



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

**TEMA:**

**“AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA DE LA UNIDAD  
DE PRÁCTICA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD  
ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA, ECUADOR”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

**CEDEÑO GUALE KERLLY JAMILEX**

**RIVERA MERO JAIME FRANCISCO**

**TUTOR:**

**ING. JAQUE PUCA DARWIN GUSTAVO, M.Sc.**

**LA LIBERTAD, ECUADOR**

**2025**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:**

**“AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA DE  
LA UNIDAD DE PRÁCTICA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE  
LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA,  
ECUADOR”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**CEDEÑO GUALE KERLLY JAMILEX**

**RIVERA MERO JAIME FRANCISCO**

**TUTOR:**

**ING. JAQUE PUCA DARWIN GUSTAVO M.Sc.**

**LA LIBERTAD, ECUADOR**

**2025**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Cedeño Guale Kerlly Jamilex y Rivera Mero Jaime Francisco** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

## TUTOR

f. 

**Ing. Jaque Puca Darwin Gustavo, M.Sc.**

## DIRECTORA DE LA CARRERA

f. 

**Ing. Balón Ramos Isabel Del Rocío, M.Sc.**

La Libertad, a los 07 días del mes de julio del año 2025

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA DE LA UNIDAD DE PRÁCTICA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA, ECUADOR”, elaborado por CEDEÑO GUALE KERLLY JAMILEX y RIVERA MERO JAIME FRANCISCO, 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**

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a large, stylized oval shape. The signature appears to read "Darwin Jaque" with a large flourish at the end.

**Ing. Jaque Puca Darwin Gustavo, M.Sc.**

La Libertad, a los 07 días del mes de julio del año 2025

# DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Cedeño Guale Kerlly Jamilex y Rivera Mero Jaime Francisco

## DECLARAMOS QUE:

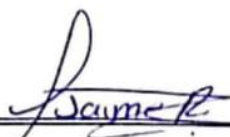
El Trabajo de Titulación, “Automatización de la máquina trituradora de la unidad de práctica de ingeniería industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros 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 07 días del mes de julio del año 2025

## AUTORES:

f.   
Cedeño Guale Kerlly Jamilex

f.   
Rivera Mero Jaime Francisco

# AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Cedeño Guale Kerlly Jamilex y Rivera Mero Jaime Francisco**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, “**Automatización de la máquina trituradora de la unidad de práctica de ingeniería industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

**La Libertad, a los 07 días del mes de julio del año 2025**

## AUTORES:

f.   
\_\_\_\_\_

**Cedeño Guale Kerlly Jamilex**

f.   
\_\_\_\_\_

**Rivera Mero Jaime Francisco**

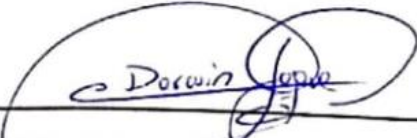
# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA DE LA UNIDAD DE PRÁCTICA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA, ECUADOR**” elaborado por **Cedeño Guale Kerlly Jamilex** y **Rivera Mero Jaime Francisco**, 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 2% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,



f.   
Ing. Jaque Puca Darwin Gustavo, M.Sc.

# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

## *Certificado de gramática*

Santa Elena, 04 de julio del 2025

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magister 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 "AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA DE LA UNIDAD DE PRÁCTICA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA, ECUADOR" elaborado por los estudiantes **KERLLY JAMILEX CEDEÑO GUALE** y **JAIME FRANCISCO RIVERA MERO** 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, M.Sc.**

C.I: 0605353143

Celular: 0969917044

Correo: misabelp1017@gmail.com

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco infinitamente a mi tutor de tesis el Ing. Darwin Jaque Puca por su ayuda, paciencia, compromiso y orientación constante durante este proceso, ya que con su experiencia y sugerencias académicas fueron claves para dar forma a este trabajo investigativo.

A mis padres Manuel Cedeño y Gloria Guale, por ser mi principal fuente de motivación e inspiración a lo largo de esta etapa académica y de mi vida en general, por ofrecerme apoyo total, su amor incondicional y estar presente en cada dificultad. Cada paso de este camino ha sido posible gracias al respaldo firme, es por eso que esta meta lograda también les pertenece por todo lo que han hecho y siguen haciendo por mí. A mis tíos Geovany y Angela, que durante estos años me brindaron hospedaje en su hogar con generosidad, apoyo y cariño, debido a que vivía en una provincia distinta, gracias por hacerme sentir parte de su familia durante este periodo. No podría dejar de agradecer a mi novio porque estuvo a mi lado durante todo este periodo académico siendo un apoyo fundamental ya que con su comprensión, paciencia y disposición por apoyarme en los momentos en las que no entendía alguna materia, fueron claves para avanzar con seguridad.

*Cedeño Guale Kerlly*

Agradezco primeramente a Dios por acompañarme en esta larga travesía y permitirme llegar hasta este momento. A mi padre Jimmy Rivera que con su experiencia en la materia y compromiso me guio y con sus palabras de aliento me motivo a seguir en pie, a mi madre Margarita Mero que siempre me motivo a seguir a pesar de las circunstancias. Su amor y su confianza han hecho posible este logro.

Extiendo mi gratitud a mi tía Cristina Rivera, Leticia y Maura Mero que fueron pilares fundamentales para que pudiera seguir y alcanzar esta meta tan anhelada. Agradezco profundamente a nuestro tutor de tesis, Ing. Darwin Jaque Puca, por brindarnos esta valiosa oportunidad y que con su paciencia y dedicación nos guio para lograr nuestros objetivos.

*Rivera Mero Jaime*

## **DEDICATORIA**

Este trabajo investigativo es dedicado en primer lugar a Dios por bendecirme en cada etapa de este proceso, por darme sabiduría y la fortaleza necesaria para vencer cada obstáculo que se interpone en el día a día. Gracias Señor, por ser mi refugio, mi guía y mi constante compañía en este camino personal y académico.


Con amor y gratitud dedico también esta meta a mis padres Manuel Cedeño y Gloria Guale por ser el pilar fundamental en mi vida, gracias por el amor incondicional y el inalcanzable sacrificio. Ustedes me enseñaron a no rendirme, a valorar el esfuerzo y la constancia. La paciencia, las palabras de aliento y su ejemplo de vida que ha sido el motor de impulso a seguir adelante, incluso en los momentos de dificultad, esta meta no es solo mía, sino también de ustedes por estar presente en cada etapa de este sacrificado y lindo camino.

*Cedeño Guale Kerlly*

Este proyecto es dedicado primeramente a Dios por haberme dado la fuerza para no rendirme, a mis padres Jimmy Rivera y Margarita Mero por su amor y apoyo incondicional, mi familia por siempre creer en mí, por apoyarme y guiarme en momentos difíciles, motivándome en los momentos más difíciles; a todos ustedes les dedico este logro, sin ustedes, esto no hubiera sido posible.

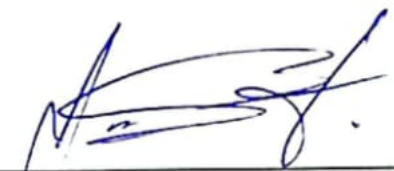
*Rivera Mero Jaime*

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.  \_\_\_\_\_


**ING. ISABEL DEL ROCÍO BALÓN RAMOS, MSc.**

DIRECTORA DE CARRERA

f.  \_\_\_\_\_

**ING. FRANKLIN RAFAEL GONZÁLEZ VILLACRÉS, MSc**

DOCENTE ESPECIALISTA

f.  \_\_\_\_\_

**ING. DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA, M.Sc.**

DOCENTE TUTOR

f.  \_\_\_\_\_

**Dra. GRACIELA CELEDONIA SOSA BUENO, PhD**

DOCENTE 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 GENERAL.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS .....	xx
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT .....	xxii
INTRODUCCIÓN .....	1

CAPÍTULO I.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes investigativos.....	4
1.2. Estado del arte.....	5
1.3. Fundamentos teóricos. ....	12
CAPÍTULO II .....	18
MARCO METODOLÓGICO.....	18
2.1. Enfoque de la investigación.....	18
2.2. Tipo de investigación.....	18
2.3. Diseño de investigación. ....	18
2.4. Población y muestra.....	20
2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	21
2.6. Validez y confiabilidad del instrumento.....	23
2.7. Confiabilidad y validez de los instrumentos.....	24
2.8. Operacionalización de las variables.....	29
2.9. Plan de análisis e interpretación de resultados.....	32
CAPÍTULO III.....	34
MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
3.1 Marco de resultados.....	34
3.2 Antecedentes del prototipo base.....	35
3.3 Rediseño de la máquina trituradora.....	41

3.4.	Requerimientos técnicos para el rediseño del prototipo .....	42
3.5.	Fase 1.- Consideración de materiales a utilizar. ....	49
3.6.	Fase 2.- Diseño del sistema de trituración, cuchillas y ejes.....	56
3.7.	Fase 3.- Desarrollo del sistema mecánico.....	61
3.8.	Fase 4.- Construcción del prototipo.....	64
3.9.	Fase 5.- Resultados del prototipo.....	89
3.10.	Presupuesto de la investigación. ....	100
3.11.	Marco de discusión. ....	104
3.12.	Limitaciones del estudio. ....	104
	CONCLUSIONES .....	105
	RECOMENDACIONES.....	106
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
	ANEXOS.....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Formulación de preguntas basadas en las variables de estudio .....</i>	<i>6</i>
Tabla 2.	<i>Palabras claves, criterios de inclusión y exclusión. ....</i>	<i>6</i>
Tabla 3.	<i>Porcentaje de aportaciones al estudio de fuentes de investigación. ....</i>	<i>7</i>
Tabla 4.	<i>Enfoque de investigación. ....</i>	<i>9</i>
Tabla 5.	<i>Método de investigación. ....</i>	<i>9</i>
Tabla 6.	<i>Técnicas aplicadas dentro de las investigaciones. ....</i>	<i>10</i>

Tabla 7. <i>Instrumentos de recolección de datos.</i> .....	10
Tabla 8. <i>Población objeto de estudio.</i> .....	20
Tabla 9. <i>Muestra por conveniencia.</i> .....	21
Tabla 10. <i>Datos de grupo de expertos para validación.</i> .....	25
Tabla 11. <i>Resumen de las rondas de preguntas.</i> .....	26
Tabla 12. <i>Coeficiente.</i> .....	27
Tabla 13. <i>Resumen de procesamiento de casos.</i> .....	27
Tabla 14. <i>Fiabilidad del instrumento.</i> .....	28
Tabla 15. <i>Tabla de correlación de las dos variables.</i> .....	29
Tabla 16. <i>Operacionalización de variables.</i> .....	30
Tabla 17. <i>Plan de recolección de datos.</i> .....	32
Tabla 18. <i>Resumen de resultados del cuestionario.</i> .....	36
Tabla 19. <i>Matriz de resultados.</i> .....	37
Tabla 20. <i>Resumen de resultados de segunda encuesta.</i> .....	45
Tabla 21. <i>Segunda ronda de preguntas.</i> .....	46
Tabla 22. <i>Materiales estructura de protección.</i> .....	49
Tabla 23. <i>Sistema de corte.</i> .....	50
Tabla 24. <i>Materiales para el sistema automatizado.</i> .....	51
Tabla 25. <i>Cuerpo de tolva.</i> .....	53
Tabla 26. <i>Herramientas para construcción de la máquina.</i> .....	53
Tabla 27. <i>Utensilios de corte y ensamble.</i> .....	54

Tabla 28. <i>Elementos de sujeción y fijación.</i> .....	55
Tabla 29. <i>Materiales de acabado.</i> .....	55
Tabla 30. <i>Análisis estático y cálculo de esfuerzos de la estructura base.</i> .....	56
Tabla 31. <i>Características técnicas del acero para la cuña.</i> .....	58
Tabla 32. <i>Características técnicas del acero de transmisión.</i> .....	59
Tabla 33. <i>Descripción de símbolos utilizados en diagrama procesos.</i> .....	65
Tabla 34. <i>Resumen de tiempos de estructura de protección.</i> .....	67
Tabla 35. <i>Proceso de fabricación.</i> .....	68
Tabla 36. <i>Tiempo de construcción.</i> .....	72
Tabla 37. <i>Tiempos basándonos en la cámara de trituración.</i> .....	75
Tabla 38. <i>Operaciones para la fabricación de separadores.</i> .....	77
Tabla 39. <i>Resumen de tiempos del rediseño de maquina trituradora.</i> .....	83
Tabla 40. <i>Sistema eléctrico previo.</i> .....	86
Tabla 41. <i>Símbolos utilizados en la fórmula.</i> .....	93
Tabla 42. <i>Indicadores de rendimiento.</i> .....	93
Tabla 43. <i>Indicadores de rendimiento.</i> .....	94
Tabla 44. <i>Indicadores de rendimiento</i> .....	95
Tabla 45. <i>Indicadores de rendimiento.</i> .....	96
Tabla 46. <i>Capacidad por muestra.</i> .....	98
Tabla 47. <i>Capacidad operativa.</i> .....	99
Tabla 48. <i>Resumen comparativo.</i> .....	99

Tabla 49. <i>Resumen general de pruebas.</i> .....	100
Tabla 50. <i>Cálculo de costo de inversión.</i> .....	101
Tabla 51. <i>Resultados financieros.</i> .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Línea de acción metodológica (SALSA).</i> .....	5
Figura 2. <i>Diagrama de bloques de artículos incluidos y excluidos.</i> .....	8
Figura 3. <i>Esquema de protocolo de investigación.</i> .....	10
Figura 4: <i>Diagrama de flujo de la creación de la máquina trituradora.</i> .....	17
Figura 5. <i>Etapas del procedimiento metodológico.</i> .....	18
Figura 6. <i>Plan de recolección de datos.</i> .....	22
Figura 7. <i>Procedimiento de método de Delphi.</i> .....	24
Figura 8. <i>Interpretación del coeficiente de Pearson.</i> .....	28
Figura 9. <i>Máquina trituradora actual.</i> .....	35
Figura 10. <i>Resumen de resultados de encuesta.</i> .....	37
Figura 11. <i>Boceto a mano alzada de la máquina trituradora.</i> .....	43
Figura 12. <i>Boceto a mano alzada con medidas de la máquina trituradora.</i> .....	44
Figura 13. <i>Modelado 3D.</i> .....	45
Figura 14. <i>Resumen de resultados.</i> .....	49
Figura 15. <i>Cuchilla.</i> .....	57

Figura 16. <i>Ensamble entre cuchilla, eje y cuña.</i> .....	61
Figura 17. <i>Sistema de trituración de plástico.</i> .....	61
Figura 18. <i>Diagrama de operaciones de estructura de protección.</i> .....	65
Figura 19. <i>Estructura de protección.</i> .....	69
Figura 20. <i>Diseño de cuerpo de tolva.</i> .....	70
Figura 21. <i>Soporte/cuerpo de tolva.</i> .....	70
Figura 22. <i>Cámara de trituración.</i> .....	72
Figura 23. <i>Diagrama de operaciones de la cámara de trituración.</i> .....	73
Figura 24. <i>Separador terminado.</i> .....	76
Figura 25. <i>Preparación de cuchillas.</i> .....	78
Figura 26. <i>Torneado.</i> .....	78
Figura 27. <i>Fresado.</i> .....	79
Figura 28. <i>Ensamblaje de cuchillas.</i> .....	80
Figura 29. <i>Diagrama de operación de ensamble final de la maquina rediseñada.</i> .....	80
Figura 30. <i>Recubrimiento de la mesa.</i> .....	85
Figura 31. <i>Acabados estéticos y preparación.</i> .....	86
Figura 32. <i>Arranque directo.</i> .....	87
Figura 33. <i>Sistema eléctrico y automático.</i> .....	88
Figura 34. <i>Parte interna del tablero de control automático.</i> .....	89
Figura 35. <i>Maquina trituradora.</i> .....	90
Figura 36. <i>Guía de clasificación de plásticos.</i> .....	91

Figura 37. <i>Prueba 1- PS y PET</i> .....	94
Figura 38. <i>Prueba 2 EPS</i> . ....	94
Figura 39. <i>Prueba 3 HDPE</i> .....	95
Figura 40. <i>Resultados de rendimiento</i> . ....	96
Figura 41. <i>Capacidad por prueba</i> .....	100

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Firma de validación de experto. ....	117
<b>Anexo B.</b> Método del Delphi.....	118
<b>Anexo C.</b> Confiabilidad del instrumento.....	119
<b>Anexo D.</b> Correlación de variables.....	120
<b>Anexo E.</b> Encuesta.....	121
<b>Anexo F.</b> Proceso de fabricación de la estructura de protección del motor. ....	123
<b>Anexo G.</b> Revestimiento estructural con lámina galvanizada.....	123
<b>Anexo H.</b> Desarrollo estructural de tolva de descarga. ....	124
<b>Anexo I.</b> Mejora del sistema eléctrico y automático. ....	124
<b>Anexo J.</b> Proceso de modificación de cuchillas. ....	125
<b>Anexo K.</b> Proceso de modificación de separadores. ....	125
<b>Anexo L.</b> Acabado final y pruebas de funcionamiento. ....	126
<b>Anexo M.</b> Manual de usuario de la máquina trituradora de plástico.....	126

## LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS

Material de DF2:	Acero aleado.
CAD:	Diseño asistido por computadora.
OD:	Observación directa.
HR:	Hoja de registro.
PET:	Polietileno tereftalato.
HDPE:	Polietileno de alta densidad.
LDPE:	Polietileno de baja densidad.
PP:	Polipropileno.
PS:	Poliestireno.
EPS:	Espuma de polietileno.

# “AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA DE LA UNIDAD DE PRÁCTICA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA, ECUADOR”

**Autores:** Cedeño Guale Kerlly

Rivera Mero Jaime

**Tutor:** Ing. Jaque Puca Darwin Gustavo, M.Sc.

## RESUMEN

En la actualidad a nivel mundial y dentro de la provincia de Santa Elena, la contaminación por residuos plásticos ha alcanzado niveles críticos, lo que representa un grave problema ambiental, es por ello que se vio en la necesidad de automatizar una máquina trituradora para transformar plásticos reciclados y así contribuir con la transformación de estos residuos en placas, columnas y bloques para una vivienda sostenible a base de este material. El objetivo de este proyecto fue el implementar un sistema automatizado en la máquina trituradora para optimizar la eficiencia operativa, para el cual se tuvo la necesidad de hacer un rediseño antes de la automatización, ya que no contaba con la configuración requerida para la trituración. Se utilizó una metodología cuantitativa con un diseño experimental aplicado de alcance descriptivo, en la que se hizo recolección de datos mediante observación directa de la máquina y hoja de registro para documentar los tiempos de trituración. Para la automatización y el rediseño de este prototipo se utilizaron softwares directamente ligados a la necesidad, como lo son: SolidWorks ideal para la modelación y simulación en 3D, AutoCAD necesaria para los diseños previos en planos 2D y 3D y CadeSimu el cual fue crucial para el diseño del sistema eléctrico automatizado de la máquina trituradora. Los resultados de la automatización demuestran que hubo un incremento de 51 % en la productividad con una capacidad de producción de 472 botellas en 1 hora y un tamaño de partícula de 3-6 mm, con un costo total de inversión de \$878.77 con un VAN de \$2,819, TIR del 117.32% y PER del 1 año. Esta automatización demuestra viabilidad financiera considerando que la máquina hasta este punto aún no se encuentra totalmente automatizada, lo que demuestra que su eficiencia aún puede ser muy alta.

**Palabras clave:** *máquina trituradora, reciclaje, rediseño, automatización, reutilización de plásticos, motor, cuchillas.*

# “AUTOMATION OF CRUSHING MACHINE FOR THE INDUSTRIAL ENGINEERING PRACTICE UNIT OF THE PENINSULA DE SANTA ELENA STATE UNIVERSITY, ECUADOR”

**Autor:** Cedeño Guale Kerlly

Rivera Mero Jaime

**Tutor:** Ing. Jaque Puca Darwin, M.Sc.

## ABSTRACT

Currently, globally and within the province of Santa Elena, plastic waste pollution has reached critical levels, representing a serious environmental problem. Therefore, it became necessary to automate a shredding machine to process recycled plastics and thus contribute to the transformation of this waste into slabs, columns, and blocks for sustainable housing based on this material. The objective of this project was to implement an automated system in the shredding machine to optimize operational efficiency. For this purpose, a redesign was necessary before automation, as the machine did not have the required configuration for shredding. A quantitative methodology with an applied experimental design of descriptive scope was used, in which data was collected through direct observation of the machine and a log sheet was used to document shredding times. For the automation and redesign of this prototype, software directly linked to the need were used, such as SolidWorks ideal for 3D modeling and simulation, AutoCAD necessary for preliminary designs in 2D and 3D plans and CadeSimu which was crucial for the design of the automated electrical system of the crushing machine. The results of the automation demonstrate that there was a 51 % increase in productivity with a production capacity of 472 bottles in 1 hour and a particle size of 3-6 mm, with a total investment cost of \$ 878.77 with an NPV of \$ 2,819, IRR of 117.32% and PER of 1 year. This automation demonstrates financial viability considering that the machine up to this point is not yet fully automated, which demonstrates that its efficiency may still be quite high.

**Keywords:** *shredding machine, recycling, redesign, automation, plastic reuse, motor, blades.*

# INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la contaminación por residuos plásticos ha alcanzado niveles críticos. El estudio realizado por Ritchie et al, (2022) indica que desde el año 1950, la demanda de plásticos ha incrementado alrededor de 9.000 millones de toneladas, se estima que un aproximado al 80 % de desechos de este producto termina en tiraderos de basura, océanos o como desecho ambiental.

En Tailandia un estudio científico denominado “Desarrollo de un dispositivo de moldeo por inyección automatizado de bajo costo, para el reciclaje sostenible de plásticos y aplicaciones en la economía circular” se desarrolló una máquina automatizada por moldeo por inyección para el reciclaje de polietileno de alta densidad “HDPE” pese a su bajo costo, construida con materiales reciclados, logrando una desviación de peso mínimo de 4,17 % en las piezas moldeadas, una precisión de hasta 96 % en el control de calidad de las piezas moldeadas y redujo significativamente el desperdicio de material (Sinchai et al., 2024).

Otro estudio en Perú denominado “Reutilización y reciclaje de residuos sólidos en economías emergentes en Latinoamérica: una revisión sistemática”, se concluyó que solo el 4.6 % de los estudios revisados en Latinoamérica sobre reciclaje cumplen estándares metodológicos sólidos, lo que refleja una débil consolidación técnica del reciclaje en la región; se evidenció que el 75 % de las investigaciones son cualitativas y solo un estudio (8 %) fue mixto, lo que indica una falta de datos medibles sobre impacto técnico de soluciones como automatización (Palomino, 2022).

En Ecuador, un estudio en el cual, el prototipo de una máquina trituradora y granuladora logró cizallar botellas PET en un tiempo promedio de 14.6 segundos/unidad, permitiendo una producción estimada de 5,918 botellas en 24 horas. Se proyecta a escala anual, esto representa aproximadamente 19 toneladas de hojuelas plásticas recicladas. Además, la inversión del diseño y construcción del equipo puede recuperarse en un periodo de 11 meses, con un ahorro mensual estimado de \$350 en mano de obra. El consumo energético mensual es de 328.24 kwh, equivalente a \$26.59 de costo eléctrico en Quito, sin incluir impuestos (Taco et al., 2021).

En su investigación realizada en Santa Elena por (Soriano et al., 2024), titulada “Diseño de un prototipo de materiales plásticos”, demuestra que los resultados obtenidos en la creación de la

máquina trituradora tienen una capacidad de producción de 6 botellas por minuto, teniendo una eficiencia entre un 33 % y 38 % dando un particulado de 4-7 mm, de tal forma que los costos de elaboración del equipo fue de \$1.849,73, teniendo como indicadores financieros los siguientes VAN de \$1.628,53, TIR del 116% y PR de 5 meses con 16 días, por el contrario, la construcción de la máquina no fue rentable debido a la inadecuada configuración de las cuchillas.

El presente trabajo investigativo desarrollado en la unidad de prácticas de ingeniería industrial busca promover la educación, el desarrollo de soluciones tecnológicas locales y la creatividad centrándose en la mejora de la eficiencia de los procesos de reutilización de plásticos en el país, así mismo enfocándose en el diseño e implementación de un sistema automatizado para la máquina trituradora de material HDPE y PET con el objetivo de optimizar el proceso de reciclaje.

El sistema automatizado estará compuesto por un motor trifásico, configurado a monofásico 220 v, que permitirá el arranque directo de la máquina, adaptado a un sistema eléctrico de control lógico gestionando de manera eficiente su funcionamiento, facilitando la operación en entornos de trabajo intensivos, mejorando su alta exigencia en trabajos de trituración. Se integra un sistema de paro automático, alineados a una operación continua, segura y eficiente, cumpliendo con principios de sostenibilidad y economía circular.

Asimismo, se ejecutó la rectificación de las superficies de corte, aumentando el número de cuchillas y una nueva perforación para el eje con un diámetro de 1 ¼ de pulgadas, debido a la inestabilidad de corte entre las cuchillas anteriores que solo conseguían deformar el material, además, se efectuó un pulido para eliminar la rebaba y porosidad, lo que aumentara la eficiencia de corte como la vida útil del sistema.

El problema general se formuló con la siguiente interrogante: ¿Cómo incide la automatización de la máquina trituradora en la mejora del proceso de trituración de plásticos reciclados y eficiencia operativa en la unidad de práctica de la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador?

