



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA
PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS
RECICLADOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES:

OYARVIDE SORIANO ANDREA NICOLE

SORIA REYES JOSHUA ANDRE

TUTOR:

ING. DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA, MSc.

La Libertad, Ecuador

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAL

TEMA:

**“DISEÑO DE UNPROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA
PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS
RECICLADOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

OYARVIDE SORIANO ANDREA NICOLE
SORIA REYES JOSHUA ANDRE

TUTOR:

ING. DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

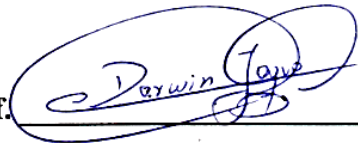
2024

UPSE

CERTIFICACIÓN


Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Oyarvide Soriano Andrea Nicole** y **Soria Reyes Joshua André**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

TUTOR

f. 

Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 

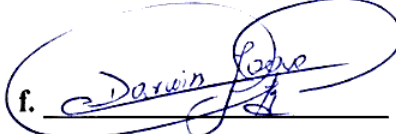
Ing. Lucrecia Moreno Alcivar, PhD.

La Libertad, a los 27 del mes de noviembre del año 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS, PROVINCIA SANTA ELENA, ECUADOR”, elaborado por OYARVIDE SORIANO ANDREA NICOLE y SORIA REYES JOSHUA ANDRE, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. 

ING. DARWIN GUSTAVOS JAQUE PUCA, MSc.

La Libertad, a los 27 del mes de noviembre del año 2024

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Oyarvide Soriano Andrea Nicole** y **Soria Reyes Joshua Andre**

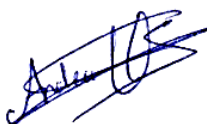
DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño de un prototipo de máquina trituradora para la transformación de materiales reciclados, provincia de Santa Elena, Ecuador** previo a la obtención del título de **Ingeniero Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

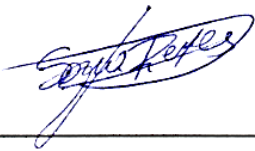
En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 27 del mes de noviembre del año 2024

AUTORES

f. 

Oyarvide Soriano Andrea Nicole

f. 

Soria Reyes Joshua André

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Oyarvide Soriano Andrea Nicole y Soria Reyes Joshua André**


Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de un prototipo de máquina trituradora para la transformación de materiales plásticos reciclados, provincia de Santa Elena, Ecuador**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 27 del mes de noviembre del año 2024

AUTOR:

f. 

Oyarvide Soriano Andrea Nicole

f. 

Soria Reyes Joshua André

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**Diseño de un prototipo de máquina trituradora para la transformación de materiales plásticos reciclados, provincia de Santa Elena, Ecuador**” elaborado por **Oyarvide Soriano Andrea Nicole** y **Soria Reyes Joshua André**, egresados de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 5% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,



FIRMA DEL TUTOR

f.  Firmado electrónicamente por:
DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA

ING. DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA, MSc.

C.C.:

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Santa Elena, 25 de noviembre del 2024

Yo, Mónica Isabel Paredes Castro, Magíster en Educación Básica, con registro de la SENECYT N° 1023-2024-2904505 por medio del presente certifico que: Después de revisar y corregir la sintaxis y ortografía del trabajo investigativo titulado **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”**, elaborado por los estudiantes **ANDREA NICOLE OYARVIDE SORIANO** y **JOSHUA ANDRÉ SORIA REYES** en su opción al título de **INGENIERO INDUSTRIAL** en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular



Lic. Mónica Paredes Castro, Msc
C.I: 0605353143
Celular: 0969917044
Correo: misabelp1017@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento principalmente a mis padres, por haberme apoyado en todos los aspectos posibles que estaban al alcance de ellos, en especial a mi madre que siempre estuvo presente y me acompañó en cada paso que daba en el transcurso de mi vida profesional, siendo mi mayor motivación para poder alcanzar mi objetivo.

Agradezco también a mi hermano que a pesar de todo siempre me brindó su apoyo moral e incondicional en todo el momento. También a mis amigos que conocí en el transcurso de mi etapa universitaria, además de poder vivir grandes experiencias junto a ellos.

Por último, agradezco a mis amigos cercanos Abel, Family, Mario, Valeria, Jimena y Linda que estuvieron presentes en esta bonita etapa, motivándome y ayudándome a ser siempre mejor.

Andrea Oyarvide Soriano

Agradezco a Dios por acompañarme en este proceso y permitirme llegar a este momento. A mi familia, los verdaderos pilares de mi vida, por su apoyo incondicional, por cada sacrificio y palabra de aliento, y por enseñarme la importancia de la dedicación y el esfuerzo. Su amor y su confianza en mi han sido fundamentales para que hoy pueda presentar este proyecto. A mis amigos cercanos, quienes, con su compañía, ánimo y comprensión, me ayudaron a mantener la motivación y perseverancia a lo largo de este camino.

Finalmente, expreso mi gratitud a los ingenieros que, con paciencia, tolerancia y sabiduría, compartieron conmigo sus conocimientos y consejos, permitiéndome fortalecer mis habilidades y superar los desafíos del proyecto. Cada uno de ustedes, les agradezco de corazón por ser parte de este logro.

Joshua Soria Reyes

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia que siempre se mantuvieron juntos en este camino, pero en especial a un hombre guerrero que no se dio por vencido y siempre buscaba solucionar los problemas que se le presentaba, siendo mi ejemplo para poder continuar con lo que me proponga, al ser humano que fortaleció mi disciplina y educación de la manera más correcta posible, del cual siempre estaré agradecida, se lo dedico con mucho amor y cariño a mi querido padre.

Dedico este trabajo a mi mamá Chabela, fuente de inspiración y cariño infinito. Su apoyo y amor me han guiado siempre y ha sido la base sobre la que ella construyó mis sueños. Su ejemplo de vida me inspira a ser mejor cada día. Este logro es tanto suyo como mío.

Andrea Oyarvide Soriano

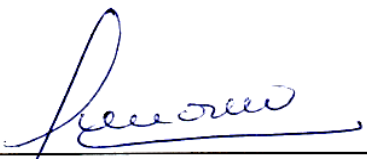
Dedico este proyecto a la memoria de mi querido abuelo Rómulo, quien en paz descansa. Su ejemplo de integridad, esfuerzo y amor por la familia ha sido una inspiración constante en mi vida. Aunque ya no está físicamente con nosotros, su legado permanece en cada paso que doy, y este logro no hubiera sido posible sin las enseñanzas y valores que él sembró en mí.

También dedico este proyecto a mi hermano Thiago, con la esperanza de que cada uno de estos esfuerzos le sirva como testimonio de que, con determinación, constancia y fe, cualquier meta es alcanzable. Que este trabajo le inspire a seguir adelante en sus propios sueños, con la certeza de que siempre tendrá mi apoyo y compañía en su camino.

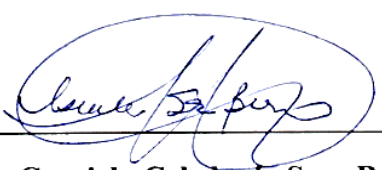
A ellos, con todo mi amor y gratitud, dedico este esfuerzo y cada logro que representa.

Joshua Soria Reyes

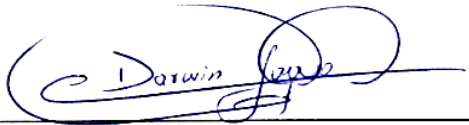
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

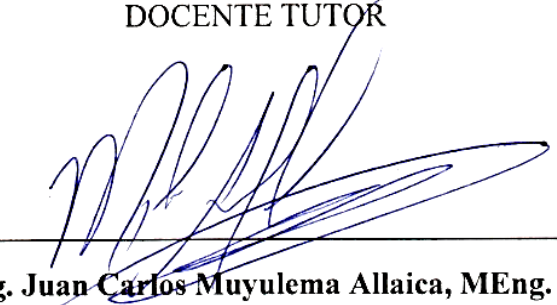
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Dra. Graciela Celedonia Sosa Bueno, PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc.
DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. Juan Carlos Muyulema Allaica, MEng.
DOCENTE GUÍA DE LA UIC

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iv
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	v
AUTORIZACIÓN	vi
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DEDICATORIA	x
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I	11
MARCO TEÓRICO	11
1.1. Antecedentes investigativos	11
1.2. Estado del arte.....	14
1.3. Revisión de la literatura.....	15
1.3.1 <i>Métodos de búsqueda</i>	15
1.3.2 <i>Criterios de inclusión y exclusión</i>	16

1.3.3	<i>Resultados de la búsqueda</i>	17
1.3.4	<i>Evaluación de calidad</i>	29
1.3.5	<i>Abstracción y síntesis de datos</i>	30
1.3.6	<i>Discusión de los resultados</i>	34
1.4	Fundamentos teóricos.....	35
1.4.1	<i>Plásticos</i>	35
1.4.2	<i>Tipos de plásticos</i>	35
1.4.3	<i>Ciclo de vida de los plásticos</i>	37
1.4.4	<i>Reciclaje</i>	38
1.4.5	<i>Etapas del reciclaje</i>	40
1.4.6	<i>Máquina trituradora</i>	41
1.4.7	<i>Tipos de trituradoras</i>	41
1.4.8	<i>Mecanismos de una máquina trituradora</i>	44
1.4.9	<i>Etapas del diseño de una máquina trituradora</i>	45
CAPÍTULO II		47
MARCO METODOLÓGICO		47
2.1.	Enfoque de investigación.....	47
2.2.	Diseño de investigación.....	47
2.3.	Procedimiento metodológico.....	48
2.4.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos.....	52
2.4.1.	<i>Métodos de recolección de los datos</i>	52
2.4.2.	<i>Técnicas de recolección de los datos</i>	52
2.4.3.	<i>Instrumentos de recolección de los datos</i>	53
2.5.	Variables del estudio.....	53
2.6.	Plan para la recolección y análisis de datos.....	53
CAPÍTULO III		55
MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN		55
3.1.	Marco de resultados.....	55
3.1.1.	<i>Recopilación de datos</i>	55
3.1.2.	<i>Fase 1: Consideración de materiales a utilizar</i>	72
3.1.3.	<i>Fase 2: Diseño del sistema de trituración, cuchillas y eje</i>	75
3.1.4.	<i>Fase 3: Selección del motor</i>	83

3.1.5. Fase 4: Mecanismo de protección	86
3.1.6. Fase 5: Resultados del prototipo	88
3.1.7. Fase 6: Construcción física, prueba y resultados de producción.....	92
3.1.8. Costo del proyecto.....	103
3.2. Marco de discusión	107
3.3. Limitaciones del estudio.....	108
CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	110
REFERENCIAS	111
ANEXOS.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descriptores de búsqueda por base de dato	16
Tabla 2. Total de artículos encontrados en las bases de datos	17
Tabla 3. Registro de los artículos seleccionados	26
Tabla 4. Resultados de la evaluación de calidad MMAT	29
Tabla 5. Plan de recolección de datos.....	53
Tabla 6. Respuestas obtenidas – pregunta 1	56
Tabla 7. Respuestas obtenidas – pregunta 2	58
Tabla 8. Respuestas obtenidas – pregunta 3	59
Tabla 9. Respuestas obtenidas – pregunta 4	61
Tabla 10. Respuestas obtenidas – pregunta 5	62
Tabla 11. Respuestas obtenidas – pregunta 6	63
Tabla 12. Respuestas obtenidas – pregunta 7	64
Tabla 13. Respuestas obtenidas – pregunta 8	66
Tabla 14. Respuestas obtenidas – pregunta 9	67
Tabla 15. Componentes del sistema de trituración	80
Tabla 16. Elementos del mecanismo de protección	86
Tabla 17. Componentes de la máquina trituradora	90
Tabla 18. Indicadores de rendimiento.....	100
Tabla 19. Capacidad de la máquina.....	103
Tabla 20. Cálculo del costo de inversión	104
Tabla 21. Gastos totales del proyecto	106
Tabla 22. Resultados financieros	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de la revisión de métodos mixtos	14
Figura 2. Producción científica anual	18
Figura 3. Diagrama de tres campos	19
Figura 4. Autores correspondientes por países	20
Figura 5. Producción científica por países	21
Figura 6. Nube de palabras	22
Figura 7. Frecuencia de palabras a lo largo del tiempo	23
Figura 8. Clúster de co-ocurrencia de palabras	24
Figura 9. Resumen de la revisión de métodos mixtos mediante PRISMA	25
Figura 10. Resultados enfoque de investigación	31
Figura 11. Resultados de método de investigación	32
Figura 12. Resultados de técnicas de recolección de datos.....	32
Figura 13. Resultados de instrumentos de recolección de datos.....	33
Figura 14. Resultados finales de la revisión de métodos mixtos	34
Figura 15. Ciclo de vida de los plásticos	37
Figura 16. Trituradora de mandíbulas	42
Figura 17. Trituradora de rodillos	42
Figura 18. Trituradora de compresión continua a escala de laboratorio	43
Figura 19. Trituradora de compresión continua a escala piloto.....	43
Figura 20. Mecanismo de transporte y aplanamiento de la alimentación	44
Figura 21. Mecanismo de corte	44
Figura 22. Mecanismo de trituración.....	45
Figura 23. Etapas de la construcción de una máquina trituradora.	45
Figura 24. Matriz general de las posibles rutas del procedimiento metodológico ..	48
Figura 25. Ruta obtenida mediante el estado del arte	49
Figura 26. Etapas del procedimiento metodológico	49
Figura 27. Resultados pregunta 1	57
Figura 28. Resultados pregunta 2	59
Figura 29. Resultados pregunta 3	60
Figura 30. Resultados pregunta 4	61
Figura 31. Resultados pregunta 5	63
Figura 32. Resultados pregunta 6	64

Figura 33. Resultados pregunta 7	65
Figura 34. Resultados pregunta 8	67
Figura 35. Resultados pregunta 9	68
Figura 36. Resultados de la encuesta.....	69
Figura 37. Dibujo a mano alzada del prototipo.....	71
Figura 38. Tubo cuadrado de 50 mm.....	73
Figura 39. Angulo de 40 x 4	73
Figura 40. Cargas de la base	76
Figura 41. Malla.....	76
Figura 42. Flexión axial	77
Figura 43. Deformaciones unitarias	78
Figura 44. Cuchilla	79
Figura 45. Resultado del sistema de trituración	80
Figura 46. Diseño de las cuchillas	82
Figura 47. Diseño del eje.....	83
Figura 48. Caja reductora otorgada por los directivos del proyecto.....	86
Figura 49. Resultados del prototipo diseñado.....	89
Figura 50. Máquina trituradora diseñada	91
Figura 51. Construcción del soporte de la máquina.....	93
Figura 52. Imagen referente de las cuchillas	94
Figura 53. Imagen referente del ensamblaje.....	95
Figura 54. Sistema de Catalina y cadena	96
Figura 55. Control eléctrico	98
Figura 56. Prototipo de máquina trituradora	99
Figura 57. Resultados de la trituración de botellas	99
Figura 58. Resultados de rendimiento	101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Cuestionario de la herramienta MMAT	118
Anexo B. Extracción de datos de artículos	119
Anexo C. Formato de validación por expertos	121
Anexo D. Formato de entrevista.....	123
Anexo E. Resultados de la validación de expertos.....	124
Anexo F. Planos de la máquina trituradora.....	130
Anexo G. Manual de usuario de la máquina trituradora de plástico	152

LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS

MMAT: Mixed methods appraisal tool.

PET: Polietileno tereftalato.

HDPE: Polietileno de alta densidad.

PVC: Cloruro de polivinilo.

LDPE: Polietileno de baja densidad.

Material DF2: Acero aleado.

“DISEÑO DE UN PROTITPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”

Autores: Oyarvide Soriano Andrea Nicole

Soria Reyes Joshua André

Tutor: Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc.

RESUMEN

En la actualidad, la acumulación de residuos plásticos representa un grave problema ambiental en la provincia de Santa Elena, Ecuador, afectando la salud pública y el medio ambiente, para el cual la creación de una máquina trituradora para transformar plásticos reciclados en partículas reutilizables llega a ser una alternativa favorable que permite fomentar una economía circular en la región. El objetivo fue diseñar y evaluar un prototipo de máquina trituradora para procesar plásticos reciclados de manera eficiente. Se utilizó una metodología cuantitativa con un diseño experimental de alcance descriptivo, en donde la recolección de datos se realizó mediante observación directa y una matriz de registro para documentar el funcionamiento del prototipo, y adicionalmente, se empleó el software solidworks para el modelado y simulación del diseño de la máquina. Los resultados obtenidos demuestran que la máquina tiene una capacidad de producción de 6 botellas por minuto, y su eficiencia oscila entre un 33 – 38% con un tamaño de particulado de 4 – 7 mm, además el costo de construcción fue de \$1,849.73, los indicadores financieros obtenidos fueron un VAN de \$1,628.53, TIR del 116% y PRI de 5 meses y 16 días. Sin embargo, la construcción de la máquina no fue óptima debido a la inadecuada configuración en la distancia entre cuchillas. El prototipo de la máquina trituradora demostró viabilidad financiera, pero requiere ajustes en el diseño para mejorar su eficiencia de trituración y cumplir con los objetivos de producción planteados.

Palabras Claves: máquina trituradora, plásticos, reutilización de plásticos, transformación de desechos, pulverizadora, reciclaje.

“DESIGN OF A SHREDDING MACHINE FOR THE TRANSFORMATION OF RECYCLED PLASTIC MATERIALS, PROVINCE OF SANTA ELENA, ECUADOR.”

Author: Oyarvide Soriano Andrea Nicole

Soria Reyes Joshua André

Tutor: Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc.

ABSTRACT

Currently, the accumulation of plastic waste represents a serious environmental problem in the province of Santa Elena, Ecuador, affecting public health and the environment, for which the creation of a shredding machine to transform recycled plastics into reusable particles becomes a favorable alternative to promote a circular economy in the region. The objective was to design and evaluate a prototype shredding machine to efficiently process recycled plastics. A quantitative methodology was used with an experimental design of descriptive scope, where data collection was done through direct observation and a registration matrix to document the operation of the prototype, and additionally, solidworks software was used for modeling and simulation of the machine design. The results obtained show that the machine has a production capacity of 6 bottles per minute, and its efficiency ranges between 33 - 38% with a particle size of 4 - 7 mm, also the construction cost was \$1,849.73, the financial indicators obtained were an NPV of \$1,628.53, IRR of 116% and PBP of 5 months and 16 days. However, the construction of the machine was not optimal due to the inadequate configuration of the distance between blades. The prototype shredding machine demonstrated financial viability but requires design adjustments to improve its shredding efficiency and meet production targets.

Keywords: shredding machine, plastics, plastics reuse, waste transformation, pulverizer, recycling.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por plásticos es una preocupación ambiental de gran magnitud que afecta a todos, terminando en vertederos, en la naturaleza o en forma de reciclaje (Wagh et al., 2022a). A nivel mundial, ha visto un crecimiento exponencial en su producción, alcanzando 381 millones de toneladas en 2015, con China liderando como el mayor productor en el mundo (cuarta parte del total), seguidamente de Europa con un total de 60 millones, este incremento ha generado desafíos significativos en cuanto a la gestión de residuos, dado que grandes volúmenes de plástico se acumulan y son difíciles de reciclar (Espino-Penilla & Koot, 2020).

De acuerdo con De Miguel et al. (2021), en América Latina representa alrededor de 45.24 millones de toneladas de residuos plásticos al año, esto refleja un 13% de la producción de residuos que se generan en esta región, lo que genera un impacto negativo al medio ambiente debido a que los residuos no se gestionan de forma adecuada, lo que contribuye a la contaminación de ríos, mares y suelos. La región enfrenta desafíos significativos en la gestión de residuos por la falta de políticas en el marco del reciclaje como también por la insuficiente infraestructura (Terleeva, 2021).

En Ecuador, la situación no es diferente, según el Ministerio del Ambiente y Agua, se produce aproximadamente 5.1 millones de toneladas de residuos sólidos anuales, con un gran porcentaje de estos residuos siendo plásticos (MAATE, 2022). En donde, su valor estimado es de 117.000 toneladas al año, siendo equivalente a 7300 camiones de botellas plásticas que pueden llegar a degradarse aproximadamente en 500 años (López-Aguirre et al., 2020), ocasionando posibles problemas de contaminación en océanos, degradación del suelo, ingestión y enredo en la fauna, impactos en la salud humana por microplásticos o toxicidad, entre otros (Merlin & Balasubramanian, 2021).

La gestión que se realiza en la provincia de Santa Elena con respecto a los residuos es alarmante, esto se debe a la falta de adecuadas instalaciones para un correcto proceso de reciclamiento y la disposición final de los desechos. Gran parte de los residuos plásticos en la región llegan a los vertederos no regulados o contaminan

el medio ambiente, aumentando de gran forma la contaminación y con ello afecta a su vez la calidad de vida de los ciudadanos. Cabe recalcar, que hay escasas de información en el campo científico y académico que permita respaldar juicios de valor sobre la producción de estos desechos en la provincia.

En vista a la alta contaminación por desechos plásticos y la falta de reutilización de estos, la provincia de Santa Elena enfrenta un desafío significativo en la gestión adecuada de estos residuos. A pesar de que a nivel global y regional se han identificado y abordado problemáticas similares, en esta región específica, la ausencia de infraestructura adecuada para el reciclaje y la disposición final de plásticos ha llevado a un manejo ineficiente de los desechos. Esto no solo contribuye a la contaminación ambiental, afectando la calidad de los suelos, aguas y fauna local, sino que también representa una oportunidad perdida para el aprovechamiento de estos materiales en nuevas aplicaciones productivas (Hahladakis et al., 2018a) . Por lo tanto, surge la necesidad de investigar y desarrollar estrategias que permitan no solo reducir la acumulación de residuos plásticos en la provincia, sino también fomentar su reutilización a través de tecnologías accesibles y eficientes, como la implementación de máquinas trituradoras de plásticos, que podrían transformar estos desechos en materiales reutilizables, contribuyendo así a mitigar los efectos negativos de la contaminación y promover una economía circular en la región (Kholil et al., 2019).

Con lo antes mencionado el implementar una máquina trituradora de plásticos en la provincia de Santa Elena incorpora un avance significativo en la gestión sostenible de residuos. Este artefacto está diseñado para convertir desechos plásticos en materiales reutilizables para la construcción, por lo que tiene grandes beneficios, no solo ayudaría a reducir el volumen de residuos plásticos, sino que también lograría promover la reutilización de materiales, fomentando una economía circular y sostenible (Alvarado-Orbe et al., 2022). Además, otra ventaja sería que también generaría oportunidades económicas y sociales en la comunidad, al convertir los residuos en insumos para la construcción, se crean nuevos nichos de mercado que pueden dinamizar la economía local. Además, esta iniciativa contribuye a la educación ambiental, sensibilizando a la población sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar.

Se puede indicar que el principal beneficio de esta máquina radica en su capacidad de procesamiento de una amplia diversidad de plásticos, como botellas PET. Este proceso de trituración permite convertir estos restos en partículas de tamaño uniforme, que pueden ser manejadas como materia prima para la elaboración de nuevos productos comerciales. Contribuyendo no solo a la reducción del consumo de recursos naturales, sino que también ayude a la disminución del impacto ambiental asociado a la producción de nuevos materiales. Además de sus beneficios ambientales, la máquina trituradora también ofrece ventajas económicas. Al implementar el uso de materiales reciclados en lugar de nuevos, se logra reducir los costos de compra y transportación de materias primas frescas. Esto es particularmente relevante en regiones con recursos limitados, donde la adquisición de nuevos materiales puede ser costosa y logística y económicamente desafiante.

En síntesis, la instalación de una máquina trituradora de plásticos en la provincia de Santa Elena representa un avance de gran relevancia en la gestión sostenible de residuos, al transformar estos desechos en materiales reutilizables para la construcción, de esta forma se logra no solo una significativa disminución en el volumen de residuos en el ambiente, sino también se logra fomentar una economía circular que beneficia tanto al medio ambiente como a la comunidad local. Finalmente, el presente proyecto investigativo, además de abordar una necesidad ambiental crítica, genera nuevas oportunidades económicas y con ello también se promueve una mayor conciencia sobre la importancia y los beneficios del reciclaje, contribuyendo al desarrollo sostenible de la provincia y ofreciendo un modelo replicable para otras zonas con desafíos similares.

Planteamiento del problema.

Desde una perspectiva global, la proliferación de plásticos se ha convertido en uno de los desafíos ambientales más perjudiciales de nuestro tiempo (Shen et al., 2020). En relación con el crecimiento acelerado de la producción y el consumo ha llevado a un acaparamiento masivo de desechos, que en la mayoría de las ocasiones terminan en los océanos, ríos y otros ecosistemas naturales (Wagh et al., 2022b). Este escenario ha forjado una preocupación global debido al impacto devastador y perjudicial que estos residuos tienen en la vida marina, la calidad del agua y a su vez en los ecosistemas terrestres (Thushari & Senevirathna, 2020). No obstante, a pesar de

los esfuerzos de entidades internacionales para controlar este problema, la gestión infructífera de los residuos plásticos sigue siendo un obstáculo de gran relevancia para la sostenibilidad ambiental.

Margallo et al., (2019) menciona que, en América Latina, el escenario es preocupante, esto se debe a la falta de infraestructura adecuada y políticas sólidas para la gestión de residuos plásticos. Es así que la región enfrenta grandes conflictos para recolectar dichos residuos, y con ello procesarlos y reciclarlos de forma óptima, lo que resulta en una dispersión generalizada de estos materiales en el medio ambiente. Esta falla en la gestión eficiente contribuye de gran manera a la contaminación de ríos, mares y suelos, afectando tanto a las comunidades locales como a los ecosistemas de la provincia y regiones limítrofes (MacLeod et al., 2021). Además, la ausencia de decisiones efectivas para la fomentación del reciclaje y la reutilización de plásticos agrava aún más esta problemática, aumentando la dependencia de vertederos no regulados y exacerbando con ellos la crisis ambiental (Kumar et al., 2021).

Por consiguiente, en Ecuador, la contaminación por plásticos es un inconveniente creciente que afecta a los entornos urbanos como rurales. A pesar de ser un país reconocido por una biodiversidad rica y variada, enfrenta grandes desafíos en relación con la gestión de residuos plásticos, en donde los ríos y costas ecuatorianas están cada vez presentando mayores espacios contaminados, como resultado del mal manejo de estos desechos, afectando la vida marina y la pesca la cual es una actividad crucial para muchas comunidades costeras especialmente Santa Elena (Salazar et al., 2022). Otro punto para recalcar es la falta de infraestructura adecuada para la recolección y reciclaje de plásticos lo que agrava este problema, haciendo que grandes cantidades de residuos terminen ya sea en vertederos o terminen siendo quemados, liberando contaminantes nocivos al aire (Hahladakis et al., 2018b). Además, cabe recalcar que el uso gradual de plásticos de un solo uso, como bolsas y envases, ha incrementado la cantidad de desechos plásticos en el país.

Desde esta perspectiva, la provincia de Santa Elena enfrenta desafíos relacionados con la gestión de residuos plásticos, como también con la infraestructura local la cual es insuficiente para operar el volumen de desechos que producen los plásticos, lo que lleva a una acumulación excesiva de basura en el entorno. Esta

situación se ve agravada por la actual falta de acceso a servicios esenciales como la electricidad, lo que en la actualidad está limitando las opciones para implementar soluciones de reciclaje convencionales.

La problemática principal que presenta la provincia de Santa Elena radica en la falta de una infraestructura adecuada que permita producir materiales de construcción en base a plásticos reciclados. Recalcando así que la utilización de estos materiales en la construcción es de gran importancia para reducir la dependencia de recursos naturales y de esa forma minimizar la generación de desechos. Sin embargo, la recolección y procesamiento de plásticos reciclables presenta desafíos no solo logísticos sino también técnicos. En particular, la falta de una máquina trituradora especializada que pueda procesar estos materiales de manera eficiente y segura es un obstáculo significativo para el avance del reciclaje en la región.

Formulación del problema de investigación.

¿Cuál es el impacto del diseño de un prototipo de máquina trituradora en la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena, Ecuador?

Alcance de la investigación.

El alcance del proyecto abarca desde el diseño inicial del prototipo y su simulación hasta la implementación física de la máquina trituradora, incluyendo la evaluación de su rendimiento para asegurar su cumplimiento con los estándares requeridos de tamaño de particulado para la fabricación. Esto implica la selección de materiales adecuados, teniendo en cuenta que el proyecto se desarrollará en el taller de ingeniería industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, en la provincia de Santa Elena, ubicada en el perfil costero con presencia de salinidad en el aire. Además, se buscarán tecnologías de trituración segura y eficiente que se adapten al clima y ambiente. También va de la mano con un análisis detallado de los materiales a utilizar, considerando su disponibilidad, características y viabilidad para el procesamiento, los cuales son mencionados por las personas que llevan a cabo el proyecto después de la investigación teórica del mismo, debido a que, se deben realizar simulaciones previas de la combinación de materiales por parte de la carrera de ingeniería civil de la misma universidad.

Es importante considerar las posibles limitaciones del proyecto, como cambios en la disponibilidad y calidad de los materiales reciclados y desechos de construcción, que pueden depender de la ubicación y de la gestión de residuos. Esto podría influir en la efectividad y viabilidad de la producción de nuevos materiales. Además, los desafíos técnicos y de ingeniería asociados con el diseño y construcción de la máquina trituradora, los cuales pueden variar a medida que avanza el proyecto durante su desarrollo, debido a que, los directivos del mismo pueden tomar diferentes decisiones en temas relacionados con los materiales que desean utilizar para construir la máquina, o con las condiciones que debe cumplir esta para poder realizar el proceso de triturado en ciertos materiales, teniendo en cuenta que se deben proponer nuevas soluciones creativas y adaptativas durante su desarrollo.

Justificación de la investigación.

El diseño y elaboración de una máquina trituradora que fabrique materiales destinados a la obtención de materia prima para la construcción es un plan de gran relevancia, esto se debe a que aborda el desafío de gestionar de forma eficiente los recursos y de forma continua a reducir residuos perjudiciales en la industria de la construcción, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente. Es por eso que, la reutilización de materiales reciclados y desechos de construcción desempeña un papel crucial como iniciativa en la reducción del impacto negativo asociado con la extracción de nuevos recursos y la generación de desechos.

La originalidad del presente proyecto recae en su enfoque novedoso para afrontar desafíos continuos en diversas industrias, combinando tecnologías de trituración con prácticas de economía circular, en donde se establece una nueva forma de enfrentar la producción de materiales de construcción, con el potencial de revolucionar tanto la edificación de viviendas como la gestión de recursos en la provincia.

La trascendencia del proyecto radica en su amplio impacto ambiental, tecnológico, socioeconómico y académico. Al diseñar y desarrollar una máquina trituradora para materiales plásticos reciclados, se promueve una gestión sostenible de residuos, reduciendo la contaminación y fomentando una economía circular. Cabe recalcar que, el producto resultante de la trituración de residuos plásticos servirá como

materia prima para un proyecto de investigación basado en construcción de casas sostenibles de la facultad de ciencias de la ingeniería de la universidad.

La viabilidad del trabajo investigativo se sostiene en varios factores claves: el primero, que existe un acceso adecuado a los materiales necesarios para la elaboración del prototipo de la máquina trituradora, lo que reduce costos y a su vez facilita el proceso de desarrollo. Además, el proyecto cuenta con el apoyo de instituciones locales y expertos en el área de ingeniería, quienes contribuirán con su conocimiento y experiencia para garantizar el triunfo del proyecto. De la misma forma, el mercado local muestra una predisposición creciente en relación con prácticas sostenibles, lo que sugiere una aceptación favorable de la iniciativa para la reutilización de desechos plásticos.

Los beneficios de este proyecto se extienden tanto a nivel interno como externo. A nivel interno, la universidad y estudiantes involucrados en el diseño, construcción y operación de la máquina trituradora se verán favorecidas por la innovación tecnológica y la generación de nuevas oportunidades de negocio en el mercado de la construcción sostenible. A nivel externo, la sociedad de Santa Elena se ve beneficiada por la disminución del impacto ambiental de la construcción y la promoción de viviendas más asequibles y respetuosas con el medio ambiente.

En este sentido, se plantean los siguientes objetivos para cumplir con el fin de la investigación.

Objetivo General

Construir el prototipo de una máquina trituradora para la transformación de desechos plásticos en materiales de construcción sostenibles en la provincia de Santa Elena.

Objetivo específico

1. Realizar el marco teórico de la investigación mediante una revisión de métodos mixtos de la literatura, para obtener información sobre el diseño y construcción de máquinas trituradoras, así como los fundamentos teóricos asociados.
2. Establecer el marco metodológico de la investigación, definiendo las técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como un procedimiento metodológico guía para el diseño y construcción de una máquina trituradora.
3. Construir un prototipo de máquina trituradora mediante el software CAD solidworks, validando su desempeño en términos de capacidad de trituración, tamaño de particulado y eficiencia.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos.

El boceto y elaboración de máquinas trituradoras ha sido un área de gran interés en la ingeniería, esto se debe a que su implementación en diversas industrias como en el campo de la alimentación, requieren la disminución eficiente de los materiales utilizados. Estos artefactos no solo varían en cuestión de su función con la materia prima a procesar, sino también en los objetivos específicos que buscan conseguir, ya sea en términos de eficiencia, capacidad de producción o desempeño de estándares específicos.

Con el pasar de los años, varios autores han presentado soluciones innovadoras para abordar los desafíos que este tema conlleva. Un claro ejemplo es la investigación realizada por Du et al. (2024), quienes diseñaron una máquina trituradora encaminada para satisfacer las exigencias de alimentación para el ganado, ellos estudiaron la ingeniería del proceso de tratamiento de maíz, y con ello diseñaron una estructura general con esquemas de transmisión y los principales mecanismos de la máquina, a su vez también desarrollaron un modelo tridimensional y sólido del mismo, además del prototipo de prueba. Los resultados que obtuvieron de la construcción del artefacto permitieron aumentar la tasa de producción hasta un 97.2%, al igual que cumplir con los estándares requeridos en la industria de alimentación del ganado.

De igual modo, Anticona-Valderrama et al., (2023) realizaron un diseño innovador de una máquina trituradora de plásticos para la construcción de ciudades sostenibles, fomentando el desarrollo de economías circulares y la reutilización de los residuos plásticos. El diseño estuvo comprendido mediante el modelado en 3D en el software solidworks, realizando análisis estático y fatiga de alto ciclaje para la validación del diseño. Los resultados garantizaron que la máquina trituradora funcionará correctamente y de forma segura. Tomando en cuenta este contexto, el diseño asistido por computadora mediante el software SolidWorks agiliza el modelado en 3D de un prototipo a realizar, además permite que se realicen cambios de forma rápida, simulación y análisis, optimización del diseño, genera la documentación y los planos.

También, Pérez et al., (2023) intentando dar solución a los problemas de contaminación causados por los desechos plásticos, los autores realizaron el diseño del sistema mecánico de la trituradora de tapas plásticas junto a su sistema de control y protección eléctrico en caso de sobrecalentamiento para salvaguardar el motor, garantizando la validación del funcionamiento de la máquina recicladora con la construcción de bloques. Los resultados demuestran una reducción de tiempo en el proceso de trituración de tapas para la construcción de los albergues de animales, deduciendo su buen funcionamiento y aporte en la productividad de este trabajo.

Al mismo tiempo, El-Ghobashy et al. (2023) desarrollaron y evaluaron una trituradora con dos filos, con el fin de crear una máquina ecológica de doble función, propósito y rentable para evitar la utilización excesiva de combustible y mitigar el cambio climático. Se realizó la evaluación del rendimiento de la máquina con cuatro velocidades diferentes utilizando mazorcas de maíz y con diferentes concentraciones de humedad. Los resultados demuestran que se puede alcanzar eficiencias entre el 94.17% y 92.85%, demostrando que la máquina cumple con los parámetros operativos adecuados, ayudando a incrementar la productividad, y a menor costo y requisitos.

Al igual que, Wang et al. (2023) quienes diseñaron y realizaron pruebas de análisis de una trituradora, tomando en cuenta la potencia ejercida por el tractor para impulsar las cuchillas giratorias y el recogedor que dirige a los tallos de caña de azúcar hacia la trituradora, en el proceso las cuchillas oscilante y fija son utilizadas para triturar y devolver la paja triturada al campo. Mediante esta implementación, lograron aumentar la eficiencia y aumentar la tasa de trituración de caña de azúcar a un 93.8%. El estudio demuestra que se puede dar solución a los problemas de contaminación ambiental y ayuda a preservar el calor como el agua en los cultivos, demostrando ventajas en términos de trituración y recolección.

Mientras que, Julian-Daga et al. (2022) diseñaron una máquina procesadora con procesos internos de trituración y mezclado para la producción de tableros aglomerados. Como primero, se realizó pruebas de resistencia de la fibra de coco y maguey, además se realizó el diseño en el cual se involucran 4 procesos, iniciando con el transporte del material, seguido del proceso de trituración, continuando con el mezclado y finalizando con el compactado, obteniendo como producto tableros

aglomerados que tiene el propósito de reutilizar residuos sólidos aprovechables y transformables a fibras para evitar el uso de madera y reducir la tala de árboles.

También, Domínguez-Gurría et al. (2021) realizaron el análisis numérico del uso de factibilidad de un eje rotatorio hexagonal y nuevas cuchillas de corta en una máquina trituradora de plásticos, para ello, utilizaron un software de elemento finito en donde se consideró al sistema de acero general. Los resultados obtenidos demuestran que los cambios realizados son factibles en la máquina trituradora y así puede trabajar bajo condiciones normales, lo que promueve la reducción de la contaminación de envases plásticos y la reutilización de estos.

Igualmente, Taco et al. (2021) diseñaron y construyeron una máquina trituradora y granuladora de plástico para el proceso de cizallamiento de estos, con el objetivo de brindar una herramienta de calidad. El diseño de la máquina estuvo constituido por diferentes elementos como los ejes de transmisión, rodamientos, cuchillas de cizalladura, engranajes, motor reductor y la estructura de soporte, además de un sistema automatizado de PLC. Los resultados obtenidos demuestran la validación del prototipo, logrando ser rentable en un lapso de 11 meses, cizallando plástico PET en un tiempo de 14.6 segundos.

Por otro lado, Manuwa et al. (2020) diseñaron, fabricaron y evaluaron el desempeño de una trituradora, las principales partes de la máquina son el cubridor, eje, sinfín, brote, tolva, correa, bastidor, cojinetes, motor eléctrico y polea, el diseño de la máquina fue comprobada mediante el cumplimiento científico y el análisis de tamiz para el tamaño de corte. Los resultados demuestran que la máquina diseñada puede alcanzar un rendimiento del 91% y una eficiencia del 96%.

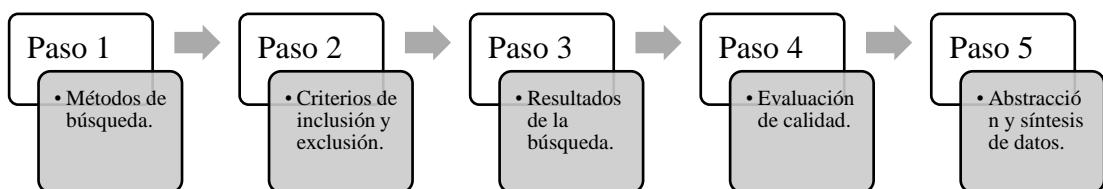
Del mismo modo, Kumaran et al., (2020) diseñaron y analizaron una máquina trituradora mediante el software catia, entre los residuos se encuentra computadoras portátiles, teléfonos móviles y iPads después de que hayan cumplido con su vida útil. El diseño de la máquina tuvo un perfil de cuchilla efectiva a modelar para triturar el equipo usado hasta un tamaño pequeño en el que pueda volver a reciclarse, aunque no se construyó físicamente la máquina, se observó que existe posibilidades de generación de ruido y se analizó posibilidades de extender la vida útil de la cuchilla.

1.2. Estado del arte.

El estado del arte es descrito como el límite del conocimiento generado sobre un tema, estableciendo hasta donde se ha avanzado en términos de tiempo y espacio (Urbina & Morel, 2018). Esta una sección fundamental en cualquier investigación, ya que proporciona un análisis detallado de los conocimientos y desarrollos previos relacionados con el tema en estudio. Uno de los objetivos del apartado es identificar y analizar las investigaciones, y teorías más recientes y relevantes, permitiendo así una comprensión profunda del contexto en el cual se inscribe la investigación actual.

Para llevar a cabo una exploración absoluta y comprensiva del estado del arte, se ha escogido utilizar la revisión de métodos mixtos. Este tipo de métodos combina tanto métodos cuantitativos como cualitativos para analizar la literatura existente (Gonzalez-Gonzalez et al., 2021), lo cual permite una perspectiva más rica y multifacética. Además, es especialmente útil cuando se busca integrar distintos tipos de evidencia y obtener una visión más completa de un fenómeno complejo. En base a Cubelo et al. (2024) este tipo de revisión consta de 5 pasos, las cuales se muestra en la figura 1, junto a una breve descripción.

