellas PET desechadas en AREQUIPA 2023? • ¿Cuáles serán los requerimientos 	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la cantidad de botellas PET desechadas en AREQUIPA 2023 • Determinar los requerimientos necesarios para el 	<p>Diseño de la investigación</p> <p>No experimental, basado en la observación y análisis de datos existentes sobre reciclaje y reutilización de plástico PET.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cuadros estadísticos • Análisis de procesos • Software: Autodesk inventor

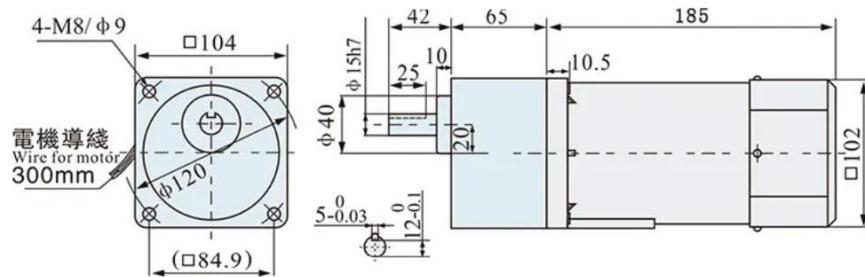
<p>necesarios para el diseño un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D AREQUIPA 2023?</p>	<p>diseño un dispositivo de producción de filamentos para impresiones 3D</p>		
<p>¿Cuáles serán los procesos involucrados para transformar botellas PET en filamentos para impresiones 3D?</p>	<p>Determinar los procesos involucrados para transformar botellas PET en filamentos para impresiones 3D.</p>	<p>Alcance de la Investigación</p>	
<p>¿Cuál será el impacto económico de utilizar los filamentos producidos a partir de botellas de plástico PET para impresiones 3D AREQUIPA 2023?</p>	<p>Determinar el impacto económico de utilizar filamentos producidos a partir de botellas de plástico PET para impresiones 3D AREQUIPA 2023</p>	<p>Describir rasgos y características del fenómeno estudiado, comprendiendo su alcance, magnitud y contexto. Facilitar una comprensión más profunda del uso del PET como filamento en la impresión 3D.</p>	

ANEXO 2

Motor eléctrico

180W-200W-250W geared motor

減速參數 Geared-down parameter	同步轉速r/mn Synchronous speed	500 300 200 150 120 100 85 75 60 50 40 37 30 25 20 15 12 10 8 7 6																							
		減速比i ratio																							
最大允許負載 Max allowable load	200W	kg.cm	39.4	66	89.8	119	149	180	214	239	299	358	392	435											440
		N.m	3.86	6.44	8.8	11.7	14.5	17.6	21.0	23.4	29.3	35.1	38.4	42.6											43
	250W	kg.cm	49.3	82.1	112	149	186	224	268	298	375	438											440		
		N.m	4.83	8.1	11	14.6	18.3	22	26.4	29.3	36.6	43											43		



結構：減速器+電動機
重量：6.6kg
減速比：1:3-1:250

Structure: Reducer+Electric motor
Weight: 6.6kg
Speed Reducing Ratio : 1:3-1:250

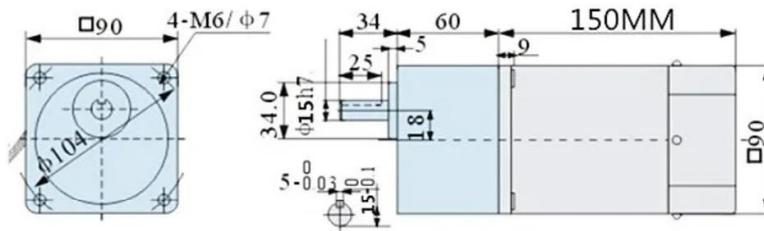


ANEXO 3

Motor eléctrico

90W-120W geared motor

減速參數 Geared-down parameter	同步轉速r/min Synchronous speed	500	300	250	200	150	120	100	75	60	50	45	37.5	30	25	20	15	12.5	10	8	7.5	6	5	3	
	減速比i ratio	3	5	6	7.5	10	12.5	15	20	25	30	36	40	50	60	75	100	120	150	180	200	250	300	500	
允許負載 Max allowable load	90W	kg.cm N.m	15.7 1.54	26.5 2.6	31.5 3.1	39.4 3.86	52.5 5.15	65.7 6.44	71 6.96	94.6 9.28	118 11.6	141 13.9	170 16.7	189 18.5											200 19.6
	120W	kg.cm N.m	21.5 2.11	36 3.52	42 4.13	54 5.28	70 6.88	87.5 8.59	98 9.6	126 12.4	148 14.5	189 18.5											200 19.6		



結構：減速器+電動機+調速器
重量：4.5kg
減速比：1:3-1:500

Structure: Reducer+Electric motor+Speed governor
Weight: 4.5kg
Speed Reducing Ratio : 1:3-1:500



ANEXO 4

Plancha de cero ASTM A36. Aceros Arequipa

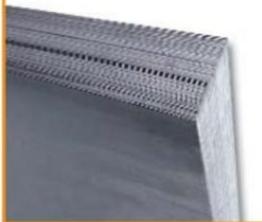


productos planos

Son comercializados con la garantía de Corporación Aceros Arequipa y bajo un estricto cumplimiento de las Normas ISO 9000.

PLANCHAS Y BOBINAS LAMINADAS EN CALIENTE

Planchas Delgadas LAC



Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación, de espesores menores que 4.75 mm.

DIMENSIONES NOMINALES (1)	
Calidad Comercial PDLAC 1011 TB (mm)	Calidad Estructural PDLAC A36 (mm)
1.8 x 1,000 x 2,400	3.0 x 1,500 x 6,000
1.9 x 1,000 x 2,400	4.0 x 1,500 x 6,000
2.0 x 1,100 x 2,400	4.5 x 1,200 x 2,400
2.0 x 1,200 x 2,400	4.5 x 1,200 x 6,000
2.2 x 1,200 x 2,400	4.5 x 1,500 x 6,000
2.3 x 1,200 x 2,400	
2.4 x 1,200 x 2,400	
2.5 x 1,200 x 2,400	
2.8 x 1,200 x 2,400	
2.9 x 1,200 x 2,400	
3.0 x 1,200 x 2,400	
4.0 x 1,200 x 2,400	
4.4 x 1,200 x 2,400	

NORMAS TÉCNICAS:

Comercial : ASTM A1011 TB
Estructural : ASTM A36

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Comercial:
Límite de Fluencia mínimo = 2,110 - 3,510 kg/cm² (*)
Alargamiento en 50 mm = 25.0 % mínimo (*)
Doblado = a 180°

Estructural
Límite de Fluencia mínimo = 2,550 kg/cm² (*)
Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,610 kg/cm²
Alargamiento en 50 mm = 20.0 % mínimo
Doblado = a 180° (opcional).
Diámetro Pin = 3e. Sentido Laminación

(*) Referencial

(1) Previa consulta y a pedido, también se suministra en otras longitudes.