## **Justificación de la Investigación**

La justificación de la investigación se realizó basándonos en cuatro aspectos: primero tiene **justificación teórica**, porque se encuentra justificada teóricamente en la teoría de sistema de control automático, teoría de la mecatrónica, teoría de la economía circular, teoría de la eficiencia operacional, teoría de diseño experimental. Segundo tiene **justificación práctica** porque contribuye a solucionar un problema relacionado con la automatización de la máquina trituradora, permitirá reducir los tiempos de operación, minimizar errores humanos y obtener virutas de plásticos con mayor uniformidad. Tercero tiene **justificación metodológica** porque el proyecto emplea un enfoque cuantitativo con diseño experimental aplicado, sustentado en la medición de variables operativas antes y después de la automatización. Se utilizarán instrumentos de recolección de datos como matrices de observación, cronometraje, sensores, y simulaciones mediante el software CAD/SolidWorks y automatización eléctrica, lo que garantiza un proceso riguroso, replicable y verificable. Cuarto tiene **justificación social**, esta propuesta promueve la formación de estudiantes con competencias en automatización industrial y sostenibilidad, fortaleciendo la vinculación entre la universidad y los retos ambientales del entorno.

### **Objetivo general.**

Automatizar la máquina trituradora para la optimización de la eficiencia operativa, instalada en la unidad de práctica de ingeniería industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.

### **Objetivos Específicos**

**OE1.** Diseñar un sistema de automatización eléctrica y de control para la operación eficiente y segura de la máquina trituradora; mediante los fundamentos teóricos que respalden el automatismo, aplicando el método marco SALSA a través de la literatura científica.

**OE2.** Evaluar el impacto de la automatización en la calidad del triturado, considerando el tamaño y uniformidad de las partículas plásticas obtenidas, mediante metodologías, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

**OE3.** Analizar la eficiencia del sistema automatizado, midiendo variables como tiempos de procesamiento, reducción de fallas en el equipo y análisis del tamaño de las partículas de plástico triturado.

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1. Antecedentes investigativos.**

En los últimos años, diversas investigaciones han demostrado los beneficios de automatizar procesos industriales para mejorar la eficiencia operativa, reducir errores humanos y garantizar condiciones seguras en el entorno de trabajo. Además, el diseño e implementación de máquinas innovadoras para el manejo de residuos han demostrado ser una solución efectiva para diversos problemas ambientales.

Por esta razón en Egipto, el artículo titulado “Desarrollo y evaluación de una máquina de doble propósito para picar y triturar cultivos forrajeros”, tuvo como objetivo la automatización para resolver problemas de eficiencias en máquinas manuales para cortar y triturar operaciones, los resultados obtenidos fue una mayor eficiencia de 94.17 y 92.85 %, obteniendo un rompimiento de 1800 revoluciones por minuto (rpm), una velocidad rotacional de 22.7% para el helicóptero y la trituradora, además de un diámetro matriz de orificio del tamiz de 10 mm (Ghobashy et al., 2023). Estos hallazgos resaltan la importancia de automatizar los sistemas de trituración, debido a que contribuye significativamente a la mejora eficiente del proceso, optimizando el consumo energético y reducción de costos operativos, partiendo de elementos claves para el desarrollo de proceso sostenibles y amigables con el medioambiente (Ghobashy et al., 2023).

En Colombia, se diseñó y ejecutó una maquina trituradora de PET para la construcción de bloques y creación de viviendas que permiten albergar animales (Pérez et al., 2023), esto permite minimizar residuos plásticos en un 80 %, se optimizó el proceso de recolección y clasificación PET como materia prima y promoviendo una cultura de reciclaje mediante la demostración práctica del uso del equipo.

Cabe mencionar en Ecuador, una investigación denominada “Automatización e integración de una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial” se identificó que el

13 % del total de residuos sólidos generados eran botellas plásticas PET, la falta de sensibilización y de equipos técnicos impedía avanzar en una gestión sostenible de residuos reciclables dentro del entorno académico. Se diseñó y construyó una máquina trituradora de botellas PET con las siguientes características técnicas: potencia del motor: 1.5 HP, velocidad de operación: 1740 rpm, capacidad estimada: 10.8 kg/hora, reducción volumétrica del material: hasta un 80 %. Se logró reducir el volumen de las botellas PET en un 80 %, optimizando el almacenamiento y facilitando su recolección, se fomentó una cultura de reciclaje entre estudiantes y docentes (Sumba et al., 2023). Esta investigación determina a la automatización en una máquina trituradora, contribuye a prácticas sostenibles y al desarrollo de técnicas en el área de diseño mecánico.

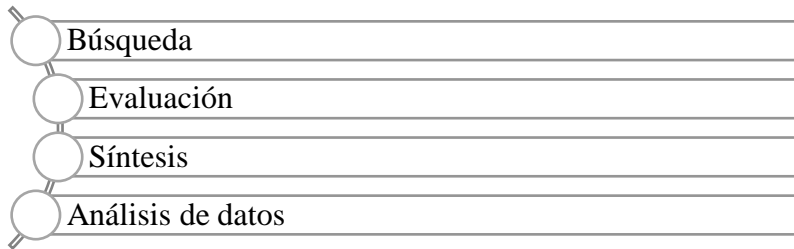
Bajo estos fundamentos, es necesario emplear nuevos diseños orientados a mitigar las necesidades locales, englobadas en una alta generación de residuos y una infraestructura inapropiada para su idónea gestión y reciclaje de desechos plásticos, empleando el uso de SolidWorks, se simularán las propiedades, estructuras y componentes adversos a la creación de este prototipo de máquina trituradora de materiales PET.

## **1.2. Estado del arte.**

La revisión sistemática de la literatura es un ente beneficioso al reducir información en investigaciones debido a su alta complejidad y rugosidad de los documentos establecidos a la hora de ejecutar una investigación idónea, es por esta razón que se utilizó el método marco SALSA que consiste reducir la información existente entre dos variables de estudio, empleando operadores boléanos, criterios de inclusión y exclusión para mitigar toda clase de libros, informes y tesis que no son adecuados para aludir un estudio de calidad, ya que proporciona una visión general de las metodologías existentes como guía detallada para llevar a cabo un análisis exhaustivo de forma minuciosa (Codina et al., 2023). A continuación, se detalla mediante la figura 1 las directrices a seguir para tener un estudio a cabalidad en nuestra investigación.

### **Figura 1.**

*Línea de acción metodológica (SALSA).*



*Nota.* Elaborado por los autores basados en Marín Ube et al. (2025).

### **Búsqueda.**

Este punto se centra en la recolección de información significativa, para ello, es indispensable analizar datos sobre automatización de maquinarias y mejoras de procesos, utilizando motores de búsqueda como herramienta principal, planteando preguntas de investigación claras y directas. Asimismo, es importante definir el alcance de la exploración, ya sea especificando el tipo de información requerida o el periodo de tiempo a considerar, como se puede apreciar en la tabla 1 la formulación de preguntas y objetivos de estas.

#### **Tabla 1.**

*Formulación de preguntas basadas en las variables de estudio*

Preguntas
PI 1 ¿Cuáles fueron los enfoques de investigación empleados en el estudio?
PI 2 ¿Qué métodos y técnicas se aplicaron para la obtención y procesamiento de datos en la investigación?
PI 3 ¿Qué recursos metodológicos se ejecutaron para llevar a cabo la recopilación de información?

*Nota.* Elaborado por los autores.

### **Evaluación.**

Como se muestra en la tabla 2 palabras claves, criterios de inclusión y exclusión, durante esta etapa asegura que la información utilizada en la investigación sea precisa y relevante, ayudando a delimitar el estudio con la ayuda de operadores boléanos como son “or” y “and” por medio de estos la búsqueda solo se centrara dentro de un periodo de cinco años para la investigación refutando aquellos documentos que no consten de la información requerida.

#### **Tabla 2.**

*Palabras claves, criterios de inclusión y exclusión.*

PALABRAS CLAVES, CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN
---

<b>Palabras claves:</b>	“Recycled materials AND design of crusher machine”. “Design of crusher machine AND reuse of plastics”. “Plastic recycling AND crusher machine” "Design of crusher machine OR reuse of plastics ".
<b>Criterio de inclusión:</b>	Artículos científicos, revistas nacionales e internacionales
<b>Criterio de exclusión:</b>	Libros, tesis, documentos duplicados y proyectos.
<b>Periodo de investigación:</b>	A partir del año 2020 a 2025.
<b>Idioma:</b>	Español- Inglés.

*Nota.* Elaborado por los autores.

### Síntesis.

#### Tabla 3.

*Porcentaje de aportaciones al estudio de fuentes de investigación.*

MOTORES DE BÚSQUEDA	N.º DE ARTÍCULOS	% DE APORTACIÓN
Scopus	225	61.65%
Web Of Science	85	23.28%
Heliyon	30	8.22%
Pubmed	25	6.85%
<b>TOTAL</b>	<b>365</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

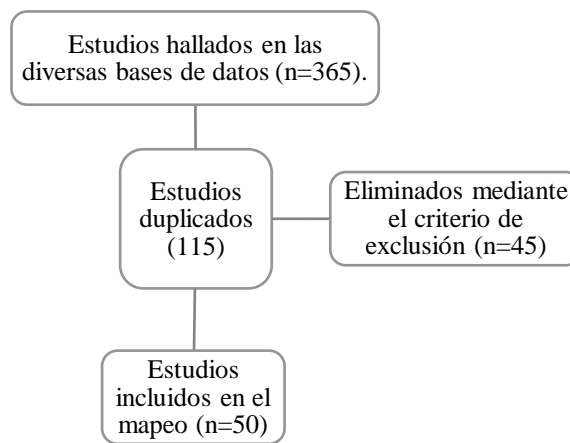
Se evidencia dentro de la tabla 3 que la fuente de búsqueda científica de Scopus lidera este apartado por contribuir con una notable serie de artículos relacionados con el estudio teniendo un total de 365 documentos abarcando un (61.65 %), posteriormente seguido de la base de datos Web of Science con un índice de 85 menciones beneficiando al investigador con un (23.28 %). Para la recolección de información pertinente a técnicas e instrumentos de investigación los motores de

búsquedas Heliyon y Pubmed contribuyeron con un 8.22 % y 6.85 % durante el proceso de selección de información para el estudio ejecutado.

A continuación, se presenta mediante la figura 2, el diagrama de bloque de los documentos encontrados durante el proceso de selección de artículos relacionados a las variables de estudio, donde se hallaron en tres bases de datos diferentes el total de 365 documentos, que a su vez fueron 45 excluidos los que no tenían relación al tema, también se encontraron estudios duplicados en un total de 115, posteriormente se ejecutó la implementación de 50 artículos seleccionados, los cuales son permitieron encontrar el enfoque de investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos facilitando la veracidad de los resultados incluidos durante el método marco SALSA.

**Figura 2.**

*Diagrama de bloques de artículos incluidos y excluidos.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Análisis de datos.**

Una vez seleccionados los artículos más representativos dentro de las fuentes mencionadas, se creó una visualización que brindaba detalles sobre las metodologías, herramientas, técnicas e instrumentos que permitieron entender mejor todas las variables involucradas en el estudio y responder a todas aquellas preguntas planteadas en la investigación en la tabla 1.

La tabla 4 muestra los enfoques de investigación utilizados por los diversos autores donde predominan los cuantitativos con 32 documentos aportando el 64 %, seguido de los cualitativos

con un 30 % (15 artículos), y finalmente tenemos como menos usados los mixtos que van desde la perspectiva cuantitativa y cualitativa con 3 archivos abarcando un 6 % a la investigación relacionada a la creación de una máquina de trituración de materiales plásticos.

**Tabla 4.**

*Enfoque de investigación.*

<b>Enfoques</b>	<b>Artículos incluidos</b>	<b>% de utilización</b>
Cuantitativo	32	64 %
Cualitativo	15	30 %
Mixto	3	6 %
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

Según la tabla 5, la mayoría de los estudios emplea un método deductivo aportando a la investigación con 36 artículos teniendo un porcentaje de utilización del 82 %, mientras que, solo un 18 % (ocho estudios) utiliza un método inductivo. Por lo tanto, se observa una clara preferencia por investigaciones que parten de una teoría o hipótesis preestablecida para su posterior verificación con datos, en lugar de, construir teorías a partir de la observación directa de los datos.

**Tabla 5.**

*Método de investigación.*

<b>Métodos</b>	<b>Artículos incluidos</b>	<b>% de utilización</b>
Deductivo	36	82 %
Inductivo	8	18 %
<b>TOTAL</b>	<b>44</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

Mediante la tabla 6, se detalla las técnicas empleadas por los investigadores donde como predominante tenemos la simulación de elementos discretos con 5 menciones con un 50 %, a su vez también tiene la misma relevancia la ingeniería de métodos con 4 artículos aportando con 40 %, y en última instancia tenemos la categoría "otras" que abarca técnicas menos frecuentes, acumulando un solo artículo y, por ende, un 10 % de utilización. Finalmente, el conjunto de artículos analizados asciende a diez, constituyendo el 100 % de la muestra.

**Tabla 6.***Técnicas aplicadas dentro de las investigaciones.*

<b>Técnicas</b>	<b>Artículos incluidos</b>	<b>% de utilización</b>
Simulación de elementos discretos	5	50%
Ingeniería de métodos	4	40%
Otras	1	10%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

En la tabla 7 se visualizan los instrumentos utilizados para la recopilación de información en la cual destaca la hoja de registro con 20 menciones teniendo un aporte del 44 %, por otro lado, está la observación directa que alude 14 documentos enfatizando un 30 % de aporte, seguida de la encuesta con 8 artículos (18 %), en última instancia está la entrevista con 4 menciones teniendo un aporte del 8 % a la investigación.

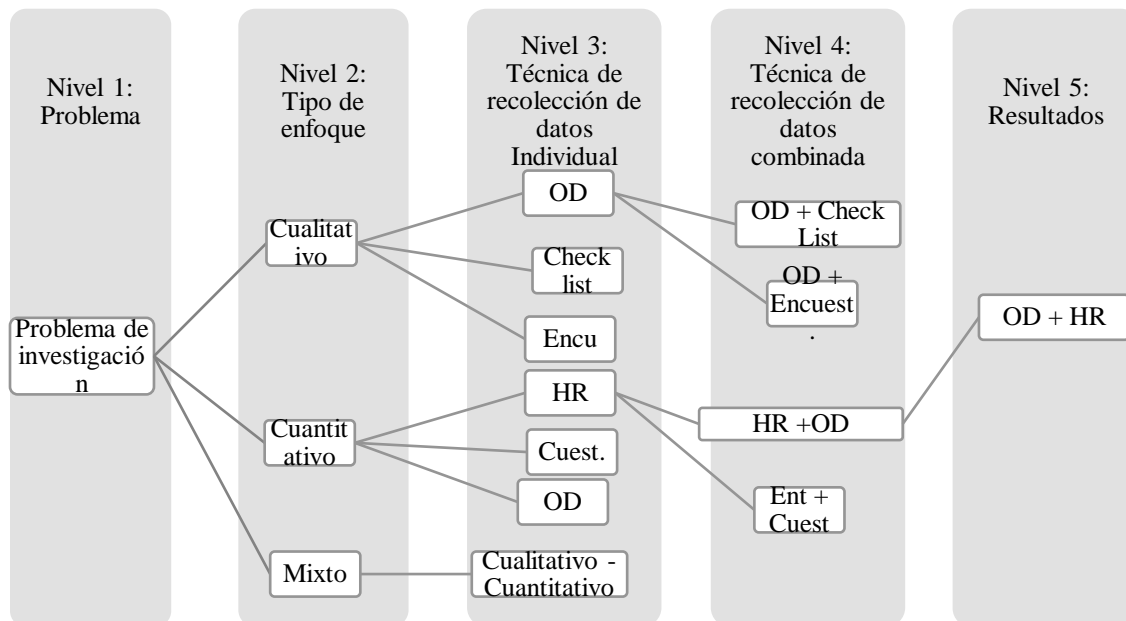
**Tabla 7.***Instrumentos de recolección de datos.*

<b>Instrumentos</b>	<b>Artículos incluidos</b>	<b>% de utilización</b>
Hoja de registro	20	44 %
Observación directa	14	30 %
Encuesta	8	18 %
Entrevista	4	8 %
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.**Esquematización de protocolo de investigación.**

La esquematización de protocolo representa un factor esencial para comprender y aplicar de forma estructurada las técnicas utilizadas que se considera como un paso beneficioso y completo, tal como se muestra en la figura 3.

**Figura 3.***Esquema de protocolo de investigación.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

La figura 3 muestra cinco niveles categorizados cada uno por vías interconectadas, donde el primer cuadro muestra la problemática de investigación, el siguiente abarca el tipo de enfoque que sigue cada uno de los investigadores, el tercer nivel hace referencia a las técnicas de recopilación de información, en el cuarto nivel tenemos la combinación de las técnicas de recolección de datos que son cuatro, finalmente en el último nivel se presenta la solución donde se empleara la observación directa, hoja de registro con un enfoque de investigación cuantitativo, seguido de un método deductivo, los cuales darán un mejor entendimiento de los recursos utilizados en la presente investigación.

### **Discusión.**

Es crucial comprender que el estado se basa por principios fundamentales como la coherencia, fidelidad, integración y comprensión, garantizando así la solidez de la investigación, actuando como el soporte sobre el cual se construye el conocimiento, por ende, el investigador debe enfocarse a la recopilación de documentos y artículos relevantes, lo cual otorgará la validación necesaria para el tema de estudio.

De la misma manera, se ejecutó una revisión sistemática de la literatura como herramienta metodología eficaz para medir el impacto de datos científicos relacionados con las variables de

estudio, para ello se incursionó la búsqueda de artículos científicos en tres motores de búsqueda que fueron Scopus, Web of Science, Heliyon y Pubmed, para la evaluación pertinente de información relevante. Asimismo, se aplicó el método marco SALSA para reducir la información encontrada durante la búsqueda de los documentos detallados y confiable para llevar a cabo el análisis exhaustivo del paradigma de investigación.

En la fase de análisis de datos, se ejecutó una minuciosa revisión de los artículos escogidos, donde se clasificaron por categoría según el método, enfoque, técnica e instrumentos de colección de datos. Posteriormente, se aplicó el proceso de filtración que permitió reducir los documentos encontrados en múltiples herramientas de búsqueda que inicialmente constituían por 365 artículos, donde se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, reduciendo esta cantidad a solo 50.

### **1.3.Fundamentos teóricos.**

#### **Teorías, enfoques o modelos de la variable independiente**

**La teoría de automatización industrial** de Groover y Nof, quienes propusieron la automatización, busca reducir la intervención humana en procesos mecánicos mediante el uso de controladores, sensores y actuadores, se centra en aumentar la eficiencia, seguridad, y repetitividad de tareas industriales y reduciendo errores humanos (López et al., 2021).

**Teoría de control de proceso** de Ogata y Dorf, esta teoría estudia cómo diseñar sistemas capaces de mantener variables controladas dentro de rangos deseados, mediante controladores PID, PLC, etc., (Roca, 2023). Aplica en la programación de la máquina trituradora para controlar velocidad, carga y parada automática.

**Ingeniería de control y sistemas embebidos** de Bolton y Isermann, que constituyen una disciplina fundamental en la automatización de procesos industriales. Esta teoría se centra en el diseño, análisis y programación de sistemas que integran sensores, actuadores y microcontroladores o controladores lógicos programables (PLC), los cuales permiten controlar, regular y supervisar operaciones mecánicas o electrónicas de manera autónoma y eficiente. Se Justifica en el uso de controladores electrónicos (Arduino o PLC) (Moyón, 2021). Esta intervención tecnológica responde a la necesidad de modernizar equipos educativos y operativos con bajo nivel de automatización.

**Dimensión 1:** un sistema de control automático es un conjunto de dispositivos interconectados que regulan el comportamiento de una máquina o proceso sin intervención humana directa, basándose en la lectura de variables de entrada, el procesamiento de decisiones y la ejecución de acciones mediante actuadores (Portillo, 2022).

**Dimensión 2:** la construcción de una máquina son los procesos empleados de forma sistemática al momento de idear, especificar y planificar los componentes mecánicos, funcionales y estructurales que abarcan el cumplimiento de una actividad determinada, empleando criterios de resistencia, ergonomía, eficiencia y manufactura esbelta. Bajo este contexto de la ingeniería aplicada teniendo un diseño que no se acompleja al modelo geométrico, debido a que integra cálculos de transmisión, esfuerzos y mecanismos de corte, además, de incorporar sistemas eléctricos o de control automatizado.

**Dimensión 3:** en ingeniería industrial, un proceso se define como un conjunto organizado de actividades o tareas interrelacionadas que transforman entradas (materias primas, datos o energía) en salidas (productos o servicios) mediante el uso de recursos técnicos, humanos y tecnológicos. Automatizar el proceso de trituración convierte una actividad manual y desorganizada en un proceso técnico estructurado, que puede ser: medido (kg/h de trituración), controlado (por sensores, PLC y actuadores), evaluado (tiempos muertos, eficiencia energética, seguridad).

**Dimensión 4:** la seguridad industrial es el conjunto de normas, dispositivos, acciones y practicas orientadas a evitar riesgos laborales, proteger la integridad física de los operarios y garantizar condiciones seguras en la utilización de quipos y herramientas. Proyecto de automatización, la incorporación de sensores de parada automática, cubiertas protectoras y señalización visual, haciendo apto para uso educativo e industrial (Diógenes et al., 2021).

**Dimensión 5:** el impacto académico se refiere a la contribución significativa que una investigación, proyecto o innovación genera dentro del entorno educativo, ya sea a través del fortalecimiento del conocimiento, la mejora en la formación de los estudiantes, el desarrollo de competencias técnicas o la replicabilidad del proyecto como recurso didáctico. Automatizar una máquina trituradora puede tener alto impacto académico si se diseña para: ser operada de forma segura por estudiantes (Ricardo et al., 2023). Servir como modelo funcional de sistemas

mecatrónicos. Estar integrada al contenido de asignaturas como automatización, mantenimiento, diseño de máquinas, o ingeniería de métodos.

### **Teorías, enfoques o modelos de la variable dependiente: eficiencia operativa.**

**Teoría de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad:** incrementa la disponibilidad y eficiencia del equipo, se fundamenta en establecer principios para mejorar la disponibilidad, confiabilidad y facilidad de mantenimiento de equipos industriales (Quispe, 2025). Soporta el rediseño técnico para minimizar el desgaste, facilitar el mantenimiento y aumentar la vida útil de la trituradora.

**Teoría de productividad industrial:** Sink y Tuttle en 1989, abarcan la automatización directamente al impacto del tiempo y salida, la teoría de la productividad industrial se examina mediante los insumos utilizados y los productos generadores de un proceso productivo encontrando maximizar los hallazgos con el mínimo uso de recursos ( Soto et al., 2021).

**Enfoque de economía circular:** Kirchherr et al. (2017), EMF (2013). La automatización propuesta contribuye, por tanto, a **cerrar el ciclo del plástico** dentro de una institución educativa, promoviendo un modelo de gestión ambiental replicable, eficiente y alineado con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS 12: producción y consumo responsables)(Vence et al., 2024). Valora el reciclaje eficiente como parte de procesos industriales sostenibles.

**Teoría del rendimiento operacional:** Chambers, Slack y Johnston en 2010. Se centraron en la mejora y análisis de los hallazgos obtenidos durante los procesos claves de productivos, acoplando tres dimensiones esenciales; costos, tiempos y calidad. Este estudio permite diagnosticar el impacto organizacional, la toma de decisiones y el diseño general de la eficiencia del sistema en cambios sobre tiempos, costos y calidad de equipos tecnológicos.

**Dimensión 1:** la productividad se refiere a la relación que existe entre los servicios producidos y los recursos empleados para producir una unidad o pieza, que son mano de obra, energía, materiales y tiempo. Para ingeniería representa un punto clave del desempeño organizacional, operativo y la eficacia del proceso, además, la producción es la relación que abarca la cantidad de servicios y bienes producidos al momento de utilizarlos para producir un producto en específico (Abarca et al., 2021).

**Dimensión 2:** la eficiencia de los procesos se refiere a la capacidad de un sistema productivo o técnico para transformar insumos en resultados con el mínimo consumo de recursos, tiempo, energía o esfuerzo, sin comprometer la calidad del producto o servicio final. Automatizar la máquina trituradora no solo aumenta la productividad, sino que mejora la eficiencia del proceso de trituración, al reducir pérdidas por tiempos muertos, paros por seguridad, y errores humanos (Molina, 2021). Medir esta eficiencia antes y después de la intervención te permitirá validar con datos concretos la mejora técnica implementada.

**Dimensión 3:** el consumo energético en sistemas industriales hace referencia a la cantidad total de energía utilizada por una máquina, proceso o instalación para realizar una actividad específica dentro de un intervalo de tiempo determinado (Ladeuth et al., 2021). La automatización, esta variable, se vuelve aún más importante, ya que al incorporar sistemas de control (PLC, sensores, actuadores), es fundamental optimizar el balance entre automatización y eficiencia energética.

**Dimensión 4:** el mantenimiento de los equipos es el conjunto de procesos o actividades, técnicas, administrativas que siguen el propósito de restaurar un equipo, instalación o sistemas a un ámbito funcional que garantice la confiabilidad, disponibilidad y vida útil (Arroyo, 2022).

**Dimensión 5:** la calidad del producto se refiere al grado en que un bien cumple con los requisitos funcionales, técnicos y de satisfacción del usuario, definidos en normas, especificaciones o expectativas del cliente (Diaz et al., 2021). La calidad del producto se subestima o no se mide objetivamente, a pesar de que es uno de los indicadores clave para validar la efectividad del diseño.

### **Reciclaje de plásticos.**

El reciclaje es la transformación de los residuos a través de distintos procesos, que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos (Pérez et al., 2025).