Figura 1. *Etapas de la revisión de métodos mixtos.*



Nota: Elaborado por los autores, en base a Cubelo et al. (2024).

Los pasos delineados en la figura 1 en base a Cubelo et al. (2024), se pueden detallar de la siguiente manera:

- **Paso 1 – Métodos de búsqueda:** este paso comprende la identificación y selección de estudios pertinentes mediante el uso de bases de datos académicas especializadas. Se emplean técnicas de búsqueda de alto nivel, como operadores booleanos y conectores lógicos, los cuales son muy utilizados para localizar literatura específica y relevante al tema de investigación.
- **Paso 2 – Criterios de inclusión y exclusión:** este paso implica el esclarecimiento de parámetros inexorables que establecen la elegibilidad de los estudios, teniendo en cuenta la relevancia temática, la eficacia metodológica,

el tipo de publicación, la fecha de publicación, y la accesibilidad de los documentos.

- **Paso 3 – Resultados de la búsqueda:** se documenta y presenta el proceso de selección de estudios mediante el uso de herramientas como el diagrama PRISMA, que permite visualizar de manera clara y sistemática cómo se han filtrado y seleccionado los artículos relevantes para la revisión.
- **Paso 4 – Evaluación de calidad:** este paso se orienta en la evaluación crítica de los estudios escogidos, utilizando criterios específicos y herramientas como el MMAT (mixed, methods, appraisal, tool), para avalar que las investigaciones incluidas en la revisión sean de alta calidad y aporten significativamente a la indagación.
- **Paso 5 – Abstracción y síntesis de datos:** se refiere al proceso sistemático de extracción, análisis e integración de los datos relevantes de los estudios seleccionados. El cual facilita la identificación de tendencias, temas recurrentes y hallazgos clave, que son esenciales para el desarrollo y la consolidación de la investigación.

La exploración de métodos mixtos se centraliza en la compilación y análisis de estudios relevantes para proporcionar una valoración completa y rigurosa. Este proceso asegura la unificación de datos claves y la calidad de la información utilizada en la investigación. Ante lo mencionado, se da paso a la ejecución de la revisión de la literatura para el caso de estudio.

1.3. Revisión de la literatura.

1.3.1 Métodos de búsqueda.

La búsqueda de literatura relevante se realizó mediante varias bases de datos académicas reconocidas, incluyendo Scopus, ScienceDirect, Lens y Dimensions. Para asegurar una búsqueda exhaustiva, se emplearon técnicas de búsquedas booleanas utilizando conectores como "AND", "OR", y "NOT". A continuación, se presenta la tabla 1 con los descriptores de búsqueda para las bases de datos a utilizar.

Tabla 1. *Descriptorios de búsqueda por base de datos.*

Base de Datos	Descriptorios de Búsqueda
Scopus	“Recycled materials AND design of crusher machine”, “design of crusher machine AND reuse of plastics”. “`plastic recycling AND crusher machine”
Science Direct	"Design of crusher machine OR reuse of plastics", "recycled materials OR design of crusher machine", "plastic recycling OR crusher machine"
Lens	"Design of crusher machine OR reuse of plastics", "recycled materials OR design of crusher machine", "plastic recycling OR crusher machine"
Demensions	"Plastic recycling AND crusher machine", "recycled materials AND design of crusher machine", "design of crusher machine AND reuse of plastics"

Nota: Elaborado por los autores.

Estos resultados de la tabla 1, son fundamental para la búsqueda de información en las bases de datos, y varían dependiendo del número de artículos o resultados que se encuentren, ya sea artículos, libros, conferencias o algún otro tipo de documento.

1.3.2 *Criterios de inclusión y exclusión.*

Los criterios de inclusión y exclusión determinados se orientan en certificar que los estudios seleccionados sean distinguidos y de alta calidad. Mientras que los parámetros evaluados contienen la pertinencia del estudio respecto al tema de investigación, la calidad metodológica, el tipo de publicación, la fecha de publicación y la accesibilidad de los documentos.

Criterios de inclusión:

- a. Investigaciones publicadas en revistas científicas tanto en idioma inglés o español.
- b. Exploraciones realizadas en los últimos 5 años.
- c. Artículos científicos que aborden métodos de reciclaje de plásticos y diseño de maquinaria relacionada.

- d. Estudios que encierren datos cuantitativos o cualitativos de relevancia para la base teórica.

Criterios de exclusión:

- a. Publicaciones anteriores a 2020.
- b. Artículos de acceso restringido.
- c. Estudios publicados en otros idiomas.
- d. Estudios que no se centren en reciclaje de plásticos o diseño de maquinaria

1.3.3 Resultados de la búsqueda.

Se presentan a continuación los resultados generales de la búsqueda de información en las bases de datos, detallados en la tabla 2. Esta muestra el número total de artículos encontrados en cada una de las cuatro bases de datos consultadas, sin aplicar aún los criterios de elegibilidad, al igual que el porcentaje correspondiente para cada base de datos.

Tabla 2. *Total de artículos encontrados en las bases de datos*

Base de datos	Artículos encontrados	Porcentaje
Scopus	8120	18.82%
ScienceDirect	5055	11.71%
Dimensions	29093	67.43%
Lens	880	2.04%
Total	43148	100%

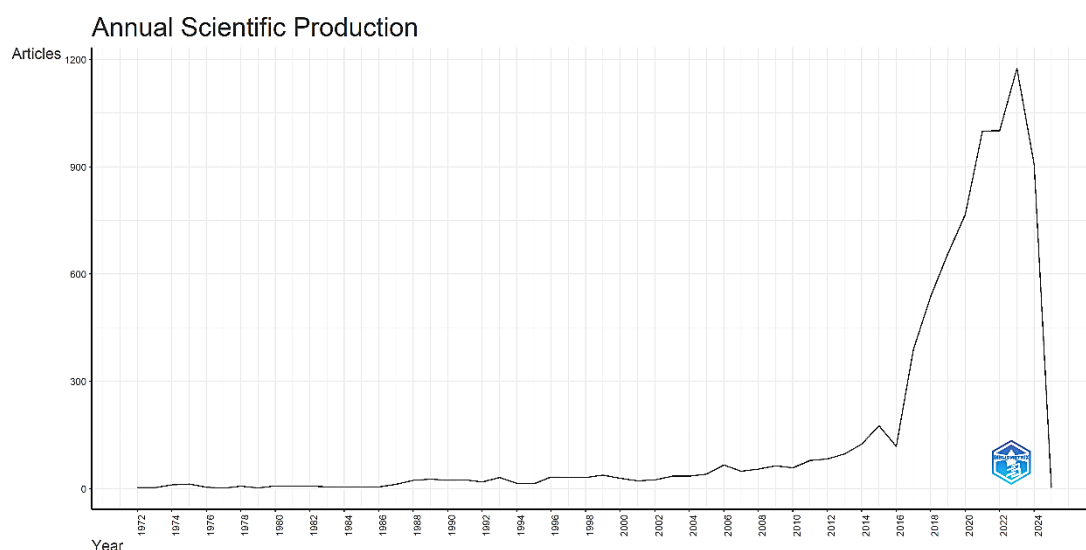
Nota: Elaborado por los autores.

En la tabla 2, se puede observar el total de artículos encontrados en las fuentes de búsqueda, siendo 43148 documentos de investigación, para los cuales se les debe de aplicar los criterios mencionados, sin embargo, antes de aplicarlos se plantea un análisis de bibliometría mediante la herramienta bibliometrix del software R, diseñado por los autores Aria & Cuccurullo (2017). Esto se basa en el estudio cuantitativo de la producción científica y su difusión mediante el análisis de publicaciones y citas, ya sea por autor, revista o país, identificando su impacto, tendencia y redes de correlación. El análisis de bibliometría mediante bibliometrix, nos muestra las siguientes gráficas y resultados, siguiendo el mismo orden de la herramienta.

- **Descripción general.**

En primera instancia, en la figura 2 se exhibe un gráfico de líneas que ilustra el progreso anual de las investigaciones desde 1972 hasta 2023. Este gráfico manifiesta la tendencia en la exploración global relacionada con los términos “máquina trituradora” y “reutilización de plásticos”. Los datos admiten la observación del crecimiento en el interés académico y científico sobre estos temas a lo largo de la línea de tiempo.

Figura 2. *Producción científica anual.*



Nota: Elaborado por los autores, mediante Bibliometrix.

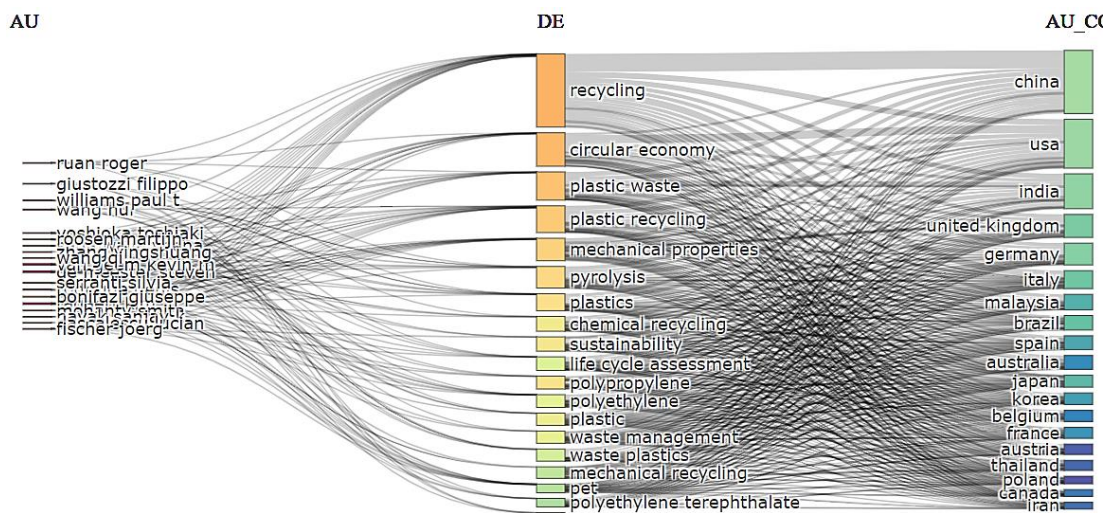
En la figura 2 se observa que la elaboración científica anual ostenta una tendencia creciente, principalmente acentuada desde el año 2000, lo que muestra una expansión en el interés y la investigación sobre reciclaje de plásticos. Este aumento puede ser atribuido a la creciente influencia regulatoria y social para la reducción del impacto ambiental de los plásticos, así como a la innovación en tecnologías de reciclaje.

El pico en los últimos años podría estar relacionado con iniciativas globales para reducir el uso de plásticos de un solo uso y mejorar las tasas de reciclaje, demostrando un compromiso cada vez mayor de la comunidad científica para encontrar soluciones efectivas y sostenibles.

A continuación, en la figura 3, se presenta un diagrama de Sankey o Three-field plot este diagrama nos permite mirar la relación que existe entre los autores con

temas similares, las palabras clave utilizadas en sus publicaciones y los países de origen de estos. Este tipo de diagrama ayuda en gran medida a la comprensión de las conexiones entre estos tres temas de estudio, destacando los principales autores que han contribuido a la investigación sobre el tema.

Figura 3. Diagrama de tres campos



Nota: Elaborado por los autores, mediante Bibliometrix.

En la figura 3, se revela una red compleja de interacciones entre autores de diversos países y sus palabras clave, destacando la naturaleza global de la investigación en reciclaje de plásticos. China, Estados Unidos e India se destacan como los países con mayor número de colaboraciones, lo que refleja su liderazgo en este campo.

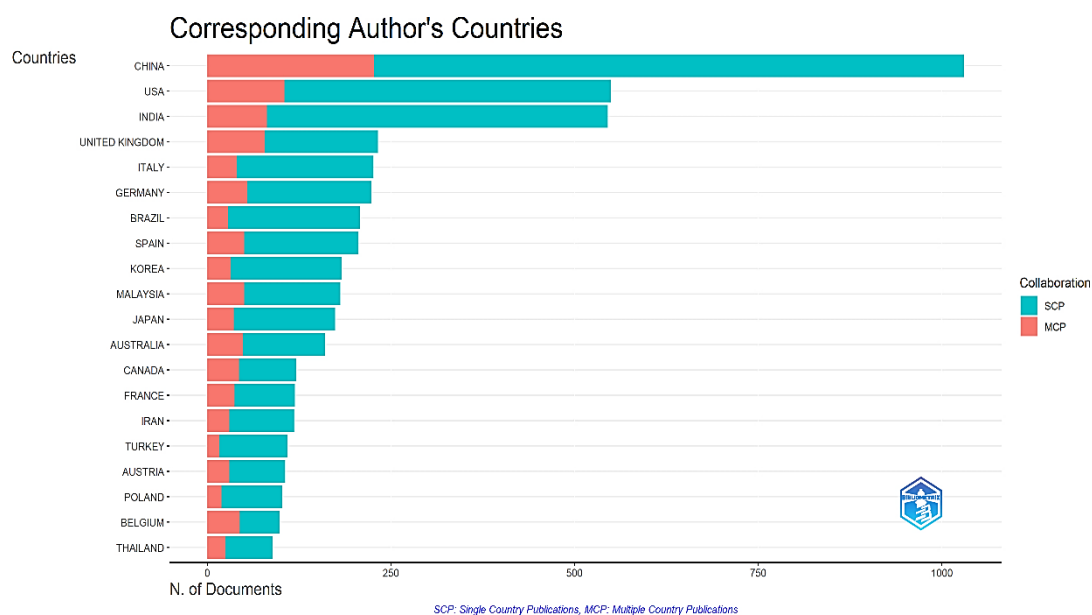
La diversidad de temas abordados, desde "recycling" hasta "chemical recycling" y "sustainability", indica un enfoque que abarca varias disciplinas, además de ser colaborativo para abordar los desafíos del reciclaje de plásticos. Sin importar quien sean los autores, se observa que las palabras clave más utilizadas se relacionan con la economía circular, el reciclaje y los desechos plásticos.

- **Países.**

Así mismo, en la siguiente categoría se muestra la figura 4 como un gráfico de barras horizontales, con los autores correspondientes a cada país en términos del número de publicaciones realizadas, con dos colores distintos, el azul destacando la

publicación de 1 localidad, y otro color sobre la colaboración de divulgación entre multiplicidad de países.

Figura 4. *Autores correspondientes por países.*



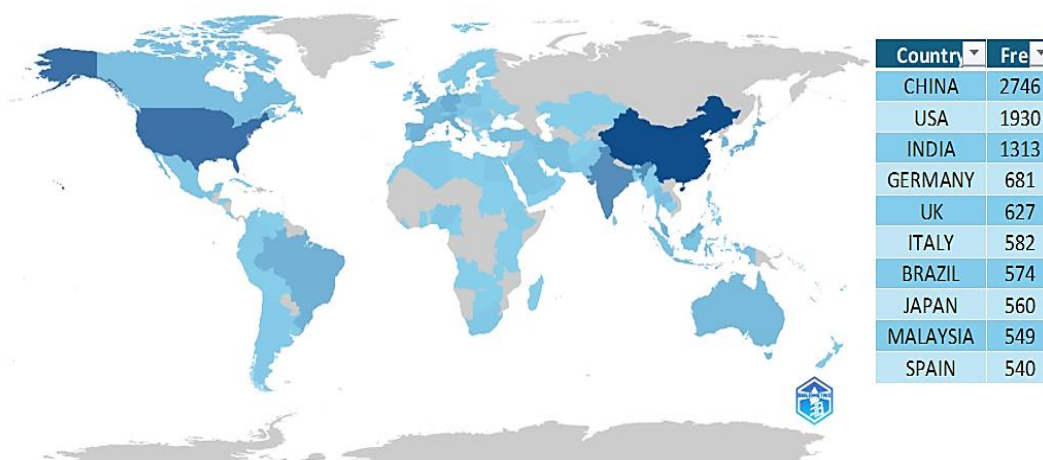
Nota: Elaborado por los autores, mediante Bibliometrix.

El gráfico de barras exhibido en la figura 4, recalca a China y Estados Unidos como los países con mayor número de publicaciones en el campo, tanto en investigaciones nacionales como internacionales. La prerrogativa de estos países puede estar vinculada a sus robustas infraestructuras de investigación y progreso, así como a sus políticas proactivas en temas ambientales sustentables. La discrepancia en el número de publicaciones entre colaboraciones de un solo país y múltiples países subraya la relevancia de la contribución internacional para abordar inconvenientes globales como el reciclaje de plásticos.

De igual manera, en la figura 5 se adjunta un mapa mundial que muestra la producción científica por país, donde las distintas tonalidades de azul representan la intensidad de dicha producción. Cuanto más oscura es la tonalidad, mayor es el volumen de publicaciones relacionadas con el tema. Junto a este mapa, se presenta una pequeña tabla que destaca los 10 principales países productores en este campo, proporcionando una visión detallada de las naciones con mayor contribución científica.

Figura 5. Producción científica por países.

Country Scientific Production



Nota: Elaborado por los autores, mediante Bibliometrix.

El mapa exhibido en la figura 5, refleja una disparidad notable en la producción científica sobre reciclaje de plásticos entre países, con China liderando de forma significativa, seguida de Estados Unidos e India. Esta directriz puede atribuirse a las políticas de sostenibilidad y la transformación en investigación y desarrollo en estos países. Por otro lado, China, por ejemplo, ha efectuado políticas estrictas de gestión de residuos y reciclaje, lo que ha provocado mayor número de investigación y desarrollo en estas áreas. En cambio, países con menor elaboración científica podrían plantearse limitaciones en recursos o prioridad de políticas, lo cual sobresa la necesidad de una mayor cooperación internacional para colaborar en conocimientos y tecnologías.

- **Palabras.**

A su vez, en la figura 6 se representa una nube de palabras creada a partir del análisis temático proporcionado por bibliometrix. Esta nube muestra las palabras más frecuentemente utilizadas en los estudios que presentan relación con la temática de la máquina trituradora y el reciclaje de plásticos. El tamaño de cada palabra en la nube refleja su frecuencia de aparición, de manera que los vocabularios más grandes son aquellos que se repiten con mayor periodicidad en los documentos detallados. Esta representación gráfica facilita la caracterización de los términos clave predominantes en la literatura sobre este tema, ofreciendo una visión clara de las tendencias investigativas.

Figura 6. Nube de palabras.

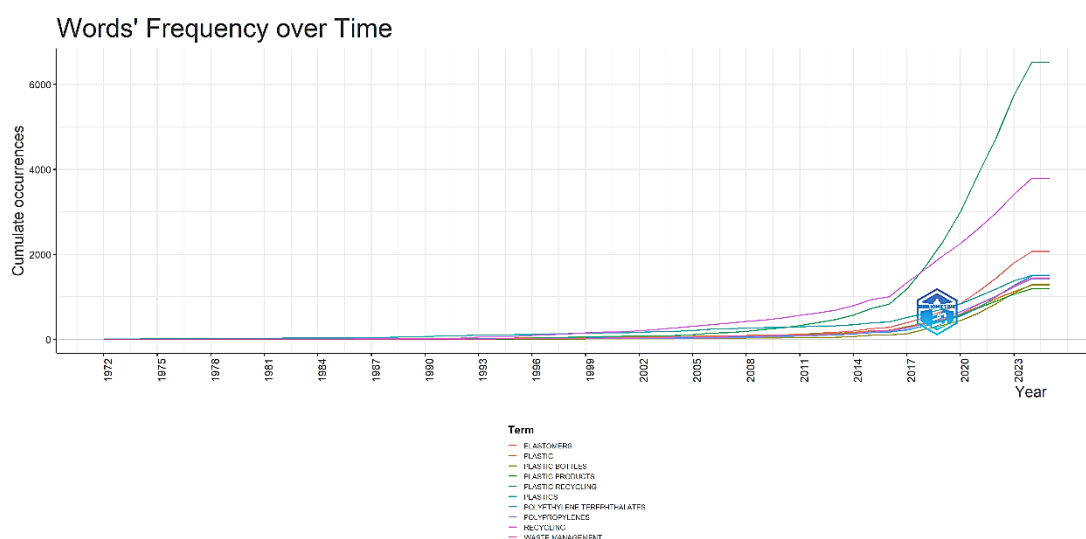


Nota: Elaborado por los autores, mediante Bibliometrix.

La nube de palabras en forma de estrella mostrada en la figura 6, recalca la prominencia de "recycling", "circular economy", y "plastic waste" como terminologías centrales en la literatura científica, revelando un enfoque predominante en la gestión de residuos y la sostenibilidad. La diversidad de términos asociados, como "mechanical recycling" y "pyrolysis", propone una amplia gama de enfoques técnicos para el reciclaje de plásticos. Además, la aparición de términos como "sustainability" y "life cycle assessment" manifiesta un enfoque integrado en la valoración de los impactos ambientales y la eficiencia de los procesos, acentuando la complejidad y la importancia de abordar la problemática de los plásticos desde múltiples representaciones.

De igual manera, en la figura 7 se representa un gráfico que está claramente relacionado con la figura 6. Este gráfico muestra el avance significativo y temporal del uso de las palabras clave más relevantes desde 1972 hasta la actualidad, de acuerdo con las publicaciones científicas analizadas. Mientras que las líneas trazadas en el gráfico reflejan cómo ha cambiado la frecuencia de uso de estas palabras con el paso del tiempo, condescendiendo a identificar tendencias y cambios en el rumbo de la investigación sobre la máquina trituradora y el reciclaje de plásticos.

Figura 7. Frecuencia de palabras a lo largo del tiempo.



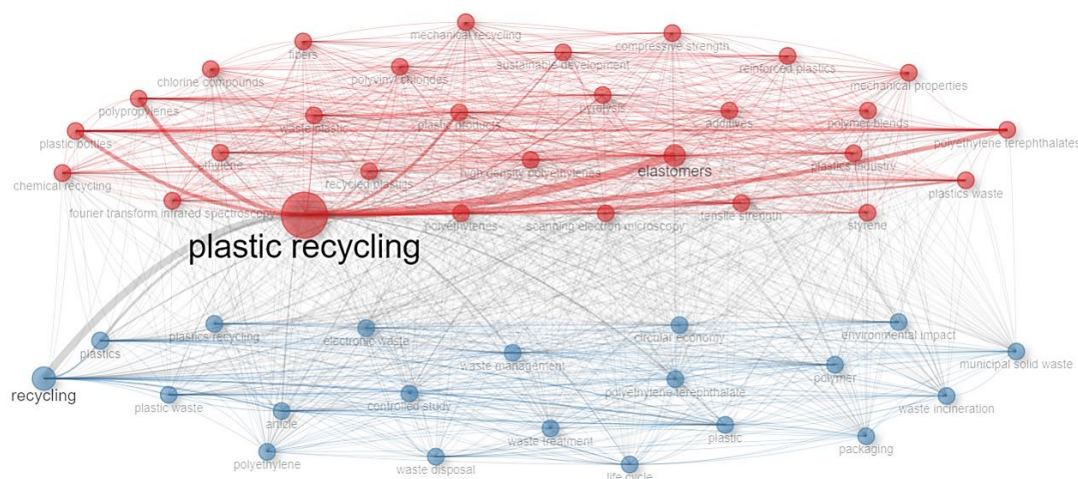
Nota: Elaborado por los autores, mediante Bibliometrix.

En la figura 7, se puede observar un acrecentamiento exponencial en la frecuencia de términos clave desde mediados de la década de 2000, resaltando la gran urgencia en abordar el reciclaje de plásticos. Este aumento coincide con un periodo de mayor cuidado global hacia el cambio climático y la sostenibilidad, inducido por decisiones gubernamentales y organizaciones en todo el mundo. El realce de términos como "plastic recycling" y "circular economy" propone un cambio hacia enfoques más sostenibles y circulares, mientras que la constante relevancia de términos como "waste management" indica que la gestión apropiada de residuos sigue siendo un reto importante.

- **Estructura conceptual.**

Finalmente, dentro del desarrollo del apartado que tiene relación con la estructura conceptual, se muestra un clúster de co-ocurrencia de palabras en la figura 8. En este diagrama, los puntos o nodos representan los términos más distinguidos en los artículos, mientras que los vínculos entre ellos indican la periodicidad con la que estos términos surgen juntos en las publicaciones. Este análisis de co-ocurrencia permite representar las relaciones y asociaciones clave entre los conocimientos más utilizados en la investigación sobre la máquina trituradora y el reciclaje de plásticos.

Figura 8. Clúster de co-ocurrencia de palabras.



Nota: Elaborado por los autores, mediante Bibliometrix.

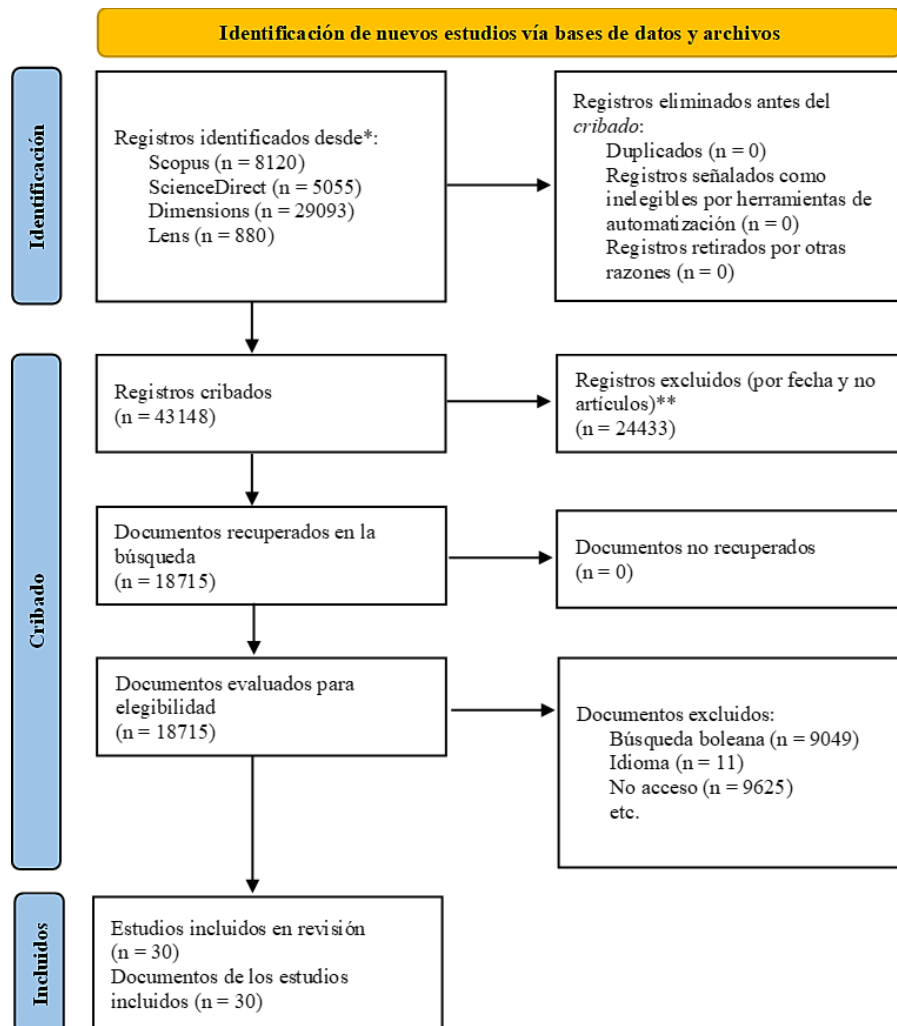
La red de co-ocurrencia de términos de la figura 8, muestra "plastic recycling" como un nodo central, enlazando una gran cantidad de términos relacionados, lo que demuestra que se trata de un tema de gran relevancia en la literatura científica sobre plásticos. Los términos asociados como "mechanical properties", "chemical recycling", y "polypropylene" revelan una exploración profunda de diferentes métodos y materiales en el reciclaje de plásticos. La segmentación de la red en clústeres de términos refleja las diferentes áreas de la orientación dentro de la investigación, desde los aspectos técnicos hasta los alcances medioambientales. Esta distribución revela la complejidad del tema y la necesidad de un enfoque multidisciplinario para desplegar soluciones integrales.

Los resultados de la bibliometrix reflejan un progresivo interés y esfuerzo global en la investigación sobre el reciclaje de plásticos, justificado por el gran aumento de la producción científica y la variedad de temas abordados, como la economía circular, las propiedades mecánicas y los métodos de reciclamiento. Es así que China y Estados Unidos emergen como líderes en la elaboración científica y colaboración internacional, lo que sugiere una fuerte infraestructura de investigación y políticas proactivas en sostenibilidad. No obstante, a pesar del extenso enfoque en la gestión y reciclaje de plásticos, se observó una considerable escasez de averiguación específica sobre el diseño y desarrollo de máquinas trituradoras para la transformación de materiales plásticos reciclados. Esto indica una oportunidad de investigación importante, ya que el desarrollo de tecnología especializada es de gran valor para

optimizar la eficiencia y posibilidad económica de la reutilización. Por lo antes mencionado es que la falta de estudios detallados en esta área sobrepasa la necesidad de un enfoque más técnico y aplicado, que podría favorecer significativamente a la optimización de los métodos y a la implementación práctica de soluciones de reciclaje en regiones como Santa Elena, Ecuador.

Con esto, se da paso a la presentación de los resultados de la revisión de métodos mixtos, como primero, se da a conocer la figura 9 con el resumen de la selección de artículos científicos, mediante la aplicación de los criterios correspondientes.

Figura 9. Resumen de la revisión de métodos mixtos mediante PRISMA.



Nota: Elaborado por los autores, mediante Page et al. (2021).

La figura 9 da a conocer un total de 30 artículos seleccionados luego de la aplicación de los criterios de elegibilidad, en donde se tomó en cuenta la búsqueda booleana para la obtención de cada uno, además de descartar aquellos que no tenían

libre acceso o que no pertenecían a los idiomas correspondientes. De la misma manera, se presenta la Tabla 3 con la presentación de estos documentos, en base a su autor, título, enfoque y relación con las variables.

Tabla 3. *Registro de los artículos seleccionados.*

Autor	Título	Enfoque	Variable
Du et al. (2024)	Design optimization and performance evaluation of corn straw crushing and rubbing filament machine.	Cuantitativo	Máquina trituradora.
Awe et al. (2024)	Development and performance evaluation of a mini plastic crushing machine.	Cuantitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
Hoffmann & Glückler (2024)	Technology evolution in heterogeneous technological fields: A main path analysis of plastic recycling.	Cualitativo	Reciclaje de plásticos.
Abdullah & Abedin (2024)	Assessment of plastic waste management in Bangladesh: A comprehensive perspective on sorting, production, separation, and recycling.	Cualitativo	Reciclaje de plásticos.
Vijayarajan et al. (2024)	Design and Fabrication of Recycling Non-Biodegradable Materials into Products.	Mixto	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
Paasovaara et al. (2024)	Continuously compressing crushing towards a dry processing method, a testing for graphite ore.	Cuantitativo	Máquina trituradora.
K et al. (2024)	Plastic Crushing Machine.	Cuantitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
Wang et al. (2023)	Design and Test Analysis of 1GYF-240 Sugarcane Straw Crushing and Returning Machine.	Cuantitativo	Máquina trituradora.
Naveen et al. (2023)	Plastic waste bottle accumulation and management for eco-friendly environment.	Cuantitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
Patil et al. (2023)	Design and Fabrication of Plastic Shredding Machine.	Cuantitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
Okusanya et al. (2023)	Development and Performance Evaluation of Double Shaft	Cuantitativo	Máquina trituradora –

	Plastic Bottle Crusher for Small Scale Industrial Application.		reciclaje de plástico.
Naderi-Kalali et al. (2023)	A critical review of the current progress of plastic waste recycling technology in structural materials.	Cualitativo	Reciclaje de plásticos.
Chaari et al. (2023)	Building a community-scale plastic recycling station to make flowerpots from bottle caps.	Mixto	Reciclaje de plásticos.
Kunlere & Shah (2023)	A recycling technology selection framework for evaluating the effectiveness of plastic recycling technologies for circular economy advancement.	Mixto	Reciclaje de plásticos.
Anticonavalderrama et al. (2023)	Innovative design of a plastic shredder for sustainable cities.	Cuantitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
El-Ghobashy et al. (2023)	Development and evaluation of a dual-purpose machine for chopping and crushing forage crops.	Cuantitativo	Máquina trituradora.
Pérez et al. (2023)	Diseño electromecánico de una máquina trituradora de tapas plásticas para la fabricación de albergues animales.	Cuantitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
Julian-Daga et al. (2022)	Design of A Processing Machine for Hybrid Composites Based on Coconut and Maguey Fibers for the Production of Chipboard in the Junin-Peru Region.	Cuantitativo	Máquina trituradora.
Adjie-Suwignyo et al. (2022)	The Design of a Plastic Shredder Machine with The Crusher Cutting Knife Model for Environmentally Sustainable.	Cuantitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
Setyaningsih et al. (2022)	Performance improvement of the shredder machines using IoT-based overheating controller feature.	Cuantitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
Lamba et al. (2022)	Recycling/reuse of plastic waste as construction material for sustainable development: a review.	Mixto	Reciclaje de plástico.
Henriksen et al. (2022)	Plastic classification via in-line hyperspectral camera analysis and unsupervised machine learning.	Cualitativo	Reciclaje de plástico.
Taco et al. (2021)	Design and construction of a low-density plastic crushing and	Mixto	Máquina trituradora –

	granulating machine as a recycling tool.		reciclaje de plástico.
Domínguez-Gurría et al. (2021)	Análisis numérico del mecanismo de una trituradora de PET mediante el método de elementos finitos.	Mixto	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.
Mataram et al. (2021)	Stress Distribution Analysis of the Rectangular and Star-Blade for Plastic Crusher Machine Using Finite Element Analysis.	Cuantitativo	Máquina trituradora.
Flizikowski et al. (2021)	The Development of Efficient Contaminated Polymer Materials Shredding in Recycling Processes.	Cualitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico
Kumaran et al. (2020)	Design and analysis of shredder machine for e - waste recycling using CATIA.	Cuantitativo	Máquina trituradora.
Cruz-Sanchez et al. (2020)	Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy.	Mixto	Reciclaje de plástico.
Kehinde et al. (2020)	Plastic wastes: environmental hazard and instrument for wealth creation in Nigeria.	Cualitativo	Reciclaje de plásticos
Rahardjo et al. (2020)	Crusher Design for Plastic Waste in 3D Printing.	Cuantitativo	Máquina trituradora – reciclaje de plástico.

Nota: Elaborado por los autores.

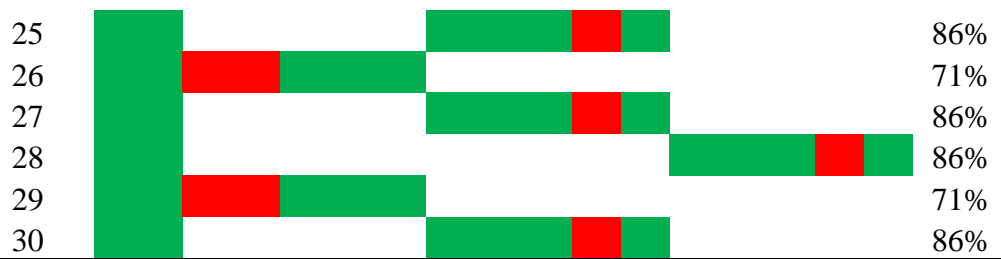
De acuerdo con los datos expuestos en la tabla 3, la mayor parte de los artículos se concentran en investigaciones cuantitativas sobre el diseño y evaluación de máquinas trituradoras de plástico, acentuando el interés en la optimización de procesos mecánicos y tecnológicos para su reutilización. Se puede observar que un gran número de estudios también abordan el reciclaje de estos materiales desde enfoques cualitativos y mixtos, reflejando un desasosiego exhaustivo por su gestión y recuperación. Esta mezcla de enfoques sugiere un campo de estudio dinámico que busca tanto perfeccionar las tecnologías de trituración como también percibir los impactos y valideces del reciclaje de plásticos desde múltiples perspectivas.

1.3.4 Evaluación de calidad.

Con el fin de observar el nivel de calidad que tienen los artículos de investigación, se va a aplicar la herramienta de evaluación de calidad para la revisión de métodos mixtos creado por Hong et al. (2018), para el cual se presenta el cuestionario mediante el anexo A, en donde se observan 5 categorías para los tipos de enfoques, los correspondientes al estudio son los ítems del 1, 4 y 5, siendo cualitativo, cuantitativo descriptivo y mixto respectivamente. El cuestionario consta de 5 preguntas por cada enfoque, su método de calificación es de “verde=si cumple”, “amarillo=no cumple” y “rojo= no específico o incapaz de responder” tomando como referencia a la evaluación realizada por Herrero-Diez & Catalá-López (2023), además de existir 2 preguntas generales. Ante lo mencionado, se adjunta la tabla 4 con el resumen de la evaluación.

Tabla 4. Resultados de la evaluación de calidad MMAT.

Artículo	Ítems del cuestionario de evaluación															Valor		
	S1	S2	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	5.2	5.3		5.4	5.5
1	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
2	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
3	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde											71%
4	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde											71%
5	Verde	Verde											Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	86%
6	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
7	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
8	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
9	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
10	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
11	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde											86%
12	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde											86%
13	Verde	Verde											Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	86%
14	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
15	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
16	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
17	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
18	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
19	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
20	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						86%
21	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde						Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	86%
22	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde											71%
23	Verde	Verde											Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	86%
24	Verde	Verde											Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	86%



Nota: Elaborado por los autores.

En la tabla 4, se muestra que la mayor parte de los artículos evaluados alcanzan una puntuación alta de calidad (86%), lo que indica que cumplen con la mayoría de los criterios establecidos en el cuestionario de evaluación MMAT. Sin embargo, algunos tienen puntuaciones más bajas circulando al 71%, demostrando que se fue incapaz de responder a algunos ítems críticos de la calidad investigativa. En general, la evaluación no baja del 70%, por ende, los artículos seleccionados son robustos y confiables, proporcionando una base sólida para el análisis y las conclusiones sobre las tecnologías y prácticas de reciclaje de plásticos, además se otorgar información válida para la fundamentación teórica de las variables.

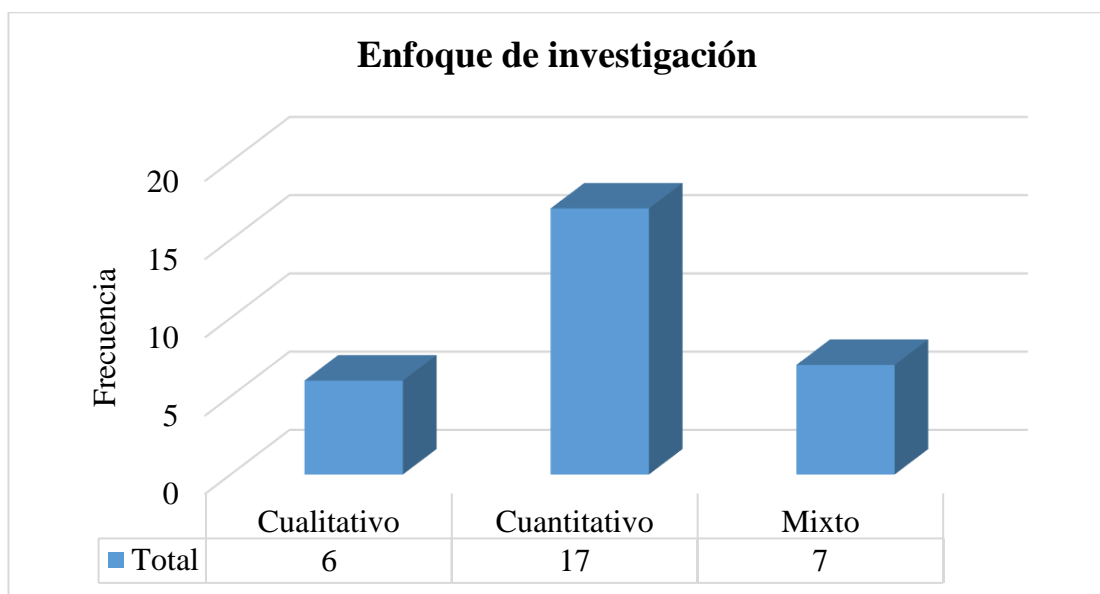
1.3.5 *Abstracción y síntesis de datos.*

Continuando con la revisión de métodos mixtos, se plantea la síntesis de datos de los artículos de investigación obtenidos, en la que se extrajo información relevante sobre la metodología, enfoque utilizado, método, técnica e instrumentos de recolección de datos, así como se da a conocer en el anexo B, del cual surgen lo siguiente:

En base a la metodología, se tomó en cuenta aquellas investigaciones que involucraban a las 2 variables de investigación, utilizando palabras tales como: “máquina, trituradora y plásticos” independientemente del enfoque optado, y considerando la palabra “diseño” como orientación al proyecto, de los cuales predominaron los estudios de Adjie-Suwignyo et al. (2022); Anticona-Valderrama et al. (2023); Awe et al. (2024); K et al. (2024); Vijayarajan et al. (2024); Okusanya et al. (2023); Patil et al. (2023); Pérez et al. (2023); Rahardjo et al. (2020); Taco et al. (2021), siendo un total de 10 artículos, de los cuales se observó que presentan una metodología similar que inicia en la consideración de materiales, modelado digital, construcción física y prueba piloto o puesta en marcha.