USOS:

Construcción de silos, embarcaciones pesqueras, vagones, estructuras y usos en general.

ANEXO 5

Barras hexagonales SAE 1045. Aceros Arequipa



BARRAS HEXAGONALES

CALIDAD: SAE 1045

DENOMINACIÓN:
HEXAGONO SAE 1045

DESCRIPCIÓN:
Producto laminado en caliente de sección hexagonal y de superficie lisa.

USOS:
Para la fabricación de productos forjados, como tuercas hexagonales y otros.

NORMAS TÉCNICAS:

- Composición Química: SAE J403
- Tolerancia Dimensional: Según ASTM A6/A06M
- Calidad Superficial: JIS G 3108

PRESENTACIÓN:
Se produce en barras de 6 metros de longitud. Se suministran en paquetes de 2 TM, formadas por paquetes de 1 TM c/u.

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

DIMENSIONES Pulg.	PESO NOMINAL	
	Kg/m	Kg/6m
1" x 6 m	4.386	26.316
1 1/8" x 6 m	5.550	33.30
1 1/4" x 6 m	6.854	41.124

COMPOSICIÓN QUÍMICA EN CUCHARA (%):

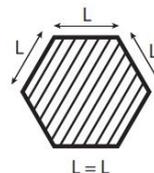
NORMA	%C máx	%Mn	%P máx	%S máx
SAE 1045	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	0.030	0.050

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS:

CALIDAD	LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/cm ²)	ALARGAMIENTO EN 200 mm, (%)
SAE1045	4,000 - 5,500	6,700 - 8,200	12.0

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS:

NORMA TÉCNICA	DIMENSIÓN NOMINAL (D)	DISTANCIA ENTRE CARAS (mm)			FUERA DE SECCIÓN (ΔD - mm), Máx	FLECHA (f - mm/m)	LONGITUD (L - mm)
		nominal	mínima	máxima			
ASTM A6	1"	25.40	25.15	25.65	0.38	4.16	6.00 / 6.05
	1 1/8"	28.58	28.25	29.11	0.63		
	1 1/4"	31.75	31.42	32.28			



IDENTIFICACIÓN:

Los paquetes serán identificados con tarjetas metálicas, consignando: Producto, Norma, N° de Colada y N° de paquete. Las barras son identificadas con marcas estampadas que indican el fabricante, las dimensiones nominales y la cantidad según el siguiente esquema:



CFDM014DM / 02 / AGO 14



CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A.

LIMA: Av. Enrique Meiggs 297, Parque Internacional de la Industria y Comercio Lima y Callao - Callao 3-Perú. Tlf: (51) (1) 517-1800 / Fax Central (51) (1) 452-0059.

AREQUIPA: Calle Jacinto Ibáñez 111, Parque Industrial. Arequipa - Perú. Tlf:(51) (54) 23-2430 / Fax. (51)(54) 21-9796.

PISCO: Panamericana Sur Km.240. Ica - Perú. Tlf. (51) (56) 53 - 2967, (51)(56) 53-2969 / Fax. (51)(56) 53-2971.

www.acerosarequipa.com

Encuétranos en:



ANEXO 6

Barras redondas SAE 1045. Aceros Arequipa

Barras Redondas Lisas y Pulidas

CALIDADES: ASTM A36 Y SAE1045

DENOMINACIONES:

REDO LISO A36; REDO LISO SAE1045.
REDO PULI A36; REDO PULI SAE1045.

DESCRIPCIÓN:

Producto laminado en caliente de sección circular, de superficie lisa y pulida (según requerimiento).

USOS:

CALIDAD	USOS
ASTM A36	Estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, cercos, barras de transferencia para pavimento rígido, etc. También para recalado y mecanizado.
SAE 1045	Pernos y tuercas por recalado en caliente o mecanizado, ejes, pines, pasadores, etc.

NORMAS TÉCNICAS:

• Composición Química y Propiedades Mecánicas:
SAE J403 (1045), ASTM A36 / A36M, y NTP 350.400

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

• Barras de diámetros \leq a 1 1/8": ISO 1035/4 y NTP 241.105
• Barras de diámetros $>$ a 1 1/8": ASTM A6 y NTP 241.105

PRESENTACIÓN:

- Se comercializa en longitudes de 6 metros. En otras longitudes solo a pedido del cliente.
- Las barras de diámetros mayores a 1", son suministradas en estado laminado en caliente y posteriormente pulidas (según requerimiento del cliente).
- Se suministran en paquetes de 1 t.
- La calidad 1045 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color negro.
- La calidad A36 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color verde y la otra mitad con color negro.

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m:

REDO LISO:

DIÁMETRO NOMINAL (pulg.)	PESO MÉTRICO kg/m	PESO DE LA BARRA kg/6m
3/8	0.56	3.36
1/2	0.99	5.97
5/8	1.55	9.32
3/4	2.24	13.43
7/8	3.05	18.27

DIÁMETRO NOMINAL (pulg.)	PESO MÉTRICO kg/m	PESO DE LA BARRA kg/6m
1	3.98	23.87
1 1/4	6.22	37.29
1 3/8	7.52	45.12
2	15.91	95.46
2 1/4	20.14	120.82

REDO PULIDO:

DIÁMETRO NOMINAL (pulg.)	PESO MÉTRICO kg/m	PESO DE LA BARRA kg/6m
1 1/8	5.03	30.21
1 1/4	6.22	37.29
1 1/2	8.95	53.70
1 3/4	12.18	73.09
2	15.91	95.46
2 1/2	24.86	149.16

COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):

NORMA	%C máx.	% Mn	%Si máx.	%P máx.	%S máx.
ASTM A36	0.26	0.60 - 0.90 ^(*)	0.40.	0.04	0.05
SAE 1045	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	-	0.030	0.050

(*) Para diámetros mayores que 3/4".

PROPIEDADES MECÁNICAS:

NORMA	LÍMITE DE FLUENCIA MPa (kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN MPa (kg/cm ²)	ALARGAMIENTO EN 200 mm mín. (%)
ASTM A36	250 (2,530)	400 - 550 (4,080 - 5,620)	20.0
SAE 1045 ^(*)	390 - 540 (4,000 - 5,500)	650 - 800 (6,700 - 8,200)	12.0

(*) Valores Típicos

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Barras de diámetro $>$ 1" ASTM A 6/A 6M.

NORMA TÉCNICA	DIÁMETRO NOMINAL (d)	DIÁMETRO (d - mm)	OVALIZACIÓN (o - mm) máx.	DESVIACIÓN DE MÁXIMA DE RECTITUD (f - mm/m)	LONGITUD (L - mm) (*)
ASTM A6	1" < D \leq 1 1/8"	± 0.25	0.38	4.16	+ 50 - 0
	1 1/8" < D \leq 1 1/4"	± 0.28	0.41		
	1 1/4" < D \leq 1 3/8"	± 0.30	0.46		
	1 3/8" < D \leq 1 1/2"	± 0.36	0.53		
	1 1/2" < D \leq 2"	± 0.40	0.58		
	2" < D \leq 2 1/2"	+ 0.79/- 0.0	0.58		

QCQA01-F106/06/SEP 20 - QCQA01-F134/03/SEP 20

Previo acuerdo se comercializa en otras medidas.