### **Composición de polímeros o plásticos.**

Para abordar la complejidad del comportamiento de los plásticos, es fundamental describir sus componentes físicos, conformado por moléculas llamadas polímeros, pero el término “plástico” se atribuye a todo material que permita darle forma por medio de moldes o armazones ya preclasificados, de tal manera que su uso ha sido muy recurrido por acoplarse a un grupo de elementos orgánicos sintéticos (Pérez et al., 2025).

### **Ciclo de vida del plástico**

La vida útil de los plásticos empieza con la transformación de materiales mediante diversas etapas o técnicas de conversión industrial, dando como resultado a una desorbitante gama de productos que comúnmente solemos utilizar en la vida diaria (Vlasopoulos et al., 2023). Por otro lado, un aspecto novedoso de esta gama de materiales industriales hace referencia a la gran generación de residuos biodegradables, también al ser subproductos de los procesos de elaboración, suelen desprender características de homogeneidad y limpieza (Valarezo et al., 2022).

### **Tecnologías de reciclado.**

Un adecuado uso de los materiales plásticos es la capacidad de reutilizar los polímeros debido a que actualmente se encuentra limitada a causa del incremento de la calidad que tienen estos productos al instante de volver a su estado original, pasando de ser envases para guardar alimentos y embalajes no pueden ser destruidos por rozones sanitarias. Por tal motivo, se acude a la tecnología que brinda cuatro pasos esenciales para su reciclaje adecuado conocidos como tratamientos primarios y secundarios, terciarios y cuaternarios (Arandes et al. 2004).

### **Tipos de máquinas trituradoras.**

Las trituradoras son máquinas de baja velocidad y alto par motor equipadas con cuchillas en forma de rodillos, están diseñadas para desmenuzar objetos grandes en trozos más pequeños y de forma irregular, los fragmentos resultantes suelen tener un tamaño que oscila entre 20 mm y 200 mm, o pueden variar (Paasovaara et al., 2024). Existen diversos tipos de trituradoras de plástico diseñadas para diferentes necesidades y tipos de materiales, algunas se clasifican por el número de ejes, ideales para materiales voluminosos o resistentes. Otras se distinguen por su velocidad (alta o baja), afectando el tamaño y la uniformidad del material triturado, también hay

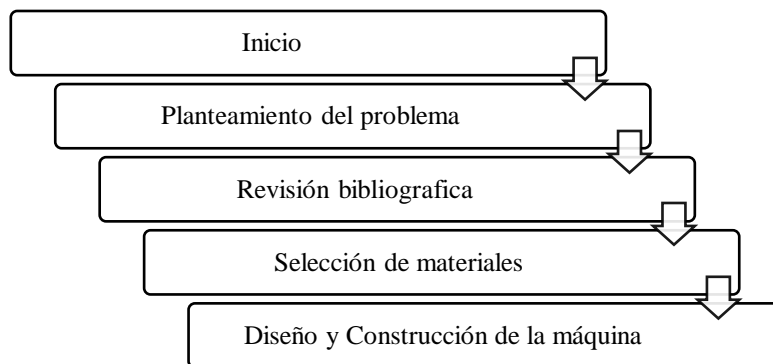
trituradoras específicas para ciertos tipos de plástico como botellas PET, tuberías o películas. La elección depende del tipo y volumen de plástico a procesar, el tamaño de partícula deseado y la eficiencia requerida para las operaciones de reciclaje o reducción de residuos.

### **Etapas del diseño de construcción de una máquina trituradora.**

Para Naranjo et al. (2019) es el proceso de análisis tanto de diseño, como de construcción del desarrollo de la presente máquina, además de detallar un proceso de desarrollo en el que se detalla a continuación, como se aprecia en la figura 4.

#### **Figura 4:**

*Diagrama de flujo de la creación de la máquina trituradora.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

## CAPÍTULO II

### MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Enfoque de la investigación.

Este trabajo investigativo acoge un enfoque cuantitativo considerando a medir y analizar variables específicas relacionadas con la elaboración de una trituradora para el procesamiento de botellas plásticas (Medina et al., 2023). Este enfoque facilita la recolección de información de forma numérica, dado que se aplicará para firmar la eficiencia de la maquina trituradora de materiales.

#### 2.2. Tipo de investigación.

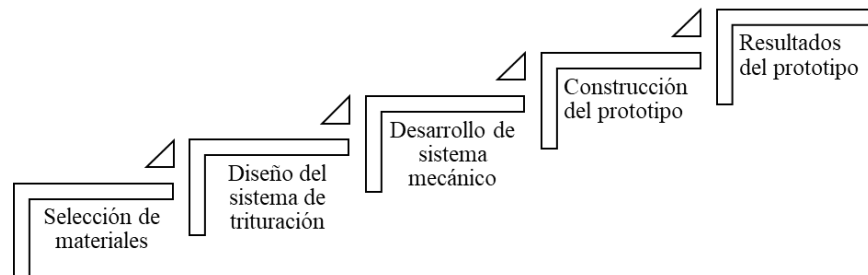
Se empleó la investigación aplicada debido a que se esgrime el conocimiento científico de los paradigmas de indagación de manera concreta para mejorar las situaciones actuales de las variables de estudio empleadas (Medina et al., 2023).

#### 2.3. Diseño de investigación.

El diseño empleado en la investigación es de tipo experimental, dado que se elabora y analiza un prototipo de máquina trituradora de materiales PET. Según Hernández et al. (2018) el aplicar este diseño ayuda al investigador identificar, analizar y resolver el problema planteado. Por ende, se toma como guía en la investigación los pasos ejecutados en su trabajo investigativo de Vargas et al., (2019), donde aplicó los siguientes pasos para crear una máquina de trituración de materiales reciclados, tal como se muestra en la figura 5.

#### Figura 5.

*Etapas del procedimiento metodológico.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

#### Selección de materiales.

Esta etapa principal es fundamental debido a que se eligen de manera deliberada los componentes físicos para la construcción de la máquina trituradora, partiendo de la elección a la resistencia a fuerzas de tracción y compresión, brindando una firmeza al pasar de los periodos a largo plazo.

### **Diseño de sistema de trituración.**

Una vez elegidos los materiales esenciales, la siguiente parte es el diseño detallado de las partes de trituración que están compuestas por cuchillas, ejes, entre otros, este proceso enfatiza la creación de planos técnicamente bosquejados en la herramienta de diseño asistido por computadoras (CAD), donde se detallan todos los componentes que conforman del sistema acoplado en deliberante por partes, mostrando de manera visual la unión de todos los elementos. Asimismo, se comparten las medidas técnicas de cada pieza, como el proceso de corte, mecanizado, ensamble, todos estos procesos son prioritarios para garantizar que la máquina cumpla con las tolerancias y funciones establecidas durante la etapa del diseño.

### **Diseño del sistema mecánico.**

Esta etapa se centró en garantizar el funcionamiento eficiente que permite un procesamiento robusto de componentes móviles y estáticos que interactúan con un eje motriz, cuchillas de acero resistentes al desgaste, tapas protectoras, sistemas de transmisión ideales referenciados al motor elegido. Bajo estos argumentos, se crearon las dimensiones para soportar cargas pesadas, enfatizando la calidad, estabilidad y durabilidad del sistema, considerando la eficiencia de transmisión de potencia, seguridad operativa, de la misma manera se requieren cálculos ligados a la ingeniería de métodos, que son tiempos de procesamientos, diagramas de flujos, de procesos, eléctricos, facilitando las pruebas físicas del montaje de la máquina.

### **Construcción del prototipo.**

Luego de perfeccionar el diseño abarcando el descubrimiento de todas las partes claves de la máquina, comienza la creación física de la misma, de manera que, este proceso conlleva el montaje de los materiales seleccionados, garantizando que cada elemento cumpla con los estándares establecidos en las dimensiones y especificaciones de los planos previamente ejecutados. Una vez acoplada todas las piezas, se lleva a cabo una prueba piloto del prototipo de

la máquina triturado en operación, la cual nos ayudara a evaluar el rendimiento, la eficiencia al momento de triturar los materiales PET, la durabilidad bajo presión y, por último, la seguridad durante su uso en el trabajo.

### **Resultados del prototipo.**

Los resultados alcanzados se documentarán meticulosamente con la finalidad si la máquina cumple con cada uno de los objetivos previsto en la trituración de botellas de plástico y determinar si no es necesario realizar ajustes para su implementación a mayor demanda.

### **2.4.Población y muestra.**

#### **Población**

Se realizó un análisis detallado de los docentes asociados a la unidad de práctica de la carrera de ingeniería industrial, con la finalidad de identificar si es factible construir un prototipo que ayude a reducir el impacto ambiental de materiales plásticos en la UPSE para la facultad de ciencias de la ingeniería, con la finalidad de brindar un mayor apego a las unidades prácticas de los estudiantes de las carreras afines que conforman las ciencias de la ingeniería, como civil, petróleo e industrial.

Como se aprecia en la tabla 8 una distribución eficiente del personal encargado del taller de prácticas que se encuentra en la institución fue fundamental para ejecutar un análisis esencial para que los estudiantes puedan incursionar, en esta etapa si es factible la creación y automatización de una máquina trituradora de materiales PET.

#### **Tabla 8.**

*Población objeto de estudio.*

<b>Personal encargado de la unidad de práctica</b>	<b>N. de personas</b>	<b>% Porcentaje</b>
Taller de ingeniería industrial.	4	44.44%
Taller de automatización.	1	11.11%
Taller de soldadura.	2	22.22
Laboratorio.	2	22.22
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

## Muestra

Es una parte que se escoge para ser estudiada, aplicando el criterio estadístico por conveniencia por el motivo que es la selección de la muestra escogida para ser analizada, de acuerdo con la discreción del investigador. Mediante la tabla 9 se presenta los ingenieros que son considerados por criterios de inclusión y exclusión por la falta de tiempo que poseen los docentes.

**Tabla 9.**

*Muestra por conveniencia.*

Delegados del taller	N. de personas	Criterio de inclusión	Criterio de exclusión	N. incluida
Ingenieros	9	Ingenieros que sepan de diseño mecánico	No podían dar información porque no contaban con el tiempo necesario.	5

*Nota.* Elaborado por los autores.

## 2.5.Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

### Método de recolección de datos.

El método empleado en esta investigación es el deductivo, que según Palmero et al. (2020), describe que se parte de lo integral a lo explico y reside al explotar un marco teórico o conceptual con la finalidad de formular una hipótesis, se acogen datos para corroborar la credibilidad del proyecto o negación. Una vez elegido el diseño de investigación, métodos, técnicas e instrumentos adecuados para nuestra pregunta planteada que concierne lo siguiente: ¿Qué impacto tendrá la automatización de una máquina trituradora en la eficiencia operativa y el aprendizaje práctico en la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador?, por consiguiente, se da paso a la siguiente etapa que consiste en la recolección de datos pertinentes para el caso de estudio que implica la elaboración de un plan detallado de procedimientos que permitirán adjuntar esta información como se puede apreciar en la figura 6.

## Figura 6.

*Plan de recolección de datos.*

¿Cuáles son las fuentes de las que se obtendrán los datos?

- Encargados del taller de la carrera de Ingeniería Industrial

¿En dónde se localizan tales fuentes?

- En la UPSE

¿A través de qué método vamos a recopilar los datos?

- Observación directa, encuesta y hoja de registro

¿Mediante qué técnica se analizarán los datos?

- Método de Delphi

*Nota.* Elaborado por los autores.

### **Técnica de recopilación de información.**

Con base en el estado del arte del capítulo I se utilizará la mezcla mencionada para obtener una visión general de la investigación y así comprender de una perspectiva beneficiosa los resultados.

La observación directa se empleó como una de las formas más sistematizada y lógica para el registro visual, validando lo que se pretende conocer; es decir, captar de manera objetiva, lo que ocurre en el mundo, debido a que, se involucra la organización, procedimientos y coherencia de las variables investigativas durante la creación de la máquina trituradora de materiales PET en la unidad de práctica de la carrera de ingeniería industrial de la UPSE.

Por otro lado, la encuesta se aplicó a los encargados de la unidad de práctica, quienes son los que saben si la automatización de la máquina trituradora de plásticos mejorara la eficiencia del proceso productivo a la hora de reducir el material PET en partículas más pequeñas, también se seleccionó a ellos que poseen el conocimiento técnico y práctico necesario para evaluar su funcionamiento.

### **Instrumentos para la recolección de datos.**

**Cuestionario:** con la finalidad de recolectar datos precisos, se estableció la utilización del cuestionario que se conforma de 10 preguntas cerradas dirigidas a la variable independiente (automatización de máquina triturado), conjunto a 10 preguntas que conmemoran a la variable dependiente (mejora de rendimiento funcional), finalmente, los datos recogidos se ingresarán en el software IBM SPSS STATISTICS 25 para su respectivo análisis.

**Guía de observación:** se aplicó este instrumento debido a que se evidenció de manera visual como se encontraba inicialmente construida la máquina trituradora. Este proceso permite la per-sección sistemática de los datos relevantes del rendimiento, bajo condiciones de análisis posteriormente claros y precisos (Gavidia et al., 2022).

## **2.6. Validez y confiabilidad del instrumento.**

Para el diagnóstico de datos se empleó la técnica de Delphi como resalta Cañizares et al., (2022), es utilizada al momento de recopilar información de manera sistemática las opiniones de los expertos en relación con el paradigma de estudio, a su vez nos ayuda a procesar los datos mediante herramientas analíticas y de forma estadística para llegar a un consenso globalizado del grupo validador del instrumento. A continuación, se detalla en la gráfica 7 los pasos que seguirán para afirmar la averiguación.

**Fase preliminar:** en esta etapa inicial se definió el grupo de coordinadores, que asumió el compromiso de delimitar el tema de estudio, concibiendo inicialmente el problema de investigación; seleccionar al grupo de expertos, consiguiendo su compromiso de colaboración al momento de interpretar los resultados parciales y finales de la investigación, supervisando la puesta en marcha definitiva del estudio, ejecutando ajustes y correcciones de los instrumentos.

**Fase exploratoria:** posteriormente, se somete a una segunda ronda de revisión por el cual se realiza un análisis estadístico mediante la recopilación de las respuestas del instrumento de validación que constará con una escala de Likert de 5 categorías. Por último, se presenta una última ronda con todos los validadores que consiste en la revisión del cuestionario ya acoplado al criterio de valoración por ponderaciones unificadas desde el punto de vista de cada uno de manera cuantitativo.

**Fase final:** se sintetizan los resultados de todo el proceso de validación durante la consulta iterativa a los expertos con la versión del cuestionario definitivo para su posterior aplicación en el proceso de recolección de datos o información pertinente al paradigma investigativo.

**Figura 7.**

*Procedimiento de método de Delphi.*



*Nota.* Elaborado por los autores basándonos en Cañizares et al., (2022).

**2.7.Confiabilidad y validez de los instrumentos.**

**Validez.**

Para decretar el vigor del instrumento se esgrimió la técnica de Delphi, el mismo que consintió adquirir un consenso por los expertos mediante las etapas descritas en el capítulo II (sección 2.5.4), a su vez, damos paso a la fase preliminar, donde se presentarán los expertos que participaron en el proceso de validación.

**Fase preliminar.**

Como primera instancia de esta fase del método Delphi, se procede a la selección de los expertos abarcando criterios específicos que garanticen su apropiada participación en el proceso de validación del instrumento. A continuación, se presentan los criterios establecidos:

- ✓ Experiencia mínima de 10 a 40 años en la construcción de máquinas y prototipos.
- ✓ Disposición de participación.
- ✓ Capacidad de aportar juicios de mejora.

Bajo este contexto, se optó por un grupo de cinco profesionales en el tema, los cuales, con su sapiencia y perfiles, cumplían con los estándares y criterios antes mencionados.

**Tabla 10.**

*Datos de grupo de expertos para validación.*

N.º	Expertos	Años de experiencia
1	Experto 1.	13 años.
2	Experto 2.	30+ años.
3	Experto 3.	20 años.
4	Experto 4.	20+ años.
5	Experto 5.	22 años .

*Nota.* Elaborado por los autores.

En la tabla 10, se describen los datos de los expertos que colaboraron en el proceso de revisión del cuestionario (anexo A). Posteriormente, se construye el formato de calificación para que los validadores ubiquen las respectivas puntuaciones de cada uno de los ítems propuestos con base en la matriz de operacionalización de variables en el capítulo II de la sección 2.5.

**Fase exploratoria.**

Partiendo de un borrador inicial con los ítems del cuestionario, se procede al acercamiento con los expertos, cuya finalidad es que proporcionen su juicio mediante una calificación con la escala de Likert, previo a ello los resultados obtenidos se describen en la tabla 11, donde se calcula la confiabilidad del contenido de cada reactivo (CRV) y, finalmente, la validez integral de la información.

Los resultados obtenidos por medio del grupo de expertos donde hicieron observaciones para realizar permutaciones a los ítems 2, 6, 16 y 19 por su baja puntuación de 0.65, 0.60, 0.65 y 0.60, respectivamente. Dado una explicación verbal se logra entender que, los cambios previstos son por no tener relación con las variables de investigación y la utilización de términos necesarios que podrán causar descontentos. Una vez finalizada la revisión del instrumento, se ejecutó los ajustes adecuados a cada pregunta y así definir el formato para una segunda ronda de evaluación.

**Segunda ronda.**

Haciendo énfasis en las permutaciones empleadas por los validadores en la primera ronda, se construyó el formato de análisis del instrumento y posteriormente se acudió a los expertos para la respectiva aprobación en los cambios realizados al cuestionario. Este instrumento permitió establecer una base sólida y clara evaluando la coherencia y pertinencia de los ítems, a su vez, estas modificaciones resultaron claves para identificar las mejoras de los indicadores, afinando los criterios y establecer la consistencia del instrumento evaluativo.

Durante la segunda ronda de preguntas revisadas la mayoría de los validadores mencionaron que el documento ya no necesita más cambios dado que las preguntas estaban enfatizadas a las variables de estudio, por esta razón, los ítems arrojan en primera instancia un porcentaje bajo con las correcciones hechas estos tuvieron un realce del CRV de 0.60 al 0.95 y de CVI de 0.89 concluyendo con la existencia de nivel propicio de consenso, por ende, con los resultados se pasa al último paso del método Delphi.

### **Fase final.**

**Tabla 11.**

*Resumen de las rondas de preguntas.*

<b>Experto</b>	<b>Ronda I</b>	<b>Ronda II</b>
1	X	
2	X	
3		X
4	X	
5		X

*Nota.* Elaborado por los autores.

La tabla 11, demuestra los resultados adquiridos durante la primera ronda de validación del instrumento, en esta etapa 3 expertos aprobaron el cuestionario sin realizar observaciones adicionales manifestando acuerdo. Asimismo 2 expertos presentaron sugerencias orientadas a aspectos relacionados con la estructuración de los ítems.

A partir de este análisis, se realizaron adaptaciones pertinentes, lo que contribuyó a reforzar la estructura del cuestionario y mejorar su entendimiento, como resultado, se obtuvo la validación formal del instrumento, quedando acto para su aplicación en la recolección de datos (anexo B).

### **Fiabilidad alfa de Cronbach.**

El alfa de Cronbach se calculó a través del software Excel, teniendo un análisis estadístico esencial para medir la consistencia que existe de los datos, asegurando la fiabilidad y confianza de las mediciones y respaldando las conclusiones del estudio. Se empleó una encuesta para recolectar datos a los cinco ingenieros especializados en el área de mecánica, electricidad, calidad y encargados del taller de práctica de ingeniería industrial, permitiendo evaluar la precisión del instrumento.

**Tabla 12.**  
*Coficiente.*

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficiente <math>0.8 &lt; k &lt; 0.9</math> es excelente.</li> <li>• Coeficiente <math>0.5 &lt; k &lt; 0.8</math> es aceptable.</li> <li>• Coeficiente <math>k &lt; 0.5</math> es deficiente.</li> </ul>
--

*Nota.* Resultados obtenidos del software Excel.

A continuación, en la tabla 13, se detallan los resultados y análisis requeridos mediante la utilización del software antes mencionado, donde permite medir la fiabilidad de dicho cuestionario, donde se enfatiza el número de personas encuestadas en la unidad de práctica de la carrera de ingeniería industrial de UPSE, en el cual se describen que todos los 5 casos fueron validados y representados en un 100%, es decir ninguna pregunta fue excluida.

**Tabla 13.**  
*Resumen de procesamiento de casos.*

Casos	N		%
	Válido	Excluido	
	5	0	100
			0,0
	Total	5	100

*Nota.* Resultados obtenidos del software Excel.

Los resultados del análisis de confiabilidad se evidencian en la tabla 14, el cual fue realizado en el software Excel, muestran que el grado exhibe una estabilidad interna aceptable, dando como resultado el coeficiente alfa de Cronbach fue de 0.75, lo cual es una puntuación excelente afianzando el instrumento de recolección de datos.

**Tabla 14.**

*Fiabilidad del instrumento.*

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
0,75	20

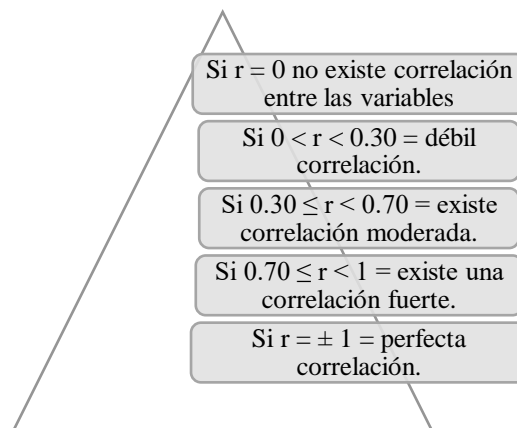
*Nota.* Resultados obtenidos del software Excel.

### Verificación de hipótesis mediante la correlación de Pearson.

Según Santabárbara et al., (2019) enfatiza que el análisis de la varianza es una técnica muy útil para comparar los resultados de múltiples grupos de datos numéricos, incluso se aplica a muestras de menor tamaño. Bajo este contexto, el coeficiente de correlación de Pearson alega que un valor de 1 representa un asentamiento positivo de manera perfecta, mientras que un valor de -1 indica una correlación negativa perfecta. Valores cercanos a cero sugieren una relación débil o inexistente entre las variables. Para un mejor entendimiento en la siguiente figura 8 se muestra la interpretación del coeficiente de correlación de Pearson.

**Figura 8.**

*Interpretación del coeficiente de Pearson.*



*Nota.* Elaborado por el autor basado en (Santabárbara, 2019).

Para tener un análisis detallado se empleó el programa IBM SPSS 25 con la finalidad de verificar las hipótesis planteadas en la ejecución de la correlación de las variables, examinando la relación que existe entre la variable independiente y la dependiente. Asimismo, la tabla 15 presenta los resultados obtenidos que aseguran que existe una correlación fuerte de 0.775 con una significancia bilateral de 0.018, por ende, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la nula.

**Tabla 15.**

*Tabla de correlación de las dos variables.*

<b>Correlaciones</b>			
		VI	VD
VI	Correlación de Pearson.	1	0,775*
	Sig. (bilateral).		0,018
	N.	5	5
VD	Correlación de Pearson.	0,775*	1
	Sig. (bilateral).	0,018	
	N	5	5

La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

*Nota.* Resultado obtenido del software IBM SPSS.

**2.8.Operacionalización de las variables.**

En su investigación Estrada et al. (2023) señalan que para analizar de forma precisa una variable de estudio, es esencial desglosarla en dimensiones, indicadores y criterios cuantificables, por lo cual establecer con claridad que aspectos se evaluarán, y como se medirán, facilitando así una recolección de datos estructurados, de esta forma, se garantiza una mayor validez en los resultados obtenidos. Tal como se puede evidenciar en la tabla 16.

Variable independiente: automatización de la máquina trituradora

Variable dependiente: eficiencia operativa

**Tabla 16.**

*Operacionalización de variables.*

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos	Cuestionario
<b>VI: Automatización de máquina trituradora.</b>	<p>Cuando se habla automatización de una máquina trituradora, se entiende que es implementación de sistemas de control mediante lógica cableada o lógica programada, el cual permite que el funcionamiento sea autónomo, reduciendo la intervención humana y aumentando la eficiencia del proceso de trituración (Zambrano-Roldan et al., 2022).</p>	<p>Para automatizar una máquina trituradora se necesita la integración de varios componentes tales como actuadores, sensores, controladores que regulen variables como cambios de giro, paro automático de la máquina, sistema de seguridad e incluso que regulen la velocidad de trituración y alimentación del material (Ordoñez et al., 2020).</p>	<b>Sistema de control automático:</b>	<b>I1.</b> Pilotos de señal.	<p>Encuesta - Cuestionario</p>	¿La máquina cuenta con dispositivos visuales que indiquen el estado durante su operación?
			<b>I2.</b> Presencia de sensores funcionales.	¿La máquina cuenta con sensores que detecten la falta de material en la cámara de trituración?		
			<b>I3.</b> Funcionamiento del sistema de arranque.	¿La máquina cuenta con un sistema de arranque directo funcional?		
			<b>I4.</b> Disponibilidad de actuadores.	¿La máquina cuenta con actuadores que permitan tener una trituración continua durante la jornada de trabajo?		
			<b>I5.</b> Adecuación del diseño general.	¿Considera usted que la máquina cumple con los requisitos básicos para la trituración del plástico reciclado?		
			<b>I6.</b> Diseño de cuchillas.	¿Considera usted que el diseño de las cuchillas es óptimo para la trituración del plástico reciclado?		
			<b>I7.</b> Precisión del material triturado.	¿Cree usted que el espesor del material triturado que se obtiene en la máquina es la correcta?		
			<b>I8.</b> Capacidad de producción.	¿Cree usted que la capacidad de producción máxima de la máquina es la adecuada?		
			<b>I9.</b> Nivel de exposición del operario.	¿La máquina tiene elementos mecánicos en movimiento sin protección y expuestos que puedan ocasionar accidentes al operario?		
			<b>I10.</b> Disponibilidad de dispositivos	¿La máquina cuenta con dispositivos automáticos que protejan la integridad física del operario durante su funcionamiento?		