Por ello, en base a metodologías similares aplicadas por los autores, se eligió por afinidad la de Pérez et al. (2023). De la misma manera, en la figura 10 se presenta una gráfica de barras que ilustra la frecuencia de estudios según el enfoque de investigación utilizado. Esta gráfica clasifica los estudios en tres categorías principales: cualitativo, cuantitativo y mixto, mostrando cuántas investigaciones corresponden a cada uno de estos enfoques. Las barras permiten comparar visualmente la predominancia de cada tipo de investigación en el campo relacionado con la máquina trituradora y el reciclaje de plásticos.

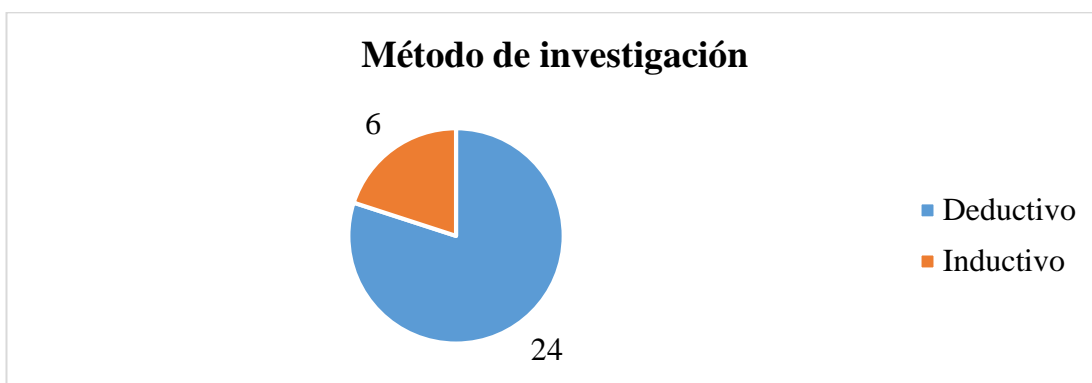
Figura 10. Resultados enfoque de investigación.



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 10 permite conocer que la mayoría de los estudios detallados utilizan un enfoque cuantitativo, seguido por el enfoque mixto y finalmente el enfoque cualitativo, siendo 17 – 7 – 6 respectivamente. Esto indica que hay una preferencia importante por los estudios cuantitativos con relación al diseño de una máquina trituradora para materiales plásticos, seguramente debido a la objetividad y la capacidad de divulgación que ofrecen estos métodos. Es así que el enfoque cuantitativo admite medir y estudiar datos numéricos, facilitando la ejecución de estadísticas y pruebas de hipótesis, algo altamente valorado en estudios científicos y académicos. Seguidamente, un gráfico de pastel mediante la figura 11, en donde se observa la distribución de los métodos de investigación en dos tipos: deductivo e inductivo.

Figura 11. Resultados de método de investigación.

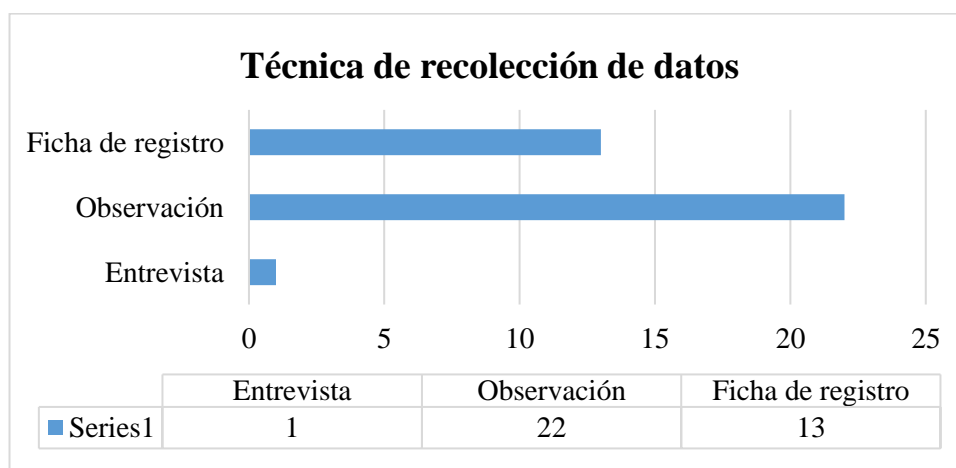


Nota: Elaborado por los autores.

En base a la figura 11, la mayor parte de los estudios (80%) maneja un método deductivo, mientras que solo 6 estudios utilizan un método inductivo (20%). Esto revela una predominancia de estudios que parten de una teoría o hipótesis antepuesta para luego ser comprobada con datos, en lugar de edificar teorías a partir de la observación de datos. El método deductivo es aventajado por su capacidad para corroborar o refutar teorías existentes, lo cual puede facilitar conclusiones más claras y directas.

De igual manera, en la figura 12 se indica una gráfica de barras que demuestra la frecuencia de uso de técnicas heterogéneas de recolección de datos en los estudios analizados. Entre las metodologías más relevantes se incluyen la ficha de registro, la observación y la entrevista. Las barras permiten representar cuántos estudios han manejado cada una de estas herramientas, lo que proporciona un cotejo claro de su notoriedad en la investigación sobre la máquina trituradora y el reciclaje de plásticos.

Figura 12. Resultados de técnicas de recolección de datos.

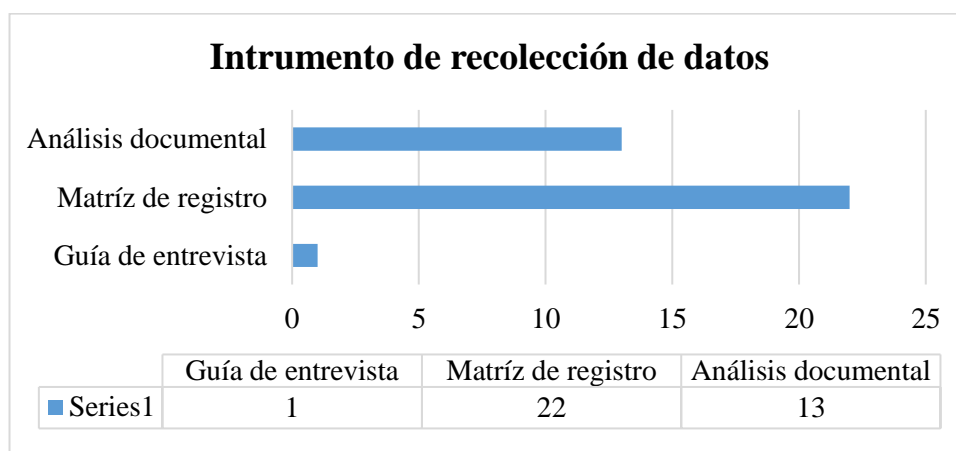


Nota: Elaborado por los autores.

La figura 12, indica que la técnica más utilizada es la observación con un total de 22 estudios que la utilizan, seguida por la ficha de registro con 13 y la entrevista con 1. Esto indica que los estudios prefieren métodos directos de recolección de datos que pueden proporcionar datos en tiempo real y de forma continua. La observación permite a los investigadores recopilar datos directamente del entorno del sujeto de estudio, lo cual puede ser crucial para obtener información detallada y contextual, en los artículos cuantitativos se visualizó que aplicaron esta técnica para obtener datos numéricos al momento de construir la máquina trituradora o de realizar algún análisis correspondiente.

Finalmente, en la figura 13 se presenta una gráfica de barras que está directamente relacionada con las técnicas de recolección de datos, mostrando la frecuencia de uso de diferentes instrumentos. Entre los instrumentos representados se encuentran el análisis documental, la matriz de registro y la guía de entrevista. Esta gráfica permite visualizar cuántos estudios han empleado cada uno de estos instrumentos, facilitando la comparación entre ellos.

Figura 13. Resultados de instrumentos de recolección de datos.



Nota: Elaborado por los autores.

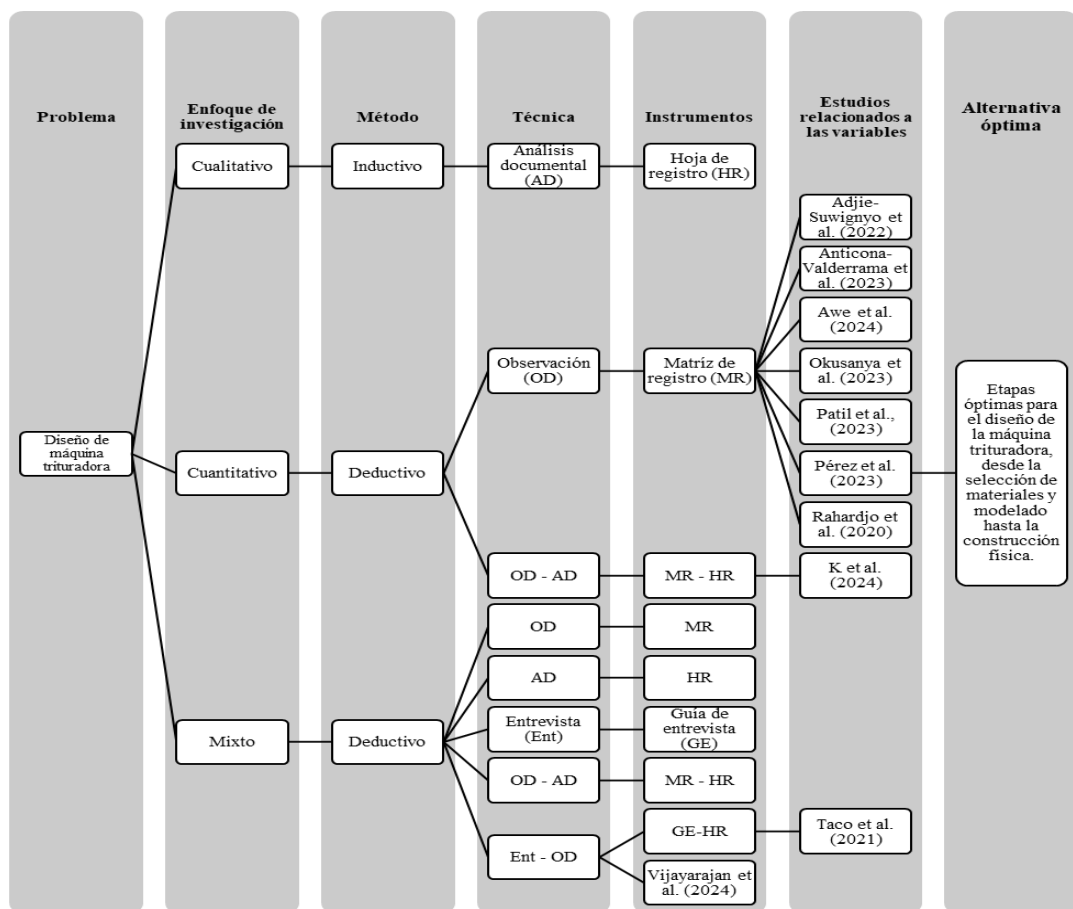
De acuerdo con la figura 13 la herramienta más utilizada es la matriz de registro con 22 estudios como frecuencia, seguido por el análisis documental con 13 y la guía de entrevista con 1. Esto indica que los estudios se justifican en gran medida en la distribución estructurada de datos y el análisis de documentos existentes, mientras que las entrevistas son poco habituales. La matriz de registro es una herramienta sistemática que facilita la compilación y ordenación de datos de manera estructurada, mientras que el análisis documental admite que los investigadores puedan trabajar con

datos anteriores, escatimando tiempo y recursos, además de utilizar investigación de documentos académicos de bases científicas.

1.3.6 *Discusión de los resultados.*

A partir de los resultados derivados mediante la revisión de métodos mixtos, se ha realizado una gráfica general que establece las alternativas relacionadas con el enfoque, el método, la técnica y el instrumento de recolección de datos en una dimensión similar a un mapa conceptual horizontal presentada en la figura 14. Esta muestra una visión exhaustiva de las expectativas disponibles para la construcción de la máquina trituradora, catalogadas de manera que faciliten el cotejo y selección. Además, se contiene un análisis que destaca la mejor alternativa entre las presentadas, basada en su idoneidad y eficacia para la investigación. Esta representación visual suministra una guía clara para la elección de las metodologías más adecuadas, perfeccionando así el proceso de recolección y análisis de datos.

Figura 14. Resultados finales de la revisión de métodos mixtos.



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 14 presenta un esquema ordenado del proceso de investigación para el diseño de una máquina trituradora, que engloba desde la caracterización del problema hasta la propuesta de una alternativa óptima. Este modelo está fundado en un enfoque mixto, manejando tanto el método cualitativo como el cuantitativo para afirmar un análisis integral. También se identifican los enfoques cualitativo y cuantitativo, que aprueban abordar el estudio desde diferentes perspectivas y apuntalar una base sólida de evidencia a través de los métodos inductivo y deductivo.

1.4 Fundamentos teóricos.

1.4.1 Plásticos.

El plástico es un material sintético compuesto por una amplia variedad de polímeros orgánicos, como el tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (HDPE), cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno de baja densidad (LDPE) (K et al., 2024). Estos polímeros se crean a partir de petróleo mediante un proceso químico y son conocidos por su ligereza y durabilidad, pero no son biodegradables. Los plásticos tienen una estructura de macromoléculas formadas por la unión de numerosas moléculas más pequeñas llamadas monómeras. Su versatilidad permite que sean moldeados en formas rígidas o ligeramente elásticas, y se utilizan en numerosos sectores como la automoción, la construcción y la electrónica. Sin embargo, el uso extensivo de plásticos ha llevado a una acumulación significativa de desechos plásticos, lo que contribuye a la contaminación ambiental y problemas de salud (Kunlere & Shah, 2023). El plástico no biodegradable puede obstruir tuberías, generar gases tóxicos al ser quemado y aumentar el calentamiento global, para mitigar estos problemas, se están explorando alternativas como plásticos biodegradables basados en biopolímeros y se han desarrollado máquinas para reciclar plástico, lo cual incluye procesos como la trituración y la separación de tipos de plásticos reciclables (K et al., 2024).

1.4.2 Tipos de plásticos

De acuerdo con Lamba et al. (2022), Henriksen et al. (2022) y Flizikowski et al. (2021) existen 2 categorías de los plásticos.

1. **Termoplásticos:** estos plásticos se pueden recalentar y moldear múltiples veces sin perder sus propiedades. Son reciclables y se utilizan en una amplia gama de aplicaciones. Incluyen:

- a. **PET (tereftalato de polietileno):** es un plástico transparente y resistente que se usa comúnmente en botellas de agua y refrescos, así como en envases de alimentos. Su alta resistencia y capacidad para mantener su forma lo hacen ideal para productos de consumo.
 - b. **HDPE (polietileno de alta densidad):** es conocido por su resistencia y durabilidad. Se utiliza en la fabricación de botellas de leche, envases de productos de limpieza y tuberías. Su estructura densa les proporciona gran resistencia a impactos y a ciertos químicos.
 - c. **LDPE (polietileno de baja densidad):** es flexible y se utiliza en la producción de bolsas de plástico, envoltorios y contenedores. Su baja densidad le confiere una mayor flexibilidad y transparencia comparado con el HDPE.
 - d. **PVC (cloruro de polivinilo):** este plástico rígido y resistente se usa en tuberías, revestimientos de suelos y ventanas. El PVC también puede ser flexible, dependiendo de los aditivos que se le añadan.
 - e. **PP (polipropileno):** es un plástico ligero y resistente a la fatiga, utilizado en empaques, textiles, y partes automotrices. Su resistencia al calor y a los productos químicos lo hace versátil para diferentes aplicaciones.
 - f. **PS (poliestireno):** puede ser sólido o expandido (como el poliestireno expandido o EPS, utilizado en embalajes y aislamiento). Es conocido por su rigidez y capacidad de aislamiento, aunque es menos resistente a impactos y a temperaturas extremas.
2. **Plásticos termo endurecibles y fibras sintéticas:** estos plásticos no se pueden reciclar fácilmente porque una vez que se han endurecido al calentarse, no pueden volver a fundirse ni moldearse. Incluyen:
- a. **Plástico multicapa y laminado:** estos plásticos están compuestos por varias capas de diferentes materiales, lo que los hace difíciles de separar y reciclar. Se utilizan en envases que requieren propiedades especiales, como la resistencia a la humedad y a la luz.
 - b. **Teflón (politetrafluoroetileno, PTFE):** conocido por su resistencia al calor y a los químicos, se usa principalmente en recubrimientos

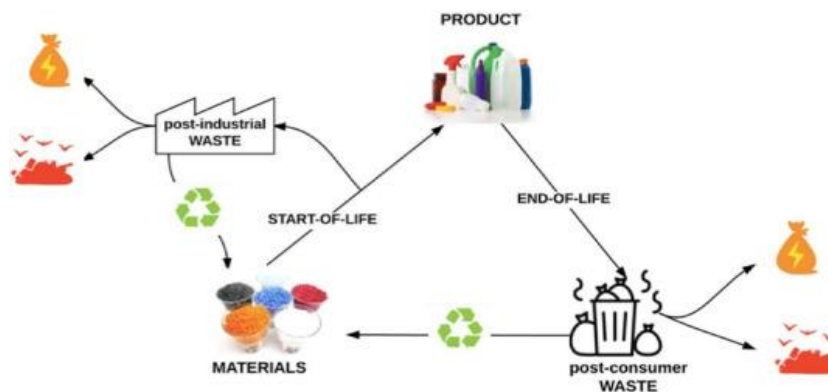
antiadherentes para utensilios de cocina y en aplicaciones industriales que requieren resistencia a altas temperaturas.

- c. **PUF (espuma de poliuretano):** utilizado en muebles, colchones y aislamiento, esta espuma es conocida por su capacidad de absorción y aislamiento. Es difícil de reciclar debido a su estructura y composición.
- d. **Baquelita:** es uno de los primeros plásticos sintéticos, utilizado en productos electrónicos antiguos y en componentes de automóviles. Su estructura rígida la hace resistente al calor y a los productos químicos, pero difícil de reciclar.
- e. **Policarbonato:** es un plástico fuerte y transparente utilizado en lentes ópticos, CD y aplicaciones de protección. Su resistencia al impacto y a altas temperaturas lo hace útil, pero complicado de reciclar.
- f. **Nailon (Nylon):** conocido por su resistencia y durabilidad, se usa en textiles, piezas de maquinaria y componentes automotrices. Su estructura de polímero lo hace resistente, pero complicado de procesar para el reciclaje.

1.4.3 Ciclo de vida de los plásticos.

El ciclo de vida de los plásticos abarca desde la transformación de materias primas en productos mediante diversas técnicas de conversión, generando residuos postindustriales limpios y homogéneos que son relativamente fáciles de reciclar (Vijayarajan et al., 2024). En la fase de fin de vida, los productos se convierten en residuos posconsumo, que suelen ser plásticos mezclados de composición desconocida y con posible contaminación, complicando su reciclaje (Cruz-Sanchez et al., 2020), así como se observa en la figura 15.

Figura 15. *Ciclo de vida de los plásticos.*



Nota: Elaborado por los autores, obtenido de (Vijayarajan et al., 2024).

La recolección de estos residuos varía, siendo el reciclaje la opción preferida, seguido por la recuperación de energía y el vertido como las opciones menos deseables, para reducir la generación de residuos, se promueven envases más inteligentes, materiales alternativos y la reutilización, lo que requiere conciencia del consumidor (Vijayarajan et al., 2024). La valorización efectiva de los residuos a través de tecnologías de reciclaje y apoyo político es fundamental para una gestión sostenible de residuos y la conservación ambiental.

1.4.4 Reciclaje.

Awe et al. (2024) describe que el reciclaje permite la reutilización de residuos plásticos para la creación de nuevos productos, fomentando una economía circular. Dado que los plásticos no son degradables, el reciclaje forma parte de un esfuerzo global para disminuir su impacto ambiental, ya que aproximadamente ocho millones de toneladas de plásticos se vierten en los océanos cada año. Debido a que la mayoría de los plásticos no son biodegradables, el reciclaje dentro de una economía circular se presenta como una alternativa viable a la quema o el entierro de estos materiales en vertederos.

Tipos de reciclaje.

De acuerdo con Hoffmann & Glückler (2024) y Abdullah & Abedin (2024) el reciclaje de plásticos se divide en cuatro tipos principales:

1. **Reciclaje primario:** también conocido como reciclaje de circuito cerrado, se centra en recuperar productos equivalentes a partir de residuos plásticos de alta pureza, principalmente posindustriales, y en algunos casos de residuos posconsumo. Implica el reprocesamiento mecánico mediante extrusión para reformar los materiales poliméricos.
2. **Reciclaje secundario:** utiliza procesos mecánicos que degradan el material original, convirtiendo productos plásticos de alta calidad en otros de menor calidad, como convertir botellas de PET en fibras de poliéster. Incluye pasos de preprocesamiento para separar, eliminar contaminantes y triturar el material para mantener la pureza.
3. **Reciclaje terciario:** involucra la despolimerización de plásticos en sus componentes monoméricos a través de métodos como la pirólisis (degradación térmica), la degradación química y la degradación biológica (enzimática). Este

enfoque permite la reutilización de componentes específicos, aunque la tecnología aún está en desarrollo, especialmente en el caso de la degradación biológica.

4. **Reciclaje cuaternario:** se refiere a la recuperación de energía mediante la incineración de residuos plásticos. Aunque los plásticos tienen una alta densidad energética, este método produce mayores emisiones de CO₂ y es menos eficiente en la recuperación de energía. Es considerado como una última opción cuando no es posible recuperar material de otra manera.

Otros tipos de reciclaje:

1. **Reciclaje mecánico:** es un proceso eficiente y económico para tratar plásticos, especialmente compuestos reforzados con fibra, al reducir su tamaño mediante trituración, este método es accesible y utiliza menos energía que el reciclaje químico, lo que lo hace adecuado para instalaciones con presupuesto limitado (Naderi-Kalali et al., 2023). Sin embargo, enfrenta desafíos como la generación de oligómeros que afectan la calidad del producto final y la reducción de la viscosidad del fundido debido a la despolimerización. Además, el reciclaje mecánico puede ser ineficiente para mezclas complejas de desechos plásticos, llevando a una mayor incineración de estos materiales.
2. **Reciclaje químico:** el reciclaje químico descompone los plásticos en sus monómeros originales, permitiendo la creación de nuevos productos plásticos a partir de materias primas recicladas con alta pureza, este método ofrece un gran potencial de rentabilidad y es adecuado para compuestos de alto rendimiento, pero requiere una significativa inversión en desarrollo e infraestructura, y opera a altas temperaturas, consumiendo mucha energía (Flizikowski et al., 2021) A pesar de sus ventajas en términos de calidad del material reciclado y su aplicación en nuevos materiales, la viabilidad del reciclaje químico a escala industrial aún no está completamente establecida, lo que limita su adopción generalizada.
3. **Pirólisis/degradación térmica:** la pirólisis es un método que implica la descomposición de residuos plásticos a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, este proceso permite recuperar energía y productos químicos valiosos de los plásticos al descomponer los polímeros en diferentes temperaturas (Kehinde et al., 2020). En la pirólisis de mezclas plásticas, los polímeros se

descomponen y clasifican simultáneamente, facilitando la recuperación de sus componentes.

4. **Degradación catalítica:** la degradación catalítica es una variante de la degradación térmica en la que se utilizan catalizadores para mejorar el proceso, la principal diferencia es que, en lugar de simplemente calentar los plásticos, se añaden catalizadores para aumentar la eficiencia del proceso, reducir la temperatura de descomposición y el tiempo necesario para la conversión (Kehinde et al., 2020). Esto permite una conversión más eficiente de los plásticos en productos útiles.
5. **Gasificación:** la gasificación es un proceso que convierte los desechos plásticos en gases combustibles, consiste en transformar el valor energético de los combustibles sólidos, como los plásticos, en energía química en forma de gases como hidrógeno y monóxido de carbono (Kehinde et al., 2020). Este proceso puede realizarse en un reactor de lecho fluidizado, donde los plásticos se convierten en gas de síntesis que puede ser utilizado para generar energía.

1.4.5 Etapas del reciclaje

Las etapas del reciclaje son las siguientes:

1. **Recogida de residuos plásticos:** la recogida y clasificación de residuos plásticos es fundamental para el reciclaje y representa la mayoría de los costos financieros y energéticos de este proceso. Los plásticos, debido a su diversidad de polímeros, aditivos y difíciles de clasificar (Abdullah & Abedin, 2024).
2. **Separación de residuos plásticos:** la separación de residuos plásticos se realiza mediante varias técnicas, como: separación manual, por densidad, por electrostática, basada en sensores y por desechos plásticos.
3. **Lavado y secado:** después de la clasificación, los plásticos reciclables deben ser limpiados para eliminar etiquetas, adhesivos, residuos de alimentos y otros contaminantes Chaari et al. (2023). El lavado se realiza mediante inmersión en agua con detergentes o mediante procesos mecánicos como cepillado y agitación. El secado es el siguiente paso, donde los plásticos lavados se secan para eliminar el exceso de humedad, que podría afectar la calidad del material reciclado durante las etapas posteriores. Esto se puede hacer mediante secadores mecánicos o térmicos.

4. **Trituración:** en esta etapa, los plásticos secos se rompen en pequeños fragmentos o virutas mediante una máquina trituradora. La trituración facilita el manejo del material y prepara los plásticos para la siguiente etapa del proceso, dependiendo del tipo de plástico y del tamaño deseado de los fragmentos, se utilizan diferentes tipos de trituradoras, como trituradoras de cuchillas o trituradoras de impacto. El tamaño de los fragmentos también puede influir en la calidad del material reciclado final.
5. **Extrusión:** es el proceso final donde los fragmentos de plástico triturado se funden y se transforman en formas útiles como pellets o gránulos, durante la extrusión, los fragmentos se mezclan y se funden en una extrusora a alta temperatura. El material fundido se empuja a través de una matriz para darle forma, y luego se enfría y corta en pequeños pellets, estos pueden ser utilizados para fabricar nuevos productos plásticos. La extrusión ayuda a homogeneizar el material reciclado y a prepararlo para su reutilización en la fabricación de productos nuevos.

1.4.6 Máquina trituradora.

Una máquina trituradora de plástico es un dispositivo mecánico diseñado para cortar materiales plásticos en piezas más pequeñas, su función principal es reducir el tamaño de los desechos plásticos, facilitando su transporte y procesamiento para el reciclaje o disposición final (Patil et al., 2023). La máquina opera mediante una serie de cuchillas o cortadores que desmenuzan el plástico en fragmentos pequeños. Estos fragmentos pueden ser procesados adicionalmente en pellets o fundidos para fabricar nuevos productos plásticos.

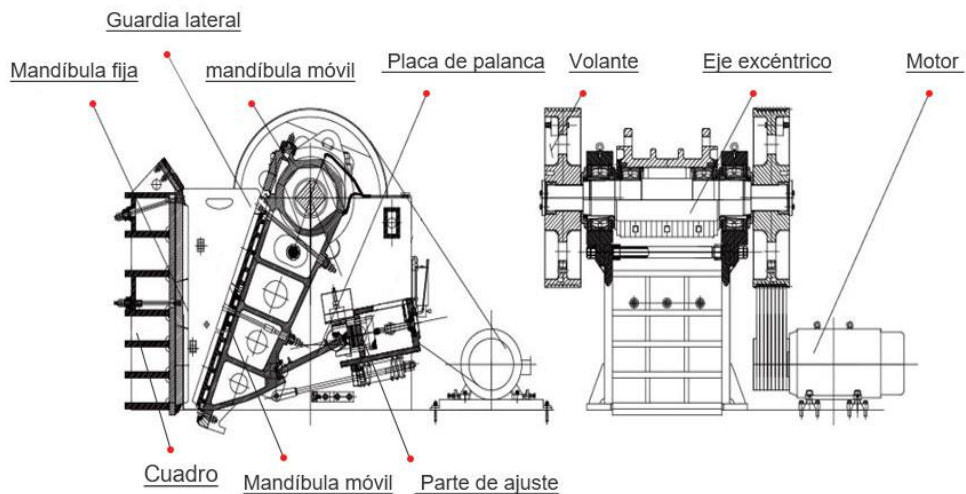
Las trituradoras de plástico varían en tamaño y diseño, desde unidades portátiles hasta grandes máquinas industriales, su uso ofrece beneficios como la reducción del volumen de residuos plásticos, ahorro de espacio en vertederos, y minimización de la liberación de sustancias tóxicas al medio ambiente (Patil et al., 2023).

1.4.7 Tipos de trituradoras.

En el estudio de Paasovaara et al. (2024) se describe cuatro tipos de trituradoras utilizadas para diferentes aplicaciones en la reducción de tamaño de materiales:

1. **Trituradora de mandíbula (JAW):** utiliza una mandíbula fija y una móvil para triturar el material entre ellas, funcionando con una apertura que se ajusta según el tamaño del material a procesar. Es adecuada para trituración primaria y secundaria, con un enfoque en la reducción de tamaño hasta alcanzar especificaciones finas.

Figura 16. Trituradora de mandíbulas.



Nota: Obtenido de DASWELL (2022).

2. **Trituradora de rodillos (ROLL):** consiste en dos rodillos con superficies lisas que se ajustan a una distancia específica para triturar el material al pasar entre ellos. Es efectiva para la trituración intermedia y secundaria, ofreciendo un tamaño de producto controlado mediante ajustes en la separación de los rodillos.

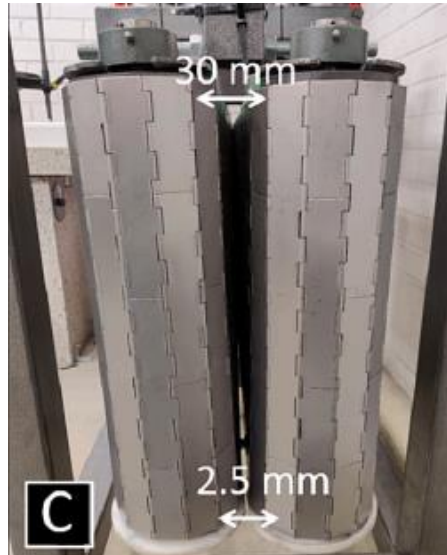
Figura 17. Trituradora de rodillos.



Nota: Obtenido de SAVONA (2024).

3. **Trituradora de compresión continua a escala de laboratorio (LS-CCC):** introduce material de manera uniforme entre dos transportadores de láminas para triturarlo. Es utilizada principalmente para verificar teorías de aplastamiento libre y ajustar el tamaño del material a nivel de laboratorio.

Figura 18. Trituradora de compresión continua a escala de laboratorio.



Nota: Obtenido de Paasovaara et al. (2024)

4. **Trituradora de compresión continua a escala piloto (PS-CCC):** similar a la LS-CCC, pero a mayor escala, permite procesar mayores volúmenes de material y obtener tamaños de producto más finos ($<2,5$ mm) en pruebas piloto, facilitando la evaluación de procesos a mayor escala.

Figura 19. Trituradora de compresión continua a escala piloto.



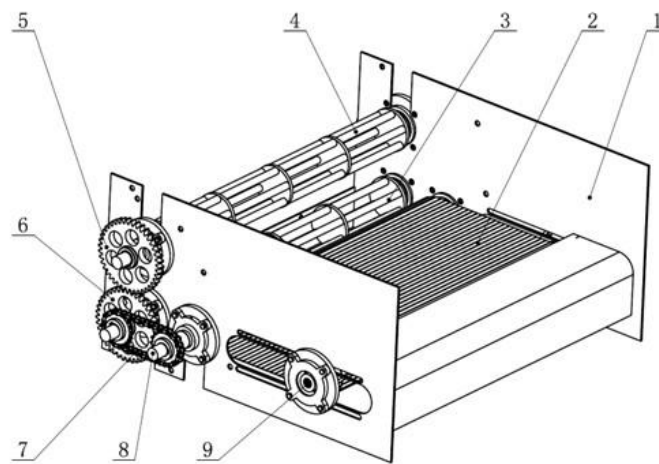
Nota: Obtenido de Paasovaara et al. (2024)

1.4.8 Mecanismos de una máquina trituradora

Autores como Du et al. (2024) describe que una máquina trituradora puede contener los siguientes mecanismos:

1. **Mecanismo de transporte y aplanamiento de la alimentación:** este mecanismo incluye una placa de cadena transportadora, un marco, rodillos aplanadores superiores e inferiores, un par de ejes y engranajes de transmisión para ajustar la placa de cadena. Está diseñado para agarrar y aplanar el material, con opciones para ajustar la tensión y el espacio entre los rodillos según las propiedades del material.

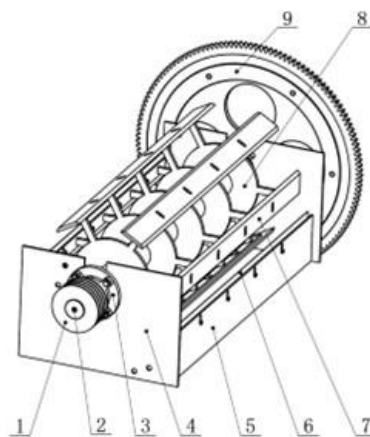
Figura 20. Mecanismo de transporte y aplanamiento de la alimentación.



Nota: Obtenido de Du et al. (2024).

- **Mecanismo de corte:** compuesto por una polea para correa, un eje de corte, cuchillas móviles y fijas, y otros componentes. Utiliza un movimiento circular para cortar el material aplanado, permitiendo el ajuste y la colocación de las cuchillas para un corte eficiente.

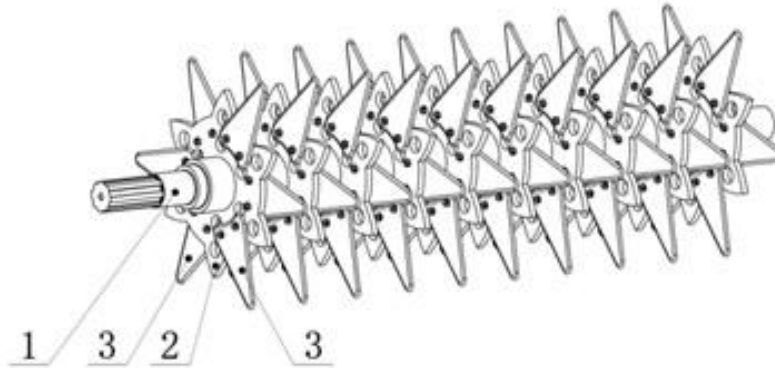
Figura 21. Mecanismo de corte.



Nota: Obtenido de Du et al. (2024).

- **Mecanismo de trituración y frotamiento de filamentos:** incluye un eje de frotamiento y corte, discos y cuchillas de frotamiento. Su función es amasar el material triturado para romper estructuras y formar tiras, destacándose por su alta eficiencia y la facilidad para reemplazar piezas.

Figura 22. Mecanismo de trituración.

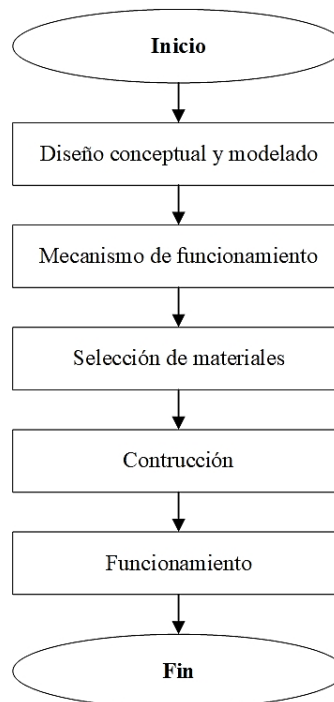


Nota: Obtenido de Du et al. (2024).

1.4.9 Etapas del diseño de una máquina trituradora.

Diferentes investigadores como Patil et al. (2023), Pérez et al. (2023), Taco et al. (2021) el diseño de una máquina trituradora se desarrolla en varias etapas clave, las cuales se muestran en la figura 22:

Figura 23. Etapas de la construcción de una máquina trituradora.



Nota: Elaborado por los autores.

Las etapas presentadas en la figura 22 se describen a continuación:

1. **Diseño conceptual y modelado:** supuestos y cálculos (se realizan cálculos para dimensionar las partes de la máquina y se consideran formulaciones para asegurar un diseño seguro) (Julian-Daga et al., 2022), selección de materiales, modelado digital para observar puntos de mejora (Kumaran et al., 2020; Naveen et al., 2023), ejes de transmisión (Adjie-Suwignyo et al., 2022) y estimación de pruebas de elementos finitos (Domínguez-Gurría et al., 2021; Mataram et al., 2021) o de fatiga de alto ciclaje (Anticono-Valderrama et al., 2023).
2. **Mecanismo de funcionamiento:** principio de funcionamiento (la máquina utiliza un motor eléctrico para cortar los plásticos, reduciendo el esfuerzo y la intervención humana), proceso de corte (los plásticos son alimentados en una tolva y pasan por un ensamblaje de cuchillas rotativas para ser triturados).
3. **Selección de materiales:** factores considerados (disponibilidad, durabilidad, costo y facilidad de fabricación). La máquina debe ser accesible para los usuarios, y ser económica y fácil de operar (Rahardjo et al., 2020; Wang et al., 2023).
4. **Construcción:** componentes comunes: tolva (apertura en la parte superior para alimentar el plástico), cuchillas (componentes que cortan y Trituran el plástico), motor (fuente de energía que proporciona el par necesario para rotar las cuchillas) (Setyaningsih et al., 2022), contenedor de recolección (donde se recoge el plástico triturado), características de seguridad (botones de parada de emergencia, bloqueos y resguardos para proteger a los operadores) (Okusanya et al., 2023).
5. **Funcionamiento:** alimentación y trituración (el plástico se alimenta en la tolva y es cortado por cuchillas rotativas), ajuste del tamaño de partículas (el tamaño de las partículas de plástico obtenidas puede ajustarse cambiando la malla), características adicionales (algunas máquinas incluyen una cinta transportadora para mover el plástico triturado a un punto de recolección o un granulador para reducir aún más el tamaño de las partículas). Finalizando con la evaluación de rendimiento (El-Ghobashy et al., 2023).

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Enfoque de investigación

Un método de investigación se refiere al grupo de técnicas, métodos y procedimientos empleados para tratar un problema de estudio, facilitando la orientación del proceso científico desde la formulación del problema hasta la obtención de resultados. (Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres, 2018). El mismo escritor resalta tres modalidades de investigación, que son: cuantitativa, cualitativa y mixta. El método cuantitativo se fundamenta en la recopilación y estudio de datos numéricos para verificar hipótesis y definir patrones, en cambio, el método cualitativo se enfoca en el entendimiento detallado de fenómenos sociales y subjetivos a través de la recolección de información no cuantitativa, como entrevistas u observaciones. Por otro lado, el enfoque mixto fusiona elementos de ambos métodos para conseguir una perspectiva más completa del fenómeno analizado.

La presente investigación sigue un enfoque cuantitativo con una orientación deductiva, lo cual resulta ideal para realizar el diseño y desarrollo de una máquina trituradora destinada a la trituración de materiales plásticos reciclados. Este enfoque se especializa en partir de teorías y conocimientos generales sobre la ingeniería y el reciclaje, aplicándolos de manera específica al problema estudiado mediante datos. De acuerdo con Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres (2018), el enfoque cuantitativo permite la recolección y análisis de datos numéricos para probar hipótesis y establecer patrones generales.

En este caso, el enfoque deductivo facilita la estructuración lógica del estudio, garantizando que cada etapa del proceso de diseño se base en principios teóricos sólidos. Además, la cuantificación de los resultados permitirá evaluar la eficiencia y efectividad del prototipo de la máquina trituradora, proporcionando datos precisos y confiables que contribuyan a la optimización del reciclaje de plásticos en la provincia de Santa Elena, Ecuador.