ANEXO 7

Tubos ISO 65. Aceros Arequipa

Tubos ISO 65

STANDARD Y LIVIANOS

DENOMINACIÓN:

TN ISO 65 S, TN ISO 65 L, TG ISO 65 S, TG ISO 65 L.

DESCRIPCIÓN:

Tubo fabricado con acero de bajo carbono, utilizando el sistema de soldadura de resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

USOS:

Conducción de fluidos poco corrosivos, petróleo, gasolina, aceite, agua, vapor de agua, aire comprimido a media y baja presión.

NORMAS TÉCNICAS:

- Del Tubo: ISO 65.
- Del Acero: SAE 1010.
- Tolerancias dimensionales: ASTM A53/A53M.

PRESENTACIÓN:

Longitud de 6.4 m y acabado negro o galvanizado.
Extremos con rosca americana ANSI B1.20.1 tipo NPT.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

NORMA TÉCNICA		LÍMITE DE FLUENCIA mínimo	CARGA DE ROTURA MPa	ELONGACIÓN MÍNIMO %
DEL TUBO	DEL ACERO			
ISO 65	SAE 1010	-	*300	*25

(*) DIMENSIÓN Y TOLERANCIAS: De acuerdo al ASTM A53/A53 M
(**) ESPESOR, según Norma interna del fabricante.

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	SERIE I STANDARD		SERIE II STANDARD		DIÁMETRO EXTERIOR (mm)
		ESPESOR DE PARED (mm)	PESO TEÓRICO (kg/m)	ESPESOR DE PARED (mm)	PESO TEÓRICO (kg/m)	
1/2"	21.3	2.30	1.08	2.00	0.95	710
3/4"	26.9	2.30	1.39	**2.00	1.23	710
1"	33.7	2.90	2.20	2.60	1.98	710
1 1/4"	42.4	2.90	2.82	2.60	2.54	710
1 1/2"	48.3	2.90	3.24	**2.65	2.98	710
2"	60.3	3.20	4.49	2.90	4.08	710
*2 1/2"	73.0	3.20	5.73	**3.00	5.18	710
2 1/2"	76.3	3.20	5.73	3.20	5.71	710
3"	88.9	3.60	7.55	3.20	6.72	710
4"	114.3	4.00	10.80	3.60	9.75	710

TOLERANCIAS:

- Sobre el espesor nominal: 12.5 % Para los standard.
- Sobre el espesor nominal: 8.0 % Para los livianos.
- Sobre los diámetros, de acuerdo a Norma ISO 65.

LONGITUD:

6.4 metros.

EXTREMOS:

Con rosca americana ANSI B1.20.1

ACABADOS:

Negro aceitado o galvanizado.

QCQA01-F222/03/SEP 20

Previo acuerdo se comercializa en otras medidas.



ISO 9001 CERTIFICATE N° 57219
ISO 14001 CERTIFICATE N° 57220
ISO 45001 CERTIFICATE N° 57221

PERÚ

LIMA: Av. Antonio Miró Quesada N.° 425, piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

PISCO: Panamericana Sur, Km. 241, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

AREQUIPA: Variante de Uchumayo Km 5.5, Cerro Colorado, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

BOLIVIA

LA PAZ: Calle E - Lote 14, manzano A-08, Urbanización Cervecería Boliviana Nacional - Bellavista Viacha. Tel. (591) 7555819/77641658.

SANTA CRUZ: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, lote 4 - Warnes. Tel. (591) 7555819/77641656.

COCHABAMBA: Calle Tte. Monasterios S/N Zona la Maica - Cochabamba. Tel. (591) 7555819/69417963. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

COLOMBIA

CALI: Cra. 25, N.° 13-117, Yumbo, Parcelación Industrial la Y, Valle del Cauca-Colombia.

Tel. (57) 324 4214893.

E-mail: contactocolombia@acerosamerica.com

CHILE

ANTOFAGASTA: Ruta A-26 KM 2.4, El Salar. Tel.: (56) 939249279.