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos	
<b>VD: Eficiencia operativa.</b>	Chambers, Slack y Johnston en 2010. Se centraron en la mejora y análisis de los hallazgos obtenidos durante los procesos claves de productivos, acoplando tres dimensiones esenciales; costos, tiempos y calidad. Este estudio permite diagnosticar el impacto organizacional, la toma de decisiones y el diseño general de la eficiencia.	La mejora del rendimiento de la trituradora se visualiza en el incremento de la productividad, eficiencia y seguridad operacional, mediante la adaptación de componente o sistemas automatizados (Ascona-García et al., 2023).	<b>Impacto académico</b>	automáticos de protección. <b>I11.</b> Aporte didáctico de la máquina. <b>I12.</b> Uso académico.	Encuesta - Cuestionario	
			<b>Productividad</b>	<b>I13.</b> Material triturado por jornada de trabajo. <b>I14.</b> Rendimiento de trituración.		¿Cree usted que la máquina aportará para el aprendizaje de los estudiantes como fines didácticos?
			<b>Eficiencia de los procesos.</b>	<b>I15.</b> Operación de la máquina.		¿Estaría de acuerdo que la automatización de la máquina sea parte de proyectos de vinculación, investigación o titulación para el estudiante?
			<b>Consumo energético</b>	<b>I16.</b> Energía consumida por proceso. <b>I17.</b> Uso eficiente de energía.		¿La cantidad de material triturado que se obtiene en la máquina durante la jornada de trabajo es la necesaria? ¿Considera usted que la máquina tritura la cantidad de material esperado en un tiempo razonable?
			<b>Mantenimiento</b>	<b>I18.</b> Frecuencia de mantenimiento.		¿Con qué frecuencia se detiene la máquina por fallas inesperadas?
			<b>Calidad del producto</b>	<b>I19.</b> Costo asociado al mantenimiento. <b>I20.</b> Uniformidad del triturado. <b>I21.</b> Cumplimiento de requisitos.		¿Cree usted que la máquina consume excesiva energía eléctrica durante la trituración? ¿Considera que la máquina usa eficientemente el consumo de energía eléctrica?
					<b>Cuestionario</b>	

Nota. Elaborado por los autores.

## 2.9. Plan de análisis e interpretación de resultados.

Se ha establecido un plan detallado donde se especifican los procedimientos e instrumentos que se utilizaron para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados para la presente investigación. Para el primer objetivo, se realizó una revisión de la literatura mediante el método marco SALSA, permitiendo la construcción de la matriz referencial o cruzada con los artículos previamente elegidos según las variables de estudio como lo son: automatización de máquina trituradora y eficiencia operativa.

Por consiguiente, para el segundo objetivo planteado se enfatizó el uso de un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental, correlacional y descriptivo, seguido de los instrumentos y técnicas para la recopilación de datos, los cuales por su mayor predominancia fueron observación directa, encuesta y hoja de registro debidamente validado por el método de Delphi. También se procedió a la recolección de datos mediante el cuestionario, previamente aprobado por el comité de expertos, a su vez la información adquirida de la población encuestada en la unidad de prácticas de la carrera de ingeniería industrial donde fueron analizados con el software IBM SPSS STATICS 25, empleando el coeficiente de alfa de Cronbach para evaluar la consistencia del cuestionario y la viabilidad conjunto a la fiabilidad de los datos.

Finalmente, el último objetivo contempla la creación de una máquina trituradora de PET para la unidad de práctica de ingeniería industrial, para esto, se llevó a cabo cada las etapas concernientes a la construcción, evidenciando que esta cumpla con los estándares óptimos de trituración de plásticos. Bajo este contexto, en la tabla 17 se presenta a detalle el análisis e interpretación de los resultados, el cual organiza de manera escalonada los pasos necesarios para cumplir con cada uno de los objetivos propuestos en la investigación.

**Tabla 17.**

*Plan de recolección de datos.*

N.º	Objetivos Específicos	Procedimiento	Herramientas	Resultados
-----	-----------------------	---------------	--------------	------------

---

1	<p>Diseñar un sistema de automatización eléctrica y de control para la operación eficiente y segura de la máquina trituradora instalada en la unidad de práctica; mediante los fundamentos teóricos que respalden la automatización de la máquina trituradora, aplicando el método marco SALSA a través de la literatura científica.</p> <p>Evaluar el impacto de la automatización en la calidad del triturado, considerando el tamaño y uniformidad de las partículas plásticas obtenidas mediante metodologías, técnicas e instrumentos de recolección de datos.</p>	<p>Revisión de la literatura.</p> <p>Conceptualización de las variables y elementos clave.</p>	<p>1. Método marco SALSA.</p> <p>2. Scopus</p> <p>3. Pubmed</p> <p>4. Web Of Science</p>	<p>Artículos científicos que sustenten la variable dependiente e independiente.</p> <p>Identificación de las metodologías aplicables al estudio.</p> <p>Identificación de los instrumentos y herramientas aplicables al estudio.</p>
2	<p>Plan de recolección de datos.</p> <p>Etapas del procedimiento metodológico.</p>	<p>Hoja de registro.</p> <p>Observación directa.</p> <p>Método de Delphi.</p>	<p>Determinación de la metodología.</p> <p>Identificación del procedimiento metodológico.</p> <p>Identificación de las técnicas para la realización del estudio.</p>	
3	<p>Ejecución de la máquina.</p> <p>Validación del prototipo.</p>	<p>Software SolidWorks.</p> <p>Hojas de cálculos.</p> <p>Herramientas y materiales físicos para la construcción.</p>	<p>Prototipo modelado de la máquina trituradora.</p> <p>Prototipo físico.</p> <p>Pruebas de rendimiento y análisis de resultados de partículas de plásticos.</p>	

---

*Nota.* Elaborado por los autores.

# CAPÍTULO III

## MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Marco de resultados.

Para el desarrollo de la máquina de trituración automatizada, se definió de manera estructurada la metodología a emplearse, la cual está basada en un enfoque cuantitativo con orientación deductiva, aplicando métodos analíticos y descriptivos. Luego de recolectar los datos se consideraron las necesidades y requerimientos funcionales para el sistema automatizado, los cuales por medio de cuestionarios fueron validados por expertos en el área de mecánica, ya que, para llegar a la automatización, se necesitaba plantear un rediseño total en la cámara de trituración.

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad principal automatizar la máquina trituradora de plásticos que fue creada como prototipo, sin embargo, antes de ejecutar el sistema automatizado, es indispensable realizar un diagnóstico técnico para verificar si se encuentra en óptimas condiciones o si requiere rediseños previos.

Para la obtención de un diagnóstico efectivo confiable y claro se lleva a cabo la recopilación de información mediante encuestas divididas en dos etapas; la primera encuesta, formula preguntas para detectar las necesidades, deficiencias y otros puntos que presenta la máquina teniendo como objetivo conocer aspectos que deben ser mejoradas. Una vez determinada las mejoras se diseñó una segunda encuesta con el fin de validar las modificaciones planteadas. Esta etapa busca ser aceptada por los expertos, garantizando cambios que realmente solucionen los problemas detectados y sea óptima para la respectiva automatización. De esta manera, la investigación asegura que la automatización se realice en una base correctamente técnica y segura.

### 3.2 Antecedentes del prototipo base.

#### Figura 9.

*Máquina trituradora actual.*



*Nota.* Elaborado por los autores basándonos en el prototipo original.

Se valoró el funcionamiento de la máquina trituradora construida y utilizada en la unidad de práctica de ingeniería industrial, con el fin de proporcionar material reciclado y triturado a los prototipos del taller, direccionado al proyecto de investigación de la facultad de ciencias de la ingeniería, el cual consta de la construcción de una casa sostenible a partir de materiales reciclados.

El diseño original constaba de una estructura metálica base, un motor reductor de 1 HP a 5 amperios, una botonera de arranque y una cámara de trituración; la operación inicial comenzaba con la conexión de la máquina al sistema eléctrico de 220 voltios, para encenderla, se pulsaba el botón verde del panel lo que accionaba el motor reductor y por ende la cámara de trituración empezaba su funcionamiento, a continuación, se alimentaba de material de forma manual asegurándose de no sobrecargarla, con el fin de evitar atascamientos; para detenerla se pulsaba el botón rojo y paraba la macha, así mismo, contaba con un botón de emergencia, el cual servía en caso de que el operario sufriera algún accidente o si existiera funcionamientos anormales (Soriano et al., 2024).

Si bien el funcionamiento de la trituradora parecía el adecuado, presentó varias limitaciones en sus procesos, así como también en la eficiencia operativa, considerando que la calidad del triturado no era la adecuada y la seguridad del operario estaba en riesgo, primeramente, el sistema de marcha no era funcional ya que la conexión delta se encontraba mal diseñada, lo que provocaba que no exista un enclavamiento al accionar el pulsador; la cámara de trituración no contaba con la configuración adecuada, el cual causaba que el material a triturar se quede atascado; otro de los

problemas, es que la tolva al nivel del operario inducía riesgos para el mismo; los engranes y piñón no se encontraban protegidos adecuadamente, por lo que podría haber ocasionado accidentes al momento de estar cerca.

### **Tabulación y análisis de resultados.**

A continuación, se presenta los datos categóricos de las 21 preguntas, las cuales fueron respondidas por 5 especialistas para indicar si la máquina cuenta con las características evaluadas, seleccionando entre “si” “no” “tal vez”, permitiendo una representación gráfica porcentual y analítica para facilitar la interpretación de los resultados (anexo E).

Mediante la tabla 18, se analizan de manera deliberada las respuestas de los cinco docentes encuestados, donde se evidenció que la máquina presenta fallas en su rendimiento operativo por tener las cuchillas muy separadas, lo que causa una trituración inapropiada, ineficiencia de sistema eléctrico, falta de protección para la seguridad del operario y varios problemas adicionales.

#### **Tabla 18.**

*Resumen de resultados del cuestionario.*

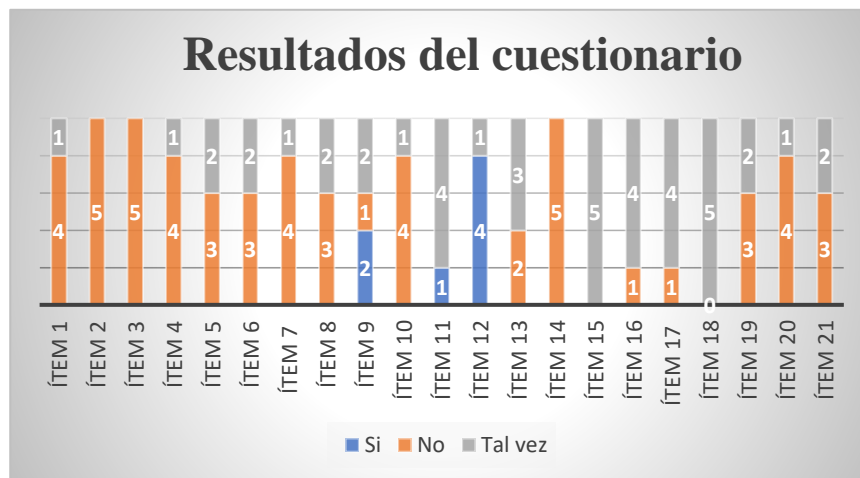
Preguntas	RESPUESTAS			
	Si	No	Tal vez	TOTAL
Ítem 1	-	4	1	5
Ítem 2	-	5	-	5
Ítem 3	-	5	-	5
Ítem 4	-	4	1	5
Ítem 5	-	3	2	5
Ítem 6	-	3	2	5
Ítem 7	-	4	1	5
Ítem 8	-	3	2	5
Ítem 9	2	1	2	5
Ítem 10	-	4	1	5
Ítem 11	1	-	4	5
Ítem 12	4	-	1	5
Ítem 13	-	2	3	5

Ítem 14	-	5	-	5
Ítem 15	-	-	5	5
Ítem 16	-	1	4	5
Ítem 17	-	1	4	5
Ítem 18	-	-	5	5
Ítem 19	-	3	2	5
Ítem 20	-	4	1	5
Ítem 21	-	3	2	5

Nota. Elaborado por los autores.

**Figura 10.**

*Resumen de resultados de encuesta.*




Nota. Elaborado por los autores.

En la tabla 19, se presenta la matriz de resultados resumiendo los datos obtenidos, empleando una visualización coherente y clara, aplicando un análisis de pruebas y descripciones notorias del funcionamiento de esta.

**Tabla 19.**

*Matriz de resultados.*

Indicador	Resultado	Descripción	Imagen
<b>II. Pilotos de señal.</b>	La máquina no cuenta con dispositivos visuales que indiquen su estado durante la operación.	No cumple con la señalización cuando el motor está en marcha.	

<b>12. Presencia de sensores funcionales.</b>	No existe presencia de sensores que detecten la falta de material en la cámara de trituración.	No dispone de sensores que detecten la falta de material.	
<b>13. Funcionamiento del sistema de arranque.</b>	No dispone de un sistema de arranque directo funcional. Este es un indicador crítico, ya que un sistema de arranque directo es esencial para la operatividad y seguridad de la máquina.	No cumple con las condiciones necesarias para el arranque del motor.	
<b>14. Disponibilidad de actuadores.</b>	No cuenta con actuadores adecuados para un funcionamiento continuo, lo cual sugiere que el proceso de trituración se vea interrumpido durante la jornada.	La máquina no cumple con la incorporación de actuadores que permitan el funcionamiento continuo, poseen cables expuestos y montado de forma no técnica.	
<b>15. Adecuación del diseño general.</b>	La máquina no cumple con los requisitos mínimos para procesar plástico reciclado.	La máquina se encuentra en estado deficiente por el incumplimiento de requisitos básicos.	
<b>16. Diseño de cuchillas.</b>	Insatisfacción respecto al diseño de las cuchillas, afectando la eficiencia del corte y la calidad del material obtenido.	Se evidencia desalineamiento y holguras en las cuchillas.	
<b>17. Precisión del material triturado.</b>	El espesor no es el adecuado, lo que afecta directamente en la calidad del producto final y su posterior uso o comercialización.	El espesor del material es incorrecto, ya que algunos fragmentos son triturados y otros se deforman por flexión.	
<b>18. Capacidad de producción.</b>	No alcanza la capacidad esperada, lo que limita su aplicación industrial o incluso académica si se busca reproducir en condiciones reales de trabajo.	Capacidad inadecuada por atasco de material debido al desalineamiento de las cuchillas.	
<b>19. Nivel de exposición del operario.</b>	Las partes expuestas son alarmantes, ya que compromete seriamente la seguridad del operario.	Operario en alto riesgo de accidentes en la zona de alimentación de material, ya que se encuentra cerca al área de corte sin barreras físicas.	

<p><b>I10.</b> Disponibilidad de dispositivos automáticos de protección.</p>	<p>Falta de sistemas de protección automatizada implicando factores de riesgos que deben ser solucionadas antes de continuar con su uso.</p>	<p>No cumple con dispositivos automáticos de protección.</p>	
<p><b>I11.</b> Aporte didáctico de la máquina.</p>	<p>Aunque existe un caso positivo, la mayoría considera que, en su estado actual, la máquina no tiene valor educativo significativo, probablemente por sus múltiples deficiencias.</p>	<p>No contribuye al aprendizaje didáctico por deficiencias significativas en su funcionamiento y fallos operativos.</p>	
<p><b>I12.</b> Uso académico.</p>	<p>Gran interés a usar la máquina como base de proyectos de mejora tecnológica, representa una oportunidad académica valiosa.</p>	<p>No es viable automatizar en el estado actual ya que requiere un rediseño integral en su sistema mecánico y control.</p>	
<p><b>I13.</b> Material triturado por jornada de trabajo.</p>	<p>Percepción negativa respecto a la producción, esto puede reflejar un rendimiento insuficiente.</p>	<p>No cumple con lo necesario por paralización continua.</p>	
<p><b>I14.</b> Rendimiento de trituración.</p>	<p>Rendimiento temporal deficiente, lo que implica mayor necesidad de ajustes técnicos.</p>	<p>No alcanza el rendimiento de trituración por atasco de material en el sistema de corte.</p>	
<p><b>I15.</b> Operación de la máquina.</p>	<p>Frecuentes fallos inesperados, lo que sugiere que la confiabilidad operativa es cuestionable.</p>	<p>Presenta paradas intermitentes cada 3 minutos por desconexión del capacitor del motor debido a las fuertes vibraciones.</p>	
<p><b>I16.</b> Energía consumida por proceso.</p>	<p>Alto consumo energético, lo cual puede afectar la viabilidad económica del uso prolongado del equipo.</p>	<p>No existe luz indicadora de voltaje y amperaje que detecte el consumo de energía durante su operación.</p>	

<b>I17. Uso eficiente de energía.</b>	Uso ineficiente de energía, posibles pérdidas por fricción, diseño ineficiente del motor o componentes mal calibrados.	La información es inexistente.	
<b>I18. Frecuencia de mantenimiento.</b>	Ausencia de registro o monitoreo del desempeño técnico, limitando una adecuada gestión de mantenimiento.	Es recomendable la limpieza después de cada uso y así eliminar residuos plásticos, lubricar e inspeccionar las conexiones eléctricas.	
<b>I19. Costo asociado al mantenimiento.</b>	El costo asociado al mantenimiento no justifica el rendimiento actual, esto sustenta la necesidad de rediseñar y sustituir componentes.	El costo de mantenimiento es elevado debido a que las cuchillas están soldadas junto al eje y cuenta con una configuración inadecuada.	
<b>I20. Uniformidad del triturado.</b>	Inconsistencia en la calidad del producto final, volviéndolo poco útil para procesos posteriores o para comercialización.	No presenta calidad uniforme por deficiencia de las cuchillas.	
<b>I21. Cumplimiento de requisitos.</b>	Los estándares del material deseado no se logran alcanzar, con esto se evidencia que el diseño actual no responde a los requerimientos técnicos esperados.	No cumple con los requisitos solicitados	

*Nota.* Elaborado por los autores.

La tabla 19 demuestra las principales necesidades, deficiencias técnicas y falencias que presenta la máquina trituradora como: ausencia de señalización e indicadora de voltaje y amperaje que detecte el consumo de energía cuando el motor está en marcha, sensores que detecten la falta de material, incumplimiento de condiciones necesarias para el arranque del motor, ausencia de actuadores que permiten el funcionamiento continuo, cables expuestos y montados de forma no técnica. Así mismo, desalineamiento y holguras en las cuchillas, espesor de material incorrecto con fragmentos triturados que no alcanzan el rendimiento de trituración deseado y otros que se deforman por flexión, lo que, a su vez, provoca atascamiento de las cuchillas. Estos atascamientos hacen que se generen paradas intermitentes cada 3 minutos, las vibraciones que generen estos

atascamientos provocan la desconexión de capacitor. Riesgo de accidentes en la zona de alimentación de material, ya que se encuentra cerca al área de corte sin barreras físicas; incumplimiento de dispositivos automáticos de protección ante una falla mecánica o del operador.

El objetivo principal del proyecto es automatizar la máquina trituradora; sin embargo, los resultados obtenidos demuestran que el equipo no se encuentra en condiciones óptimas para proceder a ese paso de forma segura y eficiente. Debido al estado actual, se concluye que es necesario realizar un rediseño integral que aborde aspecto como la estructura mecánica, incorporación de componentes de control, sistema de corte, seguridad para operarios; luego de las respectivas correcciones será viable avanzar hacia la automatización funcional.

### **3.3 Rediseño de la máquina trituradora.**

Según los resultados obtenidos en la encuesta, se concluye que, antes de realizar un sistema automatizado, será indispensable un rediseño funcional y estructural de la máquina, debido a las variedades de falencias detectadas durante la evaluación técnica, además, se visualiza incertidumbre entre los expertos encuestados sobre el funcionamiento permanente del equipo. Por lo tanto, la revisión se vuelve necesario para modificar fallas, optimizar el rendimiento y certificar que el automatismo sea segura, viable y sobre todo eficaz.

Se presenta un nuevo diseño del prototipo con base a las limitaciones encontradas en las encuestas a los expertos, por lo que se estima que el rediseño sea funcional y viable, considerando que las mejoras se centraran en la cámara de trituración, seguridad y por último en el sistema automatizado, entendiendo que, para llegar a este punto, es necesario realizar las mejoras antes mencionadas.

Los cambios a realizar en este modelo comienzan desde una protección estructural al motorreductor y al nuevo sistema de control (automatizado), el cual en su interior contará con un arranque directo y cambio de giro para posibles destrabes en la cámara de trituración, así mismo, se incorporará un temporizador y sensor de detección de plástico, el cual dará la señal para que el motor se apague cuando la trituradora se encuentre desabastecida de material, todo este sistema estará alimentado a una tensión eléctrica de 220 v.

En la cámara de trituración se cambiará la configuración de las cuchillas considerando los planos originales, el eje será de 1 ¼ de pulgada brindando así mayor fuerza y estabilidad al

momento de triturar, se realizará un chaveteo entre la barra de eje y los componentes (cuchillas, separadores, engranajes y piñón) esto con el fin de brindar mayor sujeción entre sí y facilitar el desmontaje para futuros mantenimientos. Así mismo, se incorporará una tolva de salida y una tamizadora calibrada a la medida que permitirá que el material sea el ideal, este rediseño brinda mejor rendimiento y funcionalidad al equipo, también, mayor seguridad al operario al momento de manipular la máquina.

### **3.4.Requerimientos técnicos para el rediseño del prototipo**

La máquina trituradora de plásticos fue construida previamente como un prototipo, presentando fallas funcionales y estructurales que restringen el desempeño, uno de los principales defectos detectados fue la holgura entre las cuchillas del sistema de trituración, afectando directamente la uniformidad del material y la eficiencia del corte. A raíz de este análisis, se modifica la máquina original, rectificando deficiencias y adaptándola a las necesidades del proyecto, este rediseño engloba la etapa inicial del constructo, detalladamente se desglosan los requerimientos que conforman el sistema nuevo y orientándose a las proyecciones dentro del marco de ser automatizado (figura 5) las etapas del procedimiento metodológico.

- **Motor:** se usó un motor trifásico de 1 caballo de fuerza (1 HP), con una velocidad estándar de 1750 rpm (revoluciones por minuto), ejerciendo una corriente de 5 amperios, este motor será la clave esencial para el funcionamiento, siendo idóneo para trituración de particular basándonos en sus demandas.
- **Sistema de corte:** el diseño debe utilizar cuchillas y un mecanismo de corte conforme al momento de triturar las botellas de materiales PET, teniendo en cuenta su gran resistencia al desgaste, garantizando la longevidad en los componentes expuestos a fracción constante.
- **Seguridad operativa:** la máquina cuenta con un sistema de paro con una identificación por una luz piloto, asegurando la protección del operador al momento de utilizar la maquinaria, incluyendo una caja de protección para las conexiones internas de la parte automatizada.

#### **Etapas del diseño.**

La construcción del diseño de una máquina trituradora de materiales PET requiere una serie de fases claves que proporcionen a la investigación los materiales esenciales al instante de rediseñar el sistema. Cada una de estas fases se realizarán en base a la metodología de Naranjo et

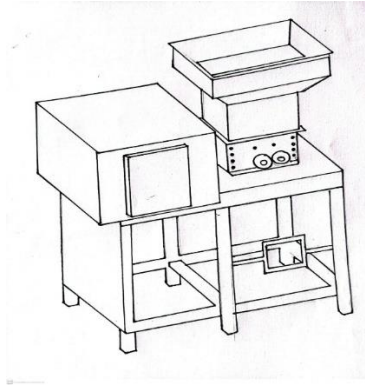
al. (2019) que consta primeramente de la selección de materiales, donde se describe cada uno de los materiales a utilizar y sus características, diseño de sistema de trituración en el que se expondrán cada pieza diseñada, desarrollo del sistema mecánico calculando la capacidad de la tolva y la potencia requerida del motor para el trabajo, construcción del prototipo y por ultimo los resultados que demuestran la eficiencia operativa de la maquina y su capacidad. Para obtener una comprensión más clara del proceso de diseño, a continuación, se consideran algunos pasos muy importantes:

**Diseño conceptual:** la fase de diseño conceptual del triturador de plástico se fundamentó en el análisis de artículos científicos y en la revisión de equipos similares documentados en proyectos previos. Este estudio comparativo permitió identificar las configuraciones de diseño más comunes, sus dimensiones aproximadas y la disposición de los componentes principales como el motor, el sistema de trituración y la estructura de soporte. A partir del análisis de distintos modelos, se definieron los requisitos y operación que debía cumplir el proyecto. El primer objetivo fue establecer el tamaño general de la máquina, considerando no solo su eficiencia en la trituración del plástico, sino también la facilidad de mantenimiento y limpieza de sus componentes internos.

También se determinó que la estructura debe contar con un espacio lo suficientemente amplio para la instalación del motor reductor, garantizando al mismo tiempo la resistencia estructural, la capacidad de soportar vibraciones y cargas durante la operación. Con base en estos lineamientos preliminares, se elaboraron los primeros bocetos a mano, en los cuales se representaron las dimensiones aproximadas y la ubicación de cada componente. Estos bocetos no solo permiten visualizar el diseño general de la máquina, sino que también constituyen un punto de partida fundamental para etapas posteriores del desarrollo, como el modelado en 3D y el diseño detallado, a continuación, se visualiza en la figura 11.