2.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es la guía o estrategia que se utiliza para responder a las preguntas de investigación y orienta la recolección, análisis e interpretación de

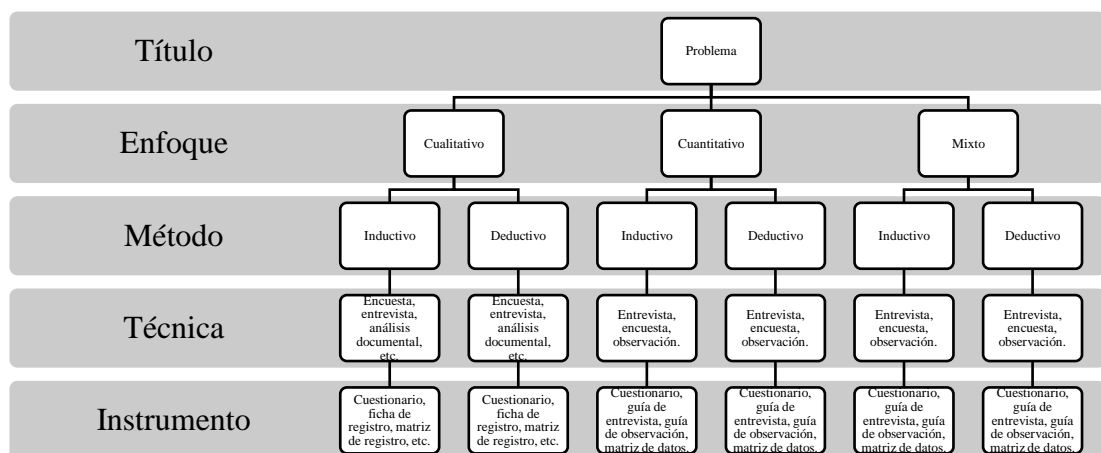
los datos. De acuerdo con Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres (2018), existen dos tipos principales de diseños de investigación: experimentales y no experimentales. Los diseños experimentales implican la manipulación deliberada de una o más variables independientes para observar sus efectos en una o más variables dependientes, generalmente en un entorno controlado. En contraposición, los diseños no experimentales se distinguen por la falta de manipulación de variables, lo que implica que el investigador se enfoca en observar y examinar fenómenos tal y como suceden en su entorno natural. En los diseños no experimentales, las investigaciones pueden abarcar objetivos exploratorios., dependiendo del nivel de profundidad con el que se investigue el fenómeno.

El diseño de este estudio es de naturaleza no experimental con un enfoque descriptivo, lo que se ajusta a la limitada necesidad de verificar la eficacia de un prototipo de máquina trituradora en un entorno real. Un diseño no experimental no altera las variables en estudio. El alcance descriptivo facilita un entendimiento exhaustivo de las propiedades y funcionalidades del prototipo, además de su posible influencia en el proceso de reciclaje, ofreciendo datos útiles para futuras mejoras y usos.

2.3. Procedimiento metodológico.

A continuación, se presenta una matriz general en la figura 24, sobre las alternativas metodológicas o rutas que puede tener una en función de su enfoque, aunque son similares, estas dependen del tipo de datos que se vaya a recolectar, o de la información que se requiere para el estudio.

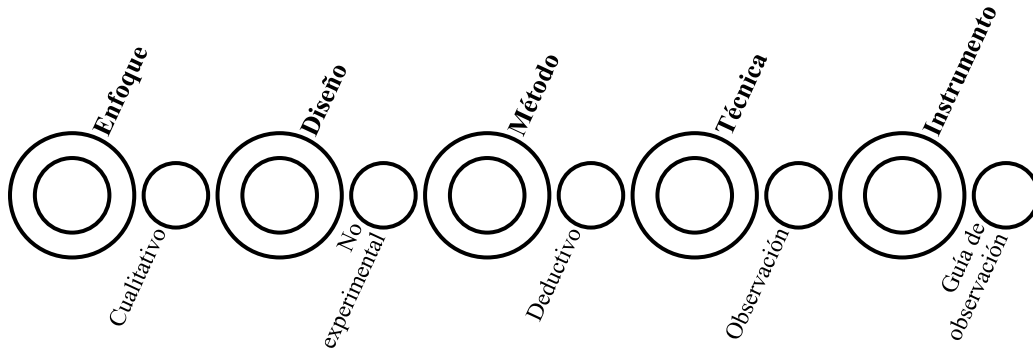
Figura 24. Matriz general de las posibles rutas del procedimiento metodológico.



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 24, da a conocer diferentes alternativas para una investigación, esta da como resultado la figura 25, siendo producto de una revisión de la literatura mediante métodos mixtos y del análisis de documentos académicos, enfocándose específicamente en artículos científicos.

Figura 25. Ruta obtenida mediante el estado del arte.

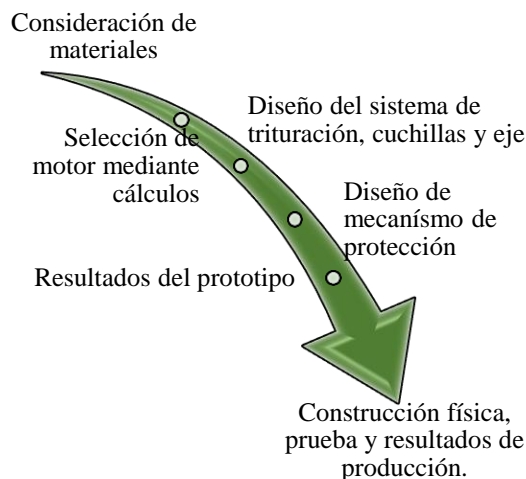


Nota: Elaborado por los autores.

La figura 25, da a conocer que la ruta elegida para la ejecución de la investigación corresponde al enfoque cuantitativo, bajo un diseño no experimental, siguiendo el método deductivo, y utilizando a la observación como técnica de recolección de datos y a la guía de observación como instrumento.

Por otro lado, un procedimiento metodológico es referenciado como un conjunto de pasos que deben de llevarse a cabo para realizar una investigación, en este caso, la guía para la ejecución de la investigación toma como ejemplo la metodología aplicada por Pérez et al. (2023), la cual mantienen las siguientes etapas presentadas en la Figura 26, con un total de 6 fases:

Figura 26. Etapas del procedimiento metodológico



Nota: Elaborado por los autores, en base a Pérez et al. (2023).

La Figura 26 muestra las etapas del procedimiento metodológico además de una guía que abarca el modelado y construcción física de la máquina trituradora, las cuales se describen a continuación.

- a. Consideración de materiales a utilizar: la elección correcta de los materiales que se utilizarán es el paso inicial esencial en la construcción de una máquina trituradora. Es fundamental reconocer materiales que no solo tengan la resistencia requerida para resistir las fuerzas de trituración, sino que además brinden resistencia a largo plazo. Además, es crucial tener en cuenta la accesibilidad de estos materiales, es decir, que sean accesibles en el mercado local y que se ajusten al proceso de producción. Otro elemento para considerar es el precio; es imprescindible balancear la calidad con la economía para asegurar que el proyecto sea factible desde el punto de vista económico. Este estudio previo de los materiales afectará directamente la eficiencia, la durabilidad de la máquina y el presupuesto total del proyecto.
- b. Diseño del sistema de trituración, cuchillas y eje: el diseño de la máquina trituradora debe enfocarse en la mejora del sistema de trituración, que comprende tanto las cuchillas como el eje, los cuales se encargan de la fragmentación del plástico. Es crucial que la estructura sea sólida y pueda resistir las fuerzas producidas durante el procedimiento de trituración, lo que demanda un diseño detallado ajustado a los materiales escogidos con anterioridad. Las medidas del sistema deben ser exactas, garantizando que cada elemento opere en consonancia para conseguir una trituración eficaz y segura.
- c. Cálculos de trituración, para la selección de motor: para elegir el motor correcto, es necesario efectuar cálculos minuciosos que establezcan las fuerzas requeridas para el proceso de trituración, además de las velocidades a las que las cuchillas deben funcionar. Estos cálculos son esenciales para establecer la potencia necesaria del motor, garantizando que tenga la fortaleza necesaria para mantener un desempeño inalterable bajo diversas cargas. La selección del motor debe tener en cuenta tanto la eficiencia en el uso de energía como la habilidad para conservar la velocidad ideal de las cuchillas, sin saturar el sistema. Este proceso asegura que la máquina funcione de manera efectiva y prolongue la vida útil de los componentes.
- d. Diseño de mecanismo de protección: el factor de seguridad es esencial en el diseño de cualquier equipo industrial. Para una máquina trituradora, resulta

crucial establecer sistemas de protección que aseguren la seguridad tanto de los operadores como del equipo. Esto incluye la instalación de dispositivos de parada de emergencia, protecciones físicas para evitar el contacto directo con las cuchillas, y sensores que detecten posibles fallos o condiciones peligrosas. Estos mecanismos no solo minimizan el riesgo de accidentes, sino que también protegen la integridad de la máquina, evitando daños costosos y prolongando su vida útil. El diseño debe cumplir con todas las normativas de seguridad vigentes y proporcionar una operación segura y eficiente.

- e. Resultados del prototipo: una vez elaborado el prototipo de la máquina trituradora, resulta esencial registrar con precisión los resultados logrados durante la simulación o modelado en programas especializados. Esta etapa facilita la identificación de potenciales aspectos a mejorar y la modificación del diseño para garantizar que alcanza los objetivos propuestos. Es vital llevar a cabo un análisis crítico de la eficacia del sistema de trituración, la resistencia de los materiales bajo condiciones laborales simuladas y la funcionalidad global del prototipo. Los hallazgos de esta fase ofrecen una perspectiva nítida de la factibilidad del diseño y posibilitan hacer las modificaciones requeridas antes de iniciar la edificación física.
- f. Construcción física, prueba y resultados de producción: tras perfeccionar el diseño a partir de los hallazgos del prototipo, se inicia la edificación física de la máquina de trituración. Este procedimiento implica el montaje meticuloso de los materiales escogidos, garantizando que cada componente cumpla con las dimensiones y especificaciones previamente determinadas. Una vez montada, se realiza un ensayo piloto en situaciones reales de funcionamiento para valorar el desempeño de la máquina en un ambiente laboral. En esta etapa, se examinan factores como la eficacia en la trituración, la longevidad de los materiales bajo presión, y la seguridad en el funcionamiento. Los resultados logrados se registran detalladamente para verificar si la máquina satisface los objetivos de producción y establecer si se requieren modificaciones adicionales antes de su puesta en marcha a una mayor escala.

2.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos.

2.4.1. *Métodos de recolección de los datos.*

Los métodos de recolección de datos se pueden mencionar como estrategias o enfoques generales utilizados para alcanzar los objetivos propuestos y dar respuesta a preguntas de investigación (Vizcaíno-Zúñiga et al., 2023). En base a los resultados de la revisión de métodos mixtos y al estado del arte, el método óptimo para la investigación es el deductivo, siendo este es un enfoque lógico que parte de principios generales o teorías conocidas para llegar a conclusiones específicas (Prieto-Castellanos, 2018).

En este escenario, este procedimiento posibilita la implementación de conceptos teóricos acerca del diseño y operación de máquinas trituradoras en un escenario específico: la edificación de una máquina para triturar residuos plásticos reciclables. Esto tiene como objetivo verificar si los principios son efectivos en la práctica, y si la máquina diseñada alcanza las metas propuestas, como la eficacia en la trituración de plásticos.

2.4.2. *Técnicas de recolección de los datos.*

Los autores Hernández-Mendoza & Duana-Ávila (2020), describen a las técnicas de recolección de datos como los procedimientos o métodos que el investigador utiliza para obtener la información necesaria que le permita responder a las preguntas planteadas en su estudio. Para la presente investigación, la observación directa es la técnica predeterminada, obtenida mediante el estado del arte, la misma que se utilizará durante las pruebas físicas de la máquina trituradora.

Esta permitirá registrar el desempeño real de la máquina, observando aspectos como la eficiencia en la trituración de los materiales plásticos. Por otro lado, se plantea el uso de cálculos analíticos, aplicados en la fase de diseño y modelado de la máquina. A través del procesamiento de datos basados en principios de ingeniería, se determinarán parámetros críticos como la potencia requerida del motor, las fuerzas de trituración, y la resistencia de los materiales. Estas dos técnicas permitirán validar tanto el diseño teórico como el desempeño práctico de la máquina.

2.4.3. Instrumentos de recolección de los datos.

Un instrumento de recolección de datos es el recurso o herramienta que el investigador utiliza para registrar la información obtenida a través de las técnicas seleccionadas, este debe ser confiable, válido y objetivo para asegurar la legitimidad de los resultados (Hernández-Mendoza & Duana-Ávila, 2020). Con el fin de recolectar y organizar los datos obtenidos, el uso de una matriz de registro es el instrumento recomendado para utilizarse durante la observación directa y así poder documentar sistemáticamente los datos relevantes sobre el rendimiento de la máquina en condiciones reales. Esta matriz permitirá una organización clara y precisa de la información observada, facilitando el análisis posterior.

Un instrumento adicional es el programa de simulación solidworks, empleado para efectuar cálculos analíticos y simular el funcionamiento de la máquina previo a su edificación física. Solidworks facilitará la simulación de la interacción de los componentes y la predicción del desempeño del equipo bajo distintas circunstancias operativas, ofreciendo de esta manera un fundamento sólido para el diseño final.

2.5. Variables del estudio.

- a. Variable Independiente: prototipo de máquina trituradora.
- b. Variable Dependiente: reciclaje de desechos plásticos.

2.6. Plan para la recolección y análisis de datos

A continuación, se presenta la tabla 5 con el plan relacionado a acciones, herramientas y resultados para cada uno de los objetivos específicos de investigación.

Tabla 5. Plan de recolección de datos.

Objetivos específicos	Acciones	Herramientas	Resultados
Realizar una revisión de la literatura sobre el diseño y construcción de la máquina trituradora que permitirá identificar las tecnologías más avanzadas y eficientes, así como los desafíos y soluciones adoptadas	-Revisión de la literatura mediante la revisión de métodos mixtos. -Análisis de bibliometría. -Estudio de metodología, método, técnica e instrumento de	-Revisión de métodos mixtos. -Bibliometrix. -Gráficos de datos.	-Número de artículos relacionados con las variables de investigación. -Tendencia bibliométrica de las variables. -Metodología, método, técnica e instrumento de recolección de datos.

en diferentes contextos.	recolección de datos.		
Establecer el marco metodológico para el diseño y construcción del prototipo de máquina trituradora de plásticos reciclado define los procedimientos y técnicas que se utilizarán para el diseño.	-Descripción y detalle de la metodología, método, técnica e instrumento de recolección de datos para la investigación.	-Revisión de métodos mixtos. -Gráficos de análisis de datos (Enfoque, método, técnica e instrumento de recolección de datos.	-Guía metodológica de la investigación. -Presentación del método, técnica e instrumento de recolección de datos por utilizar en la investigación, junto a su breve concepto o ejemplo.
Construir un prototipo de máquina trituradora mediante el software CAD SolidWorks, mediante indicadores de capacidad de trituración, particulado y consumo energético, asegurando el cumplimiento de los estándares.	-Ejecución de las etapas del procedimiento metodológico. -Presentación de la propuesta de investigación y viabilidad del proyecto.	-Software SolidWorks -Hojas de cálculos. -Herramientas y materiales físicos para la construcción.	-Prototipo modelado de la máquina trituradora. -Prototipo físico. -Pruebas de rendimiento y análisis de indicadores.

Nota: Elaborado por los autores.

CAPÍTULO III

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Marco de resultados.

El diseño y construcción de una máquina trituradora de PET requiere una planificación detallada que cubra cada fase de la investigación las mismas que iniciaron con la consideración de los materiales a utilizarse, por consiguiente, diseño del sistema de trituración, cuchillas y eje, selección del motor mediante cálculos, diseño del mecanismo de protección, resultado del prototipo y construcción física, prueba y resultado de producción. Es así que en este apartado se puede detallar todo el proceso y los procedimientos realizados para el diseño y la implementación del proyecto investigativo, con la finalidad de detallar las decisiones tomadas en el ámbito técnico y a su vez reflejar los resultados obtenidos en cada etapa.

3.1.1. *Recopilación de datos.*

La fase inicial del diseño del prototipo de la máquina trituradora incluyó la recopilación de información, mediante los métodos y técnicas anteriormente planteado con la ayuda de las herramientas de recolección de datos como la entrevista directa a la directora del proyecto de investigación integral de la facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. En esta etapa se identificaron las necesidades del cliente y características técnicas para el prototipo.

A su vez se dotaron de algunos componentes para el proyecto como el motor, para su posible integración en el diseño. Esta información fue fundamental para definir los requisitos técnicos y las limitaciones como tal del trabajo investigativo. Para lograr identificar los parámetros necesarios de acuerdo con el tema de investigación, se plantearon las siguientes preguntas:

1. ¿Qué le motiva a desarrollar el proyecto de diseño de una máquina trituradora para la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?
2. ¿Qué materiales se consideran fundamentales dentro de las prácticas de construcción sostenible en la región y qué porcentaje estima que podrían ser cubiertos por materiales reciclados como productos ecológicos?

3. ¿Qué parámetros del producto triturado consideran importantes en términos de tamaño de las partículas, uniformidad, textura y resistencia del material procesado?
4. ¿Cuál es el objetivo que espera lograr con la implementación de esta máquina trituradora en la provincia de Santa Elena y en qué plazo de tiempo espera satisfacer la demanda o necesidad identificada?
5. ¿Considera esencial implementar un sistema de producción “cero residuos” en el diseño de la máquina, que minimice la generación de desechos durante el proceso de trituración de plásticos?
6. ¿Qué nivel de automatización considera necesario para la adecuada operación de la máquina trituradora y facilitar la interacción entre el operador y el equipo?
7. ¿Existen requisitos específicos de eficiencia energética en el sistema de trituración que deben considerarse para optimizar el consumo eléctrico de la máquina antes de su fabricación?
8. ¿Cuál sería la demanda por cubrir en la provincia de Santa Elena de la construcción de casas sostenibles?
9. ¿De qué manera considera que la máquina trituradora contribuirá al éxito de su proyecto de investigación sobre la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?

De la misma manera, se presentan los resultados de la entrevista realizada:

1. ¿Qué le motiva a desarrollar el proyecto de diseño de una máquina trituradora para la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?

Tabla 6. *Respuestas obtenidas – pregunta 1.*

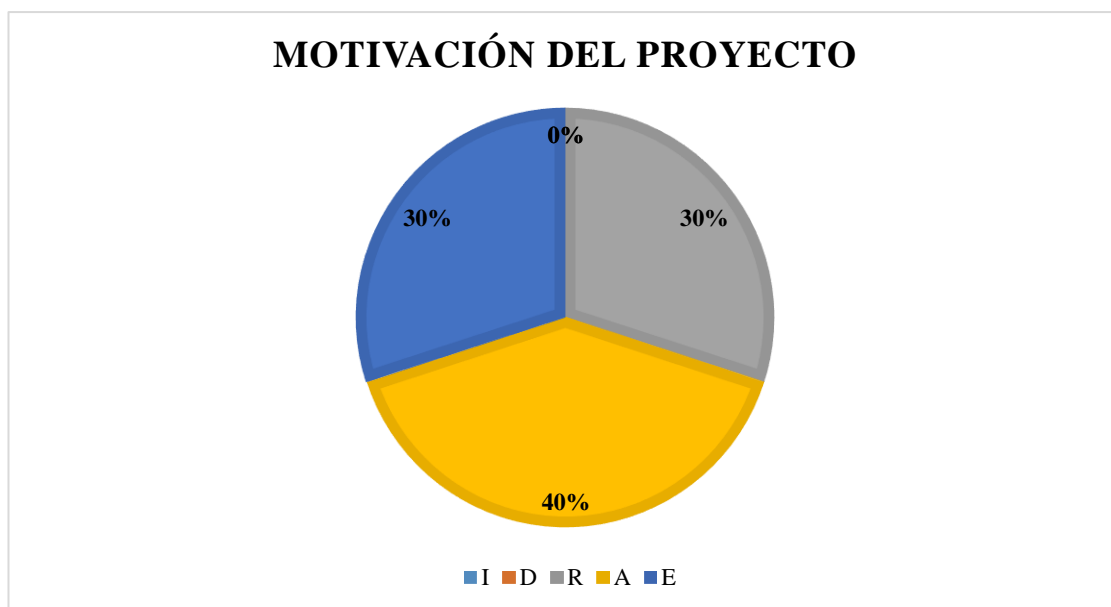
N°	Respuesta	Valorización
1	Contribuir a la sostenibilidad ambiental en la provincia y reducir el impacto de los residuos plásticos.	E
2	La falta de reciclaje adecuado en la provincia me motivó a buscar una solución local.	A
3	Este proyecto puede abrir oportunidades de empleo en el sector del reciclaje.	R
4	Mejorar la gestión de residuos sólidos y reutilizar plásticos en proyectos de construcción.	E

5	La necesidad de aprovechar los recursos plásticos existentes en lugar de desecharlos.	A
6	Disminuir la contaminación en Santa Elena y fomentar la economía circular.	E
7	Quiero desarrollar tecnología que ayude a reducir la huella ecológica de la provincia.	A
8	Aumentar la conciencia sobre el reciclaje y sus beneficios.	R
9	El proyecto tiene el potencial de mejorar la infraestructura verde en la provincia.	A
10	Estoy interesado en innovar en la gestión de residuos a nivel comunitario.	R

Nota: Elaborado por los autores.

En la Tabla 6, se presentan las respuestas obtenidas a la primera pregunta en donde la mayoría de los encuestados destacaron la importancia de contribuir al medio ambiente y reducir los residuos plásticos como su principal motivación, clasificando esta razón como Eficiente en la escala de valoración. Para visualizar esta información, se presenta a continuación la Figura 27, que muestra la distribución porcentual de las valoraciones.

Figura 27. Resultados pregunta 1.



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 27 demuestra que la motivación para el desarrollo de este proyecto de construcción de una máquina trituradora de plásticos es un 40% aceptable y un 30% eficiente, mientras que por otra parte se califica también con un 30% regular lo que

puede traducirse en que se debe mejorar la comunicación de los beneficios de este proyecto, para incrementar aún más el interés.

2. ¿Qué materiales se consideran fundamentales dentro de las prácticas de construcción sostenible en la región y qué porcentaje estima que podrían ser cubiertos por materiales reciclados como productos ecológicos?

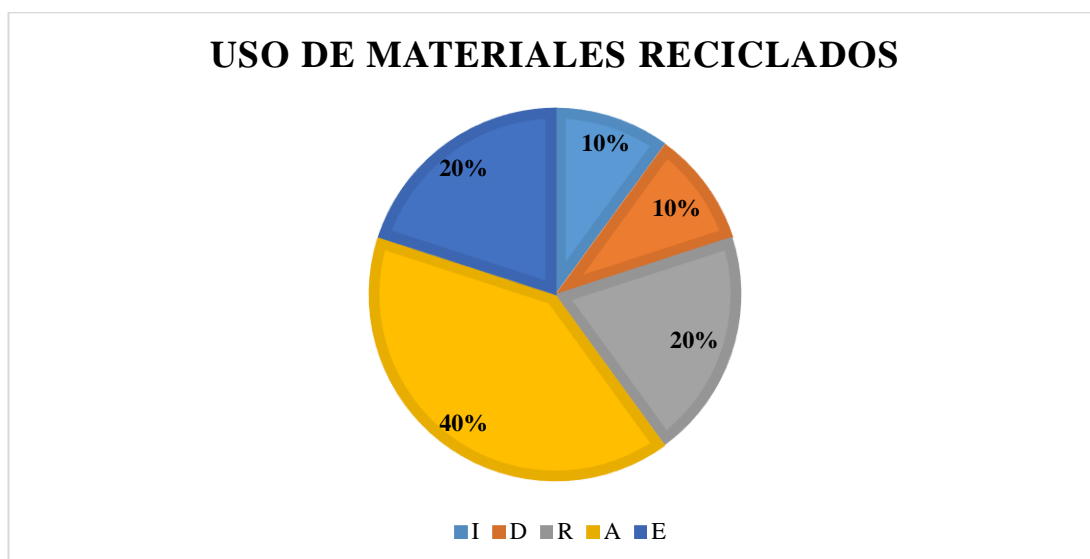
Tabla 7. *Respuestas obtenidas – pregunta 2.*

N°	Respuesta	Valorización
1	El concreto y el plástico reciclado son clave; estimo que el 30-40% podría cubrirse con materiales ecológicos.	A
2	Los ladrillos de plástico y el cemento son esenciales; el 20% podría ser reciclado.	R
3	Considero el uso de plástico y madera reciclados; entre el 40-50% del material puede ser ecológico.	E
4	El concreto es importante, pero solo un 10-15% se cubre con reciclados.	D
5	. El PET y el polietileno son viables en construcción; cerca del 35% podría provenir de reciclados.	A
6	Considero fundamental el acero y el plástico, con hasta un 50% de materiales reciclados.	E
7	El vidrio reciclado y el plástico son básicos; alrededor del 30% podría ser ecológico.	A
8	El uso de plásticos reciclados es limitado; solo un 15% puede integrarse en construcciones actuales.	I
9	Creo que el concreto y el plástico reciclado son clave; se estima un 25-35% de uso reciclado.	A
10	Los plásticos reciclados son adecuados para estructuras ligeras; se pueden cubrir hasta un 20%.	R

Nota: Elaborado por los autores.

En la Tabla 7, se resumen las opiniones sobre los materiales fundamentales en prácticas sostenibles y el porcentaje que podrían cubrir los materiales reciclados. Estos resultados reflejan el potencial del uso de materiales reciclados, aunque también evidencian la necesidad de optimizar su implementación. Para una mejor comprensión, en la Figura 28 se ilustran los resultados obtenidos.

Figura 28. Resultados pregunta 2.



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 28 demuestra que la calificación aceptable es la principal, indicando que la utilización de materiales reciclados es de gran importancia al relacionarse con la economía circular. Por otro lado, un 20% de calificación regular se puede interpretar como la falta de información que se divulga sobre las prácticas de construcción sostenible.

- ¿Qué parámetros del producto triturado consideran importantes en términos de tamaño de las partículas, uniformidad, textura y resistencia del material procesado?

Tabla 8. Respuestas obtenidas – pregunta 3.

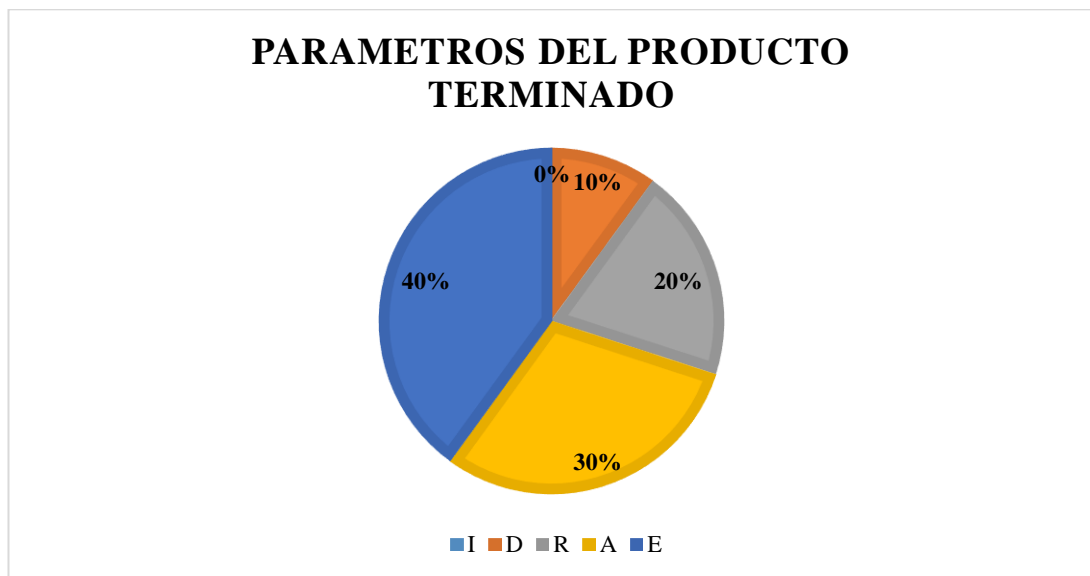
N°	Respuesta	Valorización
1	Partículas uniformes de menos de 5 cm para asegurar facilidad de manejo	E
2	Textura uniforme y tamaño de 3-4 cm para mejorar la mezcla con otros materiales.	A
3	Partículas de tamaño uniforme y textura fina para optimizar el uso en concreto reciclado.	E
4	Una resistencia mínima en el material procesado es crucial para su reutilización.	R
5	Prefiero partículas menores de 5 cm para evitar problemas en el transporte y uso.	A
6	. La textura del plástico triturado debe ser suave y homogénea para un mejor acabado.	A
7	Es importante que el tamaño sea consistente, idealmente de 4 cm o menos.	E

8	La uniformidad es importante, pero no considero tan crucial la textura.	R
9	Me interesa más la resistencia del triturado para aplicaciones en construcción.	D
10	Textura y tamaño uniforme para mejorar su integración en mezclas de concreto.	E

Nota: Elaborado por los autores.

La Tabla 8 detalla las respuestas relacionadas con los parámetros clave del material triturado, como tamaño, textura y uniformidad. Los encuestados otorgaron una mayor importancia a la uniformidad del material, clasificándola mayoritariamente como Eficiente, este análisis subraya la relevancia de asegurar un triturado uniforme para facilitar su reutilización. La Figura 29 a continuación representa gráficamente estas preferencias.

Figura 29. Resultados pregunta 3.



Nota: Elaborado por los autores.

En la figura 29 podemos concluir que el 40% de calificación eficiente representa una gran importancia en cuanto a los resultados del tamaño de material triturado, lo que a su vez demuestra el conocimiento que se tiene sobre los procesos de reciclaje y reutilización de materiales.

- ¿Cuál es el objetivo que espera lograr con la implementación de esta máquina trituradora en la provincia de Santa Elena y en qué plazo de tiempo espera satisfacer la demanda o necesidad identificada?

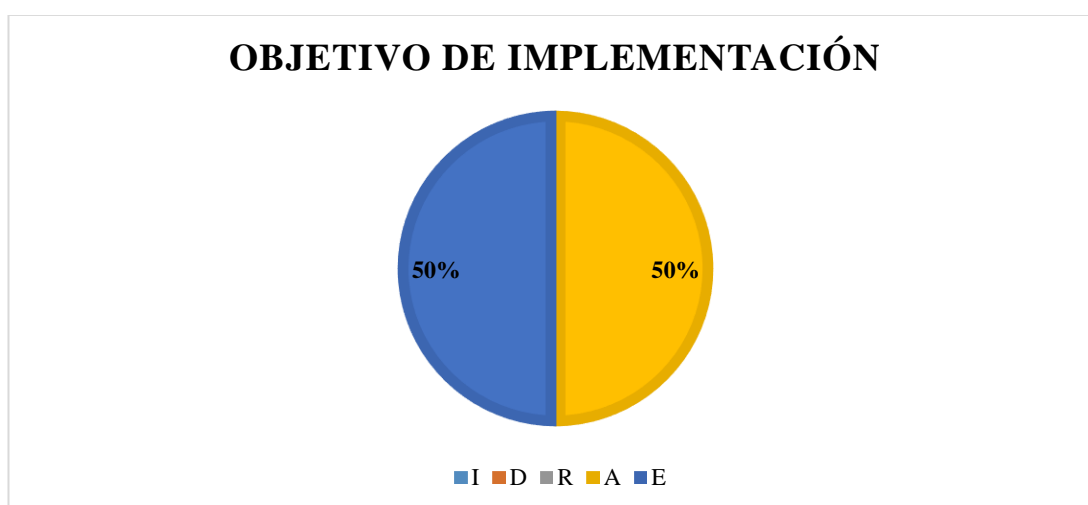
Tabla 9. *Respuestas obtenidas – pregunta 4.*

N°	Respuesta	Valorización
1	Reducir residuos plásticos en 2 años y crear materiales sostenibles.	E
2	Mejorar el reciclaje local en el próximo año.	E
3	Aumentar la tasa de reciclaje en un 30% dentro de los próximos 3 años.	E
4	Crear oportunidades de empleo en 1 año.	E
5	Contribuir a la sostenibilidad local en un plazo de 2 años.	A
6	Producir material reciclado útil en la construcción en el próximo año.	A
7	Satisfacer la demanda de reciclaje en 1-2 años y generar ingresos.	A
8	Limitar el uso de plásticos vírgenes en la provincia en 3 años.	E
9	Reducir el impacto ambiental local a mediano plazo.	A
10	Aumentar la conciencia y participación de la comunidad en 1 año.	A

Nota: Elaborado por los autores.

En la Tabla 9, se recogen las respuestas acerca del objetivo esperado con la implementación de la máquina, la mayoría de los encuestados plantearon como meta principal reducir la contaminación plástica en la provincia. Estos datos confirman la alineación del proyecto con las necesidades ambientales locales. En la Figura 30, se visualiza la distribución de estas valoraciones.

Figura 30. *Resultados pregunta 4.*



Nota: Elaborado por los autores.

En la figura 30 se muestra que de los indicadores aceptable y eficiente suman el 100% de calificación, demostrando el apoyo y optimismo que produce el proyecto contando con una administración de los desechos plásticos en un periodo de 1 a 3 años.

5. ¿Considera esencial implementar un sistema de producción “cero residuos” en el diseño de la máquina, que minimice la generación de desechos durante el proceso de trituración de plásticos?

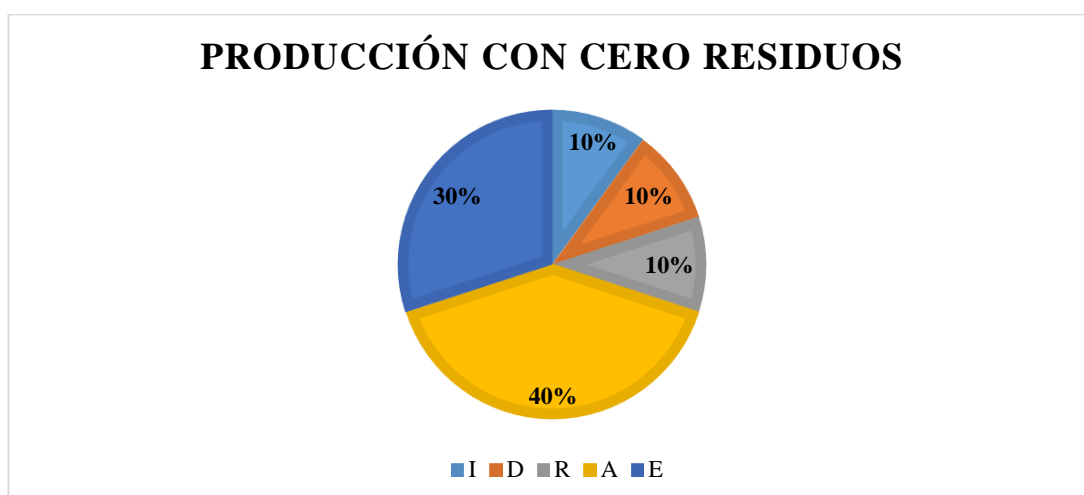
Tabla 10. *Respuestas obtenidas – pregunta 5.*

N°	Respuesta	Valorización
1	Es fundamental tener un sistema cero residuos para maximizar la sostenibilidad.	E
2	Un sistema de bajo desperdicio es clave para reducir el impacto ambiental.	A
3	Sí, minimizar los desechos es esencial en una máquina de este tipo.	E
4	Es importante, aunque no indispensable en esta fase del proyecto.	R
5	Lo considero necesario para reducir el impacto de residuos.	A
6	Prefiero que el sistema reduzca al máximo los desechos plásticos.	A
7	No es esencial, pero podría evaluarse a futuro.	D
8	Necesario para cumplir con estándares ambientales.	E
9	Un diseño de bajo desperdicio sería ideal.	A
10	Considero que el enfoque principal debe estar en la eficiencia del corte	I

Nota: Elaborado por los autores.

La Tabla 10 presenta las respuestas sobre la relevancia de integrar un sistema de producción “cero residuos”. Los encuestados valoraron este aspecto como altamente prioritario, con la mayoría calificándolo como Eficiente, lo que demuestra una clara expectativa de que el diseño de la máquina minimice los desechos generados durante la trituración. Estos resultados se pueden visualizar en la Figura 31.

Figura 31. Resultados pregunta 5.



Nota: Elaborado por los autores.

En la figura 31 se puede apreciar que el enfoque de cero residuos consiguió alcanzar una calificación de aceptable en un 40% y eficiente en un 30%, lo que refleja que es de gran relevancia, pero no estrictamente esencial para el diseño actual de la máquina.

6. ¿Qué nivel de automatización considera necesario para la adecuada operación de la máquina trituradora y facilitar la interacción entre el operador y el equipo?

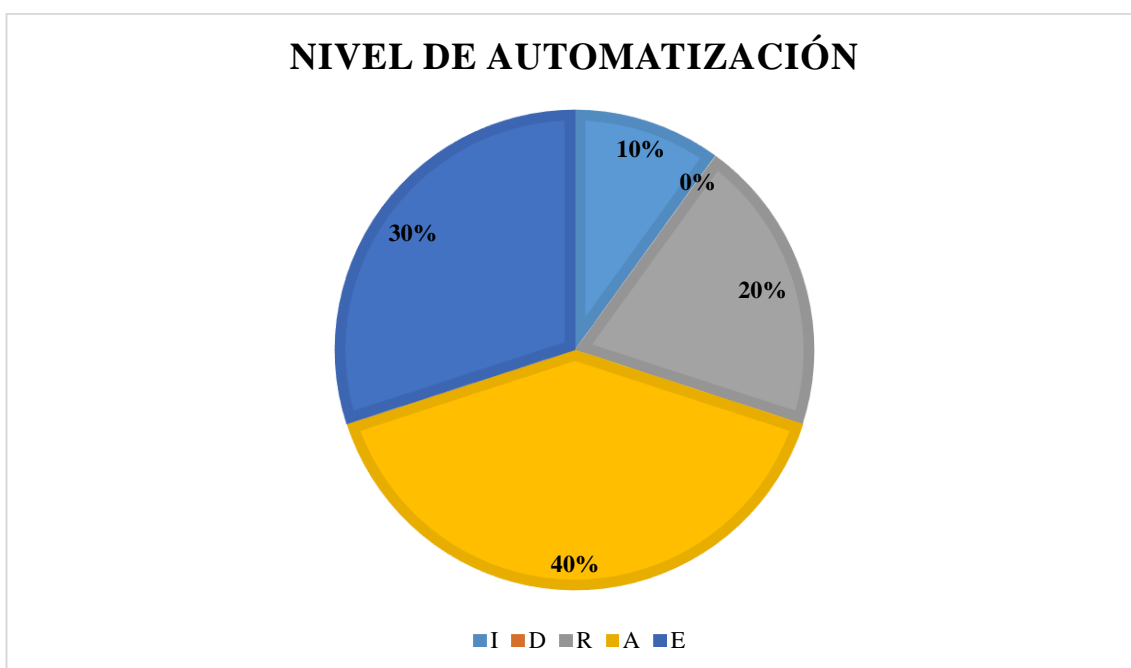
Tabla 11. Respuestas obtenidas – pregunta 6.

Nº	Respuesta	Valorización
1	Automatización completa con botones de seguridad y control de velocidad.	E
2	Nivel de automatización medio, suficiente para encendido y apagado seguro.	A
3	Un sistema con control básico de encendido, pero con manualidades en el proceso.	R
4	Automatización total para minimizar el riesgo para el operador.	E
5	Solo los controles básicos son necesarios, como parada de emergencia.	R
6	Prefiero automatización en la seguridad y el control de trituración	A
7	Automatización alta en controles y monitoreo.	E
8	Interacción manual es suficiente, aunque requiere seguridad extra.	I
9	Necesario automatizar el apagado y controles de sobrecarga.	A
10	Automatización en controles básicos de operación y emergencia.	A

Nota: Elaborado por los autores.

En la Tabla 11, se muestran las opiniones acerca del nivel de automatización requerido. Una mayoría indicó que un nivel medio, con controles básicos como botones de encendido y apagado, sería Aceptable para la operación segura de la máquina. Sin embargo, una parte significativa valoró como Eficiente la implementación de medidas adicionales de seguridad, como el botón de parada de emergencia. La Figura 32 detalla esta información gráficamente.

Figura 32. Resultados pregunta 6.



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 32 muestra que el indicador aceptable es la valoración principal con un 40%, lo que expresa una expectativa moderada en cuanto a la automatización. Sin embargo, la calificación inaceptable sugiere que, debido a costos o simplicidad en el diseño, la automatización de la máquina trituradora puede ser opcional en esta fase.

- ¿Existen requisitos específicos de eficiencia energética en el sistema de trituración que deben considerarse para optimizar el consumo eléctrico de la máquina antes de su fabricación?

Tabla 12. Respuestas obtenidas – pregunta 7.