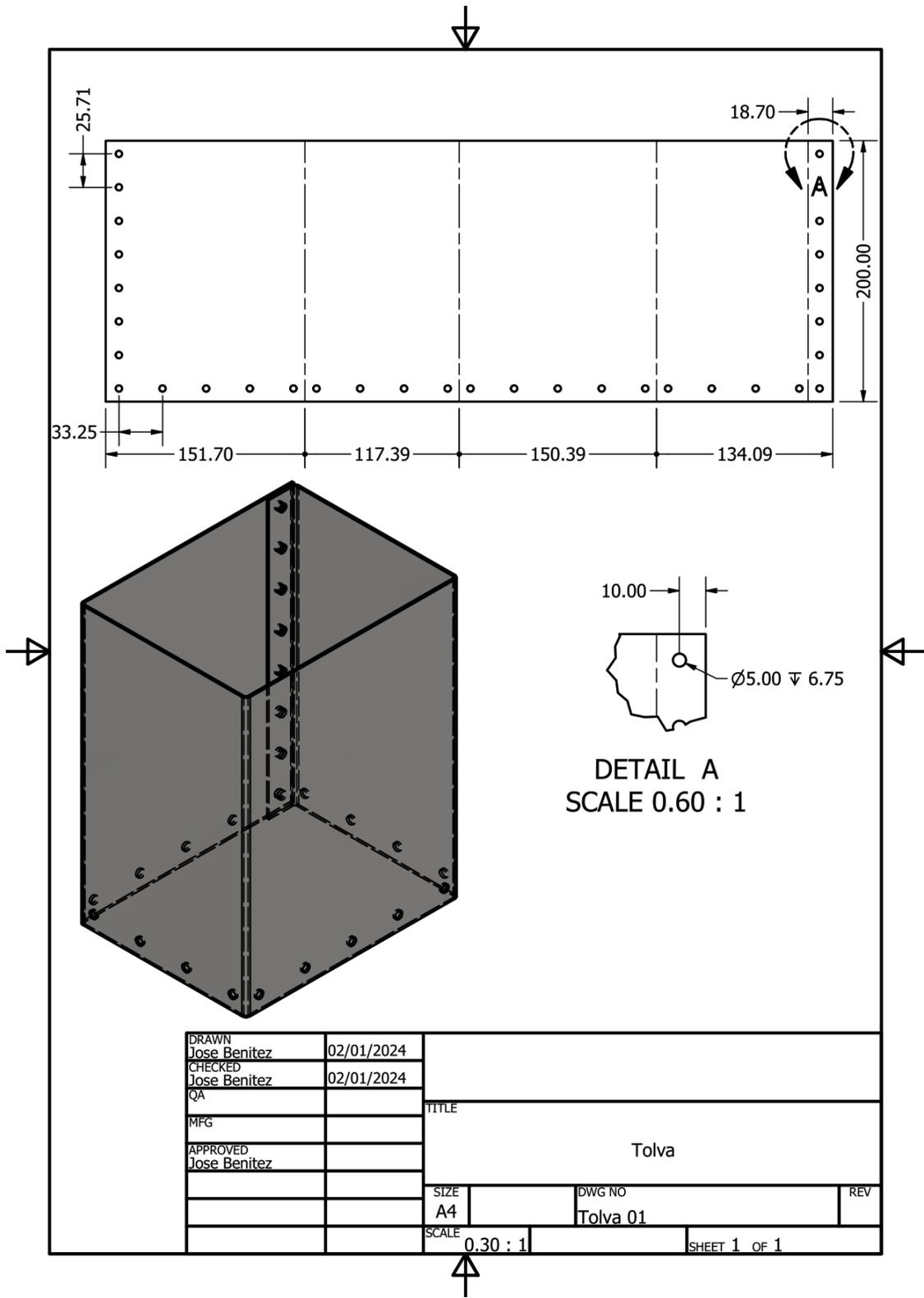
E-mail: contacto@acerosamerica.com

Encuétranos en: | www.acerosarequipa.com



ANEXO 8

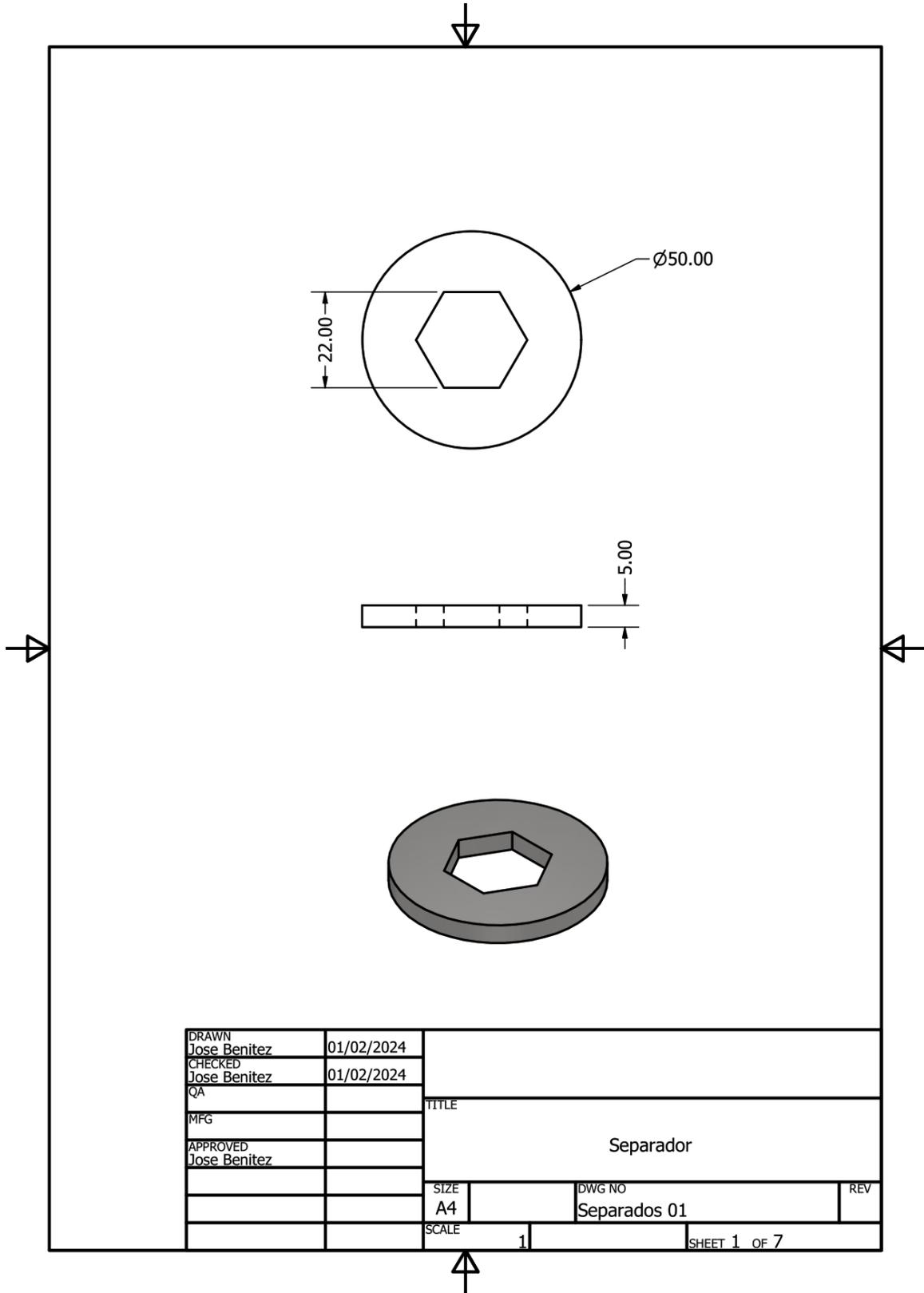
Tolva del triturador



DRAWN Jose Benitez	02/01/2024			
CHECKED Jose Benitez	02/01/2024			
QA		TITLE		
MFG		Tolva		
APPROVED Jose Benitez		SIZE A4	DWG NO Tolva 01	REV
		SCALE 0.30 : 1	SHEET 1 OF 1	