**Figura 11.**

*Boceto a mano alzada de la máquina trituradora.*

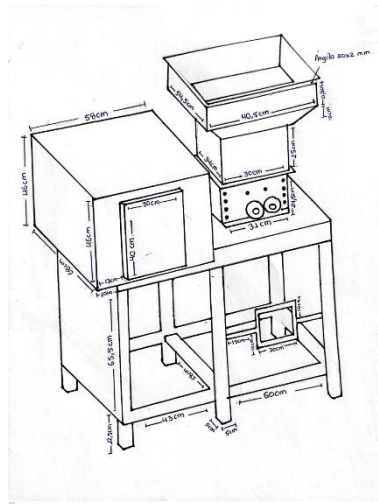


*Nota.* Elaborado por los autores.

**Detalles del diseño:** mediante esta fase se detallan las dimensiones y especificaciones técnicas necesarias para la construcción de la máquina trituradora de materiales plásticos, teniendo como referencia los bocetos hechos a mano, demostrando las medidas o cotas de cada componente de la estructura, la distancia entre elementos y la estabilidad uniforme durante su funcionamiento. A continuación, se presenta la figura 12 con el boceto completo del prototipo.

**Figura 12.**

*Boceto a mano alzada con medidas de la máquina trituradora.*



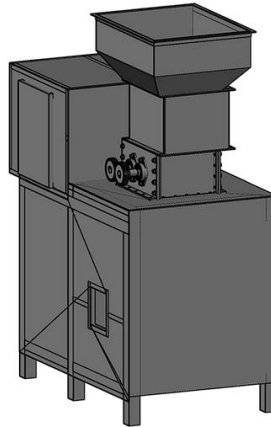
*Nota.* Elaborado por los autores.

**Modelado 3D:** para una mejor perspectiva de como se ve la máquina culminada se utilizó el software SolidWorks donde nos permite visualizar de manera técnica los componentes fundamentales que la trituradora necesita para su automatización, en este modelado es posible

apreciar cada una de las partes a realizar, como la tolva, la protección del motor, la caja de control y la cubierta del todo el equipo.

**Figura 13.**

*Modelado 3D.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Evaluación por expertos.**

Dado los resultados de la encuesta 1 se evidencia múltiples deficiencias, tanto en sistema automático, diseño de la máquina, procesos, seguridad, productividad, mantenimiento y calidad del producto. En función de estos hallazgos se aplica una segunda ronda de preguntas mediante la plataforma de Google Forms en escala de Likert con puntuaciones del 1 al 5, dirigidas a 9 expertos especializados en el tema para dar a conocer detalladamente las modificaciones que se planean implementar al diseño original, con el objetivo de respaldar la toma de decisiones asegurando que los cambios que se implementan respondan a criterios técnicos y que su funcionamiento sea adecuado y eficiente.

**Tabulación de encuesta digital.**

**Tabla 20.**

*Resumen de resultados de segunda encuesta.*

Preguntas	RESPUESTAS				
	1. Ineficiente	2. Poco eficiente	3. Regular	4. Aceptable	5. Eficiente
Ítem 1				3	6

Ítem 2	1	8
Ítem 3	2	7
Ítem 4	1	8
Ítem 5	4	5
Ítem 6	2	7
Ítem 7	2	7
Ítem 8	6	3
Ítem 9	1	8
Ítem 10	1	8
Ítem 11	4	5
Ítem 12	2	7
Ítem 13	3	6
Ítem 14		9
Ítem 15	4	4
Ítem 16	2	7
Ítem 17	1	8
Ítem 18	1	8
Ítem 19	1	8

*Nota.* Elaborado por los autores.

A continuación, se presenta en la tabla 20 la información más detallada de la encuesta realizada a los especialistas donde se contó con 19 preguntas, cada una está identificada con una imagen referencial a lo planteado en cada ítem.

**Tabla 21.**

*Segunda ronda de preguntas.*

**Pregunta 1**

¿Cree usted que la incorporación de luces pilotos (encendido y apagado) facilite la identificación del funcionamiento de la máquina?



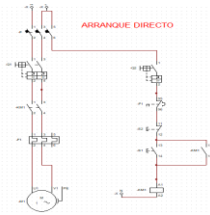
**Pregunta 2**

¿Considera adecuado que la máquina cuente con un sensor para detectar la ausencia de material y pueda apagarse automáticamente con el fin de optimizar el consumo de energía?



**Pregunta 3**

¿Está de acuerdo que exista enclavamiento para que el motor trabaje de forma continua sin necesidad de mantener presionado el botón de arranque?



**Pregunta 4**

¿Cree usted que es necesario cambiar el eje de las cuchillas de 1 pulgada a 1 ¼ de pulgada?



**Pregunta 5**

¿Está de acuerdo con la implementación de una ranura longitudinal (largo 10mm, ancho 10mm y profundidad 300mm) tanto en las cuchillas, separadores y eje permitiendo el acoplamiento de una cuña mecánica para mejorar la transmisión del torque y la sujeción segura durante su proceso de trituración?



**Pregunta 6**

¿Aprueba el margen de desgaste de 1mm en los extremos de las cuchillas para evitar interrupciones mecánicas durante el corte?



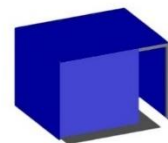
**Pregunta 7**

¿Está de acuerdo con la utilización de separadores de (64mm) entre cuchillas para poder impedir el contacto entre las superficies activas y desgaste de fricción asegurando un buen funcionamiento?



**Pregunta 8**

¿Está de acuerdo con la incorporación de una tapa protectora de acero galvanizado en las extensiones del motor, con el fin de prevenir accidentes y proteger el sistema eléctrico?



**Pregunta 9**

¿Es adecuado colocar un cuerpo intermedio en la tolva de alimentación, para evitar el acceso directo a las cuchillas, y reducción de riesgos de accidentes por introducir objetos no deseado o las manos?



**Pregunta 10**

¿Considera necesario la instalación de un guarda motor es para protección del motor de la máquina trituradora?



### Pregunta 11

¿Está de acuerdo con la implementación de una pastilla térmica (breaker) como medida de protección ante posibles cortacircuitos?



### Pregunta 12

¿Es recomendable la instalación de un contactor para el control del motor?



### Pregunta 13

¿Considera necesario la instalación de dos pulsadores de emergencia para mejorar la seguridad operativa?



### Pregunta 14

¿Cree usted que la incorporación de un pulsador marcha y paro es necesaria para un control eficiente del encendido y apagado de la maquina?



### Pregunta 15

¿Está de acuerdo con la incorporación de un cambio de giro en el motor para facilitar la liberación de material en caso de que pueda ser atascado?



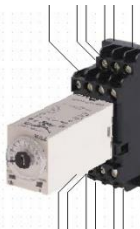
### Pregunta 16

¿Considera adecuado instalar una luz indicadora VOL/AMP (Voltaje/Amperaje) para el monitoreo del consumo de energía y prevención de sobrecargas en el sistema?



### Pregunta 17

¿Considera recomendable instalar un temporizador para que a minutos de la ausencia?



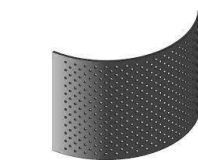
### Pregunta 18

¿Cree usted que instalar una tolva de descarga mejora la recolección del material triturado y facilita el mantenimiento del área de trabajo?



### Pregunta 19

¿Cree usted necesario la implementación de un tamiz(criba) para asegurar que el material que se obtiene sea de tamaño uniforme?



---

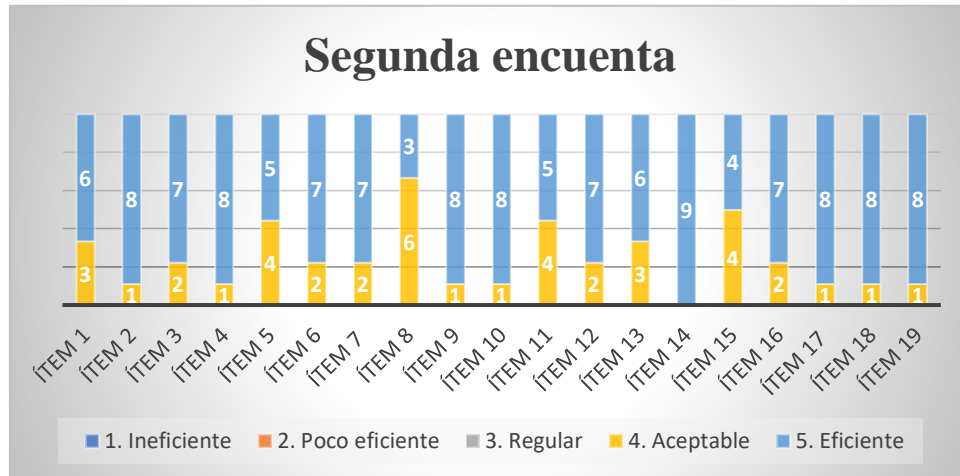
*Nota.* Elaborado por los autores.

## Análisis de las preguntas.

El análisis general de las gráficas obtenidas en la segunda encuesta demuestra un alto nivel de aceptación por parte de los expertos, respecto a los cambios propuestos para la máquina trituradora de plásticos. Los porcentajes más altos se concentraron en la categoría “eficiente con un 73 % y aceptable 27 %” lo que evidencia un valor técnico positivo y sobreentendiendo que las modificaciones van en dirección correcta para su eficiencia operativa.

**Figura 14.**

*Resumen de resultados.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.5. Fase 1.- Consideración de materiales a utilizar.

La elección de materiales fue clave para garantizar la funcionalidad y la durabilidad de la máquina priorizando el uso de componentes de gran resistencia estructural y larga vida útil, capaces de soportar las fuerzas generadas durante el proceso de trituración, además, se contemplan factores como el costo de materiales y disponibilidad con el fin equilibrar la eficiencia técnica y viabilidad económica del proyecto, a continuación se describe los materiales empleados para el rediseño de las cuchillas.

#### Materiales para la estructura de protección de la máquina.

Los materiales determinados para la estructura fueron escogidos por su alta resistencia a la tracción y su capacidad para soportar tanto cargas dinámicas como estáticas, ofreciendo propiedades mecánicas clave como rigidez, dureza y resistencia al desgaste, lo que resulta primordial para garantizar la estabilidad y durabilidad de la maquina en condiciones de uso intensivo.

**Tabla 22.**

*Materiales estructura de protección.*

Ítems	Material	Concepto
-------	----------	----------

1	<b>Tubo cuadrado de acero negro 3/4x 1.5mm de espesor</b>	Este tubo se utilizó para la elaboración de la estructura que brinda soporte para cubrir y dar protección al motor (1 HP - 5.2 amperios), asimismo al tablero de control. Sus dimensiones son 3/4 "(20mm) por 1.5 mm de espesor, Con un peso de 0.88 kg/m.
2	<b>Plancha galvanizada de 0.90mm de espesor</b>	Esta plancha se seleccionó porque brinda resistencia y recubrimiento entre las columnas de la estructura que protege al motor, además de brindar protección a cada una de las paredes de la base estructural. Se utilizó una plancha y media para cubrir toda la estructura, cada plancha mide 1 m 22 * 244 m con un peso de 21 kg.
3	<b>Autoperforante 12mm*3/4"</b>	Se usaron autoperforantes para sujetar la estructura de protección al motor y control a la estructura base, esto con el fin de evitar soldaduras innecesarias y posteriores mantenimientos a la máquina.
4	<b>Tubo cuadrado negro 5/8*1.0 mm de espesor</b>	Este tubo sirve para dar soporte y estabilidad a cada parte de la estructura que protege al motor y al tablero de control, de esta manera se evita soldar la estructura con la base de la máquina, si no que se anclan con pernos auto perforantes. sus dimensiones son 5/8 de pulgada (15 mm) x 1 mm de espesor, con un peso de 0.39 kg/m.
5	<b>Ángulo 20*2 mm (3/4*2)</b>	Estos ángulos sirven como estructura de anclaje y soporte al tablero de control con el fin de mantener estabilidad al momento de las vibraciones por la trituración de plástico. sus dimensiones son de 20 mm por 2 mm de espesor, con un peso de 0.57 kg/m.


*Nota.* Elaborado por los autores.



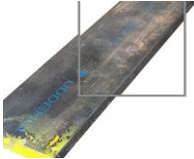

### **Materiales utilizados en el sistema de corte.**

La siguiente tabla 23 refleja los materiales seleccionados para la fabricación y ensamblaje del sistema de corte, en cada uno se detalla el tipo de material utilizado, las dimensiones correspondientes y la justificación técnica que la respalda. basada en los requerimientos del proyecto y las condiciones de trabajo previstas.

**Tabla 23.**

*Sistema de corte.*

Ítems	Material	Concepto
1	<b>Barra de trans. 1 1/4</b>	Este material se utilizó debido a que los cálculos indican que era el recomendado para este trabajo y así sustituir el eje de una pulgada. 

2	<b>Tortas para separadores 60mm X 12mm de espesor</b>	Estas tortas se obtuvieron a partir de una plancha de acero de media pulgada de espesor con el fin de fabricar separadores para el sistema de corte, estos separadores tienen un diámetro de 60 mm por 12 mm de espesor.	
3	<b>Eje de transmisión de 2 1/2 "20 cm</b>	Se seleccionó este material para la fabricación de separadores ya que por su diámetro se puede reducir a 60 mm x 12 mm de espesor que es el ideal para este trabajo.	
4	<b>Plancha de acero df2 1/2"</b>	Esta plancha se utilizó ya que por sus características es apropiado para la fabricación de cuchillas, el cual ofrece una buena medibilidad y gran dureza superficial.	
5	<b>Barra calibrada para cuña 10mm X 10mm</b>	Esta cuña será considerada en el ensamblaje del sistema de corte entre el eje, las cuchillas y separadores, ayudando a asegurar el movimiento relativo, transmisión de torque y sujeción segura durante el proceso de trituración.	

*Nota.* Elaborado por los autores.

### **Materiales empleados en el sistema eléctrico automatizado.**

En la tabla 24 describe los principales componentes eléctricos seleccionados para el sistema de control de la máquina trituradora. Cada elemento cumple una función específica dentro del panel de control, con esto contribuye a la seguridad, eficiencia y automatización del equipo. Así mismo, se detallan tanto los materiales utilizados como su propósito dentro del sistema eléctrico.

**Tabla 24.**

*Materiales para el sistema automatizado.*

Ítems	Material	Concepto
-------	----------	----------

---

<b>1</b>	<b>Caja de control.</b>	Esta caja controlar, proteger, organizar los componentes eléctricos, facilitar el mantenimiento y la seguridad del personal. Esta caja permite encender y apagar la máquina, asimismo, tener de manera ordenada y segura los componentes que se encuentran en su interior.
<b>2</b>	<b>Breacker 220 v.</b>	Este breaker que trabajará a un voltaje de 220 sirve para proteger el circuito eléctrico ante alguna sobrecarga evitando así incendios o daños en el equipo.
<b>3</b>	<b>Contactor.</b>	Este dispositivo electromecánico es de gran importancia, ya que, por medio de él, se realizará el encendido y apagado de la máquina con su respectivo enclavamiento, así mismo, será en encargado de hacer el cambio de giro del motor.
<b>4</b>	<b>Guarda motor.</b>	Este dispositivo actúa como interruptor y protección térmica el cual ayuda a proteger el motor ante sobrecarga y cortocircuitos.
<b>5</b>	<b>Rieles.</b>	Sirve para montar los dispositivos dentro del panel de manera ordenada, como el contactor, breaks, guarda motor, etc.
<b>6</b>	<b>Canaletas.</b>	Este ayuda a organizar, proteger los cables eléctricos dentro del tablero.
<b>7</b>	<b>Relay.</b>	Este dispositivo permitirá activar una señal externa (luz piloto) que indica si existe algún cortocircuito.
<b>8</b>	<b>Cable flexible AWG 8 y 14.</b>	Estos cables de diferentes calibres serán usados para las conexiones de potencia y control dentro y fuera del tablero eléctrico.
<b>9</b>	<b>Pulsador marcha/ paro.</b>	Esta botonera servirá para arrancar o detener el motor de la máquina trituradora.
<b>10</b>	<b>Pulsador marcha.</b>	Este pulsador sólo permite en el arranque del motor con un cambio de giro.
<b>11</b>	<b>Luz piloto verde.</b>	Esta luz señala que el sistema está en funcionamiento de modo eficiente.
<b>12</b>	<b>Luz piloto rojo.</b>	Esta luz piloto indica que el sistema se encuentra encendido o funcionando correctamente
<b>13</b>	<b>Pulsador de emergencia.</b>	Es incluirán 2 botones de emergencia el cual sirven para detener todo el sistema al instante por seguridad.
<b>14</b>	<b>Prensa estopa.</b>	Estas prensas son usadas para sellar la entrada del cable al panel de control, protegiéndolas contra el polvo y la humedad.
<b>15</b>	<b>Capacitor de 40 microfaradios.</b>	Este ayudará al arranque del motor mejorando así el rendimiento.

---

16	Caja plástica vacía para un comando.	Esta caja servirá para montar un pulsador de emergencia de forma externa al lado de la caja de cuchillas.
17	Temporizador.	Este dispositivo se utilizará para desactivar el mecanismo cuando el sensor no detecte material triturado.
18	Sensor.	Este sensor será indispensable para la automatización de la máquina, ya que su función será mandar la señal al temporizador para que ésta desactive todo el mecanismo si ya no detecta material plástico.
19	Luz indicador: vol/amp rojo.	Este ayudará a visualizar el voltaje y el consumo de corriente del sistema.

*Nota.* Elaborado por los autores.

### **Materiales empleados en el cuerpo para tolva.**

Se describen los materiales a utilizar en la fabricación del cuerpo que soportará la tolva, estos elementos fueron seleccionados por su resistencia mecánica y su capacidad para conferir una estructura segura y firme.

#### **Tabla 25.**

*Cuerpo de tolva.*

Ítems	Material	Concepto
1	Platina 25*3mm (1 *1/8).	Sirve como soporte para los cuerpos de la caja de cuchillas y tolva.
2	Plancha negra 2mm 3/32".	Esta plancha sirve para construir el segundo cuerpo de la caja de cuchillas, dándole así mayor profundidad para la seguridad de los operarios.
3	Pernos negros ¼ con tuercas y tornillos.	Ayudan a fijar y asegurar el cuerpo de tolva con la cámara de trituración.

*Nota.* Elaborado por los autores.

### **Herramientas y materiales empleados para la construcción de la máquina.**

Durante la construcción de la máquina, se utilizaron los siguientes materiales para realizar trabajos de corte de los tubos cuadrados de acero negro, cortes de las planchas galvanizadas de 0.90 mm para la protección del motor, perforaciones y sujeción con pernos autoperforantes.

#### **Tabla 26.**

*Herramientas para construcción de la máquina.*

Ítems	Material	Concepto
1	<b>Amoladora.</b>	La amoladora se usará para llevar a cabo trabajos de corte y pulido mediante el uso de discos de corte y discos de fibra abrasiva. Permite eliminar rebabas e impurezas, facilita la adaptación de piezas, garantizándose un acople preciso dentro de la estructura de la máquina.
2	<b>Taladro.</b>	Se utilizó para realizar perforaciones en las platinas, tubos y planchas, haciendo uso de brocas de diferentes diámetros esto para facilitar la incorporación de elementos de fijación con pernos, además, es necesaria para la fijación de las tapas con autoperforantes, utilizando dados hexagonales para brocas.
3	<b>Máquina de soldar.</b>	Esta máquina es indispensable para la construcción de la estructura que protegerá al motor y a la caja de control, también para la fijación de los separadores con el eje para así posteriormente ser trabajadas en el torno.

*Nota.* Elaborado por los autores.

### Utensilios de corte y ensamble.

A continuación, se detallan en la tabla 27 los materiales necesarios para ser utilizados en el corte, soldadura, eliminación de residuos metálicos y quitar porosidad, estos fueron seleccionados en función de su precisión y compatibilidad con las herramientas utilizadas.

**Tabla 27.**

*Utensilios de corte y ensamble.*

Ítems	Material	Concepto
1	<b>Disco de corte.</b>	Indispensable para efectuar cortes limpios y exactos en los materiales de acero empleados en la construcción de la máquina, debido a su capacidad de cortar con rapidez y precisión, facilita y reduce tiempos en los montajes.
2	<b>Disco de fibra.</b>	Este disco ayuda a obtener un rematado uniforme, eliminar residuos metálicos ocasionados por la soldadura que podrían causar alguna herida, es por eso que se utiliza este material, el cual deja sin fisuras las uniones.
3	<b>Electrodo E6011.</b>	Este tipo de electrodo revestido para soldadura con arco eléctrico sirve para realizar el armazón de la estructura metálica que protegerá al motor, asimismo, realizar la estructura que servirá de apoyo para la caja de control. Este material es empleado para unir tubos, planchas y ángulos, ofrecen una soldadura robusta y duradera, ya que aseguran la unión firme en superficies complicadas, además permite trabajar en diversas posiciones sobre el material, por lo que son esenciales en las reparaciones rápidas.
4	<b>Cepillo copa para amoladora.</b>	Este cepillo sirve para quitar las porosidades que se encuentren a simple vista, mejorando la apariencia de la máquina trituradora, también sirve para sacar las imperfecciones de las cuchillas sin devastar el material.

*Nota.* Elaborado por los autores.

## Elementos de sujeción y fijación

Los elementos de sujeción y fijación de la tabla 28 fueron seleccionados estratégicamente para garantizar un ensamble confiable y seguro, cumpliendo con los elementos mecánicos del prototipo para facilitar montaje y mantenimiento.

**Tabla 28.**

*Elementos de sujeción y fijación.*

Ítems	Material	Concepto
1	<b>Brocas.</b>	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, también se usó broca de 1/4 de pulgada para realizar las perforaciones donde irán los pernos que sujetarán cada cuerpo de la estructura.
2	<b>Pernos y tuercas de acero negro, anillos planos galvanizados y de presión.</b>	Estos elementos de fijación aseguran el montaje estable del motor y el reductor a la estructura, combinando pernos y anillos con una sujeción de garantía, es decir firme sin desajuste por vibración durante la operación de la máquina
3	<b>Fresa 3/8".</b>	De gran importancia para la sujeción del eje con las cuchillas, ya que mediante la máquina fresadora sirve para realizar el ranurado longitudinal que permitirá que la cuña fije las cuchillas con el eje.

*Nota.* Elaborado por los autores.

## Materiales de acabado.

La tabla 29 detalla los materiales de acabado utilizados en la restructuración del prototipo garantizando la presentación estética y facilidad de limpieza.

**Tabla 29.**

*Materiales de acabado.*

Ítems	Material	Concepto
1	<b>Brocha 1 ½".</b>	Esta herramienta manual sirve para la aplicación de un fondo Uniprime en toda la máquina, el cual servirá de protección ante la corrosión debido a la salinidad presente en el entorno costero.
2	<b>Fondo Uniprime.</b>	Este imprimante o base protectora sirve de preparación y de protección antes de la pintura de acabado final.
3	<b>Pintura sintética azul alumineado.</b>	Esta pintura dará un acabado a toda la máquina, el cual sirve de protección del equipo o estructura.
4	<b>Pintura sintética gris alumineado.</b>	Esta pintura sirve de protección en la parte interior de la estructura.

5	<b>Diluyente.</b>	Este producto sirve para la limpieza de los tubos cuadrados de acero antes del acabado, asimismo, sirve como disolución de pintura para los acabados finales de la máquina trituradora.
---	-------------------	---

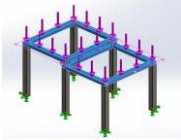
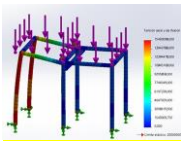
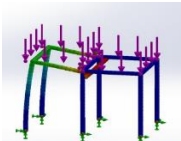
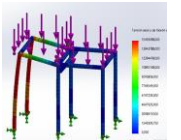
**Nota. Elaborado por los autores.**

### 3.6. Fase 2.- Diseño del sistema de trituración, cuchillas y ejes.

Durante esta etapa del proyecto se considera que la base de la estructura ya construida se mantiene debido a que soporta las cargas de la nueva configuración, el diseño de las cuchillas de la misma manera, se mantienen en base a los planos establecidos por (Soriano et al., 2024), ya que este diseño teórico si cumple con lo requerido, la tabla 30, muestra un resumen de los cálculos de carga establecidos antes del rediseño y automatización.

**Tabla 30.**

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

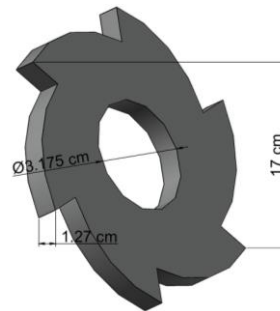
<b>Esfuerzo normal axial.</b>	Esfuerzo interno o resultante de las tensiones perpendiculares, es decir, las tensiones normales a la sección transversal de un prisma mecánico.	$\sigma = \frac{Fn}{A}$ $\sigma = -2452.5 Pa$ $= -0.0024525 MPa$	
<b>Flexión axial.</b>	Flexión axial que existe sobre la estructura diseñada, las cargas o fuerzas existentes se representan por flechas verticales de color violeta.	En la derecha de la figura se muestra una escala de colores indicando las tensiones axiales en cada punto de la estructura.	
<b>Esfuerzo cortante.</b>	Fuerza de acción que se aplica sobre un material o estructura en específico.	$\gamma = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \varepsilon = \frac{-0.0024525 MPa}{200GPa}$ $= -0.0000000123$ <p style="text-align: center;"><i>valor expresado en mm</i></p>	
<b>Variación de longitud.</b>		$\Delta L = \varepsilon \cdot L_o$ $= -0.0000093998 mm$	

*Nota. Obtenido de Soriano et al., (2024).*

**Fuerza de corte aplicada.**

Se ajusta en el diseño el sistema de trituración en el software SolidWorks, que es decisivo para certificar la eficacia y seguridad de la máquina trituradora. Este sistema está compuesto especialmente por el ensamblaje de cuchillas y ejes, bosquejados para perfeccionar la trituración del material de entrada. La apropiada distribución y robustez de estos mecanismos son fundamentales para conseguir el aforo de procesamiento deseado y, a su vez mermar el mantenimiento y el desgaste a lo largo del tiempo.