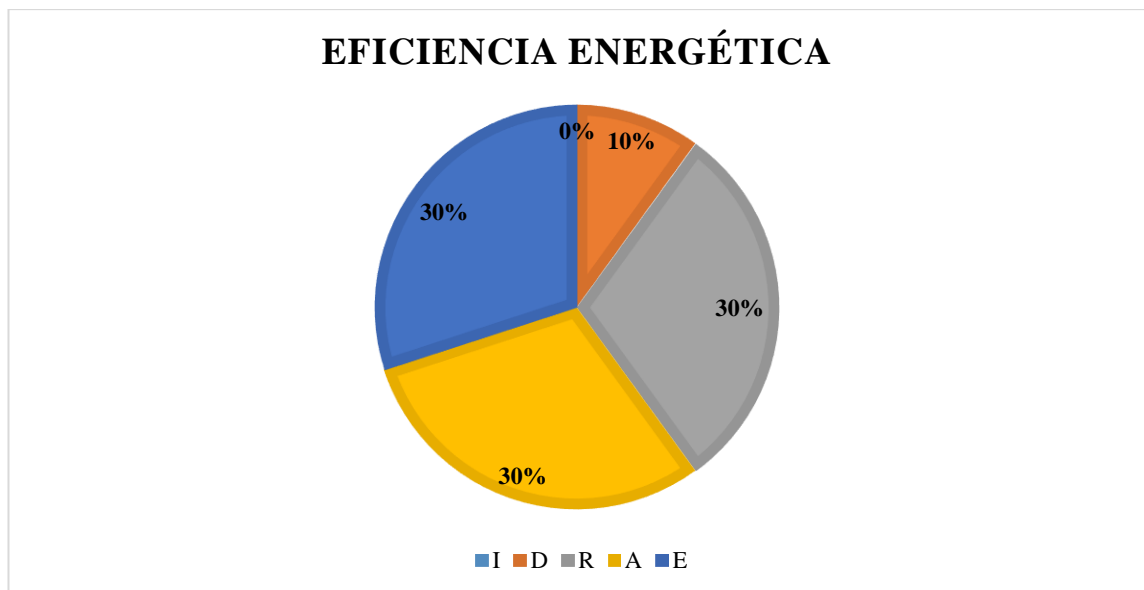
N°	Respuesta	Valorización
1	Es fundamental que la máquina consuma un bajo nivel de energía.	E
2	Es importante una eficiencia alta para optimizar costos.	A

3	Un sistema de bajo consumo debería ser prioritario.	E
4	Considero que el consumo debe optimizarse, pero no es el enfoque principal.	R
5	Preferiría que el consumo sea monitoreado durante la operación.	R
6	Una alta eficiencia energética es clave para reducir costos.	A
7	Sí, la máquina debe consumir menos de 0.5 kWh para ser viable.	E
8	No es tan crucial la eficiencia energética en esta máquina.	D
9	Eficiencia energética media es suficiente para los fines actuales.	R
10	Es importante reducir el consumo en al menos un 20%.	A

Nota: Elaborado por los autores.

La Tabla 12 recoge las respuestas sobre los requerimientos de eficiencia energética en donde se puede apreciar que la mayoría de los encuestados lo consideró un aspecto Aceptable, destacando que, aunque importante, la eficiencia energética no debería comprometer la funcionalidad del equipo. Los datos son presentados visualmente en la Figura 33.

Figura 33. Resultados pregunta 7.



Nota: Elaborado por los autores.

En la Figura 33 se determina que la eficiencia energética de la máquina como aceptable y eficiente (30%), lo que sugiere que es un tema importante, especialmente para el control de costos operativos a largo plazo. El 10% que califica esta eficiencia como deficiente podría indicar una percepción de que el consumo eléctrico no es suficientemente bajo. El análisis muestra que la eficiencia energética debería

mantenerse como un objetivo secundario, importante para reducir gastos, pero no crítico para el funcionamiento.

8. ¿Cuál sería la demanda por cubrir en la provincia de Santa Elena de la construcción de casas sostenibles?

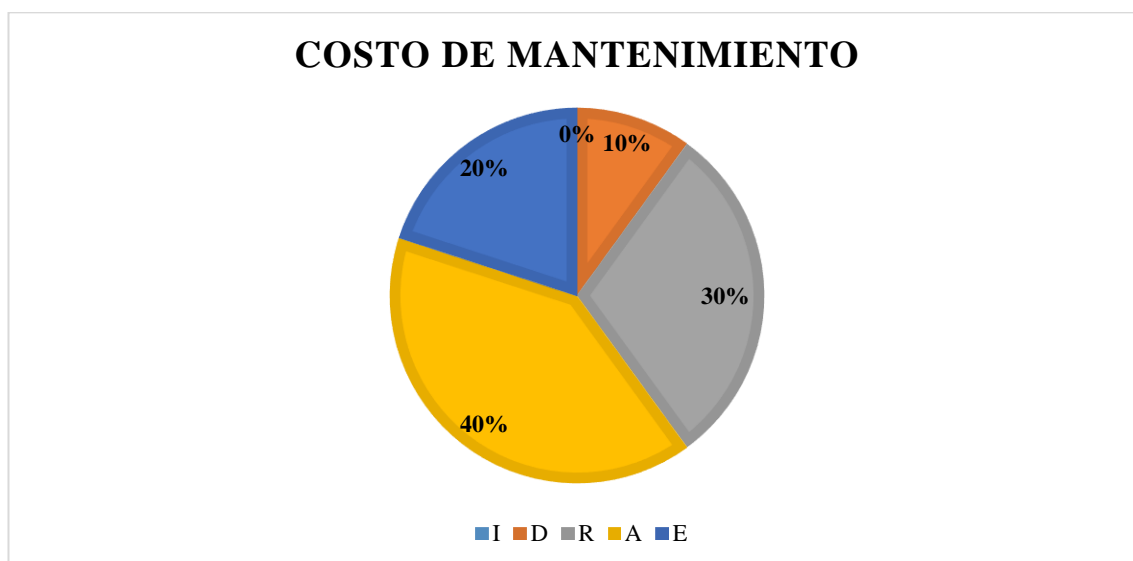
Tabla 13. *Respuestas obtenidas – pregunta 8.*

N°	Respuesta	Valorización
1	Estimo que al menos el 40% de la población podría optar por casas sostenibles en los próximos 5 años.	E
2	Considero que la demanda actual es baja, pero podría crecer hasta un 25% en los próximos años con la promoción adecuada.	A
3	Con una buena campaña, se podría cubrir un 30% de la demanda en la región en 3 años.	A
4	Se estima que entre el 15% y el 20% de la población está interesada en casas sostenibles.	R
5	Un 10% inicial podría cubrirse en el corto plazo, y el interés aumentaría gradualmente.	R
6	Actualmente, un 5% de la población muestra interés, pero este número puede crecer a medida que aumente la concienciación.	D
7	Pienso que la demanda potencial es alta, cubriendo hasta un 50% en el largo plazo.	E
8	La demanda es pequeña, probablemente un 10% al inicio, aumentando con incentivos.	R
9	Con apoyo gubernamental, el 35% podría interesarse en estos proyectos en el corto plazo.	A
10	Veo posible cubrir entre el 20% y el 30% de la demanda de construcción sostenible en unos años.	A

Nota: Elaborado por los autores.

En la Tabla 13, se reflejan las respuestas sobre la demanda estimada de casas sostenibles en la provincia. La mayoría de los encuestados consideró que este mercado tiene un potencial significativo, calificándolo como Aceptable, aunque un grupo reducido lo percibió como Regular debido a limitaciones en infraestructura y costos iniciales. Estos resultados subrayan la necesidad de incentivar el uso de materiales reciclados en la construcción. La Figura 34 ilustra esta percepción.

Figura 34. Resultados pregunta 8.



Nota: Elaborado por los autores.

La Figura 34 demuestra que existe una opinión dividida en cuanto a la demanda de la construcción sostenible en la provincia, teniendo resultados desde el 10% al 40% en los indicadores se puede concluir que algunos consideran que existe un gran potencial de demanda, mientras que otros consideran esta demanda muy limitada.

9. ¿De qué manera considera que la máquina trituradora contribuirá al éxito de su proyecto de investigación sobre la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?

Tabla 14. Respuestas obtenidas – pregunta 9.

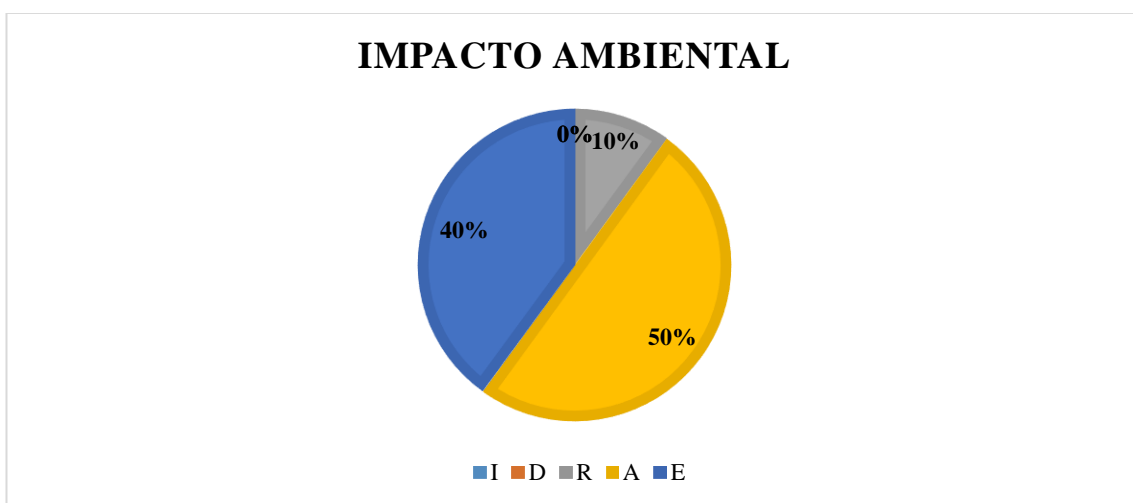
N°	Respuesta	Valorización
1	La máquina facilitará el proceso de reciclaje y permitirá producir materiales de construcción sostenibles a partir de plásticos reciclados.	E
2	Al reducir el tamaño del plástico, la máquina ayuda a integrarlo de manera más efectiva en materiales para construcción.	A
3	Es un paso importante en el reciclaje de plásticos, ya que el triturado es necesario para procesos posteriores de reutilización.	E
4	La trituradora permitirá optimizar la gestión de plásticos y reducir los residuos en la provincia.	A
5	Facilita el reciclaje al convertir los plásticos en partículas manejables, mejorando su integración en otros procesos.	A

6	Considero que es fundamental para lograr un uso eficiente de plásticos en la construcción sostenible.	E
7	Al contar con esta máquina, podremos aumentar el volumen de plástico reciclado que se procesa en la provincia	A
8	La máquina es útil, pero se necesita más investigación para optimizar el reciclaje en la construcción.	R
9	Contribuirá al éxito del proyecto al permitirnos reutilizar plásticos en materiales ecológicos de manera rápida.	E
10	La máquina apoya la sostenibilidad en la región y reducirá el costo de los materiales reciclados.	A

Nota: Elaborado por los autores.

Finalmente, en la Tabla 14, se presentan las opiniones sobre cómo la máquina trituradora contribuirá al éxito del proyecto. La mayoría valoró su impacto como Eficiente, destacando su potencial para transformar residuos plásticos en materiales útiles. Algunos señalaron la importancia de optimizar su diseño, calificándolo como Aceptable. En la Figura 35, se visualizan las distribuciones de estas valoraciones.

Figura 35. Resultados pregunta 9.

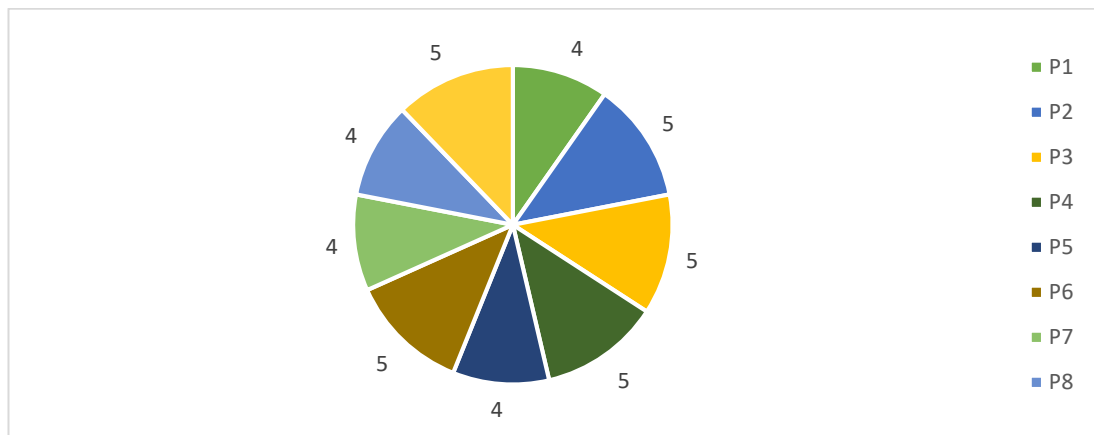


Nota: Elaborado por los autores.

En la figura 35 se aprecia que la contribución de la máquina al proyecto de investigación fue principalmente calificada como aceptable y eficiente, lo que se puede traducir en que en general se percibe que la máquina trituradora será un buen aporte, sin embargo, un 10% de calificación en el indicador regular refleja que existen dudas sobre los resultados a largo plazo.

Las preguntas mostradas revelan un enfoque acerca de la construcción de la máquina trituradora orientado a la sostenibilidad y eficiencia, con el fin de destacar temas como el cubrimiento de la demanda de desechos plásticos y el fácil manejo de esta. Los resultados se muestran a continuación en la figura 36, su formato de validación en el anexo C y el de entrevista en el D.

Figura 36. Resultados de la encuesta.



Nota: Elaborado por los autores.

El análisis de los resultados de la encuesta indica que la mayoría de los aspectos evaluados alcanzan un nivel de eficiencia, reflejado en la calificación de 5, que corresponde a eficiente en el gráfico de la figura 36. Sin embargo, ciertos elementos obtuvieron una calificación de 4, que representa un desempeño aceptable. Esto sugiere que, aunque en general los parámetros evaluados son satisfactorios, hay áreas que podrían beneficiarse de ajustes o mejoras para alcanzar un nivel óptimo.

Requerimientos técnicos para el diseño del prototipo de la máquina trituradora.

Se logró recopilar las especificaciones técnicas mínimas requeridas a través de la entrevista directa, siendo el punto de partida para el proyecto y sus futuros resultados en donde describimos los componentes que integraran la máquina proporcionados por la directora del proyecto de investigación integral:

- a. **Motor:** se utilizó un motor trifásico de 1 caballo de fuerza (1 HP), con una velocidad nominal de 1750 revoluciones por minuto (rpm) y una corriente de 5,2 amperios. Este motor será el componente principal de accionamiento, adecuado para las necesidades de trituración especificadas.

- b. **Sistema de corte:** el diseño debe incluir cuchillas y un mecanismo de corte adecuado para triturar botellas de PET, considerando materiales de alta resistencia al desgaste para garantizar durabilidad en las partes sometidas a fricción continua.
- c. **Seguridad operativa:** la máquina debe estar equipada con dispositivos de seguridad para proteger al operador, incluyendo un sistema de apagado de emergencia y protecciones en las zonas de acceso al mecanismo de corte.

Las etapas del diseño:

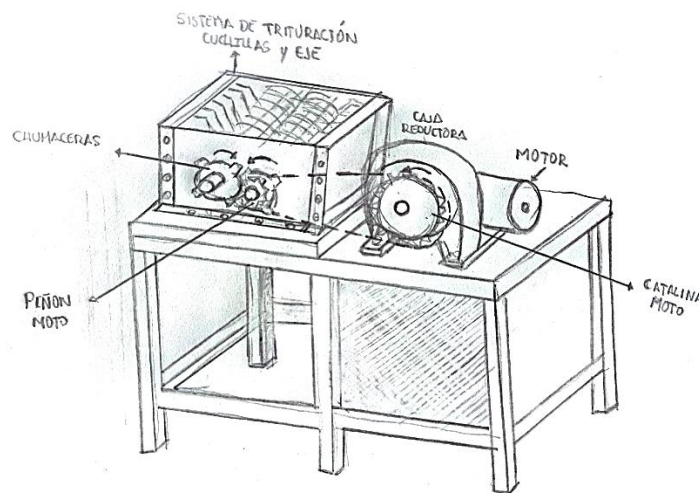
El diseño y construcción de una máquina trituradora de PET requiere una planificación detallada que cubra cada fase clave de la investigación las mismas que iniciaron con la consideración de los materiales a utilizarse, por consiguiente, el diseño del sistema de trituración, cuchillas y eje, selección del motor mediante cálculos, diseño del mecanismo de protección, resultado del prototipo y construcción física, prueba y resultado de producción. Es así que este apartado se puede detallar todo el proceso y los procedimientos realizados para el diseño y la implementación del proyecto investigativo, con la finalidad de detallar las decisiones tomadas en el ámbito técnico y a su vez reflejar los resultados obtenidos en cada etapa.

Para obtener una comprensión más clara del proceso de diseño, a continuación, se consideran algunos pasos muy importantes:

1. **Diseño conceptual:** la fase de diseño conceptual del triturador de plástico se basó en el análisis de referencias de artículos científicos y equipos similares documentados en proyectos anteriores. Este análisis y estudio comparativo ayuda a comprender las configuraciones de diseño más comunes utilizadas en equipos de trituración y sus dimensiones aproximadas, además de la disposición de los componentes principales. Mediante el estudio de diversos modelos, se determinaron los requisitos de diseño y operación que debe cumplir el proyecto. El primer objetivo fue determinar el tamaño total de la máquina, teniendo en cuenta no solo su eficiencia en la trituración de plástico, sino también la facilidad de mantenimiento y limpieza de los componentes internos. Esto proporciona las dimensiones aproximadas y la disposición inicial de componentes clave como motor, sistema de trituración y la estructura.

También se determina que la estructura debe tener un espacio suficientemente grande para colocar el motor reductor, asegurando la resistencia de la estructura y capacidad de soportar vibraciones y cargas durante la operación. Con base en estas pautas preliminares, se prepararon los bocetos iniciales, dibujando a mano, en donde se muestran las medidas aproximadas y la ubicación de cada componente. El boceto no solo ayuda a visualizar el diseño general de la máquina, sino que también sirve como punto de partida para pasos de desarrollo posteriores, como el modelado en 3D y el diseño a detalle.

Figura 37. Dibujo a mano alzada del prototipo.



Nota: Elaborado por los autores.

2. **Diseño a detalle:** durante esta etapa se establecieron las especificaciones y medidas requeridas para la fabricación de la maquina trituradora de plásticos, tomando como base los bocetos conceptuales previos. Empezando en determinar las dimensiones de cada parte de la estructura, teniendo en cuenta aspectos como la altura total, la disposición de los elementos y la estabilidad durante el funcionamiento.
3. **Modelado 3D:** para el modelado 3D de la trituradora de plásticos, se utilizó el software solidworks, que permitió convertir los bocetos iniciales y las especificaciones detalladas en un modelo digital tridimensional, esta parte facilitó obtener la visualización de la trituradora en un entorno virtual antes de iniciar la construcción física.

Antes de iniciar con las fases de construcción del prototipo de la máquina trituradora de PET, se realizó un seguimiento de la metodología propuesta por Pérez et al. (2023), la cual ofrece un esquema de los pasos necesarios para el desarrollo de equipos de ingeniería. Esta metodología se centra en una construcción organizada en fases secuenciales que incluyen la planificación, ensamblaje de componentes y pruebas de funcionamiento.

3.1.2. Fase 1: Consideración de materiales a utilizar.

La selección de materiales fue un paso crucial para asegurar la funcionalidad en la construcción de la máquina trituradora. Para ello se requirió elegir componentes que ofrecieran una alta resistencia mecánica y durabilidad a largo plazo para soportar fuerzas significativas durante el proceso de trituración, asimismo, se tuvo en cuenta la disponibilidad y el costo de los componentes, con el objetivo de equilibrar la eficiencia técnica con la viabilidad económica del proyecto. A continuación, se detallan los materiales utilizados y su función específica en la construcción de la máquina trituradora:

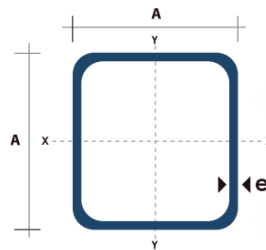
Materiales para la limpieza y preparación del motor: los materiales seleccionados cumplen funciones importantes en la limpieza y preparación del dispositivo para garantizar su durabilidad y un acabado de alta calidad. Cabe recalcar que Pérez et al. (2023) no destaca la importancia de la selección de materiales. En el caso de estudio, estos son:

1. **Removedor de pintura, cepillo trenzado, pintura blanca y azul:** estos materiales se emplearon en la limpieza y pintado del motor, con el apoyo de un compresor para facilitar el proceso.
2. **Compresor:** utilizado para la aplicación de pintura y la eliminación de residuos en el motor, el compresor proporciona una presión de aire constante, lo que facilita una cobertura uniforme de pintura y una limpieza profunda.
3. **Antioxidante:** utilizado para crear una capa protectora para evitar la oxidación.
4. **Fosfatizante:** el compuesto es utilizado en el tratamiento inicial de superficies, preparando el metal para la pintura, generando una base que potencia la adhesión.

Materiales para la estructura de la máquina: los materiales seleccionados para la estructura se seleccionaron por su alta resistencia a la tracción y capacidad de soportar cargas estáticas y dinámicas. Estos ofrecen propiedades mecánicas como dureza, rigidez y resistencia al desgaste, fundamentales para garantizar la estabilidad y durabilidad de la máquina en condiciones de uso intensivo.

5. **Tubo cuadrado de acero negro de 50 mm:** este tubo se utilizó para la construcción de la estructura principal de la mesa de la máquina. Sus dimensiones son de 1.5 mm de espesos (e), y 50 mm de ancho por alto, con un peso de 2.29 kg por m.

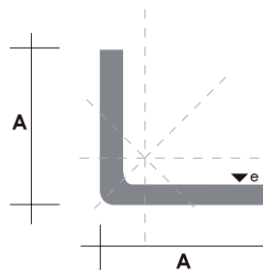
Figura 38. *Tubo cuadrado de 50 mm.*



Nota: Obtenido de DIPAC (2022).

6. **Tubo cuadrado de acero negro de 40 mm:** se usó como soporte estructural adicional en varias partes de la mesa, proporcionando refuerzos transversales entre los montantes y debajo de la plancha que soporta el motor y la caja reductora. Con dimensiones 1.2 mm de e y 40 mm de ancho * alto, la imagen referente es la figura 38.
7. **Ángulo 40 x 4:** debajo de la plancha se colocó un perfil en ángulo, alineado con los agujeros de montaje del motor, para proporcionar un anclaje robusto. Las dimensiones de este material son: 40*4*6 mm ($A*e*L$), tomando como referente:

Figura 39. *Angulo de 40 x 4.*



Nota: Obtenido de DIPAC (2022).

Planchas de acero.

8. **Plancha de acero de 1/8"**: la plancha se selecciono porque brinda el grosor y resistencia necesario para soportar las cargas del motor y sistema de trituración.
9. **Plancha de acero galvanizado de 1/32"**: esta plancha fue seleccionada para dar recubrimiento entre columnas además de elaborar tapas en diferentes partes de la máquina para brindar los acabados estéticos.

Materiales para el sistema de corte:

10. **Cuchillas de material DF2**: se seleccionó este material para la fabricación de las cuchillas debido a que es un material ideal para trabajos de corte y trituración.
11. **Piñones (2)**: estos son usados para transmitir el movimiento generado por el motor hacia los ejes de las cuchillas, asegurando una transmisión eficiente de fuerza.
12. **Catalina y piñón de motocicleta**: este conjunto se utiliza para generar un aumento de velocidad debido a la varianza en sus diámetros.

Materiales para el sistema eléctrico:

13. **Pulsadores, luces, cables, contactor, breaker doble C40**: todos estos componentes eléctricos se pueden encontrar de manera prediseñada en botoneras, sin embargo, fueron adquiridos por separado para realizar una configuración personalizada para incluir la función del apagado de emergencia.

Herramientas y materiales utilizados para la construcción de la maquina: dentro de la construcción de la máquina se emplearon materiales como los discos de corte, discos flap, brocas, electrodos, todos estos necesarios para realizar los procesos de corte, pulido y soldadura respectivamente, para ello se hizo uso de las herramientas necesarias para manipular estos materiales, las cuales son la amoladora, taladro, máquina de soldar, entre otros.

Herramientas utilizadas:

14. **Amoladora**: es utilizada para realizar los trabajos de corte, lijado y pulido operando los discos de corte y flap, además facilita el ajuste de los

componentes al eliminar imperfecciones y bordes afilados, asegurando un mejor ensamblaje en la estructura de la máquina.

15. **Taladro:** empleado para realizar las perforaciones necesarias a los tubos y planchas, con el uso de brocas de diferentes tamaños, esto facilita la incorporación de los elementos de fijación como los pernos.

Materiales para trabajos de corte y ensamblaje:

16. **Discos de corte:** necesarios para efectuar cortes precisos en los materiales de acero de la estructura, utilizados gracias a su capacidad de corte rápido y preciso, facilitando los montajes posteriores.
17. **Electrodos E6011:** empleados para soldar tubos, planchas y ángulos, estos electrodos de 3/32" ofrecen una soldadura penetrante y resistente, asegurando una unión firme en superficies difíciles.
18. **Disco flap:** utilizado para pulir soldaduras y bordes, este disco permite obtener un acabado uniforme y sin imperfecciones en las uniones, mejorando la apariencia y estética, además de garantizar un ensamblaje seguro.

Elementos de sujeción y fijación:

19. **Brocas:** se emplearon brocas de 16 mm para perforar la plancha y los ángulos, permitiendo realizar orificios precisos donde se sujetará el motor. Estas perforaciones son esenciales para el correcto montaje y alineación de los componentes en la estructura.
20. **Pernos y tuercas de acero negro, anillos planos galvanizados y de presión:** estos elementos de fijación aseguran el montaje estable del motor y el reductor a la estructura. La combinación de pernos y anillos garantiza una sujeción firme y evita el desajuste por vibración durante el funcionamiento de la máquina.

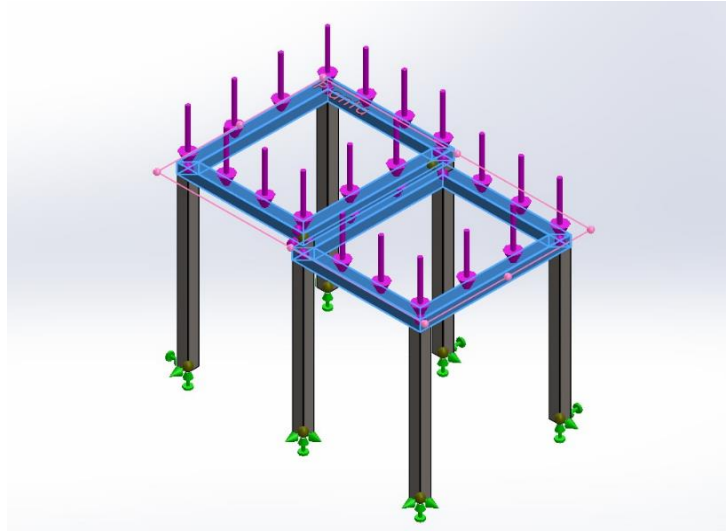
3.1.3. Fase 2: Diseño del sistema de trituración, cuchillas y eje.

En esta fase del proyecto, se inicia con el diseño de la base, la cual proporcionará el soporte estructural necesario para todo el sistema de trituración y garantizará la estabilidad de la máquina durante su funcionamiento. La base será diseñada en el software solidworks, considerando aspectos como el cálculo del esfuerzo.

Análisis estático y cálculo de esfuerzos de la estructura de la base de la trituradora.

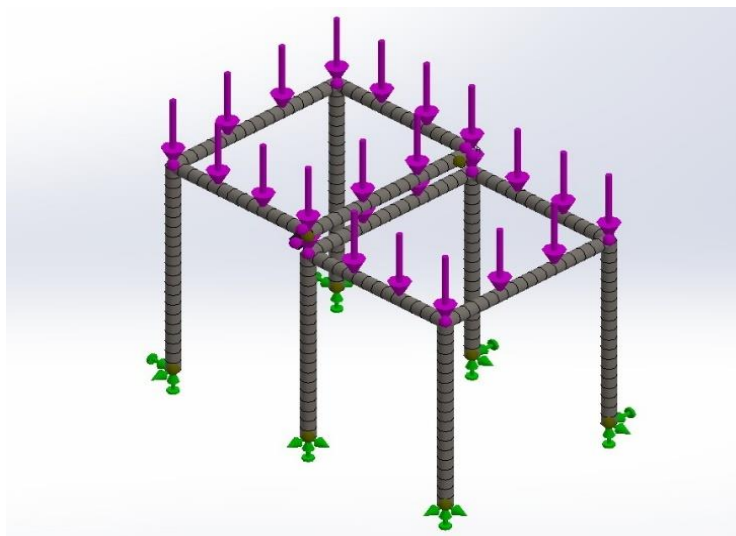
A continuación, se plantea las siguientes decisiones que permiten entender a mayor profundidad el tema de investigación. Como primero, las gráficas de la distribución de cargas para el soporte de la máquina trituradora.

Figura 40. *Cargas de la base.*



Nota: Elaborado por los autores.

Figura 41. *Malla.*



Nota: Elaborado por los autores.

Mediante simulación estática en la figura 40 presenta la distribución de las cargas aplicadas sobre la estructura, evidenciando los puntos críticos de soporte. La figura 41 muestra la malla generada por el análisis por elementos finos, permitiendo evaluar con

precisión la respuesta estructural ante las cargas aplicadas. Este enfoque asegura una comprensión detallada del comportamiento de la estructura bajo condiciones de carga, optimizando su diseño para una mayor resistencia y estabilidad en la operación de la trituradora.

Esfuerzos normales: conocido como esfuerzo axial o axial, es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones perpendiculares es decir las tensiones normales a la sección transversal de un prisma mecánico. Considerando que, la carga que va a soportar la mesa de 6 patas es de 0.075 ton, y cada una tiene una altura de 0.685 m aproximadamente, y un área transversal de 0.05 m² d. El material es del acero A35, para el cual su módulo de Young es de 200 GPa. Para el cual, el esfuerzo es:

$$\sigma = \frac{F_n}{A}$$

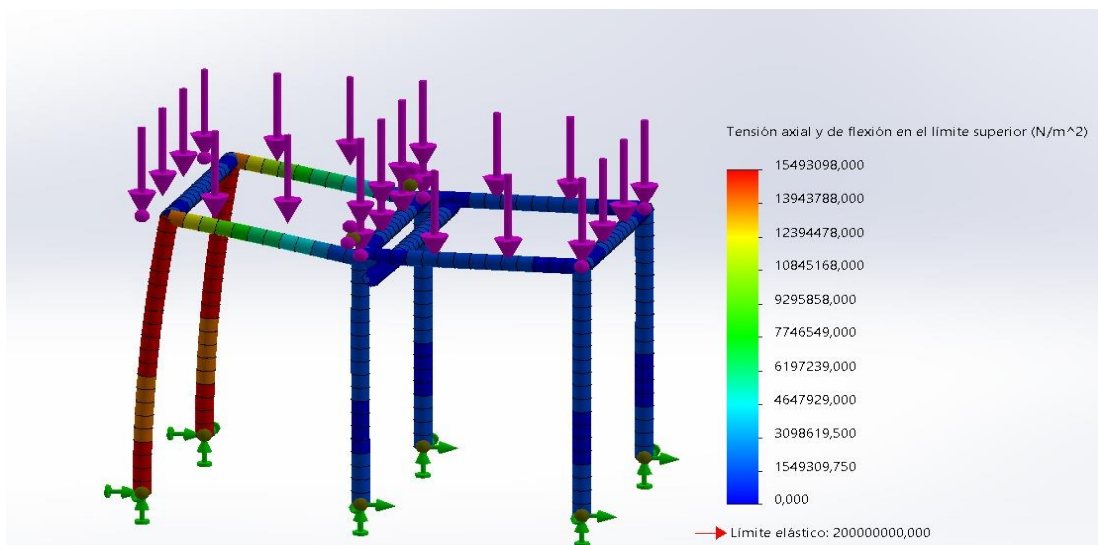
$$\sigma = \frac{W/6}{A}$$

$$\sigma = \frac{m * g/6}{A}$$

$$\sigma = \frac{(75 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2)/6}{0.05 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = \frac{-122.625 \text{ N}}{0.05 \text{ m}^2} = -2452.5 \text{ Pa} = -0.0024525 \text{ MPa}$$

Figura 42. Flexión axial.



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 42 presenta una flexión axial en la estructura con cargas aplicadas en la parte superior, representadas por flechas hacia abajo. La escala de colores indica la magnitud de las tensiones axiales y de flexión en varios puntos de la estructura.

Esfuerzo cortantes: implica la acción de una fuerza que se aplica a un material. En relación con el tema de estudio se considera a la fuerza generada en dirección opuesta a la rotación del cortador. Continuamente, para calcular la deformación unitaria se utiliza la formula del módulo de Young, siendo la siguiente:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\gamma}$$

$$\varepsilon = \frac{-0.0024525 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}}$$

$$\varepsilon = -0.0000000122625 \approx -0.0000000123 \text{ en unidades mm}$$

Calculando la variación de longitud, se tiene:

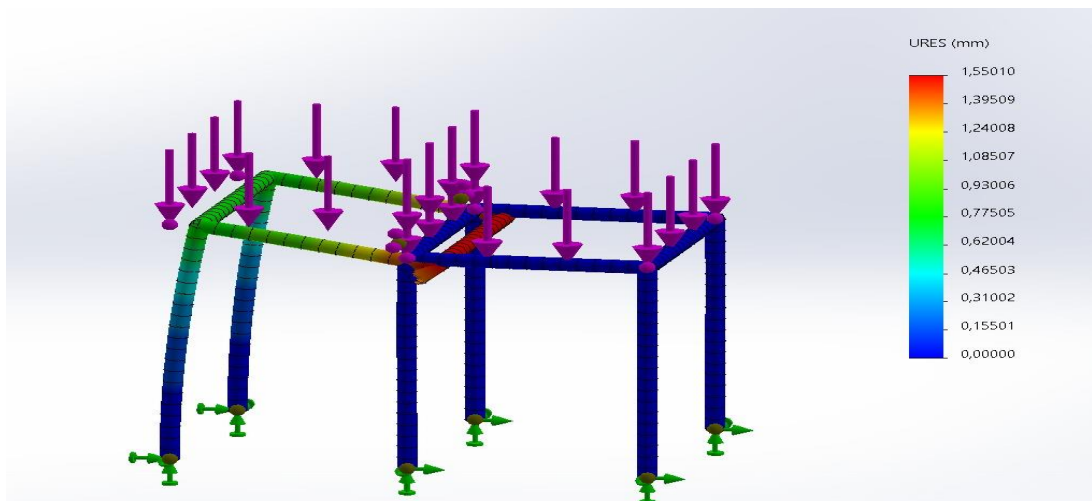
$$\Delta L = \varepsilon * L_0$$

$$\Delta L = -0.0000000123 * 685 \text{ mm}$$

$$\Delta L = -0.0000093998 \text{ mm}$$

Estos datos indican que cada pata de la base de la máquina se puede comprimir en un 0.0000094 mm. A lo que se adjunta la figura 34 sobre las deformaciones unitarias del soporte de la trituradora.

Figura 43. Deformaciones unitarias.



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 43 muestra el análisis de deformación total de la estructura que soporta al motor y el sistema de trituración. La escala de colores indica el nivel de desplazamiento en milímetros en donde se representa el área roja como la mayor deformación y el área azul representa el área de menor deformación. Este análisis identifica puntos críticos de flexión bajo carga, proporcionando información importante para reforzar la estructura y asegurar su estabilidad.

Así mismo, se centra en el diseño meticuloso del sistema de trituración realizado en el software solidworks, que es crucial para garantizar la eficiencia y seguridad de la máquina trituradora. Este sistema está compuesto principalmente por el ensamblaje de cuchillas y ejes, diseñados para optimizar la trituración del material de entrada. La adecuada configuración y robustez de estos componentes son esenciales para alcanzar la capacidad de procesamiento deseada y para minimizar el mantenimiento y el desgaste a lo largo del tiempo.

En el software solidworks se le proporciona las restricciones necesarias al diseño para evaluar su resistencia al corte el cual asigna una fuerza de 95 kg/f.

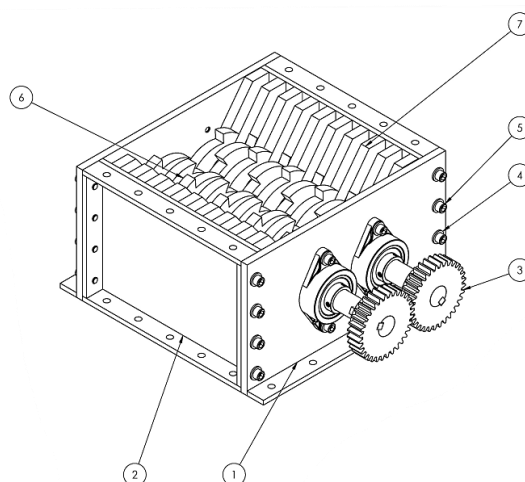
Figura 44. *Cuchilla.*



Nota: Elaborado por los autores.

A continuación, en la figura 45 se ilustra detalladamente al sistema de trituración, que incluye las cuchillas y los ejes principales. Ofreciendo una vista clara de la disposición y el montaje de los componentes dentro de la estructura de la máquina, proporcionando una vista referencial que facilita la comprensión del diseño y funcionamiento del sistema.

Figura 45. Resultado del sistema de trituración.



Nota: Elaborado por los autores.

Además, la figura 45 ilustra la interacción entre los componentes del sistema de trituración, destacando la disposición de las cuchillas para maximizar la eficiencia de corte. Se observa la precisión en la alineación de los ejes y las cuchillas, lo cual es primordial para garantizar una operación uniforme y minimizar el desgaste. Asimismo, se presenta la tabla 15, que detalla los componentes específicos del sistema de trituración, enumerando cada elemento por número, nombre y cantidad, proporcionando así una referencia completa de los componentes utilizados en el montaje.

Tabla 15. Componentes del sistema de trituración.

N° de elemento	Nombre	Cantidad
1	Placa base soporte frontal porta ejes.	2
2	Placa soporte lateral izquierda.	2
3	Eje porta-disco 1.	1
4	Arandela plana B18.22M, 12 mm, estrecha.	16
5	Tornillo hexagonal B18.3.1M, 12 x 1.75 x 30.	16
6	Eje porta-disco 2.	1
7	Separador.	19

Nota: Elaborado por los autores.

La tabla 15 proporciona un desglose detallado de los elementos estructurales y funcionales necesarios en el diseño del sistema de trituración. Cada componente

desempeña un papel crucial en la operación eficiente y segura de la máquina trituradora.

Ensamblajes de pared lateral y longitudinal: forman la carcasa externa del sistema, diseñada para soportar las fuerzas mecánicas durante la operación y proteger los componentes internos. La robustez de estos ensamblajes asegura la integridad estructural y la seguridad del proceso de trituración.

Ensamblajes de eje porta-disco: estos ejes son fundamentales para la sujeción y el giro preciso de las cuchillas de corte. Su diseño debe asegurar un alineamiento exacto para evitar vibraciones y desgaste irregular, que podrían afectar la eficiencia y la vida útil del sistema.

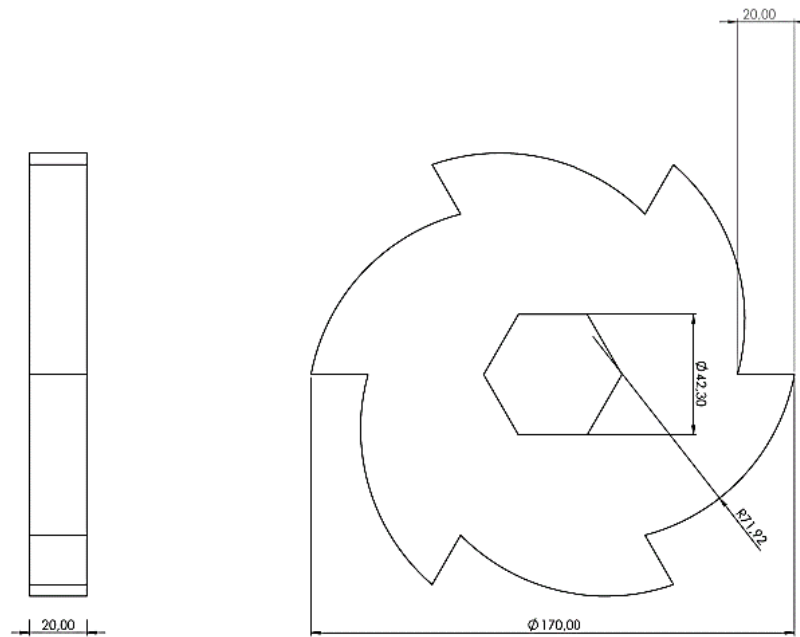
Arandelas: las arandelas son importantes en la distribución uniforme de la carga y la presión a lo largo de las conexiones, evitando el aflojamiento de las fijaciones bajo vibración, siendo necesarias 16 unidades (elemento 4 de la tabla 6). Estas ayudan a mantener la integridad estructural y la alineación de los componentes críticos durante el funcionamiento continuo.

Tornillos y tuercas: estos elementos de fijación son sustanciales para mantener unidos todos los componentes mecánicos, requiriendo un total de 16 unidades (elemento 5 de la tabla 6). La elección adecuada de tornillos y tuercas asegura que la máquina soporte las fuerzas operativas sin riesgo de desmontaje o fallo estructural.

Separadores: los separadores garantizan un espaciado adecuado entre los discos de corte, lo cual es primordial para lograr un tamaño y uniformidad óptimos del material triturado. Un espaciado correcto previene atascos y mejora la eficiencia del proceso de trituración, siendo necesarios 19 en este caso.