ANEXO 9

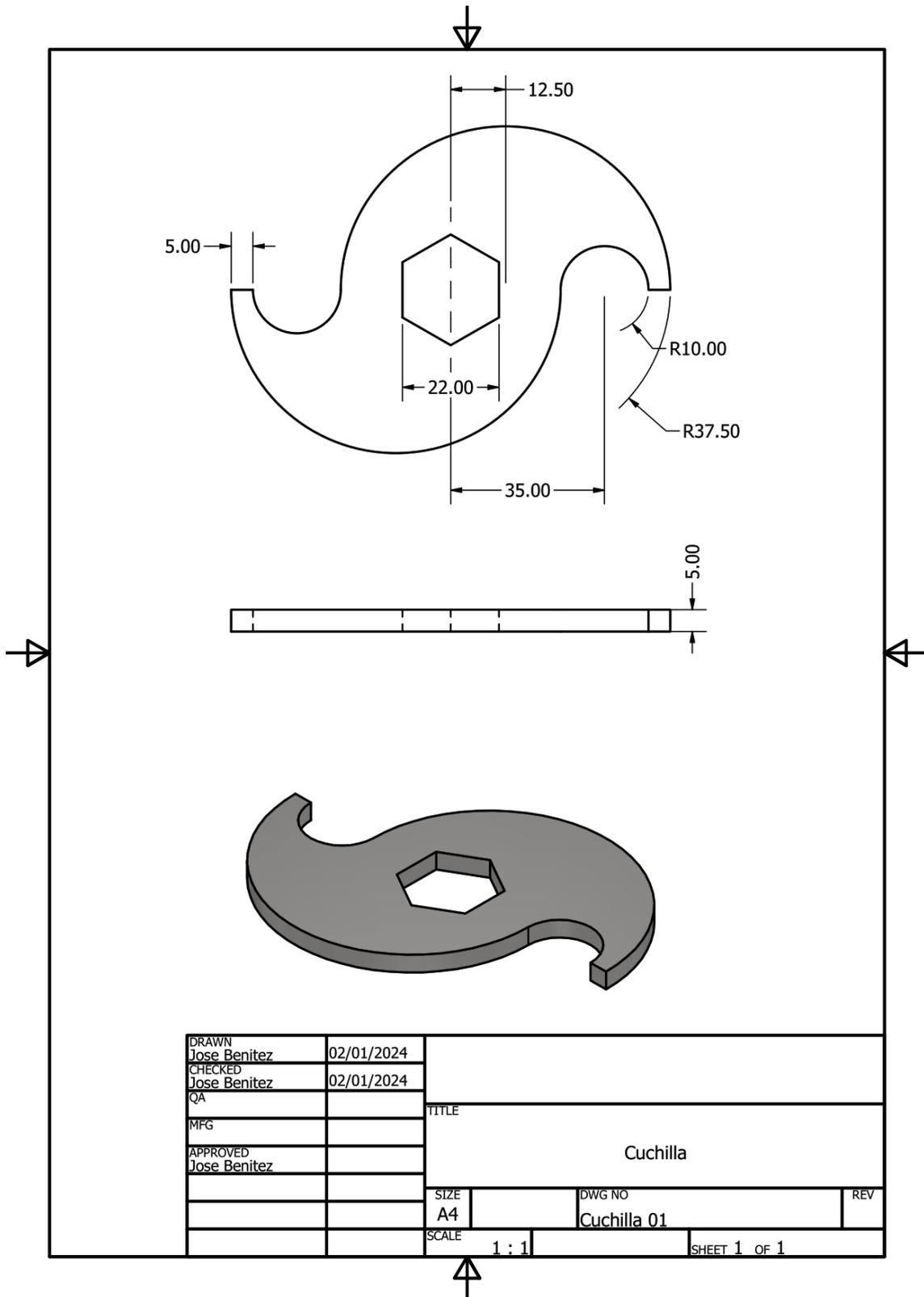
Espaciador



DRAWN Jose Benitez	01/02/2024	TITLE		
CHECKED Jose Benitez	01/02/2024			
QA		Separador		
MFG				
APPROVED Jose Benitez		SIZE A4	DWG NO Separados 01	REV
		SCALE 1	SHEET 1 OF 7	

ANEXO 10

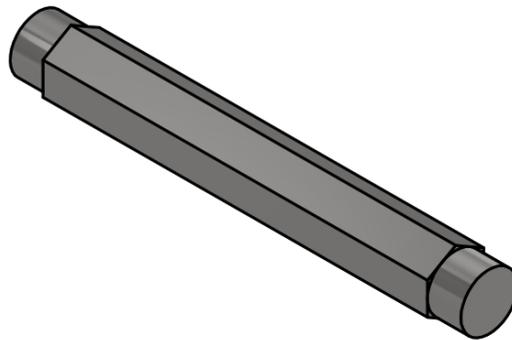
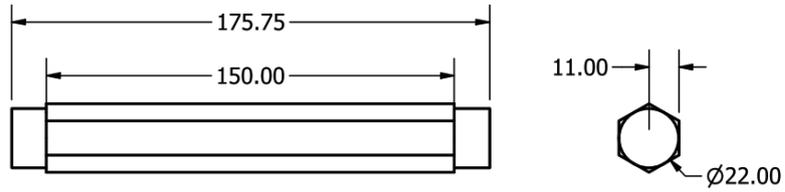
Cuchilla



DRAWN Jose Benitez	02/01/2024	TITLE Cuchilla		
CHECKED Jose Benitez	02/01/2024			
QA				
MFG				
APPROVED Jose Benitez		SIZE A4	DWG NO Cuchilla 01	REV
		SCALE 1 : 1	SHEET 1 OF 1	