**Figura 15.**  
*Cuchilla.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

Para tener la fuerza de corte aplicada por las cuchillas, es necesario considerar el espesor de las botellas a triturar y así garantizar un buen triturado, siendo así, se consideró un espesor de 0.3 mm por pared de las botellas al momento de ser triturada, que al ser aplastadas dan un valor de 0.6 mm de espesor, con una longitud de las cuchillas de 17 cm.

Resistencia a la rotura del PET es de 20 MPa.

Donde: F es la fuerza de corte.

$\tau$  es la resistencia al corte del material

A es el area de la seccion transversal que se esta cortando

$$F = 20 \text{MPa} * \frac{1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1 \text{MPa}} * 170 \text{mm} * 0.6 \text{mm}$$

$$F = 2040 \text{N}$$

El torque requerido para las cuchillas esta dado por la siguiente formula.

$$T = F * r$$

$$T = 2040 \text{N} * 0.0127 \text{m}$$

$$T=25.91\text{Nm}$$

$$1\text{ Kg}\cdot\text{F}=9.80665\text{N}$$

$$T=2.642\text{ KgF}\cdot\text{m por cuchilla}$$

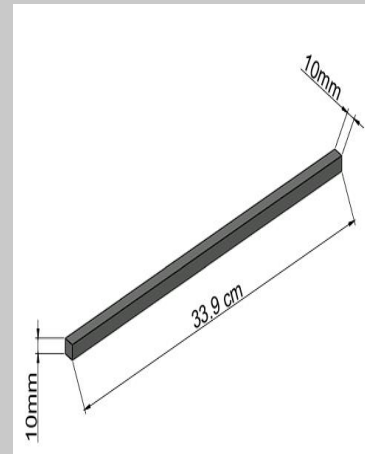
### Barra calibrada para cuña.

A continuación, la tabla 31 presenta aspectos importantes de la barra calibrada de acero al carbono SAE 1045 que se utilizó para la sujeción entre el eje y las cuchillas, así mismo se procede a realizar los cálculos respectivos de esfuerzo cortante y de aplastamiento de la cuña.

**Tabla 31.**

*Características técnicas del acero para la cuña.*

Parámetro	Símbolo	Valor
Tipo de acero.		SAE 1045.
Ancho de barra.	b	0.010 m.
Altura de barra.	h	0.010 m.
Longitud de la barra.	$L_k$	0.339 m.
Masa.	kg	0.266 kg.
Peso.	N	2.61 N.
Par total transmitido.	$T_{total}$	207.28 N·m.
Diámetro del eje.	d	0.03175 m.



*Nota.* Elaborado por los autores.

### Esfuerzos de la barra.

$$\tau = \frac{2 \cdot T_{total}}{d \cdot b \cdot L_k}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 207.28}{0.03175 \cdot 0.01 \cdot 0.339} \Rightarrow \tau = \frac{414.56}{0.0001075} \Rightarrow \tau = 3857 \text{ Pa}$$

$$\tau = 3.86 \text{ MPa} \quad \text{ESFUERZO CORTANTE}$$

$$p = \frac{4 \cdot T_{total}}{d \cdot h \cdot L_k}$$

$$p = \frac{4 \cdot 207.28}{0.03175 \cdot 0.01 \cdot 0.339} \Rightarrow p = \frac{829.12}{0.0001075} \Rightarrow p = 7714 \text{ Pa}$$

$p = 7.71 \text{ MPa}$  ESFUERZO DE APLASTAMIENTO

Con estos datos podemos decir que el esfuerzo de corte de la barra calibrada es de 3.86 MPa considerando que su límite permisible es de 100 MPa, con un factor de seguridad de 25.9, lo que indica que este factor está por encima del mínimo necesario para resistir el trabajo de todas las cuchillas sin deformarse. De la misma manera el esfuerzo de aplastamiento es de 7.71 MPa con un límite permisible de 160 MPa y un factor de seguridad de 20.8 que indica que está por encima del mínimo necesario para que la barra trabaje sin problemas considerando que son 8 cuchillas las que ejercerán un torque de 25.91 Nm por cada una.

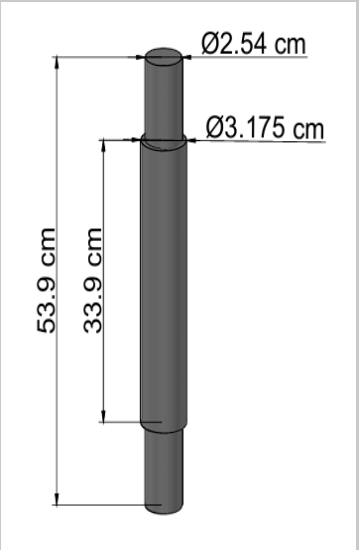
### Eje de transmisión.

De la misma forma, en la tabla 32, se resume varios aspectos claves de la barra de transmisión, así como también el momento de torsión, el límite de elasticidad, resistencia a la tracción, esfuerzo cortante calculado, que se usa en el rediseño de la máquina trituradora.

**Tabla 32.**

*Características técnicas del acero de transmisión.*

Parámetro	Símbolo	Valor
Tipo de acero.		SAE 1045
Longitud de la barra.	$L_k$	0.339 m
Área.	A	791.7 mm <sup>2</sup>
Volumen.	V	$2.682 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
Masa.	Kg	2.104 kg
Peso.	N	20.65N
Par total transmitido.	$T_{total}$	207.28 Nm
Diámetro del eje.	d	0.03175 m
Momento polar de torsión.	J	$9.98 \times 10^{-8} \text{ m}^4$
Límite de elasticidad.		530 MPa
Resistencia a la tracción.		620-750 MPa



---

Densidad.

7850 kg/m<sup>3</sup>

*Nota.* Elaborado por los autores.

### Esfuerzos del eje.

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\text{total}} * r}{J}$$

$$\tau_{\max} = \frac{207.28 \times 0.015875}{9.98 \times 10^{-8}} \Rightarrow$$

$$\tau_{\max} = 33 \text{ MPa}$$

Según los cálculos establecidos, nos indica que el esfuerzo cortante en el eje es de 33 MPa sin considerar el chaveteo, aun así, no habrá problemas de alineación ni fatiga por torsión ya que el límite de elasticidad es de 530 MPa y la resistencia a la tracción esta entre los 620 a 750 MPa.

Ahora bien, si se considera el chaveteo para tener el esfuerzo máximo real, hay que tomar en cuenta el factor de concentración de esfuerzos que es muy importante al momento de realizar diseños mecánicos cuando se realizan trabajos con ejes que tienen chaveteros.

Según (Lozano, 2023) indica que cuando un eje es interrumpido con una ranura, en este caso chaveta, se generan zonas donde los esfuerzos se concentran más que una sección lisa, según este factor de concentración de esfuerzo dice que el esfuerzo real en la zona del chavetero es 1.6 veces mayor que el esfuerzo en un eje liso, aunque este valor puede ser entre 1.5 y 1.8, en nuestro caso se considera un valor medio de 1.6.

$$\tau_{\text{real}} = K_t \times \tau_{\text{nominal}}$$

$$\tau_{\text{real}} = 1.6 \times 33 \text{ MPa}$$

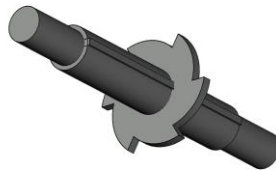
$$\tau_{\text{real}} = 53 \text{ MPa}$$

Se considera que el esfuerzo cortante real del eje de transmisión es de 53 MPa, así mismo, los esfuerzos en el chaveteo del eje en general corresponde a una longitud a 0.339m y el par total (torque) es de 207,28 Nm; por lo tanto, el esfuerzo de corte global es de 3.86 MPa y el aplastamiento global es de 7.71 MPa, de esta manera se garantiza la ausencia de problemas de

alineación y fatiga por torsión. A continuación, se muestra la figura 17 una parte del eje, cuña y cuchilla evidenciando como es el acople entre sí.

**Figura 16.**

*Ensamble entre cuchilla, eje y cuña.*

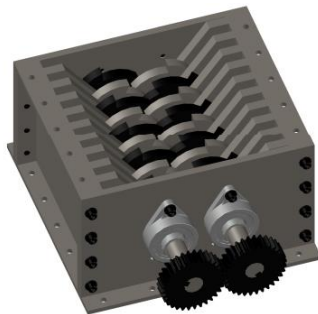


*Nota.* Elaborado por los autores.

Por consiguiente, en la figura 17 se muestra el sistema de trituración del equipo, observándose las cuchillas y ejes principales, además, se muestra detalladamente la disposición, montaje de materiales y componentes del equipo, así como la precisión en la alineación de los ejes y las cuchillas, que es lo primordial para garantizar una operación eficiente y minimizar el desgaste.

**Figura 17.**

*Sistema de trituración de plástico.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**3.7. Fase 3.- Desarrollo del sistema mecánico.**

En esta fase se realizan los nuevos cálculos para verificar la potencia entregada al sistema y determinar el volumen de capacidad de la tolva, con esto se entiende mejor el comportamiento de la maquina y la capacidad que tiene para triturar en una jornada de trabajo.

**Selección del motor.**

En el marco de la etapa 3 del proyecto se selecciona el motor adecuado para el funcionamiento del equipo, en principio se ejecutó un análisis de resistencias al momento de torque y potencia que permita garantizar un correcto funcionamiento. Para ello, se considera que la máquina está diseñada para la trituración de elementos plásticos, en su gran mayoría botellas PET, en conclusión, es necesario instalar un motor cuya capacidad abastezca la fuerza suficiente para triturar el material.

Para llevar a cabo los cálculos de elección del motor, debemos considerar que la velocidad correcta para que el material plástico pueda ser triturado se extiende a 20 rpm, razón por la que se emplea este valor en radianes para los resultados posteriores.

$\omega$ =velocidad angular

$$\omega = 20 \text{ rpm} \times \frac{2 \pi \text{ rad}}{60 \text{ sg}} = 2.09 \text{ rad/s}$$

Después calculamos la potencia:

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 207.28 \text{ Nm} \times \left( 2.09 \frac{\text{rad}}{\text{sg}} \right) = 433.22 \text{ W}$$

Por último, expresamos la potencia en Hp (caballos de fuerza):

$$P = 433.22 \text{ W} \times \frac{1 \text{ Hp}}{745.7 \text{ W}}$$

$$P = 0.58 \text{ HP}$$

Cálculo del capacitor:

Para realizar los cálculos para los uf del capacitor que se necesita para el funcionamiento del motor, se consideró los siguientes datos:

$$P = 0.58 \text{ HP} \approx 1 \text{ HP}$$

$$F = 60 \text{ Hz}$$

$$V=220V$$

$$\text{Cos } \varphi = 0.82$$

$$Xl = \frac{V^2 \times \text{Cos } \varphi}{P}$$

$$Xl = \frac{220v^2 \times 0.82}{1Hp}$$

$$Xl = 39.68\Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi \times f \times Xl}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \times 60\text{Hz} \times 39.68\Omega}$$

$$C = 37.891 \text{ uf}$$

$$C = 37.891 \text{ uf}$$

$$C \approx 40 \text{ uf}$$

Considerando que el par total de transmisión es de 207.28 Nm, es primordial determinar la potencia del motor requerida para garantizar eficiencia en el sistema de corte y evitar posibles inconvenientes durante la operación. En consecuencia, se dispone que se requiere un motor con una potencia mínima de 0.58 HP.

Por lo tanto, dado que se ha instalado un motor reductor de 1 HP trifásico trabajando a 220 v, proporcionado por las autoridades del proyecto de investigación integral de la facultad, se consideró calcular el valor del capacitor que requiere para que la adaptación del sistema trifásico a monofásico sea la correcta y crucial para generar el par necesario para inicial el movimiento, este valor es de 40 *uf* para que el sistema arranque sin problemas.

### **Capacidad de la tolva diseñada.**

La tolva de alimentación es el cuerpo que permite la entrada del material a la cámara de trituración (Naranjo et al., 2019), por lo tanto, para determinar la capacidad de la tolva, es necesario considerar el espacio real durante una jornada laboral de 7.30 horas. En función a este criterio, se

establece que la producción diaria es de 49.08 kg por día que resulta útil para calcular el volumen apropiado que debe disponer la tolva para garantizar un flujo continuo de materiales.

Por consiguiente, para resistir toda la carga del material triturado, se tiene las siguientes medidas de la tolva, para el cuerpo diseñado 25 cm de alto; 33,9 cm de largo; 31 cm de ancho; y para la tolva tenemos en la base inferior un ancho de 31 cm con una profundidad de 33.9 cm; en la base superior, el ancho es de 40.5 cm, la profundidad de 54.5 cm y una altura entre las bases de 11.5 cm.

Cuerpo de tolva: el volumen es de 26,297 cm<sup>3</sup>, ya que se multiplica sus lados por el alto, de la misma manera se calcula la tolva, el cual tiene forma de tronco de pirámide rectangular, para ello es necesario realizar algunos cálculos.

Como datos tenemos:

- Base menor: ancho 31 cm, largo 33.9 cm.
- Base mayor: ancho 40.5 cm, largo 54.5 cm.
- Altura entre bases: 11.5 cm.

$$V = \frac{h}{3} \times (A1 + A2 + \sqrt{A1 \times A2})$$

$$V = \frac{11.5\text{cm}}{3} \times (1050.9\text{cm}^2 + 2207.25\text{cm}^2 + \sqrt{1050.9\text{cm}^2 \times 2207.25\text{cm}^2})$$

$$V = 18334.7 \text{ cm}^3$$

El volumen total de la tolva es de 44632.2 cm<sup>3</sup>, lo que en litros para mayor entendimiento sería 44.63 litros. Ahora bien, la densidad típica (kg/l) de PET es de 0.35- 0.45 kg/l, sabiendo que se trituran 51.71 kg/día, tenemos un volumen(masa/densidad) de 129.28 litros al día.

Recordando que la tolva tiene una capacidad de 44.63 litros y nosotros procesamos 129.28 litros al día de material, tenemos entonces que 129.28/44.63, nos da que debemos alimentar la tolva 3 veces al día para mantener el flujo continuo de la trituración, aunque no es del todo cierto, ya que el material a triturar no ocupa la capacidad total de la tolva, por ende es necesario revisar más a detalle los cálculos y hacer varias pruebas para definir un promedio para la alimentación de la tolva al día.



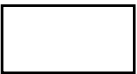
### **3.8. Fase 4.- Construcción del prototipo.**

#### **1. Estructura de protección de motor.**

La estructura de protección del motor y de la caja de control se construyó utilizando tubos cuadrados de acero negro de 3/4" x 1.5 mm de espesor, asegurando así un diseño que sea lo suficientemente liviano, pero a la vez resistente para la protección del motor, caja reductora y tablero de control.

La tabla 33 presenta los símbolos utilizados en el diagrama de operación con su respectiva descripción.

**Tabla 33.**  
*Descripción de símbolos utilizados en diagrama procesos.*

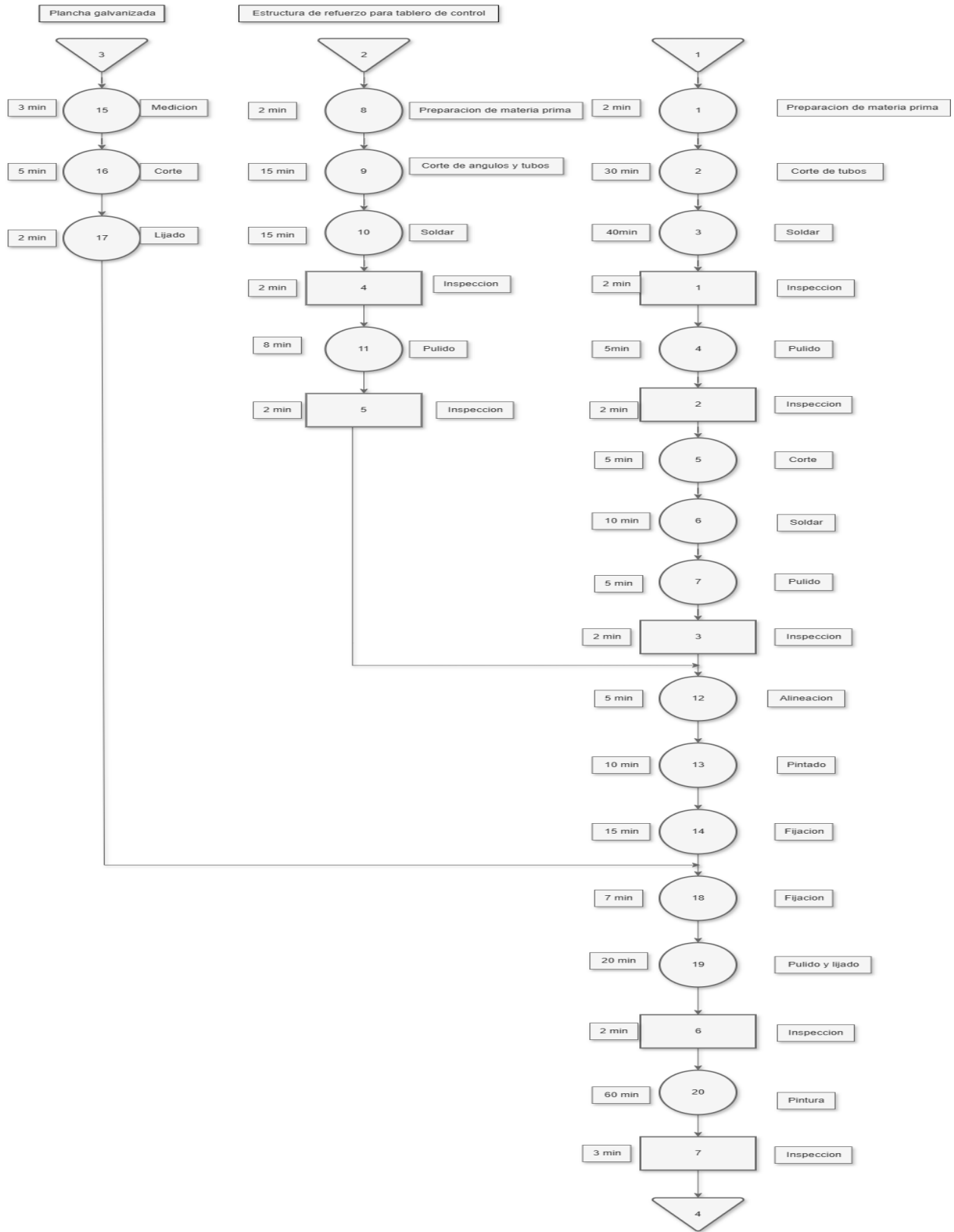
Símbolo	Nombre	Descripción
	Almacenamiento.	Área de almacenamiento inicio o final.
	Operación.	Indica la actividad que se realiza, es decir, el núcleo operativo del sistema.
	Inspección.	Señala la etapa de verificación o control donde se inspecciona la calidad y cumplimiento de parámetros.

*Nota.* Elaborado por los autores.

A continuación, se presenta un diagrama de operaciones y se resume en la tabla 34 el proceso de fabricación.

**Figura 18.**  
*Diagrama de operaciones de estructura de protección.*

**ESTRUCTURA DE PROTECCION**



*Nota.* Elaborado por los autores.

A continuación, se presenta un resumen con los tiempos para la construcción de la estructura de protección si considerar tiempos suplementarios. El cual tiene un tiempo de 4.6 horas de trabajo.

**Tabla 34.**





*Resumen de tiempos de estructura de protección.*

<b>ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN</b>			
OPERACIONES		TIEMPO DE OPERACIÓN	
		HORAS	MINUTOS
Preparación de materia prima.	1	0.03	2
Corte de tubos.	2	0.5	30
Soldar.	3	0.66	40
Inspección.	1	0.03	2
Pulido.	4	0.08	5
Inspección.	2	0.03	2
Corte.	5	0.08	5
Soldar.	6	0.16	10
Pulido.	7	0.08	5
Inspección.	3	0.03	2
Preparación de materia prima.	8	0.03	2
Corte ángulos y tubos.	9	0.25	15
Soldar.	10	0.25	15
Inspección.	4	0.03	2
Pulido.	11	0.13	8
Inspección.	5	0.03	2
Alineación.	12	0.08	5
Pintado.	13	0.16	10
Fijación.	14	0.25	15
Medición.	15	0.05	3
Corte.	16	0.08	5
Lijado.	17	0.03	2
Fijación.	18	0.11	7
Pulido y lijado.	19	0.33	20
Inspección.	6	0.0	2
Pintura.	20	1	60
Inspección.	7	0.05	3
<b>TOTAL</b>		<b>4.6</b>	<b>279</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

En la tabla 35 se puede observar cada uno de los pasos realizados para la construcción de la estructura de protección, donde se evidencia la preparación del material, la construcción de refuerzos, preparación de superficie para ser pintada, hasta la colocación de la plancha galvanizada de 0.90 mm como recubrimiento.

**Tabla 35.**  
*Proceso de fabricación.*

N.º	Pasos	Resumen
1	<p><b>Preparación del material y corte.</b></p> 	<p>Antes de proceder a los cortes, se limpia los tubos cuadrados de 3/4 x 1.5 mm con diluyente, sacando así toda la suciedad y grasas. Una vez limpio se procede trazar y cortar los materiales que formarían la estructura de protección. Esta estructura se compone de un cuadro superior y 4 soportes verticales diseñados para mantener estabilidad de la estructura. La unión de estos se la hizo mediando soldadura con electrodo revestido 6011 x 1/8. Esta armazón no está fijada a la base con soldadura, sino que, por medio de unos topes, estas se acoplan con ayuda de autoperforantes, lo cual facilita un futuro mantenimiento preventivo.</p>
2	<p><b>Refuerzos adicionales.</b></p> 	<p>Para reforzar la estructura se integraron 2 parantes en los laterales, uno en cada lateral, utilizando tubos de la misma medida 3/4 x 1.5 mm. Asimismo, se integraron 2 transversales, uno en la cara lateral y otro en la cara superior con el fin de tener mayor rigidez y soporte.</p>
3	<p><b>Refuerzo para el tablero de control.</b></p> 	<p>Se construyó la armazón de cera de fijación para la caja de control ante posibles vibraciones. Esta estructura fue diseñada y construida con ángulos de 20x2 mm y con parantes de tubo cuadrado de acero negro de 5/8" x 1 mm.</p>
4	<p><b>Preparación de la superficie.</b></p> 	<p>Con el motor y el tablero debidamente alineados, se procedió al marcado del área para el respectivo anclaje con pernos autoperforantes.</p>

---

5 **Pulido y montaje.**



Una vez terminada la preparación, con el disco abrasivo se pule el área de la base donde se encuentre alguna escoria de soldadura y pulir cada punto de soldadura de la estructura de protección.

6 **Pintado y fijación.**



Antes de fijar la estructura a la base se le pasa una pequeña capa de pintura antioxidante con el fin de evitar oxidación, luego de esto se fija la estructura a la base.

7 **Colocación de plancha galvanizada.**



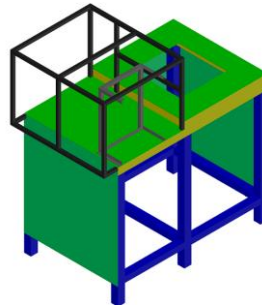
Se cubre toda la estructura con plancha galvanizada de 0.90 mm de espesor, esto se lo hace con tornillos autoperforantes para que sea más fácil destapar el equipo ante posibles mantenimientos. Para terminar, se lija la plancha para que exista mayor adherencia de la pintura, se da una primera pasada con fondo Uniprime, esto sirve para que la pintura no se salga con el pasar del tiempo.

---

*Nota.* Elaborado por los autores.

**Figura 19.**

*Estructura de protección.*



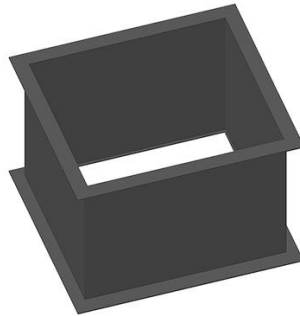
*Nota.* Elaborado por los autores.

**2. Fabricación de soporte/cuerpo de tolva.**

Para esta etapa de construcción se realizó la fabricación de un segundo cuerpo para la caja de las cuchillas, esto con el fin de que exista mayor captación de material plástico para triturar y para prevenir accidentes, ya que el diseño previo no contaba con algún sistema de seguridad que prevea que un operario meta la mano por descuido, por ende, se optó por crear un nuevo cuerpo para así evitar todo tipo de accidentes. El cuerpo de tolva tendrá una altura de 25 cm de alto, el ancho y la profundidad se la considerará de la misma medida que la caja de cuchilla.