Además, se presenta la figura 46, que muestra el diseño técnico de las cuchillas del sistema de trituración. Este diseño es crucial para asegurar un proceso de trituración eficaz, ya que las cuchillas son responsables de descomponer el material en partículas manejables. El dibujo detalla las dimensiones y la forma de las cuchillas, garantizando una adaptación óptima al eje y al mecanismo general de trituración.

Figura 46. *Diseño de las cuchillas.*

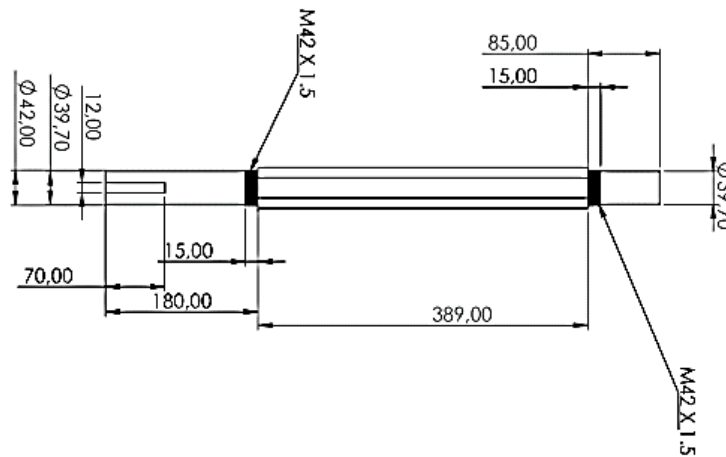


Nota: Elaborado por los autores.

La figura 46 ilustra una cuchilla con una serie de cortes precisos y radios que han sido meticulosamente diseñados para maximizar la capacidad de trituración del plástico. Estas tienen un diámetro central de 42.30 mm, que se ajusta directamente al eje diseñado previamente, asegurando un ensamblaje sin holguras y una transmisión eficiente de la fuerza motriz. El radio R1.92 en los extremos de las cuchillas ayuda a facilitar un corte suave y eficiente, mientras que las dimensiones totales aseguran que se cubra una superficie amplia con cada rotación del eje, incrementando así la eficiencia del proceso de trituración. Cabe recalcar que cada cuchilla tiene un ancho de 20 mm.

Al igual, en esta fase también se da a conocer un dibujo técnico del eje principal. Esta figura representa el diseño preciso del eje que soportará y permitirá la operación de las cuchillas de trituración mostrada en la Figura 38. El diseño busca optimizar la funcionalidad y la resistencia mecánica necesaria para el proceso de trituración eficiente y seguro.

Figura 47. *Diseño del eje.*



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 47, muestra el diseño técnico del eje, especificando sus dimensiones clave y características estructurales. Estos valores, marcados en milímetros, incluyen un diámetro de 39.70 mm en sus extremos, ajustándose a un diámetro mayor de 42.00 mm en el cuerpo principal para mayor robustez. La longitud total es de 339.00 mm, lo que proporciona suficiente espacio para el montaje de las cuchillas y otros componentes. También se detalla las roscas M42 x 1.5 en ambos extremos del eje, que son esenciales para la fijación segura de las cuchillas y otros componentes mecánicos, asegurando que todo permanezca en su lugar incluso bajo altas cargas de operación. Las marcas de medición precisas son críticas para el ensamblaje correcto y la alineación de todo el sistema de trituración.

3.1.4. Fase 3: Selección del motor

Dentro del desarrollo de la fase 3 para seleccionar el motor, se comenzó realizando un análisis de los requisitos de torque y potencia que serían necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina. Teniendo en cuenta que la maquina está diseñada para triturar desechos plásticos, en su gran mayoría botellas PET, es necesario contar con un motor que proporcione la fuerza suficiente para superar la resistencia del material.

Para ello primero calculamos la fuerza de corte aplicadas a los residuos plásticos, tomando en consideración que las paredes de las botellas tienen un grosor aproximado de 0,3mm que al aplastarse suma un total de 0,6mm y la longitud de las

cuchillas es de 170mm. Además de que, en promedio, los materiales PET cuentan con una resistencia a roturas de 20MPa, calculamos:

$$F = 20MPa * \frac{1 \frac{N}{mm^2}}{1MPa} * 170mm * 0,6mm$$

$$F = 2040 N$$

Luego es necesario convertir esta fuerza para determinar el torque requerido por las cuchillas.

$$T = F \cdot r$$

$$T = 2040 N * 0,15m$$

$$T = 306 Nm$$

Cálculos para seleccionar el motor.

Para realizar los cálculos de selección del motor debemos tener en cuenta que la velocidad adecuada para triturar plásticos abarca un rango desde 20 RPM, por lo que se utiliza este valor en radianes para los siguientes cálculos.

$$\omega = \text{velocidad angular}$$

$$\omega = 20RPM * \frac{2\pi \text{ rad}}{60s} = 2,09 \text{ rad/s}$$

Luego calculamos la potencia:

$$P = T * \omega$$

$$P = 306 Nm * 2,09 \frac{\text{rad}}{s}$$

$$P = 639,54 W$$

Finalmente expresamos la potencia en caballos de fuerza:

$$P = 639,54 W * \frac{1Hp}{745,7 W}$$

$$P = 0,85 HP$$

Lo que nos resulta en que es necesario contar con un motor de al menos 0,85 Hp de potencia para propósitos del proyecto.

Por lo tanto, se seleccionó un motor trifásico de 1 caballo de fuerza (1Hp), con una velocidad nominal de 1750 revoluciones por minuto (rpm) y una corriente de 5,2 amperios, el cual fue proporcionado por la directora del proyecto de investigación integral de la facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Este, adecuado para un sistema eléctrico de 220V, fue elegido para el modelado del prototipo en el software solidworks. Como parte del diseño, se planificó la futura adaptación del motor a una caja reductora con una relación de reducción aproximada de 240:1. Esta adaptación será clave en la etapa de construcción, garantizando el torque necesario para el adecuado funcionamiento del sistema de trituración.

A continuación, gracias a la incorporación de esta caja reductora realizamos los cálculos de velocidad de salida:

$$1750 \text{ RPM} * \frac{1}{240} = 7,2916 \text{ RPM} \approx 7 \text{ RPM}$$

En este punto contamos solo con la potencia necesaria para realizar la trituración, para ello se plantea incorporar al sistema, un conjunto piñón-catalina con una diferencia de diámetros para aumentar la velocidad final. La catalina, de un diámetro mayor de 20cm, se acopla al eje de la caja reductora, mientras que el piñón con un diámetro menor de 7cm se acopla a un eje de las cuchillas.

$$RPM = RPM_1 * \frac{D_c}{D_p}$$

$$RPM = 7,2916 \text{ RPM} * \frac{20 \text{ cm}}{7 \text{ cm}}$$

$$RPM = 7,2916 \text{ RPM} * 2,8571$$

$$RPM = 20,8331 \approx 21 \text{ RPM}$$

Los cálculos realizados nos permiten concluir que el motor seleccionado para el proyecto cumple los requisitos necesarios de potencia y torsión. La velocidad de

este fue regulada con una caja reductora y un sistema de catalina-piñon, logrando una velocidad final de 21RPM.

Figura 48. Caja reductora otorgada por los directivos del proyecto.




Nota: Elaborado por los autores.




3.1.5. Fase 4: Mecanismo de protección.

El diseño del sistema de protección tiene como objetivo principal garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del taller, protegiendo tanto a los operarios como los equipos mediante la implementación de un circuito de protección eléctrico básico. Para la construcción de este sistema, se han seleccionado los siguientes materiales de la tabla 16.

Tabla 16. Elementos del mecanismo de protección.

N.	Nombre del elemento	Características	Imagen
1	Contactor Siemens SIRIUS de 220V	Este dispositivo actuará como el interruptor principal, permitiendo la apertura o cierre del circuito de acuerdo con las condiciones establecidas. El contactor está diseñado para soportar la corriente necesaria para la operación del taller y se activará mediante los	

		pulsadores de encendido y apagado.	
2	Pulsador de encendido	Este pulsador permitirá iniciar la operación del sistema eléctrico, activando el contactor y cerrando el circuito. Al ser presionado, energizará los componentes que están conectados al sistema.	
3	Pulsador de apagado	Su función es des-energizar el circuito al final del ciclo de trabajo o en situaciones donde se deba cortar la energía de manera controlada. Se posicionará en un lugar accesible para facilitar su uso.	
4	Pulsador de parada de emergencia	Este pulsador tiene una función crítica de seguridad. En caso de una emergencia o falla en el sistema, permite interrumpir el suministro eléctrico de manera inmediata para evitar accidentes o daños en los equipos. Su instalación será estratégica para asegurar un rápido acceso en caso de contingencia. – circuito normalmente cerrado	
5	Luz piloto verde	Se utilizará para indicar que el sistema está energizado y funcionando correctamente. Su luz encendida representará que el circuito está cerrado y que todos los dispositivos están operando bajo condiciones normales.	

6	Luz piloto naranja	Este indicador señalará posibles fallas o estados anómalos en el sistema, como sobrecargas o un mal funcionamiento de alguno de los componentes. Su uso facilita la rápida identificación de problemas en el sistema de protección.	
7	2 metros de cable de hilo #18	Este tipo de cable se utilizará para las conexiones entre los dispositivos de control y señalización, como los pulsadores y las luces piloto. Su tamaño es adecuado para la transmisión de señales de control, que requieren menor corriente.	
8	4 metros de cable 7 hilos #10	Este cable de mayor capacidad será utilizado para las conexiones de potencia del contactor y otros elementos que requieran una mayor transmisión de corriente, asegurando la correcta distribución de energía en todo el sistema.	

Nota: Elaborado por los autores.

3.1.6. Fase 5: Resultados del prototipo.

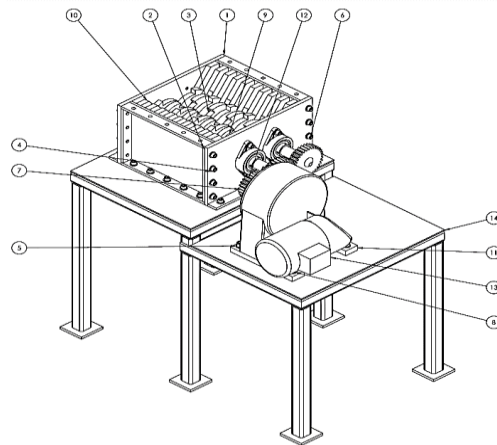
Dentro de la fase del diseño y desarrollo de la máquina trituradora fue de gran importancia evaluar que el diseño sea funcional y eficiente. En esta, se presentan los resultados diseñados con el software solidworks el cual es una herramienta que nos muestra una visualización precisa de la ubicación de los componentes para su ensamblaje.

El prototipo presentado ha sido modelado con la importancia que tiene cada detalle técnico, abarcando desde la disposición estructural hasta los sistemas mecánicos, garantizando así el cumplimiento de todas las especificaciones técnicas. Esta fase incluye, una visualización gráfica del ensamblaje completo de la máquina

trituradora, seguida de una tabla detallada que enumera cada componente utilizado en el diseño. Es por ello que estos elementos son puntuales para entender tanto la estructura física como la funcionalidad esperada de la máquina.

Para ello, como se demuestra a continuación en la figura 40 en la que se ilustra el ensamblaje de una máquina trituradora diseñada para procesar materiales variados. Este diagrama explora la configuración y la disposición de los componentes individuales. Los elementos están etiquetados numéricamente del 1 al 14, correspondiendo cada número a una parte específica, que incluye desde ensamblajes de la pared lateral y longitudinal hasta el motor eléctrico y estructuras de soporte. Esta disposición visual ofrece una vista detallada de la interconexión de las piezas y su relación espacial dentro del ensamblaje general.

Figura 49. Resultados del prototipo diseñado.



Nota: Elaborado por los autores.

El análisis del diagrama de la máquina trituradora en la figura 49 revela una estructura robusta, diseñada para garantizar eficiencia y seguridad operativa. La disposición de los ensamblajes de las paredes laterales (elementos 1 y 2) proporciona estabilidad y soporte, lo que es esencial para la durabilidad del equipo. El separador (elemento 10) es de suma importancia para mantener el espaciado adecuado entre los discos de corte, optimizando el tamaño y la uniformidad del material triturado.

Los componentes mecánicos, como los engranajes (elemento 12) y el motor eléctrico (elemento 13), están posicionados estratégicamente para maximizar la transferencia de potencia. Esta disposición minimiza la pérdida de energía y mejora la eficiencia operativa. La combinación de estos elementos sugiere un diseño ingenioso, sin embargo, presenta ciertas desventajas en el rendimiento de las cuchillas y su proceso de trituración.

Estos nombres son respaldados mediante los datos presentados en la tabla 17, que proporcionada detalla los componentes específicos utilizados en el ensamblaje de la máquina trituradora, con columnas que indican el número de elemento, el nombre del componente y la cantidad utilizada. Los elementos van desde ensamblajes estructurales hasta componentes mecánicos y de fijación, como tornillos y arandelas. Esta lista de piezas es esencial para comprender las especificaciones exactas de cada componente y su contribución al conjunto total de la máquina.

Tabla 17. *Componentes de la máquina trituradora*

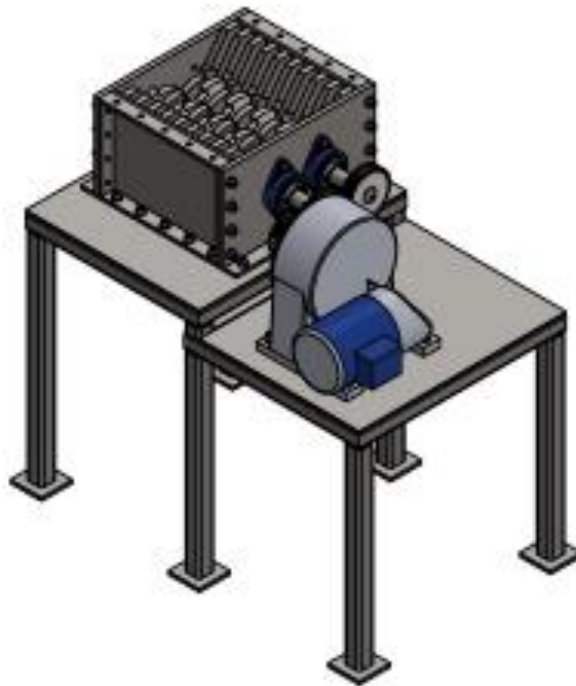
N° de elemento	Nombre	Cantidad
1	Pared lateral (Placa lateral).	2
2	Pared longitudinal (Placa longitudinal).	2
3	Eje porta-disco 1 (Eje porta-disco 1).	1
4	Arandela plana B18.22M, 12 mm, estrecha.	16
5	Arandela plana B18.22M, 14 mm, estrecha.	36
6	Tornillo hexagonal B18.3.1M, 12 x 1.75 x 30	13
7	Tornillo hexagonal B18.3.1M, 12 x 1.75 x 35.	16
8	Tornillo hexagonal B18.3.1M, 16 x 2.0 x 50.	20
9	Eje porta-disco 2 (Eje porta-disco 2).	1
10	Separador de disco.	19
11	Motor (Motor trifásico de 1 HP).	1
12	Engranaje de piñón recto 4M 26T 20PA 30FW – S26O80H50L40R1.	1
13	Motor eléctrico (Motor trifásico).	1
14	Estructura soporte (Base estructural).	1
15	Tuerca hexagonal B18.2.4.1M, M16 x 2.	4

Nota: Elaborado por los autores.

Como se puede observar en la tabla 17 se destaca aspectos clave de la construcción de la máquina trituradora. La variedad de arandelas y tornillos en los elementos 5, 6, 7 y 8 refleja un diseño que prioriza la seguridad y la estabilidad mediante múltiples puntos de fijación como pernos, tuercas, entre otros, de gran relevancia para equipos que operan bajo cargas pesadas. La inclusión de un motor eléctrico y un engranaje (elementos 12 y 13) sugiere la necesidad de supervisión para

el mantenimiento preventivo, asegurando un rendimiento constante. La diversidad de componentes indica que la máquina es compleja y adaptable, ideal para procesar diferentes tipos de materiales. Además, las figuras 40 y 41, junto con la tabla 8, ofrecen diferentes perspectivas que complementan la comprensión del diseño y funcionalidad de la máquina.

Figura 50. *Máquina trituradora diseñada.*



Nota: Elaborado por los autores.

Es importante mencionar que ciertas piezas del prototipo de la máquina trituradora no se han detallado durante las 5 fases correspondientes al diseño. Sin embargo, se encuentran descritas en el anexo C en forma de planos, donde se proporciona información detallada para cada componente ausente en la descripción primaria. Por consiguiente, cada pieza está acompañada de vistas laterales y frontales, además de representaciones en 3D que facilitan una comprensión visual completa de su forma y funcionamiento. Asimismo, se incluyen las dimensiones exactas, los subcomponentes que integran cada parte y la cantidad de cada elemento. Este nivel de detalle es fundamental para entender completamente la estructura y la funcionalidad de la máquina trituradora, asegurando que todos los aspectos del diseño sean accesibles para revisión y consulta.

3.1.7. Fase 6: Construcción física, prueba y resultados de producción.

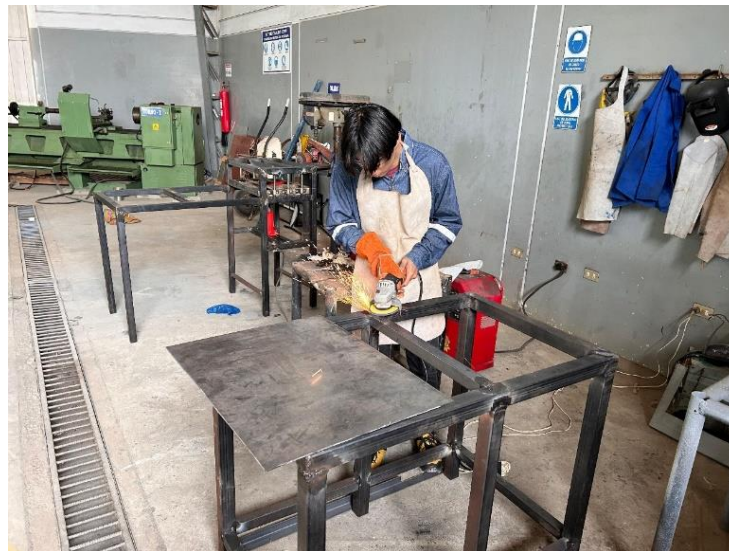
1. Soporte de la máquina.

La estructura de soporte de la máquina trituradora de plásticos se construyó utilizando tubos cuadrados de acero negro de 50 mm y 40 mm, asegurando un diseño robusto que soporta el peso del motor, la caja reductora y el cajón de cuchillas. A continuación, se detalla el proceso de fabricación, y se adjunta la Figura 42:

- a. **Corte y preparación del material:** utilizando tubos cuadrados de acero negro de 50 mm, se realizó el trazado y corte preciso de los materiales que formarían la base estructural de la mesa. Esta base se compone de un cuadro superior y seis soportes verticales diseñados para incrementar la estabilidad de la estructura. La unión de estos se llevó a cabo mediante soldadura, estableciendo así el marco principal de soporte.
- b. **Refuerzos adicionales:** para reforzar la estructura, se integraron soportes transversales utilizando tubos de 40 mm. Estos, aunque menos robustos que los de 50 mm, se soldaron estratégicamente entre las columnas verticales para fortalecer el armazón contra las fuerzas laterales y torsionales durante la operación de la máquina.
- c. **Alineación y colocación del motor:** se montaron soportes horizontales en el cuadro de la mesa para alinear los ejes de la caja reductora con el del cajón de cuchillas. Se determinaron y marcaron los puntos de fijación del motor, reforzando estas áreas con perfiles en ángulo soldados para distribuir uniformemente las fuerzas durante la sujeción y prevenir deformaciones. Se adaptó el motor trifásico de 1 caballo de fuerza (1Hp) a la caja reductora con una relación de reducción de 240:1, determinada mediante pruebas manuales sobre giros al eje de entrada, observando el número de vueltas resultantes en el eje de salida, utilizando una conexión mecánica precisa que asegura el acoplamiento eficiente entre ambos componentes, conocida como matrimonio. Esta adaptación fue realizada en un taller especializado, garantizando la alineación y ensamblaje preciso de las piezas. El factor de reducción es crucial para proporcionar el torque necesario en las cuchillas de la máquina trituradora, optimizando así el rendimiento del sistema en el procesamiento de materiales plásticos. El motor, en conjunto con la caja reductora, está montado sobre una estructura de acero robusta.

- d. **Preparación de la superficie de montaje:** con el motor temporalmente en posición, se verificaron los alineamientos y se procedió al marcado y taladrado de los agujeros para los pernos en la superficie de la mesa.
- e. **Pulido y montaje final:** todas las soldaduras se pulieron para obtener un acabado uniforme. Se preparó y ajustó la plancha que actuaría como superficie superior de soporte, alineándola y soldándola a la estructura, seguida del taladrado de los agujeros para los pernos.
- f. **Fijación del motor:** finalmente, se montó el motor, asegurando los pernos a través de los agujeros previamente preparados para fijarlo firmemente a la estructura, garantizando así la alineación precisa y una distribución óptima de las cargas.

Figura 51. *Construcción del soporte de la máquina.*



Nota: Elaborado por los autores.

2. Fabricación y ensamblaje de caja de cuchillas.

En esta etapa de la construcción de la máquina trituradora de plásticos, se realizó la fabricación y el ensamblaje de la caja de cuchillas. Debido a la alta precisión técnica necesaria y al costo de los materiales, este componente fue fabricado por un especialista en maquinaria de corte y trituración. La decisión de externalizar su producción minimizó riesgos, evitando posibles daños en las piezas por errores de manufactura, lo que podría haber aumentado los costos y retrasado el proyecto. Al igual, se adjunta una imagen referente de las navajas en la figura 52.

Figura 52. *Imagen referente de las cuchillas.*



Nota: Elaborado por los autores.

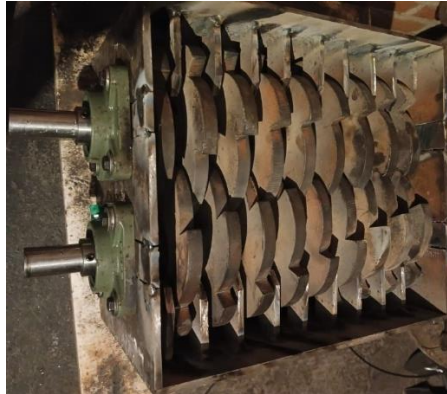
3. Ensamblaje de cuchillas.

Tras la entrega de la caja de cuchillas por parte del Sr. López encargado del ensamble de las navajas de la trituradora, se observó que el proceso de ensamble involucró una serie de pasos críticos mostrados a continuación, para asegurar la correcta integración de este componente en la estructura de la máquina. De la misma manera, se adjunta la figura 44 con un referente.

- a. **Medición y preparación:** las dimensiones exactas de la caja de cuchillas fueron verificadas para asegurar una correcta instalación en la mesa de la máquina. Este paso permitió garantizar la adecuada alineación de los ejes, tanto del sistema de transmisión como de la caja reductora.
- b. **Corte y preparación de la plancha de soporte:** con las medidas obtenidas, se procedió a cortar una plancha de acero de espesor adecuado, la cual actuaría como el soporte estructural para la caja de cuchillas. Esta plancha fue diseñada para ser empernada en sus bordes, proporcionando una sujeción firme.
- c. **Alineación de los ejes:** durante el proceso de ensamble, se dedicó especial atención a la alineación de los ejes de la caja de cuchillas y la caja reductora. La alineación precisa entre los ejes asegura que el sistema de transmisión opere sin problemas, evitando el desgaste prematuro de las piezas móviles y mejorando la eficiencia general del proceso de trituración.
- d. **Fijación final:** cuando la alineación de los componentes fue correcta, la caja de cuchillas se fijó firmemente a la mesa mediante pernos. Esta fijación proporciona estabilidad durante el funcionamiento, evitando movimientos

indeseados o vibraciones que pudieran comprometer el rendimiento de la máquina o la seguridad del operador.

Figura 53. *Imagen referente del ensamblaje.*



Nota: Elaborado por los autores.

4. Sistema de catalina y cadena.

Durante la construcción de la máquina trituradora de plásticos, se detectó que la velocidad de salida del eje, reducida a aproximadamente 7 rpm mediante la caja reductora con una relación de 240:1, no era suficiente para un desempeño óptimo de las cuchillas. Esta velocidad reducida impedía una trituración efectiva del material plástico, ya que no se alcanzaba la rapidez de corte necesaria. Para solucionar este problema, se decidió implementar un sistema de catalina y cadena que permitiría ajustar la velocidad de salida del eje. Este sistema mejoraría el rendimiento de la máquina de varias maneras:

- a. **Ajuste de velocidad:** la implementación de un sistema de catalina y cadena permite aumentar la velocidad de salida del eje, ajustándola a un rango adecuado para la trituración de botellas plásticas. El incremento en la velocidad es crucial para garantizar un corte continuo y eficaz del material.
- b. **Prevención de atascos:** a baja velocidad, el riesgo de atascos en la máquina era elevado, ya que las botellas plásticas no eran trituradas a una velocidad suficiente para evitar la acumulación de material. Con el nuevo sistema de catalina y cadena, se asegura un flujo constante de material, lo que minimiza la posibilidad de obstrucciones.
- c. **Mejora de la capacidad de producción:** al incrementar la velocidad de corte, se mejora la capacidad de procesamiento de la máquina, lo que permite triturar

un mayor volumen de botellas en menos tiempo, aumentando la eficiencia y productividad de la operación.

Siendo así, el proceso de instalación del sistema fue el siguiente:

1. **Selección de cadena:** se seleccionaron catalina y polea adecuadas para aumentar la velocidad de salida del motor y permitir un ajuste variable en la relación de transmisión. Esta variabilidad es importante para adaptar la velocidad de corte a las necesidades operativas.
2. **Alineación:** se instalaron en alineación precisa con el eje de la caja reductora y el motor, lo cual fue fundamental para garantizar que el sistema funcione sin fricciones o desgastes irregulares.
3. **Pruebas de funcionamiento:** una vez instalado el sistema, se realizaron pruebas para verificar que la velocidad alcanzada fuera la adecuada para la operación eficiente de la trituradora. Estas pruebas confirmaron que la velocidad de corte optimizada mejoraba significativamente el proceso de trituración.

Figura 54. Sistema de catalina y cadena.



Nota: Elaborado por los autores.

5. Recubrimiento de mesa.

Para mejorar tanto la funcionalidad como la estética de la máquina, se recubrió la mesa con planchas galvanizadas. Este recubrimiento ofrece protección adicional contra la corrosión y mejora la apariencia general del equipo.

1. **Material utilizado:** se seleccionaron planchas galvanizadas de 1/32" de espesor por su alta resistencia a la corrosión y durabilidad. Estas planchas

protegen la estructura subyacente, especialmente en entornos industriales expuestos a humedad o sustancias corrosivas.

2. **Medición y corte:** se tomaron medidas precisas para cubrir cinco caras de la estructura de la mesa, dejando una sexta cara descubierta para facilitar la extracción del material triturado y el acceso a la zona de recolección.
3. **Corte y acabado de las planchas:** las planchas se cortaron según las medidas y se pulieron para eliminar bordes afilados o irregulares, garantizando así la seguridad y mejorando el acabado estético del equipo.
4. **Fijación de las planchas:** las caras de la mesa fueron cubiertas con remaches para asegurar una sujeción estable y duradera, mientras que la cara descubierta se fijó con pernos pequeños, lo que permite su remoción para facilitar el mantenimiento o ajustes en la estructura interna de la máquina.

Este recubrimiento no solo proporciona protección y durabilidad, sino que también contribuye a una mejor presentación estética de la máquina, lo que refuerza su robustez y profesionalismo en diseño.

6. Acabados estéticos y preparación final.

Una vez completada la instalación de los componentes mecánicos y funcionales de la máquina, se realizaron los acabados estéticos y las últimas preparaciones antes de su puesta en marcha. Este proceso incluyó la aplicación de tratamientos protectores y capas de pintura que prolongan la vida útil del equipo y mejoran su apariencia.

1. **Tratamiento antioxidante:** se aplicó una capa de antioxidante en toda la superficie de la máquina para prevenir la corrosión, lo cual es crucial en entornos donde la humedad o agentes corrosivos podrían afectar las superficies metálicas.
2. **Aplicación de fosfatizante:** se aplicó una capa de fosfatizante sobre las superficies metálicas para mejorar la adherencia de la pintura. Este tratamiento también contribuye a la resistencia a la corrosión, fortaleciendo la durabilidad del acabado final.
3. **Pintura final:** se aplicaron varias capas de pintura, no solo para mejorar la estética de la máquina, sino también para proporcionar una protección adicional contra el desgaste y las condiciones ambientales adversas. Una vez

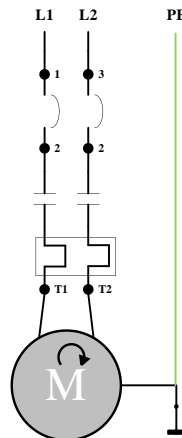
que todas las capas de pintura se secaron completamente, se procedió a reensamblar la máquina, dejándola lista para la instalación del sistema eléctrico.

7. Sistema eléctrico.

La última fase del proceso de construcción fue la instalación del sistema eléctrico, esencial para garantizar un control seguro y eficiente de la máquina.

1. **Botones de control:** en un sistema eléctrico, también conocidos como pulsadores o interruptores eléctricos, sirven para desviar o interrumpir el flujo de corriente eléctrica.
2. **Contactador y breaker:** es un dispositivo eléctrico que se usa para conectar y desconectar cargas eléctricas, ya sea en vacío o en carga. Mientras que el breaker de luz, también conocido como interruptor de circuito o disyunto, es un dispositivo que se usa para interrumpir la corriente eléctrica en caso de sobrecarga o cortocircuito.
3. **Direccionamiento del cableado:** la función principal de cableado es transportar emisiones desde un dispositivo emisor a otro receptor

Figura 55. Control eléctrico.



Nota: Elaborado por los autores.

9. Resultado final

Considerando el resultado final de la construcción de la máquina, se estima que no se obtendrán los mejores resultados en cuanto a la trituración, ya que se puede observar una separación considerable entre las cuchillas que no parece estar correctamente ajustada para triturar correctamente las botellas plásticas. Esta

separación inadecuada puede influir de manera directa en la capacidad de corte y generar un tamaño no esperado lo cual reduciría tanto la calidad como la eficiencia del proceso de trituración proyectado. Igualmente, se presenta la Figura 56 con una imagen de la máquina construida.

Figura 56. *Prototipo de máquina trituradora.*



Nota: Elaborado por los autores.

El resultado negativo podría estar presentando desventajas a corto o largo plazo, para ello se realizaron pruebas que perdieron identificar la viabilidad de la trituradora para la eliminación de residuos.

Figura 57. *Resultados de la trituración de botellas.*



Nota: Elaborado por los autores.

Como se puede observar en la figura 57, los resultados no son los esperados, por ende, la máquina debe de optimizarse posteriormente. Conjuntamente, se presenta un

manual de funcionamiento de la máquina trituradora planteado en el anexo G, este contiene información breve sobre las advertencias, uso, controles, etc.

10. Prueba de rendimiento.

Para exponer los resultados de las pruebas de rendimiento, podemos elaborar una descripción técnica de las cuatro pruebas con botellas plásticas y una prueba adicional con papel. La información recopilada puede estructurarse en una tabla para hacer más sencilla la visualización de los resultados y luego poder realizar un análisis fundamentado en los datos observados.

En cada prueba realizada se buscó evaluar la capacidad de la máquina para triturar distintos materiales, variando ligeramente el tiempo de operación y la cantidad de botellas plásticas. Adicionalmente, se realizó una prueba con papel para analizar el comportamiento con materiales diferentes. Los resultados se expresaron en términos de eficiencia de trituración, basándonos en el tamaño final de los fragmentos obtenidos y el porcentaje de material triturado adecuadamente. A continuación, se presenta la tabla 18 con los resultados:

Tabla 18. *Indicadores de rendimiento.*

PRUEBA	MATERIAL	CANTIDAD	TIEMPO (MIN)	RESULTADOS	EFICIENCIA (%)
Prueba 1	Botellas plásticas PET	6 botellas	1 min	Fragmentos de 5-7 cm, piezas sin triturar	35%
Prueba 2	Botellas plásticas PET	8 botellas	1,2 min	Fragmentos de 5-6 cm, piezas sin triturar	33%
Prueba 3	Botellas plásticas PET	5 botellas	0,8 min	Fragmentos de 4-7 cm, piezas sin triturar	38%
Prueba 4	Botellas plásticas PET	7 botellas	1 min	Fragmentos de 6-7 cm, piezas sin triturar	34%
Prueba 5	Papel	2 hojas	0,20 min	Cortes grandes, papel aplastado	20%

Nota: Elaborado por los autores.

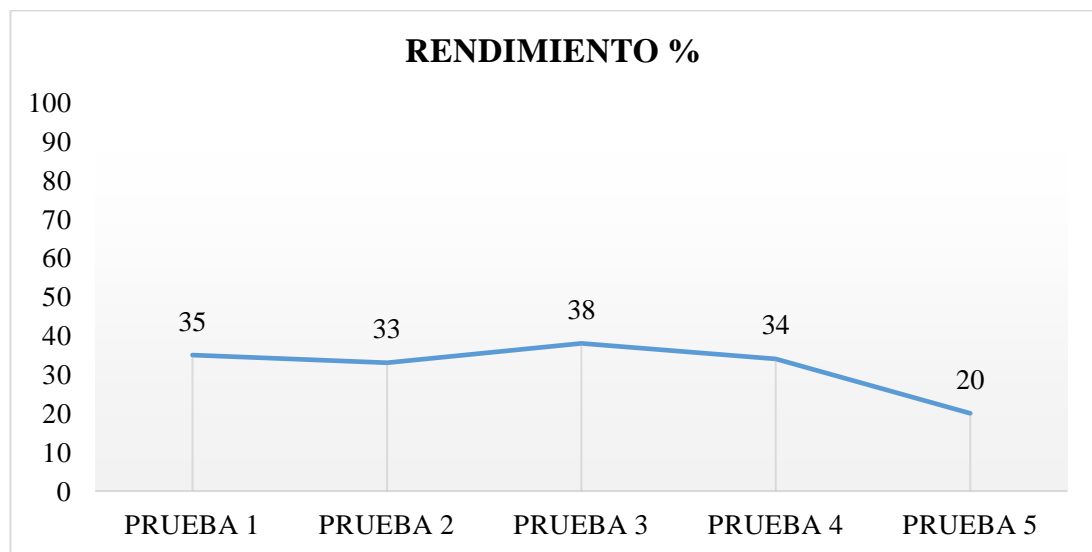
En base a los resultados de las pruebas de rendimiento, se observó que la eficiencia de trituración de la máquina es baja en todas las pruebas. Los cortes resultantes de las botellas plásticas fueron significativamente más grandes de lo esperado, con un tamaño promedio de 5-7 cm, y en varias ocasiones el material no se

trituraba, sino que se aplastaba entre las cuchillas debido a la separación insuficiente entre estas. La baja eficiencia puede estar relacionada con dos factores principales:

1. Separación entre cuchillas: la distancia entre las cuchillas permite que ciertos materiales se aplasten sin desintegrarse adecuadamente, lo cual disminuye la efectividad del corte.
2. Tamaño de corte y velocidad de trituración: la máquina parece no alcanzar la velocidad óptima de corte, afectando su capacidad para reducir los materiales a fragmentos más pequeños.

Dentro de la quinta prueba, al usar hojas de papel, el rendimiento fue aún menos eficiente, debido a que el papel apenas pudo ser cortado, debido a su maleabilidad, se deformó encontrando un lugar en los espacios existentes entre las cuchillas.

Figura 58. Resultados de rendimiento.



Nota: Elaborado por los autores.

La figura 58 ilustra que el rendimiento exhibido tiene una tendencia constante de baja eficiencia en las pruebas de botellas plásticas, manteniéndose al rededor del 35%. Por otro lado, el 20% de caída que se puede observar en la prueba de papel manifiesta que la máquina, en su actual configuración, no es adecuada para materiales de baja resistencia y densidad. En términos generales, el análisis indica que, será crucial realizar ajustes en el sistema de trituración y la velocidad de operación para aumentar la eficiencia y el rango de materiales que la maquina pueda triturar satisfactoriamente.

Capacidad de operación de la máquina.

Para evaluar la eficiencia de la máquina trituradora en condiciones de operación estándar y su rango de capacidad, se consideraron datos de rendimiento obtenidos en las pruebas iniciales, en las que se trituraron 6 botellas plásticas en 1 minuto. Este valor fue utilizado para estimar tanto la capacidad máxima como la mínima, considerando posibles variaciones en el rendimiento debido a interrupciones y condiciones subóptimas.

a. Capacidad estándar.

La capacidad estándar se entiende como el volumen de producción normal generado por el procesamiento de material prima en un periodo de tiempo determinado (Pozo-Rodríguez et al., 2020). En condiciones normales de operación, la máquina tiene la capacidad de triturar 6 botellas por minuto. Este valor se emplea como referencia para calcular la capacidad en periodos de tiempo más extensos, permitiendo hacer proyecciones sobre el desempeño de la máquina.

$$\text{Capacidad estandar} = 6 \text{ botellas/min}$$

b. Capacidad máxima.

La capacidad máxima es el valor que nos indica el potencial que puede alcanzar la máquina en ideales condiciones, es decir, sin interrupciones ni atascos, obteniendo el más alto posible volumen de producción (Pozo-Rodríguez et al., 2020). Tomando como guía el rendimiento estándar, podemos estimar que en 1 hora se proyecta una capacidad teórica de 360 botellas. Estas cifras suponen una operación constante y sin pausas, siendo útiles para poder observar el límite superior de eficiencia que la máquina podría alcanzar si no se presentan fallos ni tiempos de espera entre ciclos de trituración.

$$\text{Capacidad max} = \text{capacidad estandar} \cdot t$$

$$\text{Capacidad max} = 6 \frac{\text{botellas}}{\text{min}} * \frac{60\text{min}}{h}$$

$$\text{Capacidad max} = 360 \text{ botellas/h}$$

c. Capacidad mínima.

La capacidad mínima es calculada teniendo en cuenta posibles tiempos de inactividad debido a la necesidad de retirar el material triturado, resolver atascos, o

realizar ajustes operativos como lo indica (Pozo-Rodríguez et al., 2020). Para esta estimación, se consideró que la máquina podría estar funcionando a solo el 50% de su capacidad estándar. En este contexto se plantea que la capacidad mínima en 1 minuto es de aproximadamente 3 botellas, mientras que, en una hora de trabajo, la máquina podría procesar cerca de 180 botellas bajo estas condiciones subóptimas.

$$\text{Capacidad min} = \text{capacidad estandar} * 0,5$$

$$\text{Capacidad min} = 6 \text{ botellas/min} * 0,5$$

$$\text{Capacidad min} = 3 \text{ botellas/min}$$

Tabla 19. Capacidades de la máquina.

	1 min	1 h	4 h
Capacidad max.	6 botellas	360 botellas	1440 botellas
Capacidad min.	3 botellas	180 botellas	720 botellas

Nota: Elaborado por los autores.

d. Análisis de la capacidad operativa.

Este rango de capacidad nos indica cual va a ser el desempeño de la maquina en diferentes situaciones, tanto en las mejores como en otras no tan favorables, además nos ayuda a tener una idea realista delo que podemos esperar de ella. La capacidad máxima nos indica cuanto puede producir la maquina teóricamente en condiciones ideales, mientras que la capacidad mínima representa una proyección del rendimiento más bajo esperado en condiciones de trabajo con interrupciones o factores adversos (Pozo-Rodríguez et al., 2020). Estos cálculos son de gran relevancia para una evaluación integral del equipo y para identificar las posibles mejoras que puedan incrementar los valores de eficiencia y rendimiento general de la máquina trituradora.

3.1.8. Costo del proyecto

En primera instancia, se presenta un desglose detallado de los costos relacionados con la adquisición de equipo auxiliar y otros materiales necesarios para la máquina trituradora en la tabla 11. Esta incluye una lista de materiales como planchas galvanizadas, ángulos de acero, tubos cuadrados, discos de corte, soldaduras, luces electrónicas, pulsadores y pernos de acero, entre otros. Cada material está acompañado de su costo unitario, la cantidad requerida y el costo total asociado.

Tabla 20. Cálculo del costo de inversión.