ANEXO 11

Eje

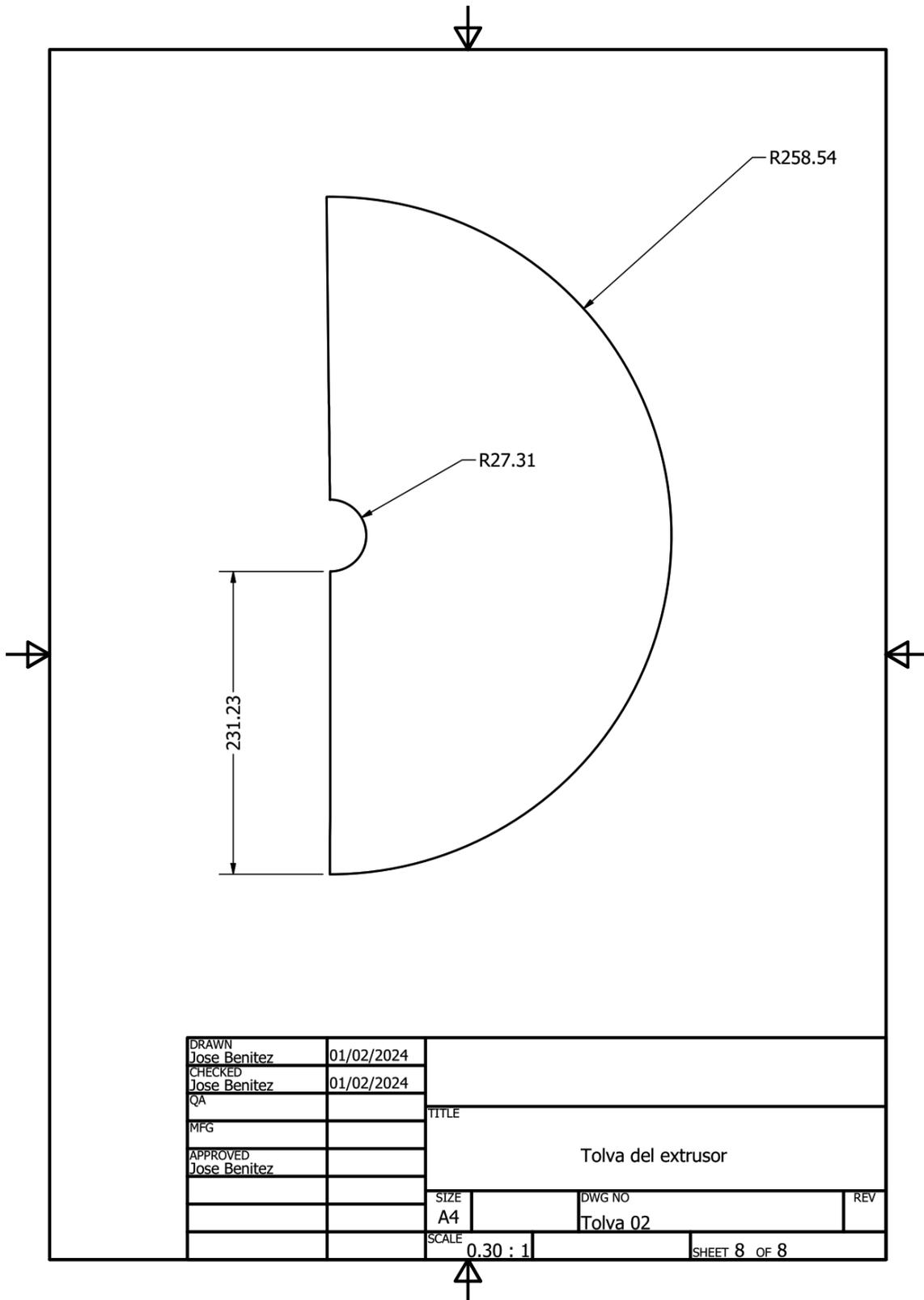


DRAWN Jose Benitez	01/02/2024	TITLE Eje		
CHECKED Jose Benitez	01/02/2024			
QA				
MFG				
APPROVED Jose Benitez		SIZE A4	DWG NO Eje 01	REV
		SCALE 1 / 2	SHEET 2 OF 7	