**Figura 20.**

*Diseño de cuerpo de tolva.*

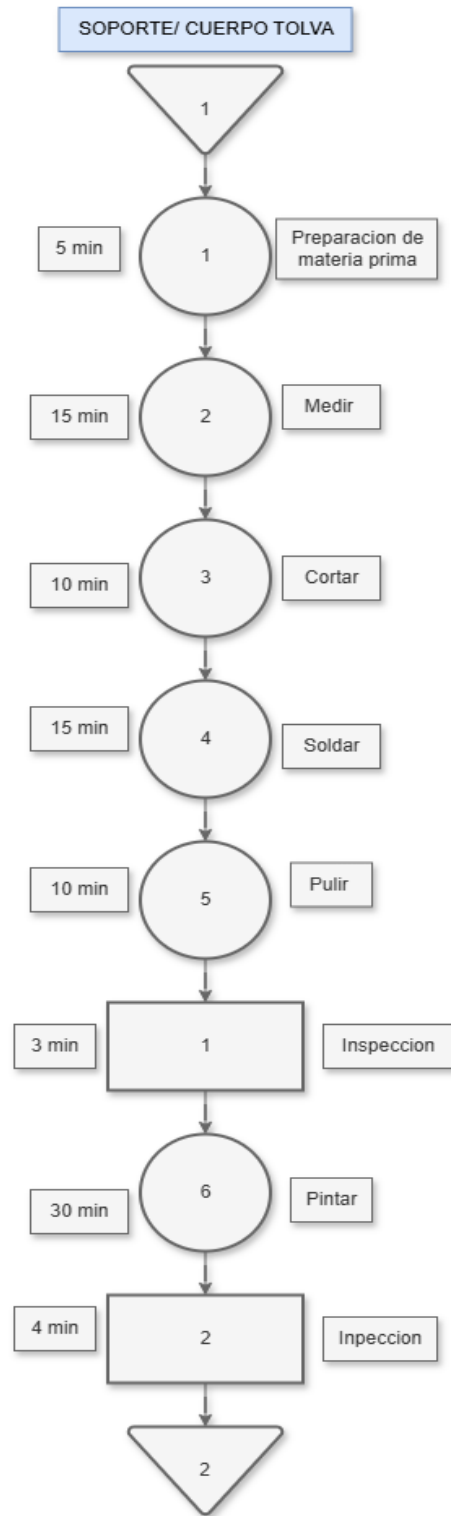


*Nota.* Elaborado por los autores.

A continuación, se presenta un diagrama de operaciones de procesos donde se detallan cada una de las actividades realizadas en la construcción del cuerpo 2.

**Figura 21.**

*Soporte/cuerpo de tolva.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Tabla 36.**

*Tiempo de construcción.*

soporte cuerpo de tolva			
OPERACIONES		TIEMPO DE OPERACIÓN	
		HORAS	MINUTOS
Preparación de materia prima	1	0.08	5
Medir	2	0.25	15
Cortar	3	0.16	10
Soldar	4	0.25	15
Pulir	5	0.16	10
Inspección	1	0.05	3
Pintar	6	0.5	30
Inspección	2	0.06	4
<b>TOTAL</b>		<b>1.53</b>	<b>92</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

Con esto nos damos cuenta de que el tiempo de construcción del cuerpo para la tolva sin considerar tiempos suplementarios es de 1.53 horas.

### **3. Cámara de trituración.**

Para el rediseño de la cámara de trituración, se realizaron diferentes operaciones tanto en cuchillas, ejes y separadores. lo que llevo a realizar un diagrama de operaciones de procesos para un mayor entendimiento, el cual se presenta en la figura 64, así mismo en la figura 63, se visualiza el resultado final de la cámara de trituración.

**Figura 22.**

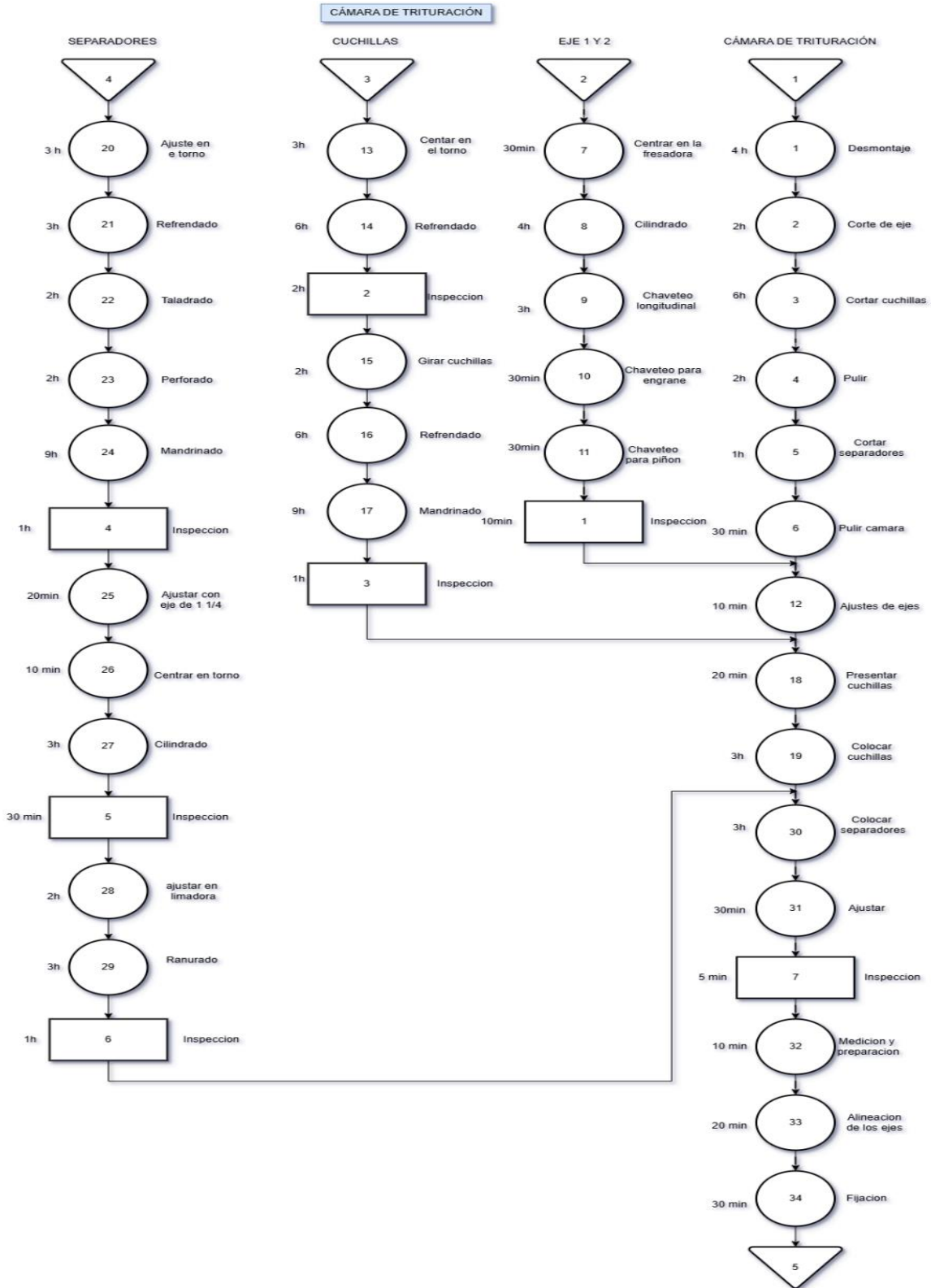
*Cámara de trituración.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Figura 23.**

*Diagrama de operaciones de la cámara de trituración.*



Nota. Elaborado por los autores.

**Tabla 37.***Tiempos basándonos en la cámara de trituración.*

<b>Cámara de trituración</b>			
<b>OPERACIONES</b>		<b>TIEMPO DE OPERACIÓN</b>	
		<b>HORAS</b>	<b>MINUTOS</b>
<b>Desmontaje.</b>	1	2.00	120
<b>Corte de eje.</b>	2	2.00	120
<b>Corte de cuchillas.</b>	3	6.00	360
<b>Pulir.</b>	4	2.00	120
<b>Cortar separadores.</b>	5	1.00	60
<b>Pulir cámara.</b>	6	0.5	30
<b>Centrar en la fresadora.</b>	7	0.5	30
<b>Cilindrado.</b>	8	4.00	240
<b>Chaveteo longitudinal.</b>	9	3.00	180
<b>Chaveteo para engrane.</b>	10	0.5	30
<b>Chavetero para piñón.</b>	11	0.5	30
<b>Inspección.</b>	1	0.16	10
<b>Ajustes de ejes.</b>	12	0.16	10
<b>Centrar en el torno.</b>	13	3.00	180
<b>Refrendado.</b>	14	6.00	360
<b>Inspección.</b>	2	2.00	120
<b>Girar cuchillas.</b>	15	2.00	120
<b>Refrendado.</b>	16	6.00	360
<b>Mandrinado.</b>	17	9.00	540
<b>Inspección.</b>	3	1.00	60
<b>Presentar cuchillas.</b>	18	0.33	20
<b>Colocar cuchillas.</b>	19	3.00	180
<b>Ajuste en el torno.</b>	20	3.00	180
<b>Refrendado.</b>	21	3.00	180
<b>Taladrado.</b>	22	2.00	120
<b>Perforado.</b>	23	2.00	120
<b>Mandrinado.</b>	24	9.00	540
<b>Inspección.</b>	4	1.00	60
<b>Ajustar con eje 1 ¼.</b>	25	0.33	20
<b>Centrar en el torno.</b>	26	0.16	10
<b>Cilindrado.</b>	27	3.00	180
<b>Inspección.</b>	5	0.5	30
<b>Ajustar en limadora.</b>	28	2.00	120
<b>Ranurado.</b>	29	3.00	180
<b>Inspección.</b>	6	1.00	60

<b>Colocar separadores.</b>	30	3.00	180
<b>Ajustar.</b>	31	0.5	30
<b>Inspección.</b>	6	0.08	5
<b>Medición y preparación.</b>	32	0.16	10
<b>Alineación de los ejes.</b>	33	0.33	20
<b>Fijación.</b>	34	0.5	30
<b>TOTAL</b>		89.25	5355

*Nota.* Elaborado por los autores.

Es la tabla 37 se puede evidenciar que el total de horas que se trabajó en la cámara de trituración fue de 89.25 horas. Lo que significa que si son 8 horas laborables al día. Solo en la cámara de trituración se la realizo en 11 días laborables sin considerar tiempos suplementarios.

Así mismo se detalla de forma breve cada uno de los pasos para cada una de las operaciones realizadas.

#### **a) Fabricación de separadores.**






En esta etapa de la construcción se llevó a cabo la fabricación de los separadores que van entre cuchillas. Estas piezas fueron fabricadas en el taller de la carrera de ingeniería industrial, haciendo uso de los tornos 1 y 2 se pulieron y rectificaron las caras y diámetros de los separadores a la medida deseada. Así mismo se utilizó la limadora para el respectivo ranurado.

#### **Figura 24.**

*Separador terminado.*



**Tabla 38.***Operaciones para la fabricación de separadores.*

Ítems	Material	Descripción
1	<b>Refrendado</b> 	Con el uso del torno se realizó primeramente un refrendado en las caras de las tortas(separadores) con un buril o cuchilla de 3/8", quitando todo tipo de imperfecciones y oxidación.
2	<b>Taladrado</b> 	Terminado el refrendado de las caras, se taladra con una bronca centro.
3	<b>Perforado</b> 	Luego del taladrado se realiza un perforado en el centro de las tortas con diferentes medidas de brocas (1/4, 3/8, 1/2, 5/16, 3/4 hasta llegar a 1") de diámetro interior de perforación.
4	<b>Mandrilado</b> 	Luego del perforado a 1 pulgada se hizo uso de una porta herramienta ideal para una cuchilla de 1/4 que sirve para agrandar el diámetro existente a 1 1/4 de pulgada.
5	<b>Cilindrado</b> 	Para esta operación se hizo uso de una barra de transmisión de 1 1/4 de pulgada que sirve como eje para las tortas, se soldó las caras para mayor fijación y seguir con el cilindrado. Este cilindrado permitió reducir el diámetro de las cuchillas a 62 mm que es el ideal para la caja de cuchillas.
6	<b>Ranurado</b>	Luego de haber terminado las operaciones en el torno, se hizo uso de la limadora para realizar un ranurado interior en los separadores. Estas ranuras tienen un ancho de 10 mm por una profundidad de 5 mm, ya que la cuña que sostendrá el eje a estos separadores es de 10 x 10 mm.



*Nota.* Elaborado por los autores.

### b) Preparación de cuchillas

Se cortó las cuchillas de su eje ya que no contaba con los separadores ni la distribución para el triturado de plástico era la correcta, además, no estaba fijada al eje mediante una cuña, sino que se encontraban soldadas, lo que hacía imposible un mantenimiento a futuro.

- **Refrendado:** con un buril de 3/8 se realizó un refrendado consiguiendo una superficie plana.
- **Mandrilado:** con una cuchilla de 1/4 se agrandó el diámetro interior de las cuchillas a 1 1/4 de pulgadas

### Figura 25.

*Preparación de cuchillas.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.3 Preparación de eje 1 y 2.

La preparación de los ejes de las cuchillas se llevó a cabo con el uso del torno y de la fresadora.

En el torno se realizó un cilindrado en los extremos de la barra de transmisión de 1 1/4 de pulgada que es la que servirá como eje para las cuchillas. Este cilindrado tiene un diámetro de 1" necesario para la colocación de unas chumaceras las cuales permitirán estabilidad y fijación de las cuchillas.

### Figura 26.

*Torneado.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

Con la fresadora se realizó la ranura longitudinal el cual sirve de acoplamiento de una cuña mecánica para mejorar la transmisión del torque y la sujeción segura durante el proceso de trituración. La profundidad de la ranura es de 5 mm, 10 mm de ancho y 35 cm de largo.

**Figura 27.**  
*Fresado.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

### **3.4 Ensamblaje de cuchillas.**

Tras la preparación de los ejes se montó cada una de las cuchillas y separadores con una distribución de una a una. De la misma manera, se adjunta la figura 28.

- a. Medición y preparación:** se determina con precisión el tamaño de la cámara de trituración asegurando una correcta instalación en la base de la máquina, esta acción garantizar la

alineación apropiada de los ejes, tanto en la caja reductora como en el sistema de transmisión, evitando fallos en la operación.

- b. Alineación de los ejes:** se procedió a la alineación minuciosa de los ejes que corresponden a la cámara de cuchillas, esta vinculación es importante para garantizar la eficiente transmisión del motor, reducir las cargas axiales y radiales indebidas sobre el rodamiento, minimizar el desgaste precipitado de los elementos mecánicos y asegurar un óptimo rendimiento del sistema de trituración.
- c. Fijación final:** una vez comprobada la alineación correcta de los componentes, la cámara de las cuchillas fue asegurada a la base mediante pernos negros de  $\frac{1}{4}$  con tuercas y anillas garantizando la estabilidad operativa del conjunto, evitando movimientos no deseados o vibraciones con exceso que puedan afectar el sistema o representar riesgos para la seguridad del trabajador.

#### **Figura 28.**

*Ensamblaje de cuchillas.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

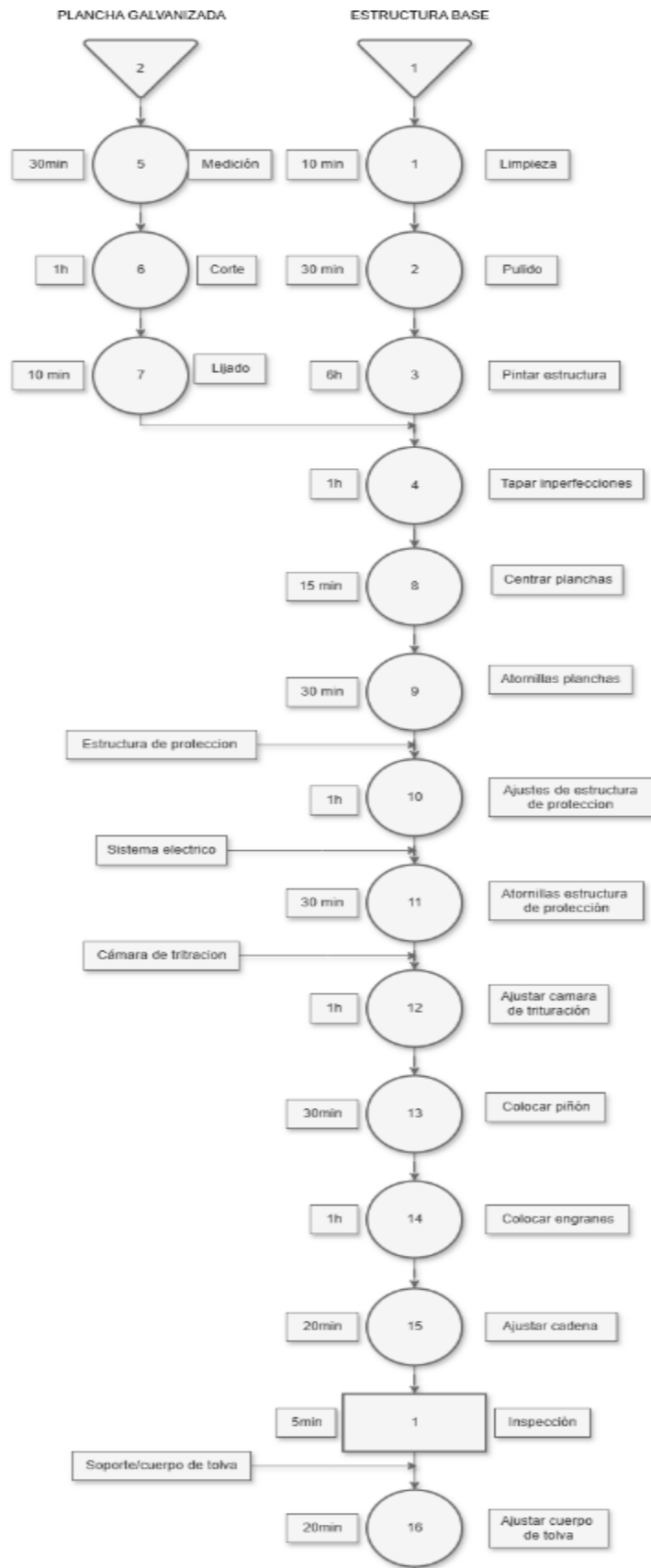
#### **4. Maquina rediseñada.**

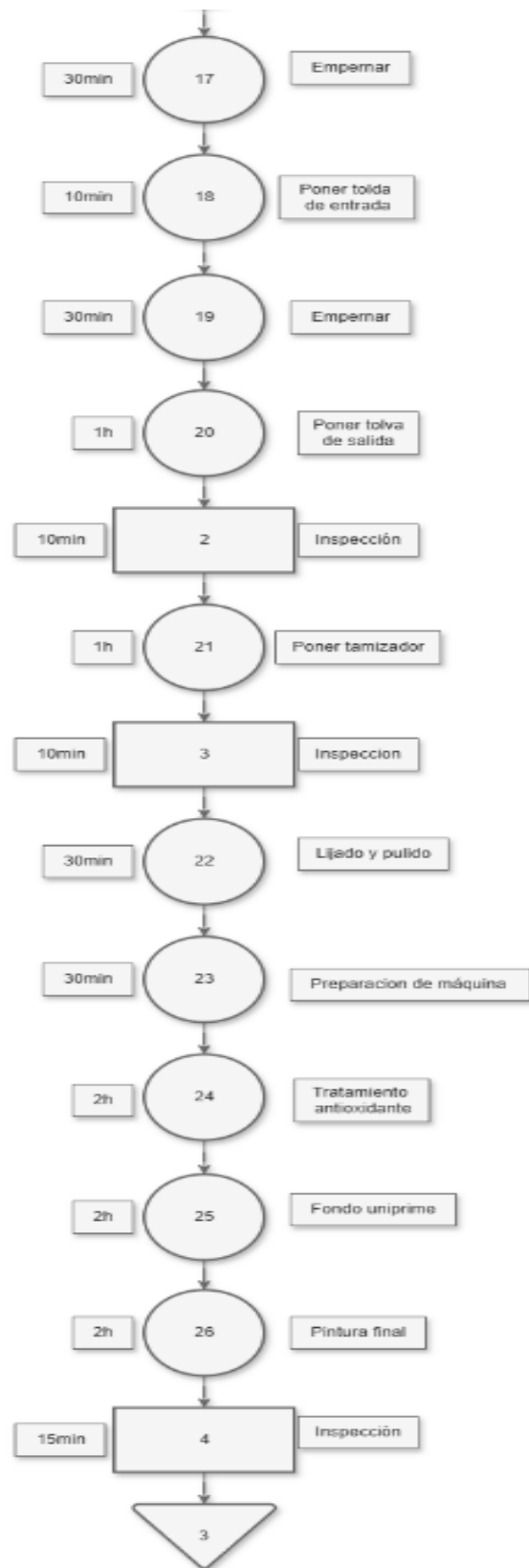
Así mismo se presenta en el siguiente diagrama los pasos que se realizaron para el rediseño de la maquina trituradora.

#### **Figura 29.**

*Diagrama de operación de ensamble final de la maquina rediseñada.*

DIAGRAMA DE FLUJO DE ENSAMBLE FINAL DE LA MÁQUINA REDISEÑADA





*Nota.* Elaborado por los autores.

A continuación, se presenta la tabla 39 donde se resumen los tiempos de operación que se llevó en la construcción del rediseño de la maquina trituradora de plásticos, considerando los tiempos que se llevó en cada operación (estructura, cámara de trituración, cuerpo de tolva, sistema eléctrico).

Se puede observar que el tiempo de construcción de la máquina trituradora sin considerar tiempos suplementarios es de 213.0166667 horas laborables, que, dividiéndolo para las 8 horas laborales al día, la maquina demora 26.62 días laborables.

**Tabla 39.**

*Resumen de tiempos del rediseño de maquina trituradora.*

<b>Maquina rediseñada</b>			
<b>OPERACIONES</b>		<b>TIEMPO DE OPERACIÓN</b>	
		<b>HORAS</b>	<b>MINUTOS</b>
<b>Inspección.</b>	1	0.16	10
<b>Pulido.</b>	2	0.5	30
<b>Pintar estructura.</b>	3	2	120
<b>Tapar imperfecciones.</b>	4	1	60
<b>Medición.</b>	5	0.5	30
<b>Corte.</b>	6	1	60
<b>Lijado.</b>	7	0.16	10
<b>Centrar planchas.</b>	8	0.25	15
<b>Atornillar planchas.</b>	9	0.5	30
<b>Ajustar estructura de protección.</b>	10	1	60
<b>Atornillar estructura de protección.</b>	11	0.5	30
<b>Ajustar cámara de trituración.</b>	12	1	60
<b>Colocar piñón.</b>	13	0.5	30
<b>Colocar engranes.</b>	14	1	60
<b>Ajustar cadena.</b>	15	0.33	20
<b>Inspección.</b>	1	0.08	5
<b>Ajustar cuerpo de tolva.</b>	16	0.33	20
<b>Empernar.</b>	17	0.5	30
<b>Colocar tolva de entrada.</b>	18	0.16	10
<b>Empernar.</b>	19	0.5	30
<b>Colocar tolva de salida.</b>	20	1	60
<b>Inspección.</b>	2	0.16	10
<b>Colocar tamizador.</b>	21	1	60
<b>Inspección.</b>	3	0.1	10
<b>Lijado y pulido.</b>	22	0.5	30
<b>Preparación de máquina.</b>	23	0.5	30

<b>Tratamiento antioxidante.</b>	24	2	120
<b>Fondo Uniprime.</b>	25	2	120
<b>Pintura final.</b>	26	2	120
<b>Inspección.</b>	4	0.25	15
<b>ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN</b>		4.65	279
CÁMARA DE TRITURACIÓN		89.25	5355
SOPORTE TOLVA		1.53	92
SISTEMA ELÉCTRICO		96	5760
<b>TOTAL</b>		<b>213.01</b>	<b>1295</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

Así mismo, se presenta un resumen de cada una de las actividades realizadas en el proceso de rediseño y estructuración de la máquina.

### **5. Recubrimiento de la mesa.**

Con el fin de obtener un acabado superficial de la máquina, de la mesa fue cubierta con láminas galvanizadas, este recubrimiento ofrece protección anticorrosiva contribuyendo a la mejorar la apariencia del equipo.

- a. Material utilizado:** se procedió a la elección de planchas galvanizadas de 0.90 mm de espesor por su anti corrosividad y durabilidad, preservando también la integridad de la estructura especialmente en entornos expuestos a sustancias corrosivas.
- b. Medición y corte:** se tomaron medidas para cubrir todas las caras de la estructura de la mesa, dejando en la sexta cara una abertura de 20 x 20 centímetros al descubierto para facilitar la extracción del material triturado.
- c. Corte y acabado de las láminas:** se procedió a cortar las láminas de acuerdo con las medidas indicadas, sometiéndose a un proceso de pulido, con la finalidad de eliminar imperfecciones y bordes afilados, garantizando condiciones seguras de operación y mejorado la presentación estética del equipo.
- d. Fijación de las láminas:** las superficies de la mesa fueron cubiertas utilizando pernos autoperforantes asegurando una unión mecánica estable y duradera, a la vez permitiendo su desmontaje para facilitar las labores de mantenimiento y ajustes en la estructura interna.

Esta protección superficial no solo proporciona durabilidad, sino que además contribuye a una mejor presentación estética, reforzando su robustez y profesionalismo en diseño.

**Figura 30.**

*Recubrimiento de la mesa.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Acabados estéticos y preparación.**

Una vez completada la instalación de los elementos mecánicos y estructurales de la máquina, se procedió a realizar los acabados estéticos para la puesta en marcha, esto incluye la aplicación de recubrimientos protectores y capas de pinturas, permitiendo extender la durabilidad del equipo y tener una mejor presentación visual.

- a. Tratamiento antioxidante:** se inició con una capa de antioxidante en toda la superficie de la máquina evitando la corrosión, lo que es crucial en entornos donde la humedad y la salinidad son agentes corrosivos que afectan directamente las superficies metálicas.
- b. Aplicación de fondo Uniprime:** este fondo sirve para mejorar la fijación de la pintura sobre la superficie y actuando como barrera anticorrosiva, fortaleciendo la resistencia del acabado y garantizando la vida útil del equipo.
- c. Pintura final:** se aplicó múltiples capas de pintura con el objetivo de mejorar la presentación visual, proporcionando una protección complementaria frente a la exposición a condiciones ambientales y al desgaste mecánico.