DENOMINACION	COSTO UNITARIO	CANT IDAD	COSTO TOTAL (\$)
EQUIPO AUXILIAR /OTROS			
ANGULO 40 X 4 (1 1/2 X 3/16).	\$16,12	1	\$16,12
ANGULO 4MM.	\$11,90	2	\$11,90
ANILLO DE PRESION ACERO 5/8".	\$0,09	4	\$0,35
ANILLO PLANO GALVANIZADO.	\$0,09	4	\$0,35
BANDA PARA POLEA.	\$8,50	1	\$8,50
BOTONERA (JESUS).	\$10,00	1	\$10,00
CAJA PLASTICA, CONEXIONES.	\$3,50	-	\$3,50
CAJON, CUCHILLAS EN DF2.	\$30,59	17	\$520,00
COECHIS CONTACTOR Y BREAKER.	\$82,45	-	\$82,45
COMPONENTES ELECTRONICOS Y PERNOS PARA MOTOR.	\$25,20	-	\$25,20
DISCO DE CORTE.	\$2,60	2	\$2,60
DISCO DE CORTE NORTON 4,5".	\$1,21	2	\$2,42
DISCOS DE CORTE Y FLAP.	\$2,60	1	\$2,60
DISCOS DE CORTE, DISCOS FLAP, BROCA PEQ. MED. GRAND.	\$15,25	-	\$15,25
DISCOS DE CORTE, DISCOS FLAP, CABLE FISICO #10.	\$6,30	-	\$6,30
DISCOS DE CORTE, LIBRA DE ELECTRODOS.	\$7,25	-	\$7,25
ELECTRODOS.	\$2,00	-	\$2,00
GPT FLEXIBLE 10 AWG.	\$0,88	\$3,52	\$3,52
GPT FLEXIBLE 18 AWG.	\$0,22	\$0,44	\$0,44
LUZ 22MM ELECTRONICA ROJA 220V.	\$2,05	1	\$2,05
LUZ 22MM ELECTRONICA VERDE 220V.	\$2,05	1	\$2,05
MATRIMONIO MOTOR/REDUCTOR.	\$85,00	1	\$85,00
MEDIA PLANCHA GALV 0,70 - 1/32.	\$8,70	1	\$8,70
PERNO ACERO NEGRO 5/8" X 3".	\$1,44	4	\$5,74
PERNOS, TUERCA, ANILLOS.	\$4,65	-	\$4,65
PERNOS, TUERCA, ANILLOS (TUERCAS DE SEGURIDAD, DOBLE ANILLO).	\$3,60	-	\$3,60
PINTURA ANTICORROSIVA, DESOXIDANTE, DILUYENTE, REMACHES.	\$24,75	-	\$24,75
PIÑONES.	\$100,00	-	\$100,00
PIÑONES, CADENA DE MOTOCICLETA.	\$10,00	-	\$10,00
PLANCHA ACERO NEGRO 3 - 1/8.	\$32,28	1	\$32,28
PLANCHA GALV 0,70 - 1/32.	\$17,07	1	\$17,07
PLANCHA GALVANIZADA, REMACHES.	\$11,45	-	\$11,45

POLEA DE ALUMINIO, PERNOS PARA CAJA DE CUCHILLAS.	\$23,90	-	\$23,90
PULSADOR 22MM ROJO (PARO).	\$2,05	1	\$2,05
PULSADOR 22MM VERDE (MARCHA).	\$2,03	1	\$2,03
PULSADOR 40MM HONGO GIRO.	\$3,17	1	\$3,17
REMACHE 3/16 X 1/2.	\$0,03	36	\$1,25
REMOVEDOR DE PINTURA, CEPILLO TRENZADO, PINTURA BLANCA Y AZUL, DISCO FLAP.	\$12,25	1	\$12,25
SIEMENS BREAKER 2X 40AMP.	\$20,54	1	\$20,54
SIEMENS CONTACTOR 16A 220V.	\$59,11	1	\$59,11
SOLD ESAB 6011 1/8.	\$1,57	1	\$1,57
SOLD ESAB 6011 1/8.	\$1,57	1	\$1,57
TUBO 50MM, DISCO DE CORTE.	\$18,75	1	\$18,75
TUBO CUADRADO NEGRO 1 1/2 X 1,5.	\$12,96	2	\$25,91
TUBO CUADRADO NEGRO 2 X 3.	\$31,03	1	\$31,03
TUBO CUADRADO NEGRO 2 X 3 (METRO).	\$5,58	3	\$16,75
TUBO CUADRADO NEGRO 2X3MM (50MMX3MM).	\$4,74	3	\$14,22
TUERCA ACERO NEGRO 5/8".	\$0,30	4	\$1,22
TOTAL			\$1.263,41
GASTO DE INSTALACIÓN Y MONTAJE (10%)			\$126,341
COSTO DE INVERSIÓN FIJA			\$1.389,75
COSTO DEL ESTUDIO (10%)			\$138,98
COSTO TOTAL DE INVERSIÓN			\$1.528,73

Nota: Elaborado por los autores.

Según los datos que se pueden apreciar en la tabla 20, se destaca un análisis minucioso en la obtención de los materiales fundamentales para la ejecución del proyecto, con un valor total que asciende hasta los \$1.528,73 esto sin considerar la inclusión de cualquier gasto extra. El alto costo de algunos componentes de la máquina, como el matrimonio motor/reductor y los contactores siemens, refleja la inversión necesaria en componentes especializados y de larga durabilidad. Se observó un equilibrio entre materiales de menor costo, como los discos de corte y los remaches, y otros más costosos, lo que permite gestionar el presupuesto total del proyecto. Además, en la tabla 21 se incluyen los gastos realizados durante el proceso de construcción de la máquina.

Tabla 21. Gastos totales del proyecto.

DENOMINACION	GASTO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL (\$)
GASTOS ADMINISTRATIVOS			
MOVILIZACIÓN DE MATERIALES.	\$26,00	1	\$26,00
MOVILIZACIÓN DE MOTOR.	\$8,00	1	\$8,00
ENVIO DE CUCHILLAS RIOBAMBA/SANTA ELENA. COP BAÑOS.	\$38,00	1	\$38,00
MOVILIZACION CUCHILLAS, MESA DE TRABAJO, MOTOR (TERMINAL DE SANTA ELENA, LIBERTAD).	\$24,00	2	\$24,00
SERVICIO DE MANO DE OBRA, TALLER LAINEZ, AJUSTE DE IMPERFECCIONES, SOLUCION DE PIÑONES.	\$200,00	-	\$200,00
REVISION ELECTRICA DE MOTOR, CAPACITOR.	\$25,00	1	\$25,00
GASTOS ADMINISTRATIVOS TOTAL			\$321,00

Nota: Elaborado por los autores.

Dentro de la tabla 21 se pueden observar todos los gastos administrativos para la ejecución del proyecto. Sin embargo, aunque los montos son relativamente pequeños, el sumatorio total es considerable de \$321.00, lo que resalta la necesidad de contar con una logística adecuada para el transporte y revisión de materiales y equipos. Estos costos, aunque menores en comparación con los gastos de adquisición de materiales. Teniendo como resultado final, un total de \$1.849,73.

Con el análisis de costos anteriormente realizado, se logró determinar el costo total de producción de \$1.849,73, junto a un precio de venta de la máquina de \$4000. Estos valores permitirán calcular indicadores financieros clave (VAN, TIR y PRI) que evaluarán la viabilidad del proyecto, para el cual se presenta la siguiente tabla 12 con los resultados obtenidos a una tasa del 15%.

Tabla 22. Resultados financieros.

2024	\$-1.849,73
2025	\$4.000,000
VAN	\$1.628,53
TIR	116%

Nota: Elaborado por los autores.

En la tabla 22 de los resultados financieros se puede observar que el proyecto es altamente rentable. Teniendo un VAN de \$1,628.53 y una TIR del 116%, el retorno de la inversión supera ampliamente los costos iniciales de \$1,849.73, lo que asegura que el proyecto no solo puede recuperar la inversión inicial, sino que además genera un excedente significativo. Adjunto a esto, se aplica la siguiente fórmula para el PRI.

$$PRI = \text{año anterior de recuperación} + \frac{\text{inversión inicial} - \text{ingreso acum. año anterior}}{\text{ingreso año de recuperación}}$$

$$PRI = 0 + \frac{\$1849,73 - 0}{\$4000}$$

$$PRI = 0,4624 \text{ años} = 0,4623 * 12 = 5.5492 \text{ meses} = 0,5492 * 30 = 16.47 \text{ días}$$

Según lo planteado, se puede decir que el análisis del PRI muestra que el periodo de recuperación de la inversión inicial de \$1,849.73 es extremadamente corto, alcanzando aproximadamente 0.46 años, lo cual equivale a 5 meses y 16 días.

3.2. Marco de discusión.

Dentro del marco teórico, se ha realizado una revisión de la literatura con métodos mixtos, direccionada por los estudios de Cubelo et al. (2024). Este proceso se divide en cinco pasos, tales como: el método de búsqueda, criterios de inclusión y exclusión, resultado de la búsqueda, evaluación de calidad y por último la abstracción y síntesis de datos, lo que proporciona una base sólida para comprender los métodos avanzados en la construcción de máquinas trituradoras, en donde se destacaron los trabajos de Awe et al. (2024), Vijayarajan et al. (2024), K et al. (2024), y Naveen et al. (2023), quienes utilizaron un enfoque similar que incluía la selección de materiales, modelado digital, construcción física y pruebas piloto. Estos procesos fueron esenciales para orientar la planificación de la construcción del prototipo en este proyecto.

Posteriormente, se adoptó un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental y un método deductivo, apoyado en métodos de observación y haciendo uso de una matriz de registro como herramienta principal. Este enfoque se alinea con el marco metodológico identificado en la literatura. Haciendo seguimiento a Pérez et al. (2023) como referencia principal, se desglosaron seis fases significativamente

importantes, que incluyen: selección de materiales, diseño del sistema de trituración, diseño del sistema de protección, selección y cálculo del motor, evaluación de resultados y construcción física final, proporcionando información detallada para la implementación del proyecto, con una estructura precisa para garantizar una alineación metódica con prácticas validadas.

En la ejecución de las fases propuestas por Pérez et al. (2023), se seleccionaron cuidadosamente los materiales y se diseñaron tanto el sistema de trituración como los mecanismos de protección. Luego, se realizó el modelado digital del prototipo, seguido de su construcción física. Esta fase de construcción comenzó con el soporte, continuando con la caja de cuchillas, el ensamblaje de las navajas, el sistema de catalina y cadena, el recubrimiento, los acabados estéticos y la instalación del sistema eléctrico. A pesar del rigor metodológico y los avances logrados, el resultado final no cumplió con las expectativas de rendimiento óptimo porque se presentaron inconvenientes al inicio con el sistema de poleas por lo que se tuvo que hacer modificaciones y adaptarlos al sistema de catalina y cadena que permitió mejorar el rendimiento de la trituradora, en contraste con los resultados positivos documentados por Adjie-Suwignyo et al. (2022), Setyaningsih et al. (2022), y Taco et al. (2021), los cuales tienen una capacidad de trituración de 196 kg/h , 50 kg/h y 246 botellas/h , siendo valores superiores al que se obtuvo en el estudio. Esta discrepancia sugiere la necesidad de ajustar ciertas especificaciones técnicas en futuras versiones del prototipo como lo mencionado anteriormente para ahorrar tiempo y costos en la implementación de los sistemas de trituración y funcionamiento, especialmente en el sistema de cuchillas y el espacio entre ellas, para optimizar el proceso de trituración.

3.3. Limitaciones del estudio.

Las limitaciones del proyecto fueron principalmente en restricciones de tiempo, como el funcionamiento correcto de las cuchillas y sus respectivas distancias para el cumplimiento adecuado, lo que generó dificultades relevantes como el retraso de las pruebas y conocer el rendimiento de la trituradora para cumplir con los cronogramas establecidos. Incluso después de haberse realizado una organización en cuanto al tiempo, se presentaron atrasos en la adquisición del sistema de trituración, siendo este el componente principal para el funcionamiento de la máquina.

CONCLUSIONES

La revisión de métodos mixtos en el estado del arte fue fundamental para orientar el desarrollo del prototipo de la máquina trituradora, este proceso permitió identificar los pasos clave del diseño y construcción, los cuales abarcaron desde la selección y evaluación de materiales, hasta el modelado digital y la construcción física. A través del análisis de 30 artículos de investigación, se obtuvo un esquema estructurado y secuencial que sentó las bases teóricas necesarias para cada fase del proyecto.

El marco metodológico se fundamentó en un enfoque cuantitativo, combinado con el método deductivo, estructurado en seis fases: selección de materiales, diseño del sistema de trituración, diseño del sistema de protección, selección y cálculo del motor, evaluación de resultados y construcción física final. La técnica de recolección de datos se basó en la observación, utilizando una matriz de registro que facilitó una evaluación rigurosa en cada fase. Este enfoque fue esencial para obtener datos precisos y relevantes, asegurando un procedimiento metodológico sólido para la construcción del prototipo.

El modelado y la construcción física del prototipo arrojaron resultados significativos en términos de desempeño. Se determinó que la máquina tiene una capacidad estándar de 6 botellas/min, con una eficiencia del 33% al 38% en un tiempo máximo de 1.2 minutos. El tamaño del particulado obtenido varió entre 4 y 7 mm, aunque se observaron fragmentos no triturados, lo que limitó la eficiencia óptima esperada debido a problemas técnicos, como la distancia entre cuchillas. En términos financieros, se estimó un costo total de inversión de \$1,849.73, un precio de venta de \$4,000, un VAN de \$1,628.53, una TIR del 116% y un PRI de 0.46 años (5 meses y 16 días). A pesar de las limitaciones técnicas, los indicadores financieros sugieren la viabilidad del proyecto con ajustes en el diseño para mejorar su desempeño.

RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener el enfoque técnico al aplicar métodos mixtos en la revisión de literatura, lo que garantiza una base sólida para proyectos futuros, además, incorporar fuentes que aborden el impacto social y ambiental del diseño de máquinas trituradoras puede maximizar los beneficios del proyecto. Por ejemplo, identificar prácticas sostenibles y tecnologías emergentes permitiría desarrollar soluciones más eficientes y amigables con el medio ambiente, promoviendo el reciclaje y la reducción de residuos plásticos en la comunidad.

El procedimiento metodológico debe incorporar un enfoque técnico que priorice la precisión y la eficiencia, garantizando que los datos recolectados sean relevantes y útiles para la implementación del prototipo. Asimismo, se recomienda considerar el impacto social del proyecto al integrar parámetros que permitan evaluar cómo los resultados podrían beneficiar a comunidades locales, como la generación de empleo o la educación sobre el reciclaje. Desde una perspectiva ambiental, incluir métricas que evalúen la reducción del impacto ecológico durante el desarrollo del prototipo también es crucial para maximizar su relevancia.

La reformulación del diseño del prototipo debe enfocarse en resolver los aspectos técnicos identificados, como la precisión en la distancia entre cuchillas, para mejorar la eficiencia de trituración y obtener partículas uniformes de 4 mm. Desde el enfoque social, se recomienda diseñar la máquina considerando su adaptabilidad y facilidad de uso para comunidades con recursos limitados, promoviendo su adopción. Por último, incorporar materiales reciclables o procesos de fabricación sostenibles contribuirá a minimizar el impacto ambiental, reforzando el compromiso del proyecto con la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

REFERENCIAS

- Abdullah, Md., & Abedin, M. Z. (2024). Assessment of plastic waste management in Bangladesh: A comprehensive perspective on sorting, production, separation, and recycling. *Results in Surfaces and Interfaces*, 15, 100221. <https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2024.100221>
- Adjie-Suwignyo, P., Kusumastuti, R., Amir, Mulyadi, D., & Khoirudin. (2022). The Design of a Plastic Shredder Machine with The Crusher Cutting Knife Model for Environmentally Sustainable. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 3(2), 58–66. <https://doi.org/10.36805/jtmmx.v3i2.2821>
- Alvarado-Orbe, J., Quesada-Molina, J. F., & Espinosa-Iñiguez, E. A. (2022). Indicadores de Sostenibilidad de vivienda asequible para la ciudad de Cuenca-Ecuador. *ConcienciaDigital*, 5(1.2), 66–85. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.2.2086>
- Anticona-Valderrama, D. M., Garcia-Alvarez, M. Y., Mendoza-Damas, M., Risco-Sernaque, M. V., Rivas-Moreano, A. B., Serna-Landivar, J. L., & Sotteccani-Auccahuaque, K. (2023, December 4). Innovative design of a plastic shredder for sustainable cities. *Proceedings of the 3rd LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development (LEIRD 2023): “Igniting the Spark of Innovation: Emerging Trends, Disruptive Technologies, and Innovative Models for Business Success.”* <https://doi.org/10.18687/LEIRD2023.1.1.251>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Awe, D. V., Asafa, T. B., Adeniran, T. A., Ohenhen, P. E., Victoria Adebisi Alao, & Olusegun Abiodun Balogun. (2024). Development and performance evaluation of a mini plastic crushing machine. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 22(1), 591–602. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.1.1126>
- Chaari, M. Z., Abdelfatah, M., Al-Sulaiti, S., Daroge, F., Al-Rahimi, R., & Pereira, G. (2023). Building a community-scale plastic recycling station to make flower pots from bottle caps. *SN Applied Sciences*, 5(5), 128. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05344-5>
- Cruz-Sanchez, F. A., Boudaoud, H., Camargo, M., & Pearce, J. M. (2020). Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the

- circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121602>
- Cubelo, F., Al Jabri, F., Jokiniemi, K., & Turunen, H. (2024). Factors influencing job satisfaction and professional competencies in clinical practice among internationally educated nurses during the migration journey: A mixed-methods systematic review. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*. <https://doi.org/10.1111/scs.13280>
- DASWELL. (2022). *Trituradora de Mandíbula*. DASWELL MAQUINARIA CO, LTD. <https://daswell.com/es/crusher-machine/jaw-crusher/>
- De Miguel, C., Martínez, K., Pereira, M., & Kohout, M. (2021). “Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora (Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/120))”.
- Domínguez-Gurría, M. A., Jaen-Rendón, U. A., Garibaldi-Rodríguez, A., & Zagoya-Juárez, V. (2021). Análisis numérico del mecanismo de una trituradora de PET mediante el método de elementos finitos. *Revista Ingeniantes*, 1(1), 1–8. <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes8no1vol1/7%20Trituradora%20de%20PET.pdf>
- Du, J., Su, H., Qian, S., & De, X. (2024). Design optimization and performance evaluation of corn straw crushing and rubbing filament machine. *BioResources*, 19(2), 2286–2298. <https://doi.org/10.15376/biores.19.2.2286-2298>
- El-Ghobashy, H., Shaban, Y., Okasha, M., El-Reheem, S. A., Abdelgawad, M., Ibrahim, R., Ibrahim, H., Abdelmohsen, K., Awad, M., Cottb, M., Elmeadawy, M., Fathy, W., & Khater, E.-S. (2023). Development and evaluation of a dual-purpose machine for chopping and crushing forage crops. *Heliyon*, 9(4), e15460. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15460>
- Espino-Penilla, M., & Koot, Y. (2020). Nuestro mundo cubierto de plástico: de la movilidad global del plástico a las consecuencias y respuestas locales. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 12(4), 146–160. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n4.759>
- Flizikowski, J., Kruszelnicka, W., & Macko, M. (2021). The Development of Efficient Contaminated Polymer Materials Shredding in Recycling Processes. *Polymers*, 13(5), 713. <https://doi.org/10.3390/polym13050713>
- Gonzalez-Gonzalez, A. I., Brünn, R., Nothacker, J., Dinh, T. S., Brueckle, M.-S., Dieckelmann, M., Müller, B. S., & van den Akker, M. (2021). Everyday lives of middle-aged persons living with multimorbidity: protocol of a mixed-methods

- systematic review. *BMJ Open*, 11(12), e050990. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-050990>
- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018a). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 179–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>
- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018b). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 179–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>
- Henriksen, M. L., Karlsen, C. B., Klarskov, P., & Hinge, M. (2022). Plastic classification via in-line hyperspectral camera analysis and unsupervised machine learning. *Vibrational Spectroscopy*, 118, 103329. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2021.103329>
- Hernández-Mendoza, S., & Duana-Ávila, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*, 9(17), 51–53. <https://doi.org/10.29057/icea.v9i17.6019>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza-Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta* (1st ed.). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1292>
- Herrero-Diez, M. T., & Catalá-López, F. (2023). Cobertura vacunal, creencias y actitudes en niños y adolescentes trasplantados: una revisión sistemática de métodos mixtos. *Revista Española de Salud Pública*, 97, 1–26. <https://ojs.sanidad.gob.es/index.php/resp/article/view/104>
- Hoffmann, J., & Glückler, J. (2024). Technology evolution in heterogeneous technological fields: A main path analysis of plastic recycling. *Journal of Cleaner Production*, 468, 143083. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143083>
- Hong, Q. N., Pluye, P., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M. P., Griffiths, F., Nicolau, B., O'cathain, A., Rousseau, M. C., & Vedel, I. (2018, August 1). *Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT), version 2018*. Canadian Intellectual Property Office, Industry Canada. <http://mixedmethodsappraisaltoolpublic.pbworks.com/>

- Julian-Daga, R. F., Vilchez-Becerra, K. R., Figueroa-Bados, J. S., Perez-Cardenas, E. J., & Hurtado-Rengifo, P. J. (2022). Design of A Processing Machine for Hybrid Composites Based on Coconut and Maguey Fibers for the Production of Chipboard in the Junin-Peru Region. *2022 5th International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering (RCAE)*, 112–116. <https://doi.org/10.1109/RCAE56054.2022.9995743>
- K, R., L, S., S, N., & K, S. (2024). Plastic Crushing Machine. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(6), 18–24. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.62484>
- Kehinde, O., Ramonu, O. J., Babaremu, K. O., & Justin, L. D. (2020). Plastic wastes: environmental hazard and instrument for wealth creation in Nigeria. *Heliyon*, 6(10), e05131. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05131>
- Kholil, A., Budiaman, Mirtawati, & Amaningsih Jumhur, A. (2019). Implementation Plastic Crushing Machine To Increase Profit In Mutiara Waste Banks. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(11), 622–625. https://repository.uia.ac.id/wp-content/uploads/2023/04/Implementation-Plastic-Crushing-Machine-To-Increase-Profit-In-Mutiara-Waste-Banks-_2.pdf
- Kumar, R., Verma, A., Shome, A., Sinha, R., Sinha, S., Jha, P. K., Kumar, R., Kumar, P., Shubham, Das, S., Sharma, P., & Vara Prasad, P. V. (2021). Impacts of Plastic Pollution on Ecosystem Services, Sustainable Development Goals, and Need to Focus on Circular Economy and Policy Interventions. *Sustainability*, 13(17), 9963. <https://doi.org/10.3390/su13179963>
- Kumaran, P., Lakshminarayanan, N., Martin, A. V, George, R., & JoJo, J. (2020). Design and analysis of shredder machine for e - waste recycling using CATIA. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 993(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/993/1/012013>
- Kunlere, I. O., & Shah, K. U. (2023). A recycling technology selection framework for evaluating the effectiveness of plastic recycling technologies for circular economy advancement. *Circular Economy*, 2(4), 100066. <https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100066>
- Lamba, P., Kaur, D. P., Raj, S., & Sorout, J. (2022). Recycling/reuse of plastic waste as construction material for sustainable development: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(57), 86156–86179. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16980-y>

- López-Aguirre, J. F., Pomaquero-Yuquilema, J. C., & López-Salazar, J. L. (2020). Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba. *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*, 5(12).
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2139>
- MAATE. (2022). *Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS)*.
<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/1.pdf>
- MacLeod, M., Arp, H. P. H., Tekman, M. B., & Jahnke, A. (2021). The global threat from plastic pollution. *Science*, 373(6550), 61–65. <https://doi.org/10.1126/science.abg5433>
- Manuwa, S. I., Sedara, A. M., & Tola, F. A. (2020). Design, fabrication and performance evaluation of moringa (oleifera) dried leaves pulverizer. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100034>
- Margallo, M., Ziegler-Rodriguez, K., Vázquez-Rowe, I., Aldaco, R., Irabien, Á., & Kahhat, R. (2019). Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *Science of The Total Environment*, 689, 1255–1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>
- Mataram, N., Pranoto, S. H., Yaqin, R. I., Nurrohkayati, A. S., Bahry, N. A., Saputro, N. W. E., & Syach, S. (2021). Stress Distribution Analysis of the Rectangular and Star-Blade for Plastic Crusher Machine Using Finite Element Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 2111(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2111/1/012015>
- Merlin, I., & Balasubramanian, K. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19544–19562. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13184-2>
- Naderi-Kalali, E., Lotfian, S., Entezar-Shabestari, M., Khayatzadeh, S., Zhao, C., & Yazdani-Nezhad, H. (2023). A critical review of the current progress of plastic waste recycling technology in structural materials. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 40, 100763. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100763>
- Naveen, S., Madan, K. N., Manjunath, B., Shashank, K. R., & Sudeep, D. C. (2023). Plastic waste bottle accumulation and management for eco-friendly environment. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. <https://doi.org/10.56726/IRJMETS41736>
- Okusanya, M. A., Ogunlade, C. B., & Oluwagbayide, S. D. (2023). Development and Performance Evaluation of Double Shaft Plastic Bottle Crusher for Small Scale

- Industrial Application. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 4(2), 151–177. <https://doi.org/10.46592/turkager.1260521>
- Paasovaara, N., Hartikainen, S., Peräniemi, S., Kuopanportti, H., & Yang, S. (2024). Continuously compressing crushing towards a dry processing method, a testing for graphite ore. *Minerals Engineering*, 212, 108713. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.108713>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Patil, S. M., Patil, V. M., Tare, A. L., & Vaity, A. P. (2023). Design and Fabrication of Plastic Shredding Machine. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(4), 1070–1077. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.50286>
- Pérez, M., Álvarez-Peinado, A. F., Ramírez-Rodríguez, B. J., Pallares-Escorcía, S., & Acevedo, J. (2023). Diseño electromecánico de una máquina trituradora de tapas plásticas para la fabricación de albergues animales. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 4(1). <https://doi.org/10.17981/cesta.04.01.2023.03>
- Prieto-Castellanos, B. J. (2018). El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. *Cuadernos de Contabilidad*, 18(46). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc18-46.umdi>
- Rahardjo, C., Tanoto, Y. Y., & Jonoadji, N. (2020). Crusher Design for Plastic Waste in 3D Printing. *International Journal of Industrial Research and Applied Engineering*, 5(2). <https://doi.org/10.9744/jirae.5.2.49-52>
- Salazar, J. A., González, R., Navarrete, A. L., Calle, P., Alava, J. J., & Domínguez, G. A. (2022). A temporal assessment of anthropogenic marine debris on sandy beaches from Ecuador's southern coast. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.977650>
- SAVONA. (2024). *Trituradora de Doble Rodillo Helmick de 32in ID: 1370357*. SAVONA EQUIPMENT LTD. <https://www.savonaequipment.com/es/>
- Setyaningsih, E., Hariyanto, S. D., Wahyuningtyas, D., & Kristiana, S. (2022). Performance improvement of the shredder machines using IoT-based overheating controller feature. *JURNAL INFOTEL*, 14(4), 329–337. <https://doi.org/10.20895/infotel.v14i4.812>

- Shen, M., Huang, W., Chen, M., Song, B., Zeng, G., & Zhang, Y. (2020). (Micro)plastic crisis: Un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120138>
- Taco, V., Gonzales, O., & Bonifaz, P. (2021). Diseño y construcción de una máquina trituradora y granuladora de plástico de baja densidad como una herramienta de reciclaje. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3), 41–58. <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.143>
- Terleevea, A. (2021). Circulation of Organic Municipal Solid Waste in Latin American Countries: The Current State and Problems of Industry Development. *Regionalistica*, 8(6), 116–131. <https://doi.org/10.14530/reg.2021.6.116>
- Thushari, G. G. N., & Senevirathna, J. D. M. (2020). Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*, 6(8), e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>
- Urbina, A., & Morel, M. (2018). El estado del arte / estado de la técnica y la Investigación Científica y Tecnológica. *Portal de La Ciencia*, 3–7. <https://doi.org/10.5377/pc.v13i0.5916>
- Vijayarajan, Mr. K., Abinash G, Naveenkumar S, Pugazhendhi P, & Viswanathan C. (2024). Design and Fabrication of Recycling Non Biodegradable Materials Into Products. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 566–570. <https://doi.org/10.48175/IJARST-18091>
- Vizcaíno-Zúñiga, P. I., Cedeño-Cedeño, R. J., & Maldonado-Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658
- Wagh, A., Bhavsar, F., & Shinde, R. (2022a). Plastic Pollution. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(3), 1564–1568. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40921>
- Wagh, A., Bhavsar, F., & Shinde, R. (2022b). Plastic Pollution. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(3), 1564–1568. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40921>
- Wang, S., Huang, W., Ge, C., Zheng, Z., Wei, L., Li, M., Niu, Z., Du, D., & Sun, C. (2023). Design and Test Analysis of 1GYF-240 Sugarcane Straw Crushing and Returning Machine. *E3S Web of Conferences*, 441, 02018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344102018>

ANEXOS

Anexo A. Cuestionario de la herramienta MMAT.

SCREENING QUESTIONS					Yes	No	Can not tell
S1. Are there clear research questions?		S2. Do the collected data allow to address the research questions?					
1. QUALITATIVE STUDIES							
1.1. Is the qualitative approach appropriate to answer the research question?	1.2. Are the qualitative data collection methods adequate to address the research question?	1.3. Are the findings adequately derived from the data?	1.4. Is the interpretation of results sufficiently substantiated by data?	1.5. Is there coherence between qualitative data sources, collection, analysis and interpretation?			
2. RANDOMIZED CONTROLLED TRIALS							
2.1. Is randomization appropriately performed?	2.2. Are the groups comparable at baseline?	2.3. Are there complete outcome data?	2.4. Are outcome assessors blinded to the intervention provided?	2.5. Did the participants adhere to the assigned intervention?			
3. NON-RANDOMIZED STUDIES							
3.1. Are the participants representative of the target population?	3.2. Are measurements appropriate regarding both the outcome and intervention (or exposure)?	3.3. Are there complete outcome data?	3.4. Are the confounders accounted for in the design and analysis?	3.5. During the study period, is the intervention administered (or exposure occurred) as intended?			
4. QUANTITATIVE DESCRIPTIVE STUDIES							
4.1. Is the sampling strategy relevant to address the research question?	4.2. Is the sample representative of the target population?	4.3. Are the measurements appropriate?	4.4. Is the risk of nonresponse bias low?	4.5. Is the statistical analysis appropriate to answer the research question?			
5. MIXED METHODS STUDIES							
5.1. Is there an adequate rationale for using a mixed methods design to address the research question?	5.2. Are the different components of the study effectively integrated to answer the research question?	5.3. Are the outputs of the integration of qualitative and quantitative components adequately interpreted?	5.4. Are divergences and inconsistencies between quantitative and qualitative results adequately addressed?	5.5. Do the different components of the study adhere to the quality criteria of each tradition of the methods involved?			

Anexo B. Extracción de datos de artículos.

N°	Enfoque	Método	Técnica			Instrumento		
1	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
2	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
3	Cualitativo	Inductivo			Análisis documental			Ficha de registro
4	Cualitativo	Inductivo			Análisis documental			Ficha de registro
5	Mixto	Deductivo		Observación	Análisis documental		Matríz de registro	Ficha de registro
6	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
7	Cuantitativo	Deductivo		Observación	Análisis documental		Matríz de registro	Ficha de registro
8	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
9	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
10	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
11	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
12	Cualitativo	Inductivo			Análisis documental			Ficha de registro
13	Mixto	Deductivo		Observación	Análisis documental		Matríz de registro	Ficha de registro
14	Mixto	Deductivo			Análisis documental			Ficha de registro
15	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
16	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
17	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
18	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
19	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
20	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
21	Mixto	Deductivo		Observación	Análisis documental		Matríz de registro	Ficha de registro
22	Cualitativo	Inductivo			Análisis documental			Ficha de registro
23	Mixto	Deductivo	Entrevista	Observación		Guía de entrevista	Matríz de registro	

24	Mixto	Deductivo		Observación	Análisis documental		Matríz de registro	Ficha de registro
25	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
26	Cualitativo	Inductivo			Análisis documental			Ficha de registro
27	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	
28	Mixto	Deductivo			Análisis documental			Ficha de registro
29	Cualitativo	Inductivo			Análisis documental			Ficha de registro
30	Cuantitativo	Deductivo		Observación			Matríz de registro	

Anexo C. Formato de validación por expertos.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



Asunto: Validación de entrevista por expertos.

Opinión: Yo, _____, con C.I. _____; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Oyarvide Soriano Andrea Nicole, con C.I. 2400447112 y Soria Reyes Joshua André con C.I. 2450030156, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista para determinar los requerimientos del cliente, dirigido a la Ing. Griselda Herrera, docente de la carrera de ingeniería civil como promotora del proyecto de fabricación de una máquina trituradora de plásticos.

Firma:

TEMA: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.

Nº	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	¿Qué le motiva a desarrollar el proyecto de diseño de una máquina trituradora para la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?	
2	¿Qué materiales se consideran fundamentales dentro de las prácticas de construcción sostenible en la región y qué porcentaje estima que podrían ser cubiertos por materiales reciclados como productos ecológicos?	
3	¿Qué parámetros del producto triturado consideran importantes en términos de tamaño de las partículas, uniformidad, textura y resistencia del material procesado?	
4	¿Cuál es el objetivo que espera lograr con la implementación de esta máquina trituradora en la provincia de Santa Elena y	

en qué plazo de tiempo espera satisfacer la demanda o necesidad identificada?

- 5 ¿Considera esencial implementar un sistema de producción “cero residuos” en el diseño de la máquina, que minimice la generación de desechos durante el proceso de trituración de plásticos?
- 6 ¿Qué nivel de automatización considera necesario para la adecuada operación de la máquina trituradora y facilitar la interacción entre el operador y el equipo?
- 7 ¿Existen requisitos específicos de eficiencia energética en el sistema de trituración que deben considerarse para optimizar el consumo eléctrico de la máquina antes de su fabricación?
- 8 ¿Cuál sería la demanda para cubrir en la provincia de Santa Elena de la construcción de casas sostenibles?
- 9 ¿De qué manera considera que la máquina trituradora contribuirá al éxito de su proyecto de investigación sobre la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?

Escala de valoración Likert			Datos del Experto
1	Inaceptable	I	Identificación.
2	Deficiente	D	Años de experiencia.
3	Regular	R	Teléfono.
4	Aceptable	A	Correo.
5	Eficiente	E	Fecha de validación.

Anexo D. Formato de entrevista.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA


CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



ENTREVISTA

1. ¿Qué le motiva a desarrollar el proyecto de diseño de una máquina trituradora para la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?
2. ¿Qué materiales se consideran fundamentales dentro de las prácticas de construcción sostenible en la región y qué porcentaje estima que podrían ser cubiertos por materiales reciclados como productos ecológicos?
3. ¿Qué parámetros del producto triturado consideran importantes en términos de tamaño de las partículas, uniformidad, textura y resistencia del material procesado?
4. ¿Cuál es el objetivo que espera lograr con la implementación de esta máquina trituradora en la provincia de Santa Elena y en qué plazo de tiempo espera satisfacer la demanda o necesidad identificada?
5. ¿Considera esencial implementar un sistema de producción “cero residuos” en el diseño de la máquina, que minimice la generación de desechos durante el proceso de trituración de plásticos?
6. ¿Qué nivel de automatización considera necesario para la adecuada operación de la máquina trituradora y facilitar la interacción entre el operador y el equipo?
7. ¿Existen requisitos específicos de eficiencia energética en el sistema de trituración que deben considerarse para optimizar el consumo eléctrico de la máquina antes de su fabricación?
8. ¿Cuál sería la demanda por cubrir en la provincia de Santa Elena de la construcción de casas sostenibles?
9. ¿De qué manera considera que la máquina trituradora contribuirá al éxito de su proyecto de investigación sobre la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?


Anexo E. Resultados de la validación de expertos.

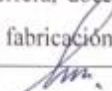


UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



Asunto: Validación de entrevista por expertos.		
<p>Opinión: Yo, <u>ALEJANDRO C. VELEZ AGUAYO</u>, con C.I. <u>090818280</u>; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Oyarvide Soriano Andrea Nicole, con C.I. 2400447112 y Soria Reyes Joshua André con C.I. 2450030156, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista para determinar los requerimientos del cliente, dirigido a la Ing. Griselda Herrera, docente de la carrera de ingeniería civil como promotora del proyecto de fabricación de una máquina trituradora de plásticos.</p>		
Firma: 		
TEMA: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.		
N°	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	¿Qué le motiva a desarrollar el proyecto de diseño de una máquina trituradora para la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?	A
2	¿Qué materiales se consideran fundamentales dentro de las prácticas de construcción sostenible en la región y qué porcentaje estima que podrían ser cubiertos por materiales reciclados como productos ecológicos?	E
3	¿Qué parámetros del producto triturado consideran importantes en términos de tamaño de las partículas, uniformidad, textura y resistencia del material procesado?	E
4	¿Cuál es el objetivo que espera lograr con la implementación de esta máquina trituradora en la provincia de Santa Elena y	A

	en qué plazo de tiempo espera satisfacer la demanda o necesidad identificada?	
5	¿Considera esencial implementar un sistema de producción "cero residuos" en el diseño de la máquina, que minimice la generación de desechos durante el proceso de trituración de plásticos?	R
6	¿Qué nivel de automatización considera necesario para la adecuada operación de la máquina trituradora y facilitar la interacción entre el operador y el equipo?	E
7	¿Existen requisitos específicos de eficiencia energética en el sistema de trituración que deben considerarse para optimizar el consumo eléctrico de la máquina antes de su fabricación?	R
8	¿Cuál sería la demanda a cubrir en la provincia de Santa Elena de la construcción de casas sostenibles?	A
9	¿De qué manera considera que la máquina trituradora contribuirá al éxito de su proyecto de investigación sobre la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?	A

Escala de valoración Likert		
1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Eficiente	E

Datos del Experto	
Identificación.	090818280
Años de experiencia.	30+
Teléfono.	0996866782
Correo.	aveliz@upse.edu.ec
Fecha de validación.	22/11/2024



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



Asunto: Validación de entrevista por expertos.

Opinión: Yo, MARCO BERNEO BARRERA, con C.I. 1707326813; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Oyarvide Soriano Andrea Nicole, con C.I. 2400447112 y Soria Reyes Joshua André con C.I. 2450030156, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista para determinar los requerimientos del cliente, dirigido a la Ing. Griselda Herrera, docente de la carrera de ingeniería civil como promotora del proyecto de fabricación de una máquina trituradora de plásticos.

Firma: 

TEMA: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.

Nº	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	¿Qué le motiva a desarrollar el proyecto de diseño de una máquina trituradora para la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?	A
2	¿Qué materiales se consideran fundamentales dentro de las prácticas de construcción sostenible en la región y qué porcentaje estima que podrían ser cubiertos por materiales reciclados como productos ecológicos?	E
3	¿Qué parámetros del producto triturado consideran importantes en términos de tamaño de las partículas, uniformidad, textura y resistencia del material procesado?	E
4	¿Cuál es el objetivo que espera lograr con la implementación de esta máquina trituradora en la provincia de Santa Elena y	A

	en qué plazo de tiempo espera satisfacer la demanda o necesidad identificada?	
5	¿Considera esencial implementar un sistema de producción "cero residuos" en el diseño de la máquina, que minimice la generación de desechos durante el proceso de trituración de plásticos?	A
6	¿Qué nivel de automatización considera necesario para la adecuada operación de la máquina trituradora y facilitar la interacción entre el operador y el equipo?	A
7	¿Existen requisitos específicos de eficiencia energética en el sistema de trituración que deben considerarse para optimizar el consumo eléctrico de la máquina antes de su fabricación?	D
8	¿Cuál sería la demanda a cubrir en la provincia de Santa Elena de la construcción de casas sostenibles?	E
9	¿De qué manera considera que la máquina trituradora contribuirá al éxito de su proyecto de investigación sobre la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?	E

Escala de valoración Likert		
1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Eficiente	E

Datos del Experto	
Identificación.	1707320813
Años de experiencia.	20
Teléfono.	0985033821
Correo.	mbermo@upw.edu.ec
Fecha de validación.	22 Nov 2024



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



Asunto: Validación de entrevista por expertos.

Opinión: Yo, Lucrecia Cristina Moreno Álvarez con C.I. 0911164127; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Oyarvide Soriano Andrea Nicole, con C.I. 2400447112 y Soria Reyes Joshua André con C.I. 2450030156, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista para determinar los requerimientos del cliente, dirigido a la Ing. Griselda Herrera, docente de la carrera de ingeniería civil como promotora del proyecto de fabricación de una máquina trituradora de plásticos.

Firma:

TEMA: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.