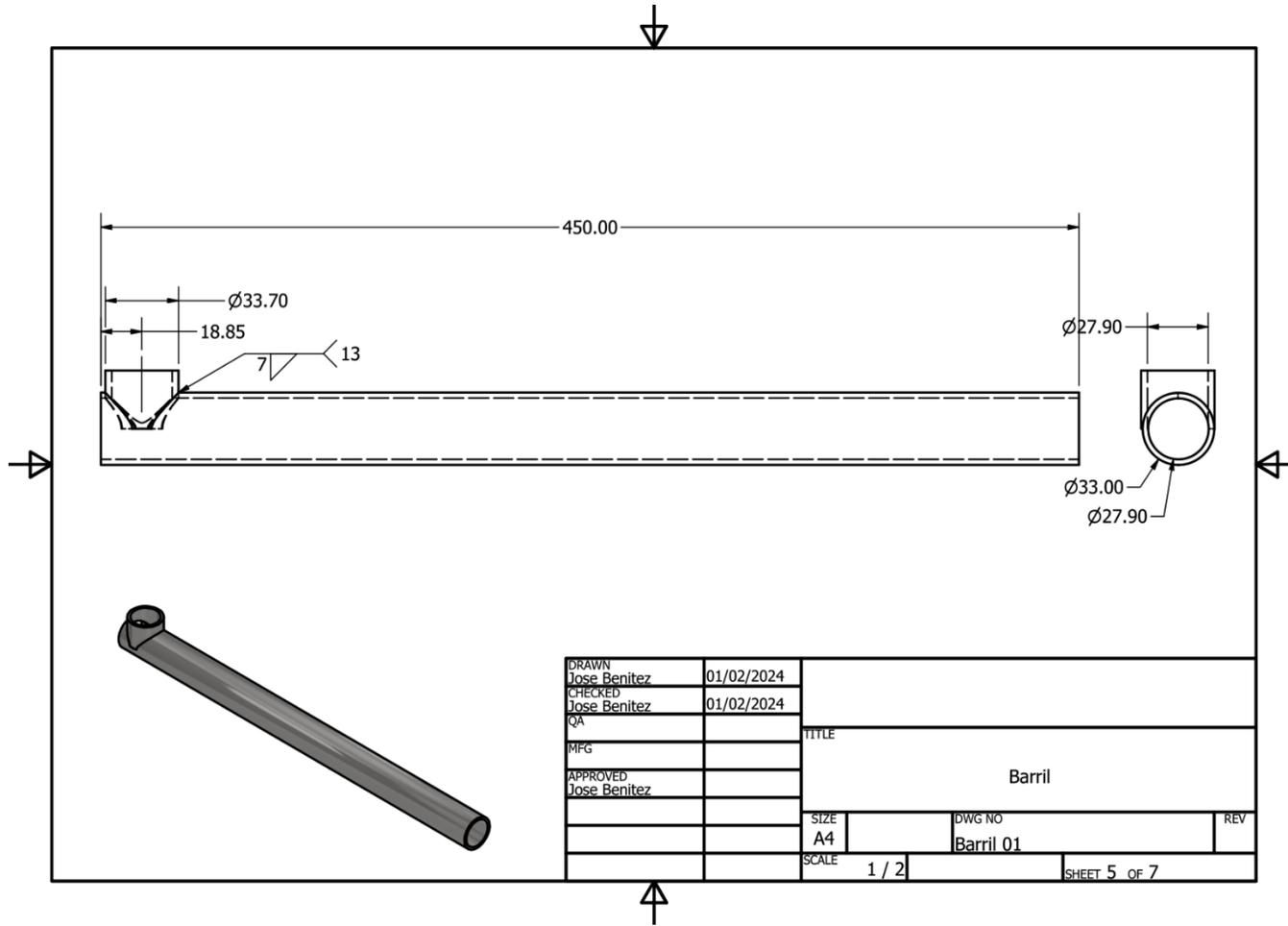
ANEXO 12

Tolva del extrusor



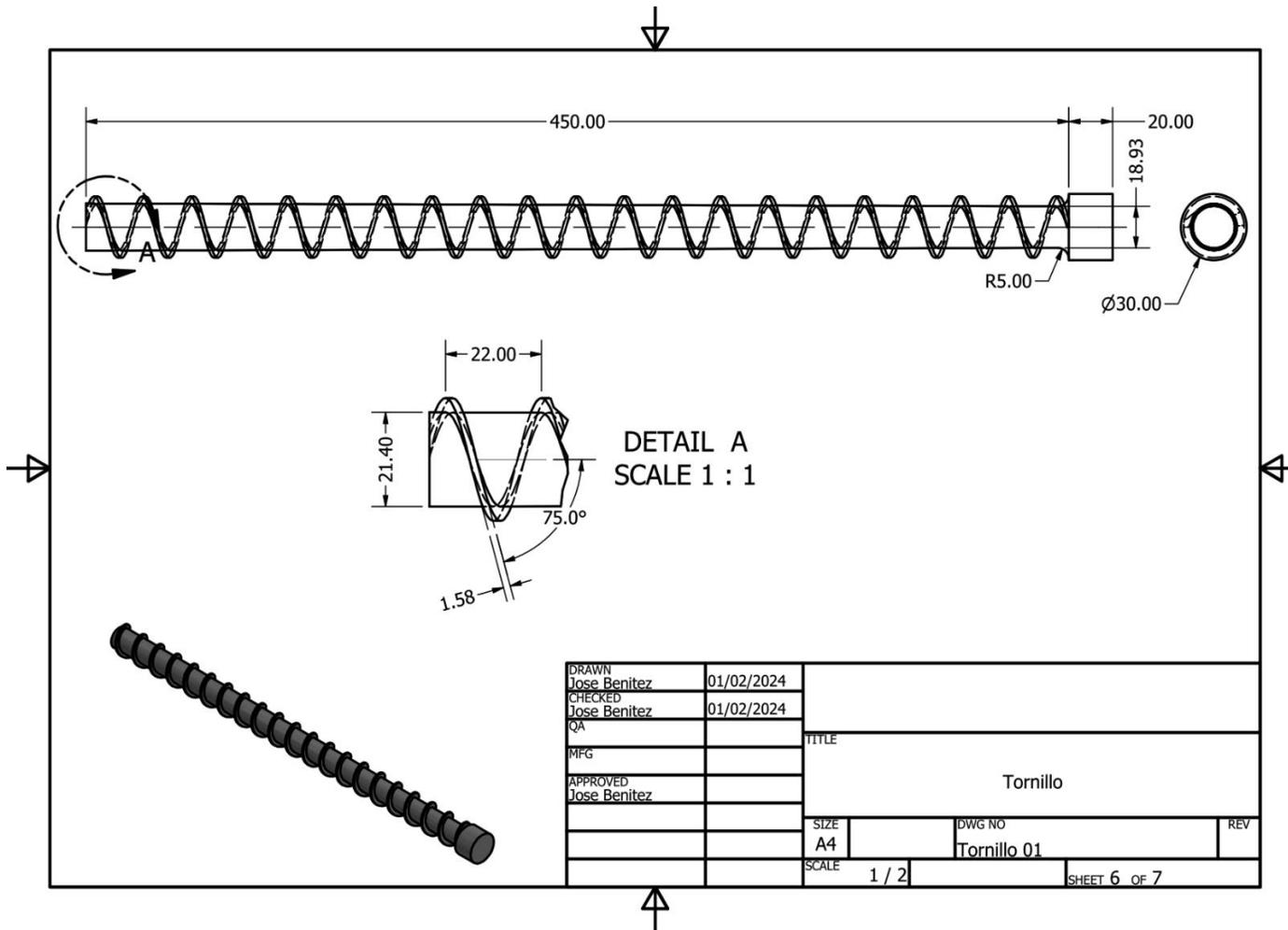
ANEXO 13

Barril



ANEXO 14

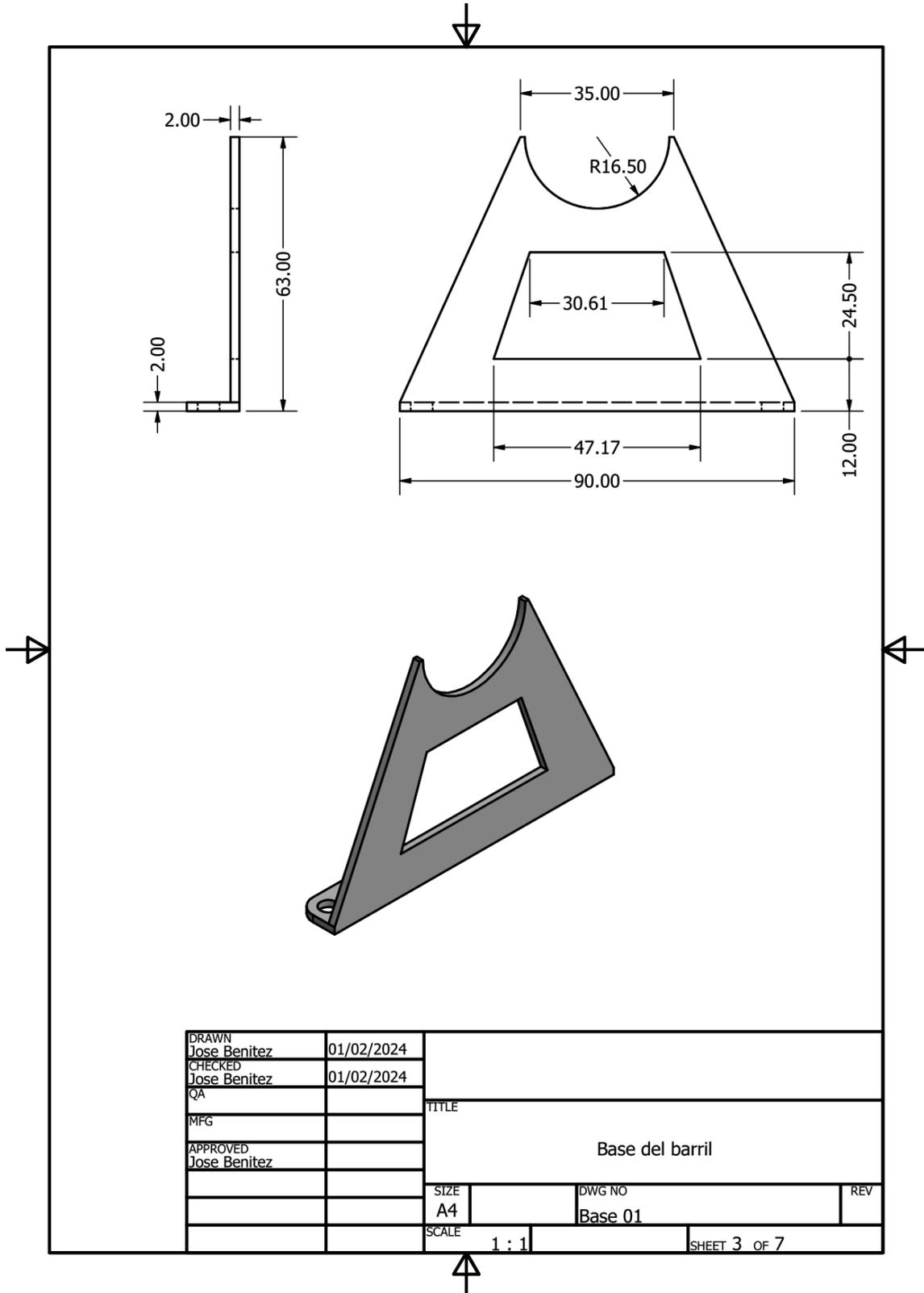
Tornillo



DRAWN	Jose Benitez	01/02/2024		
CHECKED	Jose Benitez	01/02/2024		
QA			TITLE	
MFG			Tornillo	
APPROVED	Jose Benitez			
			SIZE	DWG NO
			A4	Tornillo 01
			SCALE	REV
			1 / 2	SHEET 6 OF 7

ANEXO 15

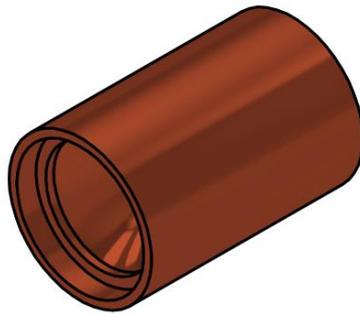
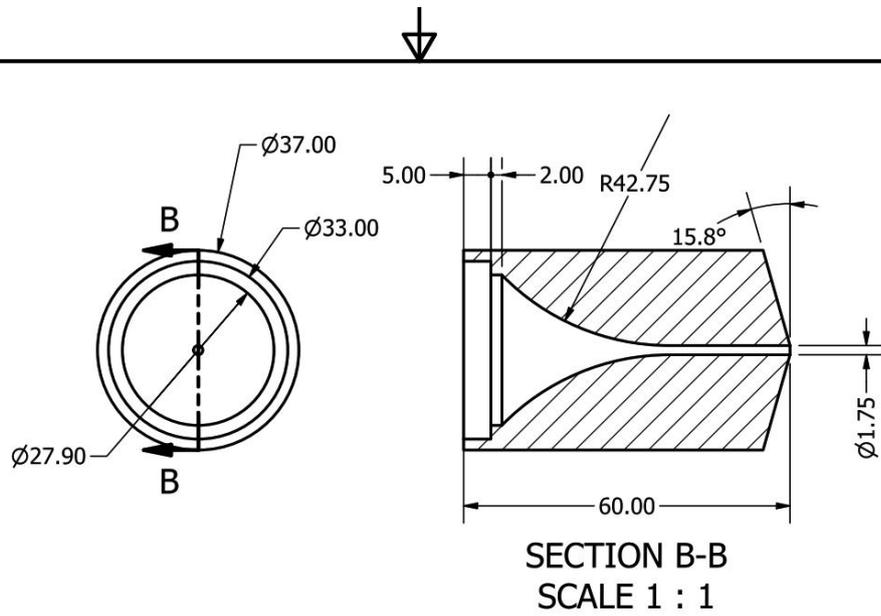
Soporte del barril



DRAWN Jose Benitez	01/02/2024	TITLE		
CHECKED Jose Benitez	01/02/2024			
QA		Base del barril		
MFG				
APPROVED Jose Benitez		SIZE A4	DWG NO Base 01	REV
		SCALE 1 : 1	SHEET 3 OF 7	

ANEXO 16

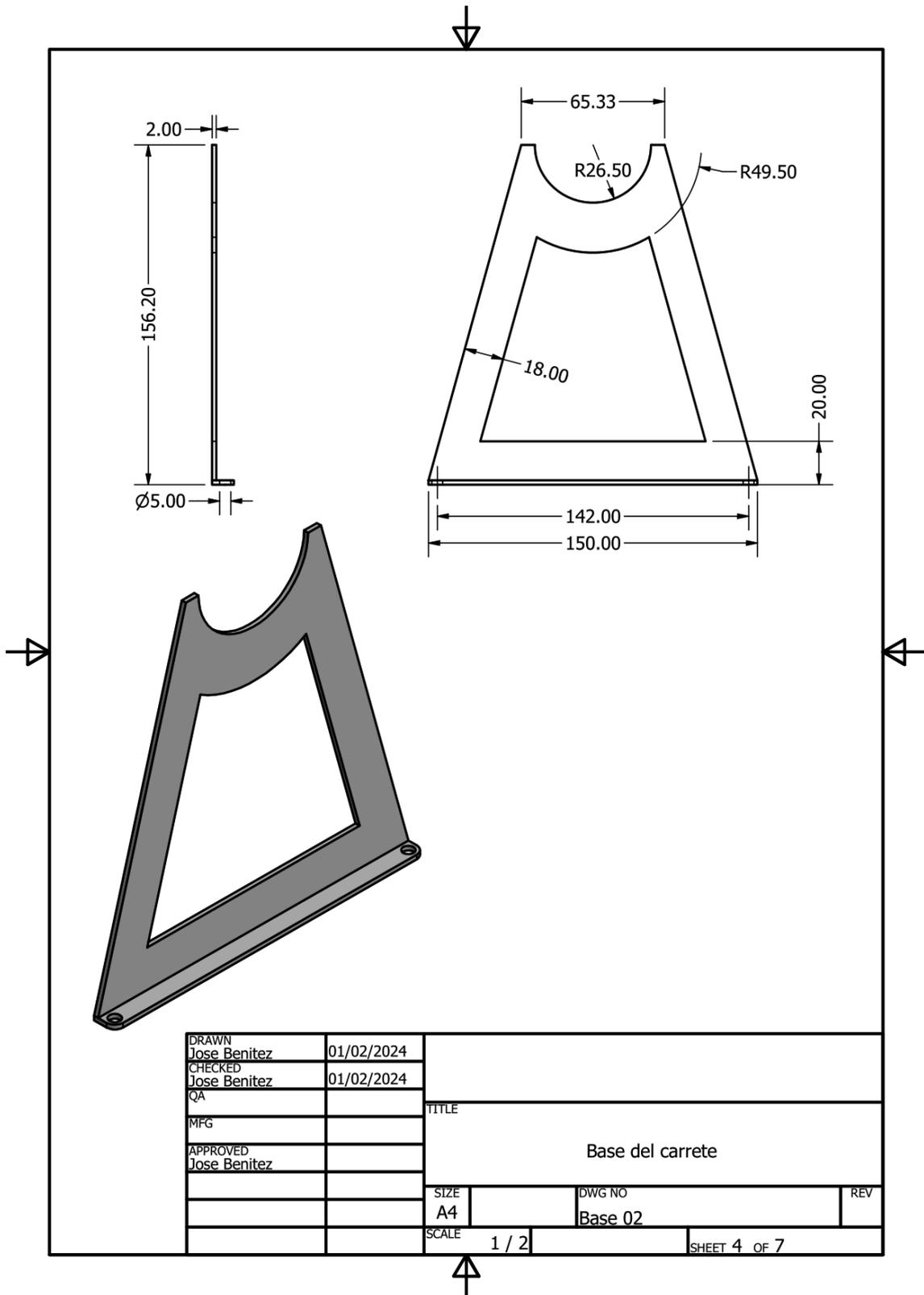
Boquilla



DRAWN Jose Benitez	01/02/2024	TITLE		
CHECKED Jose Benitez	01/02/2024			
QA		Boquilla		
MFG				
APPROVED Jose Benitez		SIZE A4	DWG NO Boquilla 01	REV
		SCALE 1 : 1	SHEET 7 OF 7	

ANEXO 17

Soporte del carrete



DRAWN Jose Benitez	01/02/2024	TITLE		
CHECKED Jose Benitez	01/02/2024			
QA		Base del carrete		
MFG				
APPROVED Jose Benitez		SIZE A4	DWG NO Base 02	REV
		SCALE 1 / 2	SHEET 4 OF 7	