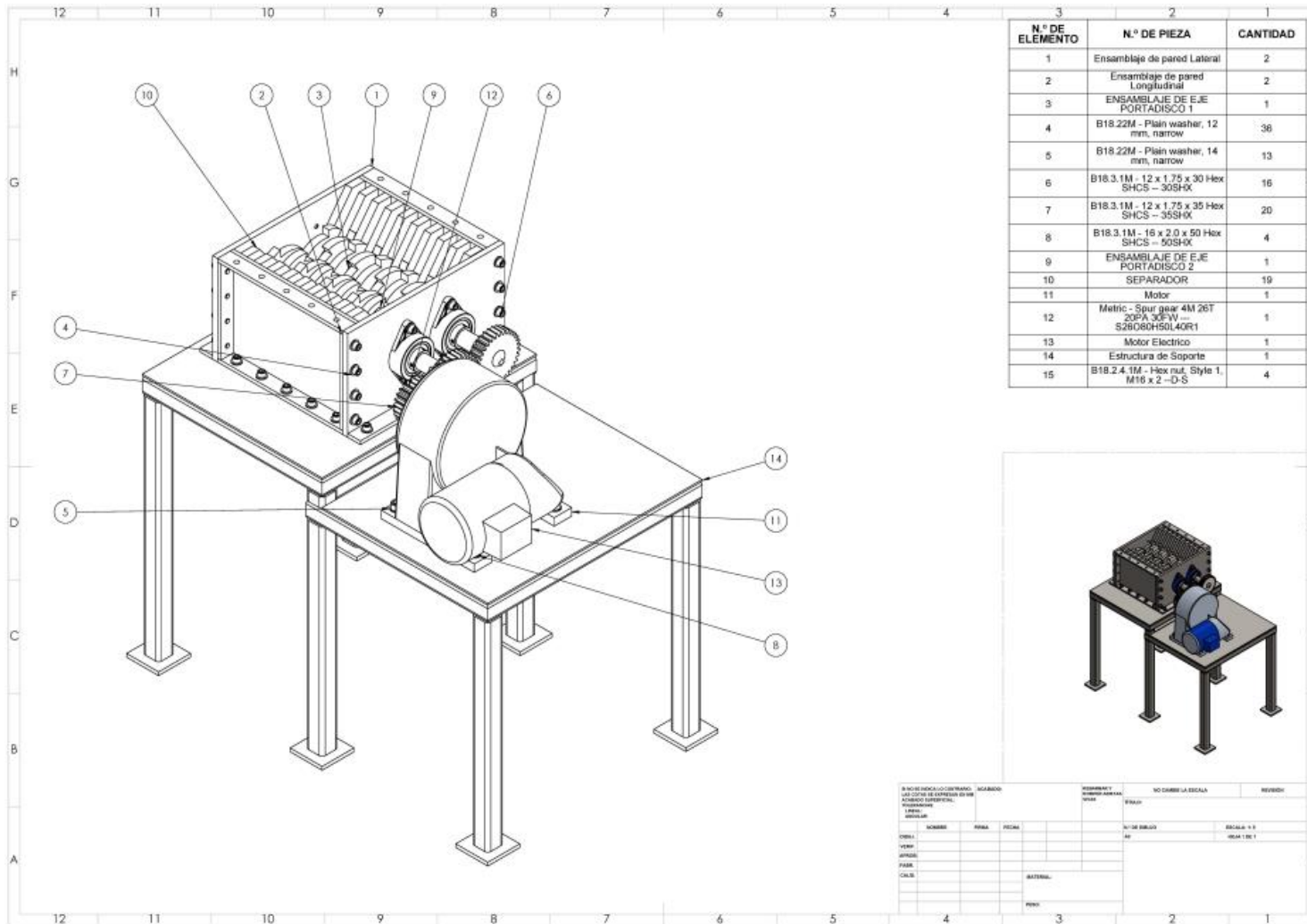
Nº	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	¿Qué le motiva a desarrollar el proyecto de diseño de una máquina trituradora para la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?	A
2	¿Qué materiales se consideran fundamentales dentro de las prácticas de construcción sostenible en la región y qué porcentaje estima que podrían ser cubiertos por materiales reciclados como productos ecológicos?	E
3	¿Qué parámetros del producto triturado consideran importantes en términos de tamaño de las partículas, uniformidad, textura y resistencia del material procesado?	A
4	¿Cuál es el objetivo que espera lograr con la implementación de esta máquina trituradora en la provincia de Santa Elena y	E

	en qué plazo de tiempo espera satisfacer la demanda o necesidad identificada?	
5	¿Considera esencial implementar un sistema de producción "cero residuos" en el diseño de la máquina, que minimice la generación de desechos durante el proceso de trituración de plásticos?	A
6	¿Qué nivel de automatización considera necesario para la adecuada operación de la máquina trituradora y facilitar la interacción entre el operador y el equipo?	A
7	¿Existen requisitos específicos de eficiencia energética en el sistema de trituración que deben considerarse para optimizar el consumo eléctrico de la máquina antes de su fabricación?	E
8	¿Cuál sería la demanda a cubrir en la provincia de Santa Elena de la construcción de casas sostenibles?	E
9	¿De qué manera considera que la máquina trituradora contribuirá al éxito de su proyecto de investigación sobre la transformación de materiales plásticos reciclados en la provincia de Santa Elena?	A

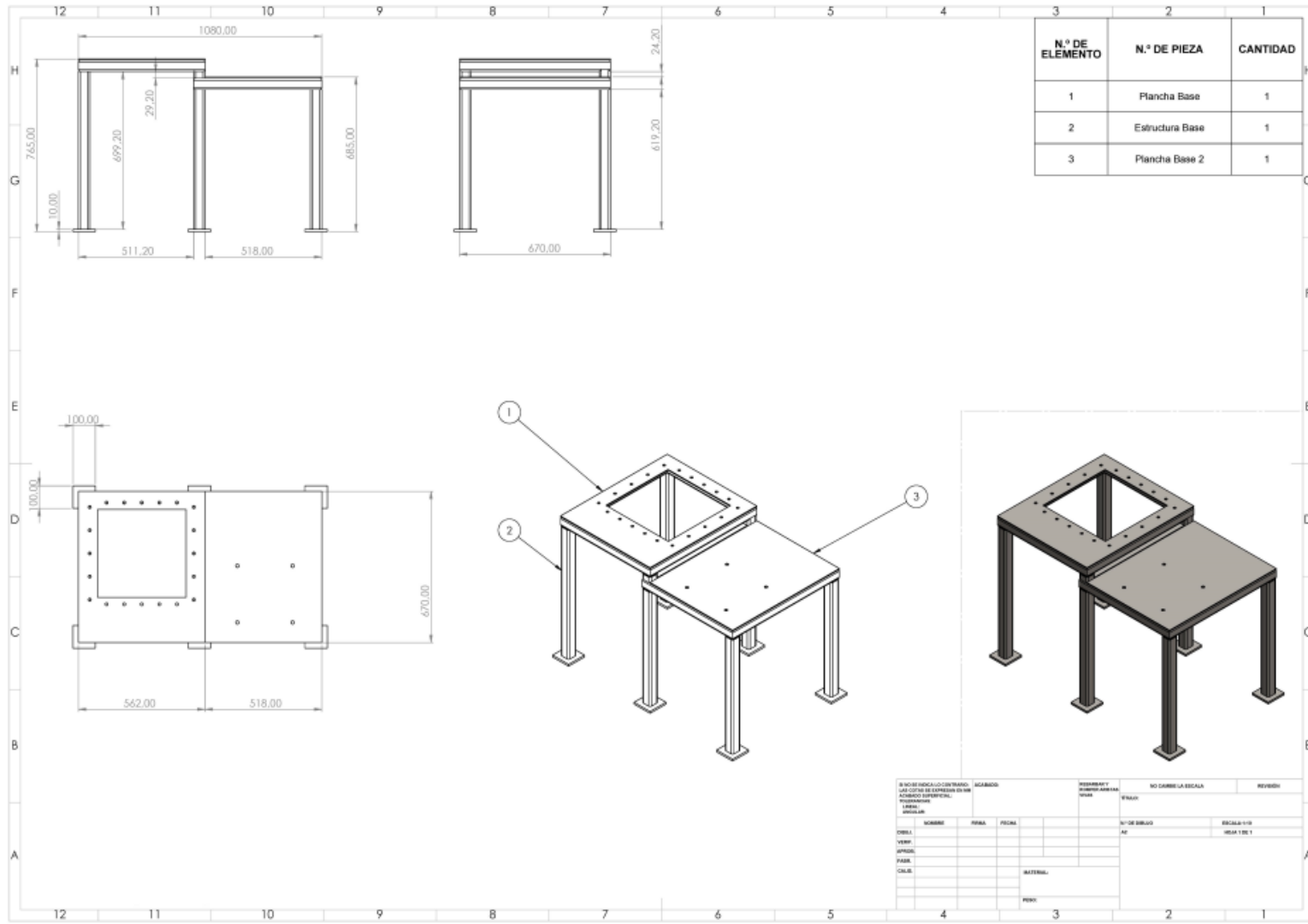
Escala de valoración Likert		
1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Eficiente	E

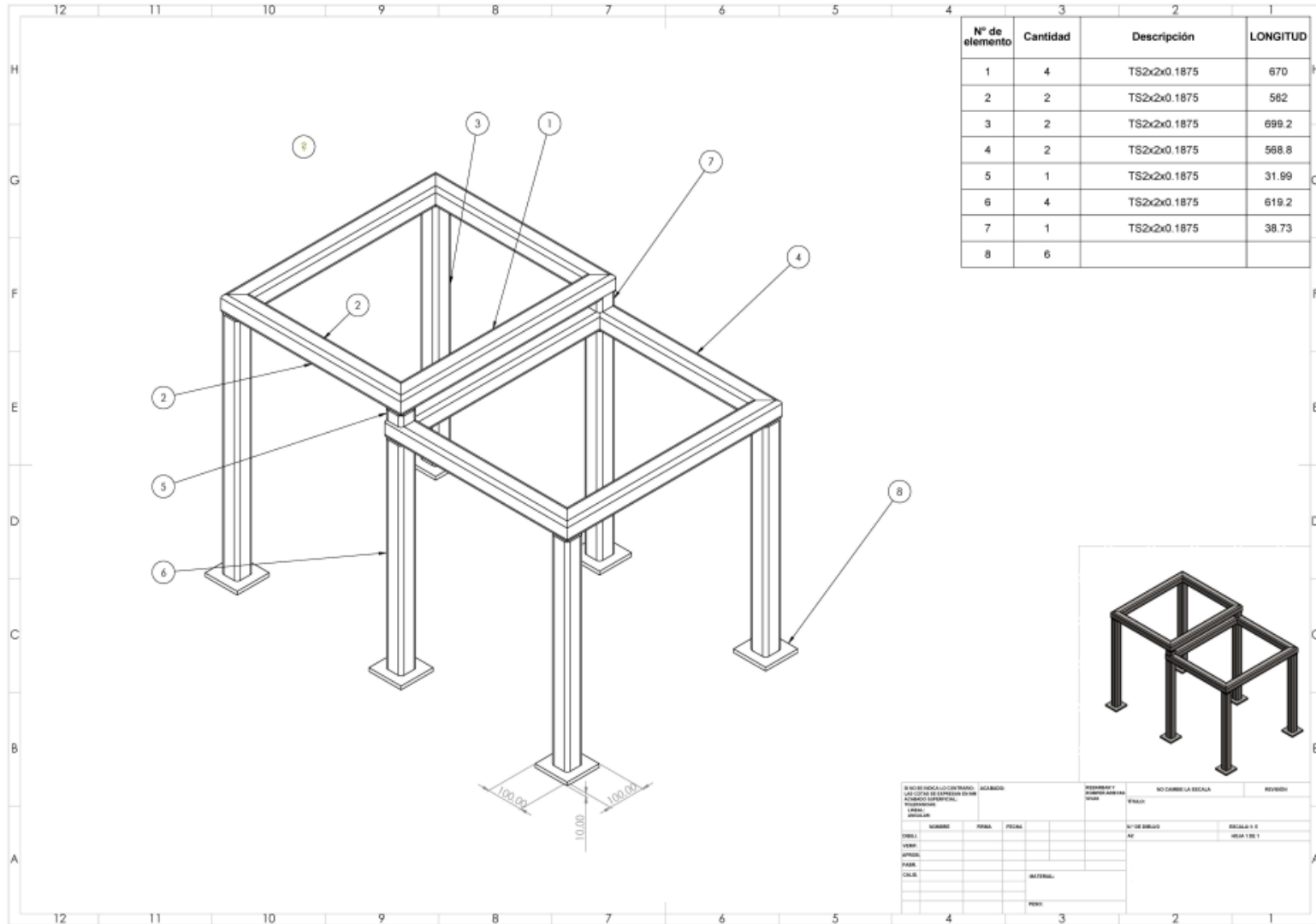
Datos del Experto	
Identificación.	UPSE
Años de experiencia.	31 años
Teléfono.	0981572554
Correo.	Imoreno@upse.
Fecha de validación.	22 de Noviembre 2024

Anexo F. Planos de la máquina trituradora.

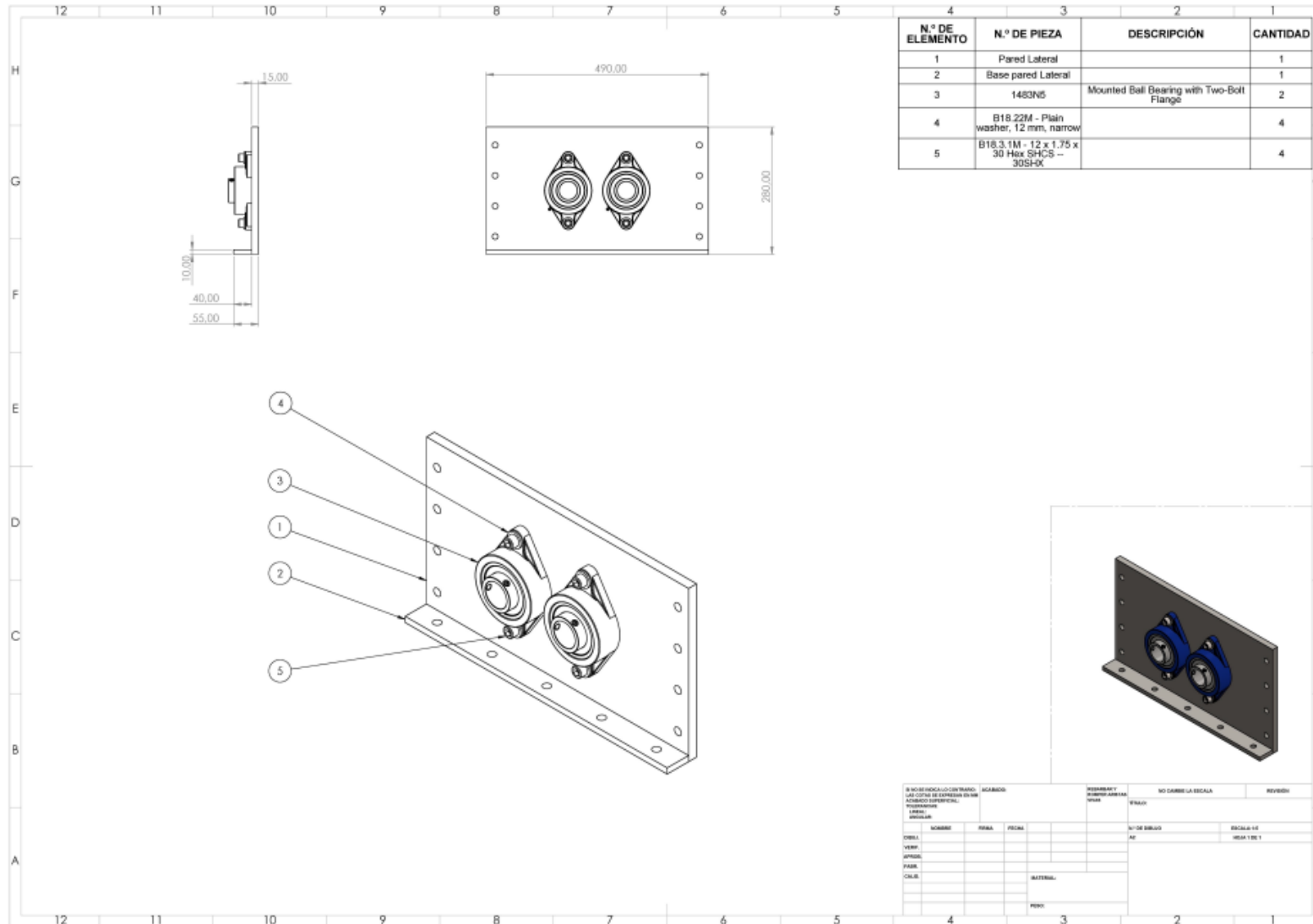


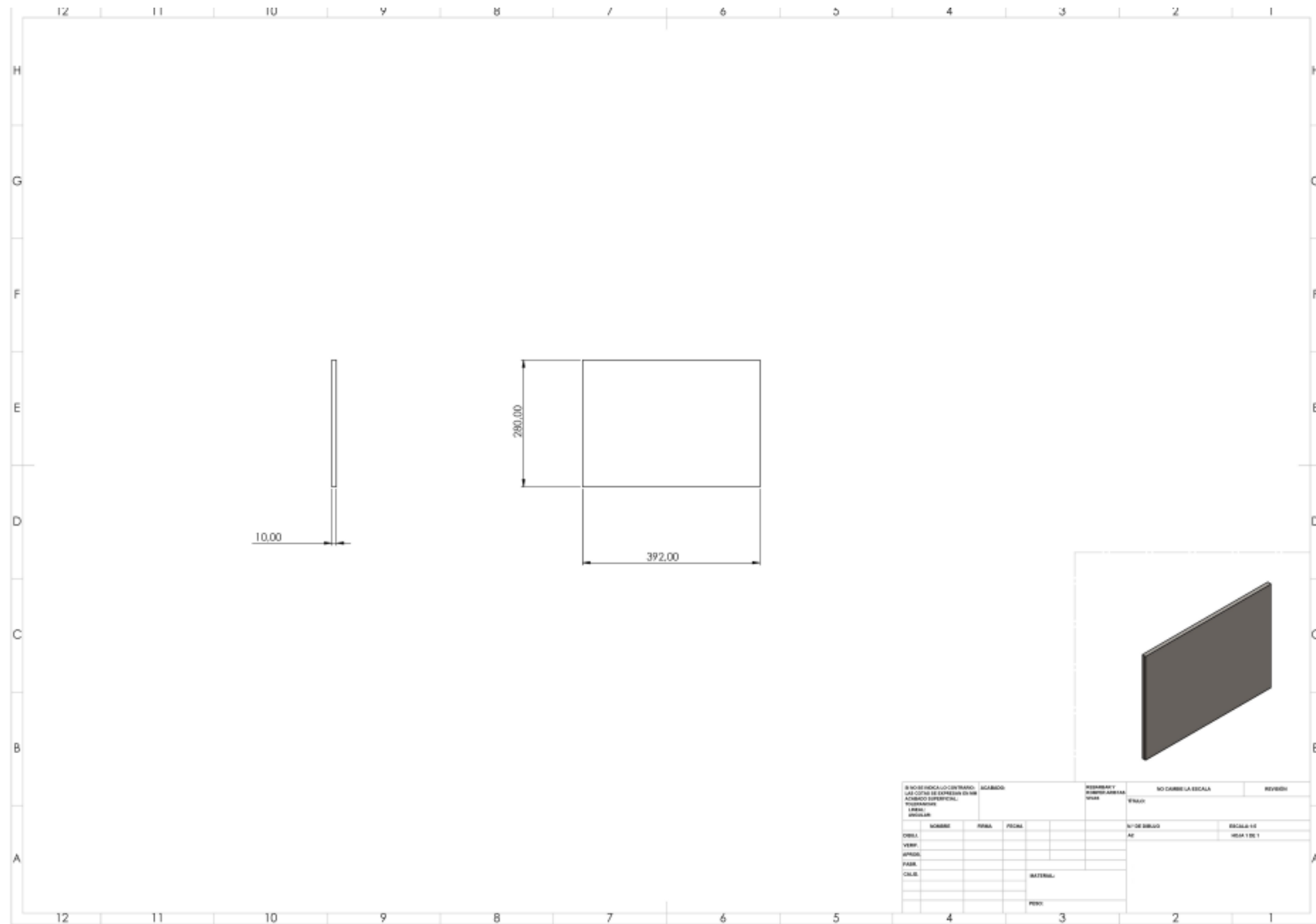
SI NO SE INDICA O CONTRAINDICACIONES, SE ENTIENDE QUE SE DEBE ENTENDER EN SU SENTIDO NORMAL.		REVISOR Y FECHA		NO CERRAR LA ESCALA		REVISOR	
DISEÑADOR		FECHA		DISEÑADOR		FECHA	
NOMBRE		FECHA		N.º DE DIBUJO		ESCALA 1:1	
VERSIÓN		FECHA		AUTOR		REVISOR	
MATERIAL		FECHA		N.º DE DIBUJO		ESCALA 1:1	
CALIBRE		FECHA		N.º DE DIBUJO		REVISOR	
MATERIAL		FECHA		N.º DE DIBUJO		REVISOR	
MATERIAL		FECHA		N.º DE DIBUJO		REVISOR	

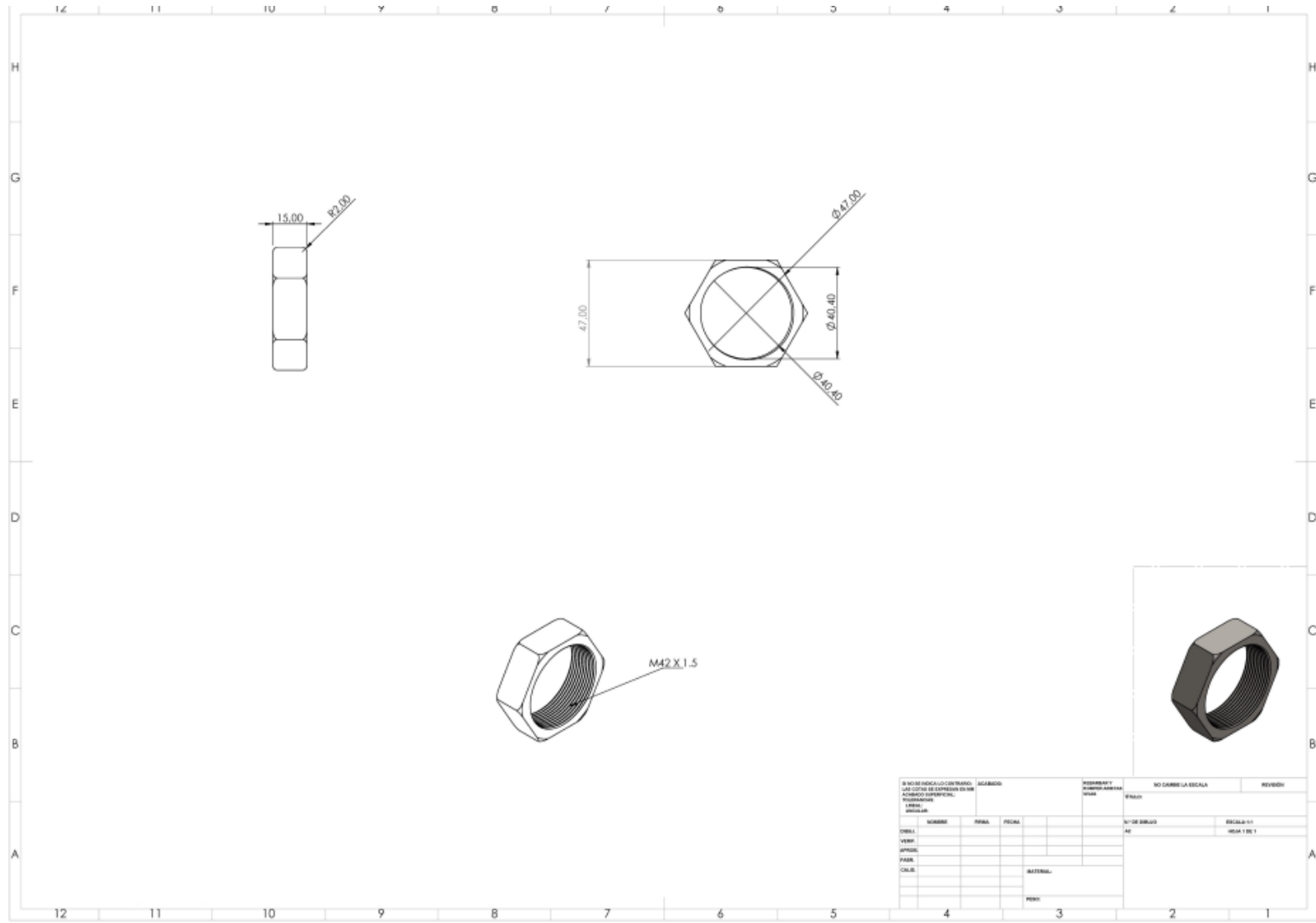


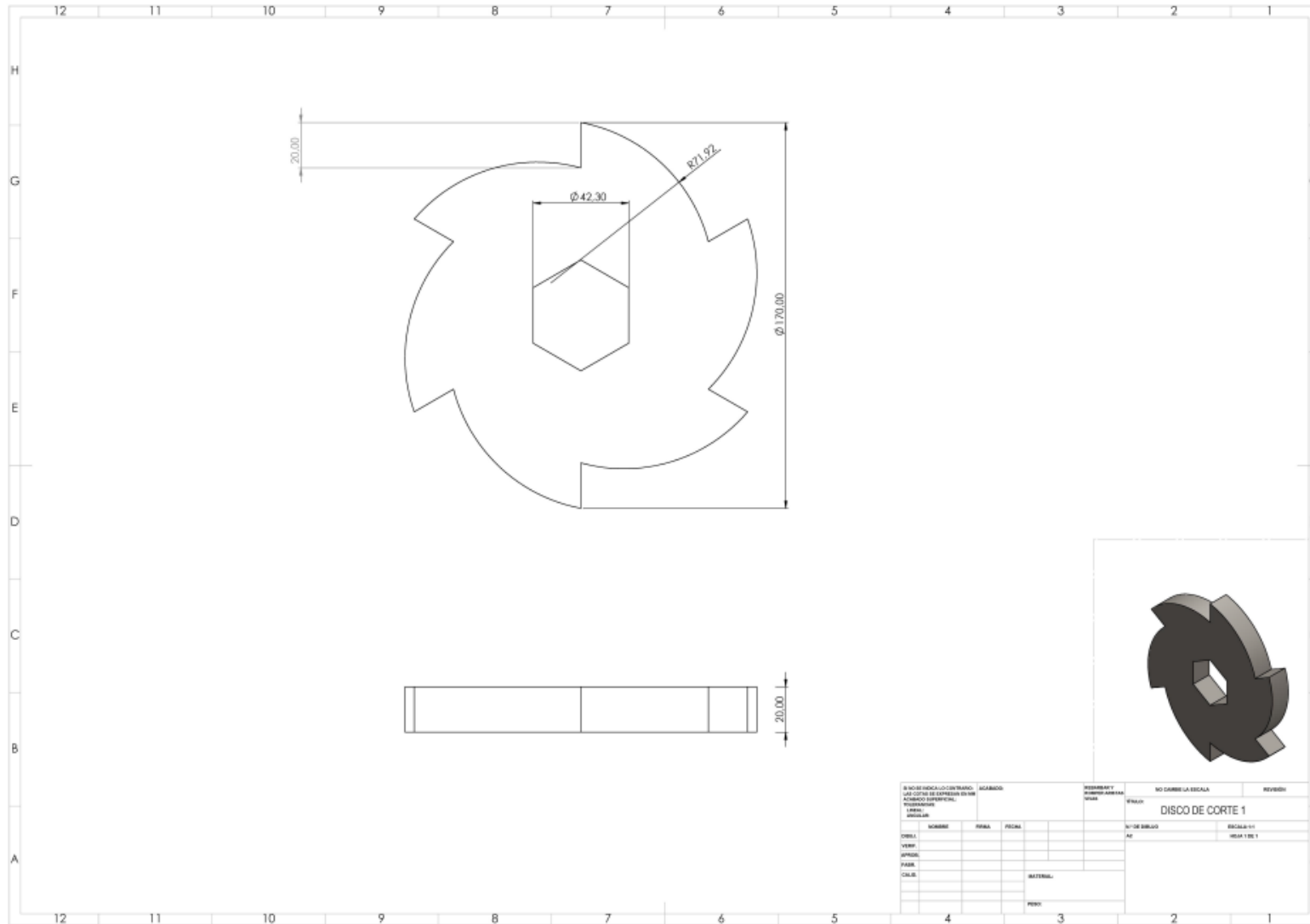


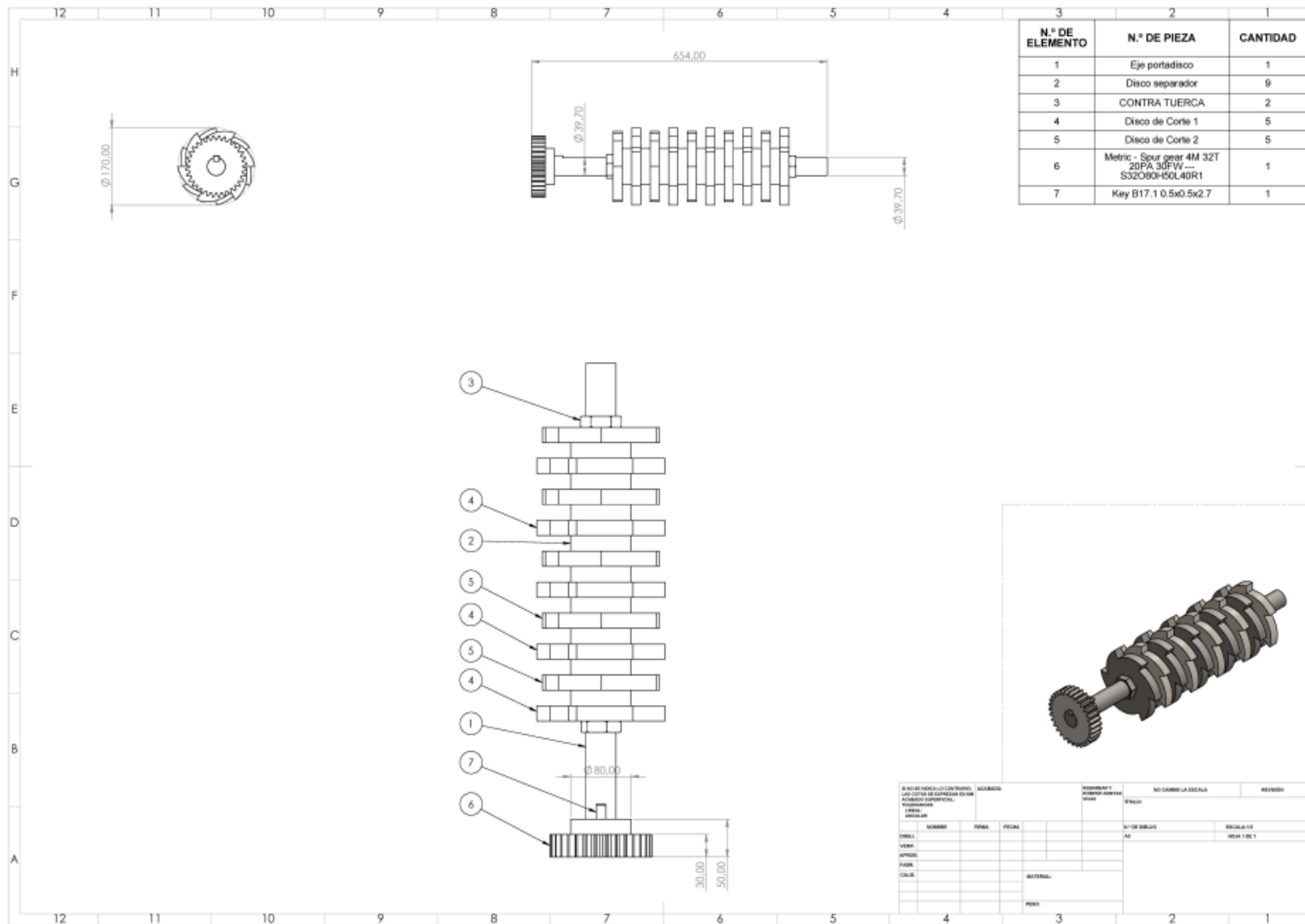
SI NO SE INDICÓ CON TRAZO		ACABADO		REVISIÓN Y		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
USO COPIE DE EXTENSIÓN DE SER		ACABADO ESPECIAL		DISEÑO		Escala			
TITULO		N° DE DIBUJO		Escala 1:1		HORA 1 DE 1			
AUTOR		FECHA		N° DE DIBUJO		Escala 1:1			
VERIF.		FECHA		FECHA		FECHA			
APROB.		FECHA		FECHA		FECHA			
CALC.		FECHA		FECHA		FECHA			
		FECHA		FECHA		FECHA			
		FECHA		FECHA		FECHA			
		FECHA		FECHA		FECHA			

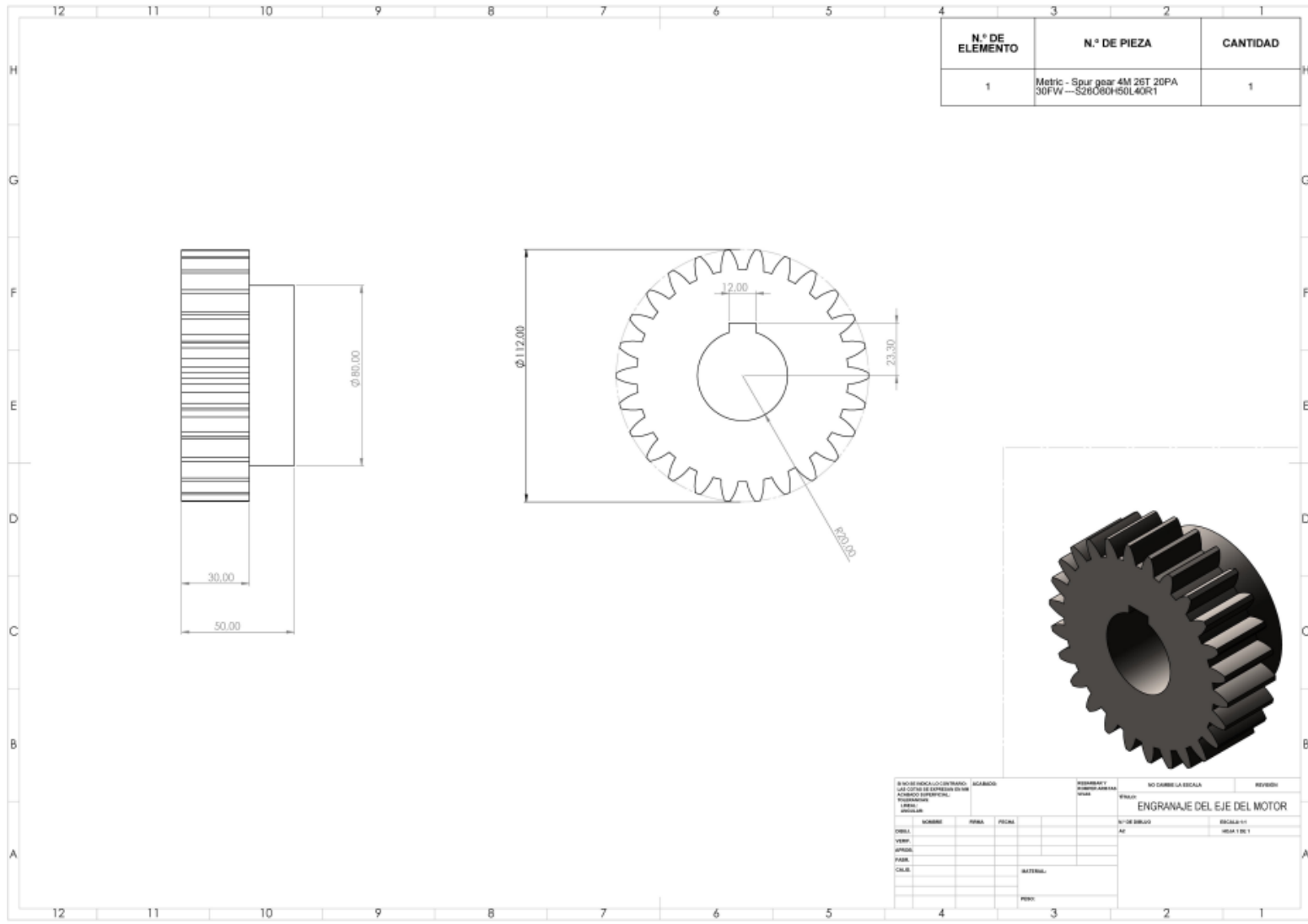












N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Metric - Spur gear 4M 26T 20PA 30FW--S28080H50L40R1	1

BUCLE DE ESCALA O CONTROLADO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL FINITIMOS UNIDADES		ESCALADO SIEMPRE Y CUANDO ANTES DE SER	NO CAMBIE LA ESCALA REVISOR
DISEÑADOR VERIFICADOR APROBADO PAREJA CALIBRE		N.º DE DIBUJO 42	ENGRANAJE DEL EJE DEL MOTOR ESCALA 1:1 HOJA 1 DE 1
MATERIAL PESO			

Anexo G. Manual de usuario de la máquina trituradora de plástico.

Manual de usuario de la máquina trituradora de plástico.

Luego del diseño y construcción de la máquina de trituración, es recomendable plantear o elaborar un manual. Este manual de usuario proporciona instrucciones detalladas para el manejo seguro y efectivo de la máquina, incluyendo la puesta en marcha, el control de encendido y apagado, y las precauciones en caso de emergencia. Antes de operar la máquina, lea completamente este manual y familiarícese con los controles y funciones de seguridad. Siga todas las instrucciones para evitar accidentes y garantizar una operación segura. Se recomienda el uso de equipo de protección personal, como guantes y gafas de seguridad.

Advertencias.

- a. No introduzca las manos ni objetos no plásticos en el área de trituración.
- b. Mantenga la máquina alejada de materiales inflamables y líquidos.
- c. No permita el uso de la máquina por personas sin capacitación.

Descripción de los controles.

La máquina trituradora cuenta con un sistema de control sencillo y fácil de usar. Los controles principales son:

- a. **Botón verde (encendido):** inicia el funcionamiento de la máquina y activa el motor.
- b. **Botón rojo (parada):** detiene el funcionamiento de la máquina de manera regular.
- c. **Botón de emergencia en forma de hongo (parada de emergencia):** este botón, de fácil identificación por su forma de hongo, se utiliza en caso de atascamiento o emergencia para detener la máquina de inmediato. Al presionar este botón, se corta la corriente del motor y de todos los circuitos activos, evitando cualquier movimiento adicional y protegiendo tanto al operador como al equipo.

Conexiones eléctricas.

Los botones de control están conectados a un breaker y un contactor. El breaker protege el circuito contra sobrecargas, mientras que el contactor permite la conexión y desconexión del motor de forma controlada y segura.

Instrucciones de uso.

- **Paso 1: Conexión de la máquina.**
 1. Asegúrese de que la máquina esté correctamente conectada a una fuente de alimentación adecuada.
 2. Verifique que todos los cables estén en buenas condiciones y correctamente conectados.
- **Paso 2: Encendido de la máquina.**
 1. Para encender la máquina, presione el botón verde en el panel de control. Al activarse, el motor comenzará a girar, y las cuchillas de la trituradora estarán listas para recibir el material.
 2. Espere unos segundos para asegurar que la máquina esté funcionando de manera estable.
- **Paso 3: Alimentación del material.**
 1. Introduzca las botellas plásticas u otros materiales adecuados de forma progresiva en la abertura de entrada. Asegúrese de no sobrecargar la máquina, para evitar atascos y mantener una operación fluida.
- **Paso 4: Detener la máquina.**
 1. Para detener el funcionamiento de la máquina de forma regular, presione el botón rojo. Esto detendrá el motor y el movimiento de las cuchillas de manera controlada.
- **Paso 5: Uso del botón de emergencia.**
 1. En caso de atasco, emergencia o si se percibe algún funcionamiento anormal, presione el botón de emergencia en forma de hongo. Este botón detiene de inmediato el motor y corta toda la energía en el sistema. Esto previene daños adicionales al equipo y protege al operador.
 2. Una vez que la emergencia esté resuelta, gire el botón de emergencia para liberarlo, permitiendo que vuelva a su posición original antes de reiniciar la máquina.
- **Paso 6: Reinicio de la máquina tras una parada de emergencia.**
 1. Asegúrese de que la causa de la emergencia haya sido solucionada antes de reanudar la operación.
 2. Libere el botón de emergencia y presione nuevamente el botón verde para encender la máquina.

Mantenimiento básico.

Para asegurar una operación eficiente y prolongar la vida útil de la máquina, se recomienda realizar las siguientes actividades de mantenimiento de forma regular:

- Limpieza: después de cada uso, limpie la máquina para eliminar residuos de plástico que puedan obstruir las cuchillas o el sistema de poleas.
- Inspección de conexiones eléctricas: revise periódicamente las conexiones eléctricas, el breaker, y el contactor para detectar posibles desgastes o daños en los cables.
- Lubricación: aplique lubricante en las piezas móviles según lo indicado por el fabricante, evitando el exceso para no dañar los componentes.

Resolución de problemas comunes.

Problema	Causa probable	Solución
La máquina no enciende	Conexión eléctrica incorrecta	Verificar la conexión y el breaker
Ruidos inusuales	Material atascado o falta de lubricante	Presionar el botón de emergencia y hacer revisión
Vibraciones excesivas	Desajuste en las fijaciones	Apretar los pernos y revisar el montaje