## Figura 31.

*Acabados estéticos y preparación.*



Al comprobar que las capas de pintura estén completamente secas, se procede al reensamble de cada una de las partes, dejándola lista para la instalación del sistema eléctrico y continuar con su debida automatización.

### 6. Sistema eléctrico y automatización.

#### 6.1 Instalación de componentes.

Antes de iniciar con el proceso de automatización, se realizó la instalación del sistema eléctrico del equipo, por motivos que el sistema instalado anteriormente no se encontraba en funcionamiento. Por ende, lo primero fue realizar un sistema de arranque directo previo, de este modo, se puede evidenciar como trabaja el motor y cuáles son sus necesidades.

#### Tabla 40.

*Sistema eléctrico previo.*

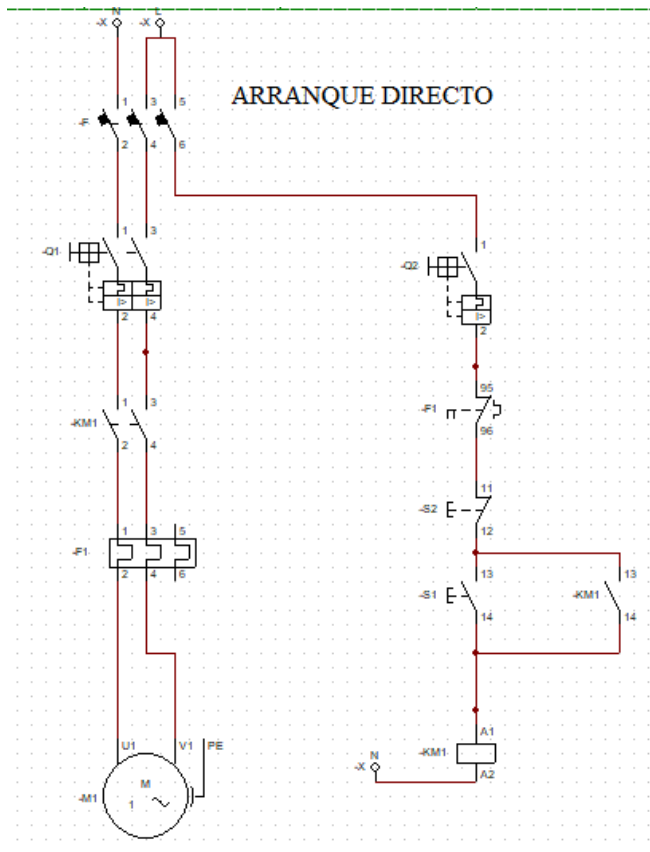
N.º	Componentes	Resumen
1	<b>Caja de control.</b>	Esta caja permite encender y apagar la máquina, asimismo, tener de manera ordenada y segura los componentes que se encuentran en su interior.
2	<b>Breacker 220 v.</b>	Este breacker que trabajará a un voltaje de 220 sirve para proteger el circuito eléctrico ante alguna sobrecarga evitando así incendios o daños en el equipo.
3	<b>Contactador.</b>	Este dispositivo electromecánico es de gran importancia, ya que, por medio de él, se realizará el encendido y apagado de la máquina con su respectivo enclavamiento, así mismo, será en encargado de hacer el cambio de giro del motor.
4	<b>Guarda motor.</b>	Este dispositivo actúa como interruptor y protección térmica el cual ayuda a proteger el motor ante sobrecarga y cortocircuitos.
5	<b>Pulsador marcha/paro</b>	Esta botonera servirá para arrancar o detener el motor de la máquina trituradora.
6	<b>Capacitor de 40 uf.</b>	Este ayudará al arranque del motor mejorando así el rendimiento.

---

*Nota.* Elaborado por los autores.

**Figura 32.**

*Arranque directo.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

Cabe mencionar que para colocar cada componente del sistema eléctrico se realizaron previamente los cálculos de carga y así mismo se verificó en la placa del motor, se consideró colocar adicionalmente luces piloto de señalización, que muestre cuando la máquina está en funcionamiento y se realizaron los cálculos respectivos para colocar un capacitor que brinde un arranque eficiente y sin problemas.

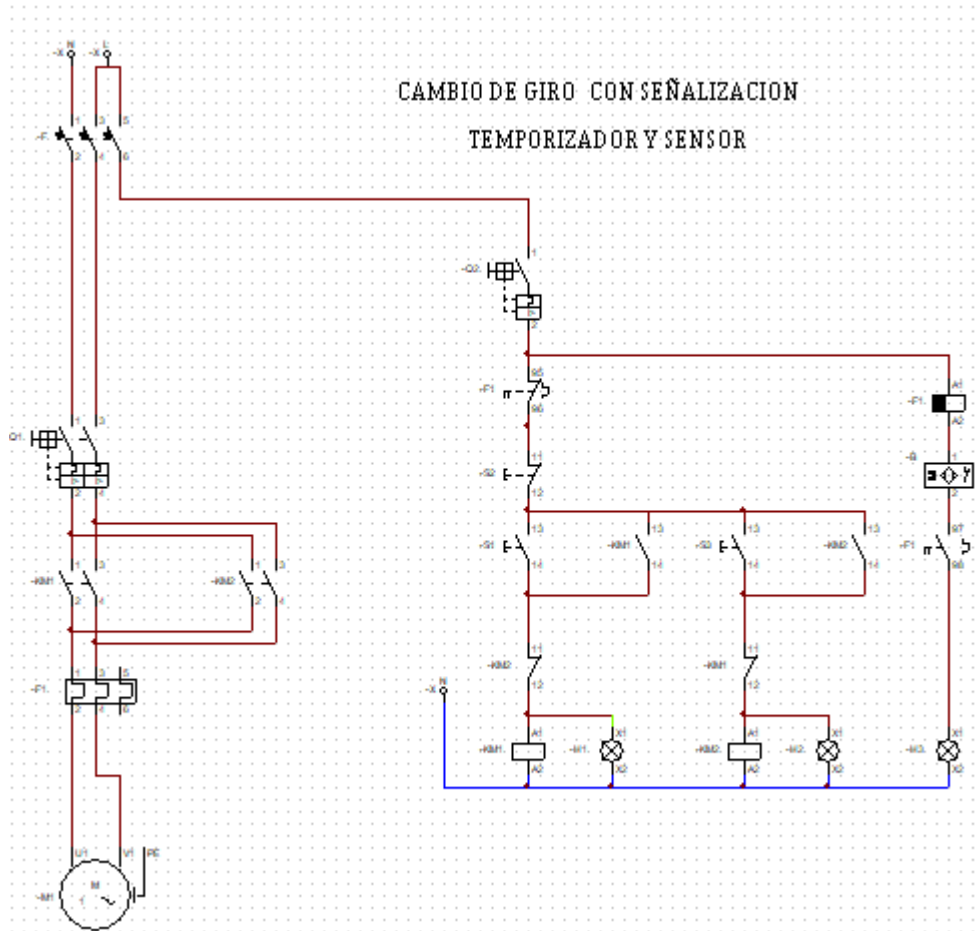
### **6.2 Sistema eléctrico y automático.**

Una vez alineadas las cuchillas se mejoró el sistema eléctrico antes realizado, se incorporó luces piloto que emitan señales cuando la máquina está en funcionamiento y posibles fallas como cortocircuitos, así mismo, una luz indicadora de voltaje y amperaje que ayudará a visualizar el consumo de corriente del sistema y el voltaje en tiempo real. A su vez, se añadieron dos paros de

emergencia que sirven de protección al operario ante cualquier falla, por último, se realizó un cambio de giro utilizando un contactor adicional, permitiendo invertir el movimiento del motor en caso de que exista una obstrucción en la cámara de trituración.

**Figura 33.**

*Sistema eléctrico y automático.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

Dentro del proceso de automatización, se añadió un sistema de control que permite la desconexión automática de la maquina cuando hay ausencia de material en la cámara de trituración, para ello se implementó un sensor y un temporizador, de modo que, si no existe presencia de material en la cámara, el sistema detenga automáticamente la operación, alargando la vida útil de los elementos y optimizando el consumo de energía eléctrica.

### **Figura 34.**

*Parte interna del tablero de control automático.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

### **3.9. Fase 5.- Resultados del prototipo.**

#### **Resultado final.**

Considerando el resultado final del rediseño de la máquina, se estima que hubo mejoras significativas en cuanto a la trituración y el automatismo de la máquina.

En el diseño inicial se podía observar las separaciones entre cuchillas que afectaban directamente a la eficiencia del equipo, no se encontraban correctamente ajustadas y que tampoco contaban con los separadores necesarios para reducir los espacios, ahora fueron corregidas, lo cual influye directamente en la capacidad de corte, generando el tamaño deseado de material triturado.

En la cámara de trituración se hicieron cambios en la configuración de las cuchillas considerando los planos originales, el eje será de 1 ¼ de pulgada brindando así mayor fuerza y estabilidad al momento de triturar, se realizó un chaveteo entre la barra de eje y los componentes (cuchillas, separadores, engranajes y piñón) con una profundidad en el eje de 5 mm y en las cuchillas de 5 mm, dando 10 mm entre sí, entre ella se colocó una barra calibrada que cumple la función de cuña de 10\* 10 milímetros, con el fin de brindar mayor sujeción entre sí y facilitar el desmontaje para futuros mantenimientos, esto en base a los cálculos pertinentes para el funcionamiento, como la fuerza de corte, velocidad y potencia del motor.

Se construyó una protección estructural al motorreductor y al nuevo sistema de control (automatizado), esta estructura se construyó con material de acero negro cuadrado de ¾ de pulgada por 1.5 milímetros de espesor debido a su alta resistencia y versatilidad a la hora de trabajarlo, así

mismo, se soldaron unos topes a la estructura base, con el fin de que la estructura de protección se fije a ésta mediante pernos autoperforantes para su fácil desmontaje, toda esta estructura se protegió con una plancha galvanizada de 0.90 milímetros de espesor el cual es ideal ya que protege al motor de la corrosión.

Para el sistema eléctrico automatizado se consideró colocar una caja de control frente al motor para que sea de fácil manipulación para el operario, en su interior cuenta con un arranque directo y cambio de giro mediante contactores para posibles destrabes en la cámara de trituración, así mismo, se incorporó un temporizador y sensor de detección de plástico, el cual dará la señal para que el motor se apague cuando la trituradora se encuentre desabastecida de material, todo este sistema estará alimentado a una tensión eléctrica de 220 v.

Así mismo se incorporó un cuerpo adicional en la tolva de entrada y se fabricó una tolva de salida y una tamizadora calibrada a la medida que permita que el material sea el ideal, este rediseño brinda mejor rendimiento y funcionalidad al equipo, así como también, mayor seguridad al operario al momento de manipular la máquina. Los ajustes de rediseño empleados y por supuesto la automatización en la que incluyo un temporizador y un sensor, el cual cumplirá la función de apagar el equipo cuando el sensor detecte que no existe material saliendo de la cámara de trituración, contribuyeron directamente en la calidad y la eficiencia del proceso de trituración proyectado, así mismo, contribuyendo en el ahorro de energía, ya que, si no existe operario trabajando, se apagara de forma automática.

**Figura 35.**

*Maquina trituradora.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

El funcionamiento de la máquina trituradora automatizada es muy sencillo, empezando por la conexión del mismo al sistema de energía eléctrica de 220 v, una vez conectada, ya está lista para su funcionamiento, existen dos pulsadores de arranque, el cual uno sirve para dar marcha y el otro cumple la función de cambiar de giro si fuera el caso de que exista atascamiento en la cámara de trituración, de la misma manera, un pulsador de paro de color rojo, detiene la marcha; dos paros de emergencia para mayor protección del operario. Basta con introducir el material a triturar por la tolva, ésta caerá a la cámara y saldrá por una tolva de salida, cuando la máquina no detecte material, existe un sensor el cual manda a apagar todo el sistema, evitando así desgaste en las cuchillas, ahorro de energía, y garantizando así la eficiencia de los procesos (anexo M).

### **Validación del rediseño y funcionamiento con el sistema automatizado.**

Para exponer los resultados de las pruebas de rendimiento, se elaboró una descripción técnica de pruebas con diferentes materiales como EPS (espuma de poliestireno), PS y PET (poliestireno y tereftalato de polietileno), HDPE (polietileno de alta densidad) y cartón, esta información obtenida fue organizada en tablas dependiendo del material, con el fin de facilitar la visualización de los resultados y permitir un análisis más claro y fundamentado a partir de los datos observados.

A continuación, se presenta en la figura 37, una guía de clasificación de plásticos según (Liliana et al., 2021), en la cual se detalla el tipo de plástico, sus propiedades y usos más comunes, con el fin de conocer sobre los tipos de material que se procesan en la máquina trituradora.

### **Figura 36.**

*Guía de clasificación de plásticos.*

Símbolo	Tipo de Plástico	Propiedades	Usos Comunes
 PET	PET PolietilenoTereftalato (Polyethylene Terephthalate)	Contacto alimentario, resistencia física, propiedades térmicas, propiedades barreras, ligereza y resistencia química.	Bebidas, refrescos y agua, envases para alimentos (aderezos, mermeladas, jaleas, cremas, farmacéuticos, etc.)
 HDPE	HDPE Polietileno de alta densidad (High Density Polyethylene)	Poco flexible, resistente a químicos, opaco, fácil de pigmentar, fabricar y manejar. Se suaviza a los 75°C	Algunas bolsas para supermercado, bolsas para congelar, envases para leche, helados, jugos, shampoo, químicos y detergentes, cubetas, tapas, etc.
 PVC	PVC Policloruro de vinilo (Plasticised Polyvinyl Chloride PCV-P)	Es duro, resistente, puede ser claro, puede ser utilizado con solventes, se suaviza a los 80°C. Flexible, claro, elástico, puede ser utilizado con solventes.	Envases para plomería, tuberías, "blister packs", envases en general, mangueras, suelas para zapatos, cables, correas para reloj.
 LDPE	LDPE Polietileno de baja densidad (Low density Polyethylene)	Suave, flexible, traslucido, se suaviza a los 70°C, se raya fácilmente.	Película para empaque, bolsas para basura, envases para laboratorio.
 PP	PP Polipropileno (Polypropylene)	Difícil pero aún flexible, se suaviza a los 140°C, traslucido, soporta solventes, versátil.	Bolsas para frituras, popotes, equipo para jardinería, cajas para alimentos, cintas para empacar, envases para uso veterinario y farmacéutico.
 PS	PS Poliestireno (Polystyrene)	Claro, rígido, opaco, se rompe con facilidad, se suaviza a los 95°C. Afectado por grasas y solventes.	Cajas para discos compactos, cubiertos de plástico, imitaciones de cristal, juguetes, envases cosméticos.
 PS-E	PS-E Poliestireno Expandido (Expanded Polystyrene)	Esponjoso, ligero, absorbe energía, mantiene temperaturas	Tazas para bebida calientes, charolas de comida para llevar, envases de hielo seco, empaques para proteger mercancía frágil
 OTHER	OTHER Otros (SAN, ABS, PC, Nylon)	Incluye de muchas otras resinas y materiales. Sus propiedades dependen de la combinación de los plásticos.	Auto partes, hieleras, electrónicos, piezas para empaques.

Nota. Obtenido de Liliana et al., (2021).

En cada prueba se evaluó la capacidad de la máquina para triturar distintos tipos de plásticos, como PET, HDPE, PS y EPS variando ligeramente el tiempo de operación, donde se consideró un peso de 100 gramos de material utilizado, además, se incorporó una prueba específica con cartón para analizar el comportamiento del sistema frente a otro tipo de materiales. Los resultados se expresaron en términos de eficiencia de trituración, considerando el tamaño final de los fragmentos y el porcentaje de material procesado correctamente.

Para el cálculo de la eficiencia %, se consideró la cantidad de material a triturar, cantidad de material triturado, tiempo de trituración, consumo en amperes, dando así la siguiente fórmula:

$$\text{eficiencia (\%)} = \left( \frac{M}{M_t} \times \frac{1}{T \times \frac{I}{3A}} \right) \times 100$$

**Tabla 41.***Símbolos utilizados en la fórmula.*

Símbolo	Descripción	Unidad
<i>M</i>	Masa triturada correctamente.	Gramos (g).
<i>MT</i>	Masa total.	Gramos (g).
<i>T</i>	Tiempo de operación.	Minutos (min).
<i>I</i>	Consumo eléctrico.	Amperios (A).
<i>3A</i>	Valor de referencia para consumo ideal .	Amperios (A).

*Nota.* Elaborado por los autores.**Prueba 1: PS y PET (poliestireno y tereftalato de polietileno).****Tabla 42.***Indicadores de rendimiento.*

Muestra	Material	Cantidad por triturar	Cantidad triturada	Tiempo (min)	Resultados	Consumo (amperios)	Eficiencia (%)
1	PS y PET	100 gramos	80 gramos	0.798 min	3-7 cm	3.4	88%
2	PS y PET	100 gramos	75 gramos	0.816 min	4-7 cm	3.7	75%
3	PS y PET	100 gramos	70 gramos	0.96 min	5-7 cm	3.8	58%
4	PS y PET	100 gramos	78 gramos	0.853 min	5-7 cm	3.5	78%
5	PS y PET	100 gramos	75 gramos	0.893 min	5-7 cm	3.6	70%
TOTAL		100 gramos	75.6 gramos	0.864 min	3-7 cm	3.6	74%

*Nota.* Elaborado por los autores.

En esta primera prueba se realizaron 5 muestras donde los resultados de rendimiento indicaron que la eficiencia de trituración tiene un promedio de 74 %, lo que indica que existe aumento con la calidad de triturado pero que aún necesita mejoras en el sistema de cuchillas; los resultados de corte de PS y PET (vasos plásticos descartables) fueron un poco más grande de lo esperado, con un tamaño promedio de 3-7 cm, y material que no se trituraba completamente. De los 100 gramos de material de cada muestra, se trituraron solo 75.6 gramos, así mismo, se evidenció que el consumo de amperaje en cada una de las muestras variaba llegando hasta los 3.6 amperios, lo cual indica que el trabajo que realiza el motor al momento de triturar es un poco elevado, pero se mantiene dentro del rango de los 5 amperes.

### Figura 37.

Prueba 1- PS y PET.



Nota. Elaborado por los autores.

### Prueba 2: EPS (espuma de poliestireno).

#### Tabla 43.

Indicadores de rendimiento.

Muestra	Material	Cantidad por triturar		Cantidad triturada		Tiempo (min)		Resultados	Consumo (amperios)	Eficiencia (%)
1	EPS	100	gramos	90	gramos	1.32	min	1-3 cm	3	68%
2	EPS	100	gramos	95	gramos	1.37	min	1-3 cm	3.1	67%
3	EPS	100	gramos	90	gramos	1.35	min	1-3 cm	3.1	65%
4	EPS	100	gramos	95	gramos	1.25	min	1-3 cm	3.1	74%
5	EPS	100	gramos	90	gramos	1.4	min	1-3 cm	3.1	62%
TOTAL		100	gramos	92	gramos	1.338	min	1-3 cm	3.1	67%

Nota. Elaborado por los autores.

Para esta segunda prueba, de la misma manera se realizaron 5 muestras donde los resultados de rendimiento indicaron que la eficiencia de trituración tiene un promedio de 67 %, lo que indica que existe una baja productividad debido al tiempo que demora, los resultados de corte EPS (platos desechables) fueron los esperados, con un tamaño promedio de 1-3 cm, casi la totalidad del material se trituraba completamente, teniendo como promedio 100 gramos de material, se trituraron 92 gramos. Así mismo, se evidenció que el consumo de amperaje en cada una de las muestras se mantenía entre los 3 y 3.1 amperios, lo que indica que el trabajo que realiza el motor al momento de triturar es mínimo a comparación de los vasos plásticos.

### Figura 38.

Prueba 2 EPS.



*Nota.* Elaborado por los autores.

### **Prueba 3: HDPE (polietileno de alta densidad).**

**Tabla 44.**

*Indicadores de rendimiento*

Muestra	Material	Cantidad por triturar	Cantidad triturada	Tiempo (min)	Resultados	Consumo (amperios)	Eficiencia (%)
1	HDPE	100 gramos	65 gramos	0.745 min	3-6 cm	3.7	71%
2	HDPE	100 gramos	75 gramos	0.615 min	3-6 cm	3.7	99%
3	HDPE	100 gramos	85 gramos	0.863 min	3-6 cm	3.7	80%
4	HDPE	100 gramos	70 gramos	0.538 min	3-6 cm	4.1	95%
5	HDPE	100 gramos	73.75 gramos	0.538 min	3-6 cm	3.9	105%
TOTAL		100 gramos	73.75 gramos	0.69 min	3-6 cm	3.8	86%

*Nota.* Elaborado por los autores.

Para esta prueba se realizaron 5 muestras donde los resultados de rendimiento indicaron que la eficiencia de trituración tiene un promedio de 86 % , lo que indica que existe aumento con la calidad de triturado pero que aún necesita mejoras; los resultados de corte de HDPE (tapas plásticas de bidones), fueron un poco más grande de lo esperado, con un tamaño promedio de 3-6 cm, con material que no se trituraba completamente, teniendo como promedio 100 gramos de material, se trituraron solo 73.75 gramos. Así mismo, se evidenció que el consumo de amperaje en cada una de las muestras variaba llegando hasta los 3.8 amperios, lo cual indica que el trabajo que realiza el motor al momento de triturar es un poco elevado, pero se mantiene dentro del rango de los 5 amperes.

### **Figura 39.**

*Prueba 3 HDPE.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

#### **Prueba 4: Cartón reciclado.**

**Tabla 45.**

*Indicadores de rendimiento.*

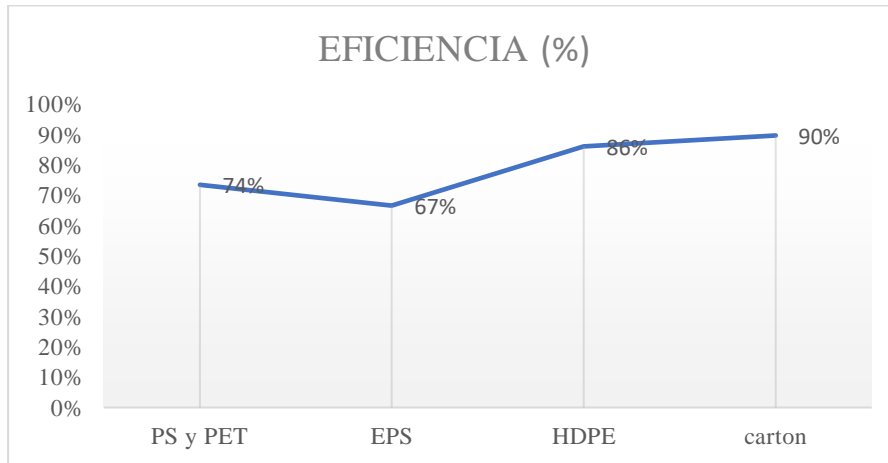
Muestra	Material	Cantidad para triturar		Cantidad triturada		Tiempo (min)		Resultados	Consumo (amperios)	Eficiencia (%)
1	cartón	200	gramos	180	gramos	0.922	min	3-5 cm	3.3	89%
2	cartón	200	gramos	175	gramos	0.893	min	3-5 cm	3.2	92%
3	cartón	200	gramos	180	gramos	0.924	min	3-5 cm	3.3	89%
4	cartón	200	gramos	176	gramos	0.907	min	3-5 cm	3.3	88%
5	cartón	200	gramos	180	gramos	0.924	min	3-5 cm	3.2	91%
TOTAL		200	gramos	178.2	gramos	0.914	min	3-5 cm	3.3	90%

*Nota.* Elaborado por los autores.

Para esta última prueba, también se realizaron 5 muestras donde los resultados de rendimiento indicaron que la eficiencia de trituración tiene un promedio de 90 %, lo que indica que existe una alta productividad, los resultados de corte del cartón reciclado fueron ideales, con un tamaño promedio de 3-5 cm, casi la totalidad del material se trituraba completamente, teniendo como promedio 200 gramos de material, se trituraron 178.2 gramos. Así mismo, se evidenció que el consumo de amperaje en cada una de las muestras se mantenía entre los 3.2 y 3.3 amperios, lo que indica que el trabajo que realiza el motor al momento de triturar es mínimo a comparación de las tapas plásticas de bidones.

**Figura 40.**

*Resultados de rendimiento.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

La figura 40 ilustra el rendimiento promedio de cada una de las pruebas con una tendencia al alza, lo que demuestra que, si hubo mejoras en el rediseño planteado, aunque es importante realizar ajustes dentro del sistema de trituración y así aumentar la eficacia y tener mayor cantidad de material que la máquina pueda triturar.

La falta de rendimiento existente puede deberse a que el nuevo sistema no está terminado, necesita la implementación de separadores en los laterales de la cámara de trituración, esto evita que el material quede atrapado entre las cuchillas, también es necesario incorporar una tamizadora, la cual permitirá la salida del material deseado a la medida y por último la rectificación de las cuchillas, con esto, se evita que el motor se exija y aumente el amperaje, ya que, teniendo las cuchillas afiladas será más eficiente al momento de triturar.

### **Capacidad operativa de la máquina**

Para evaluar la capacidad de operación de la máquina, se consideró tomar como referencia la prueba 3, hecha con HDPE (polietileno de alta densidad), tabla 48, ya que en esta prueba es donde se realizaron más muestras y el material será el más utilizado; es necesario calcular la capacidad por cada una de las muestras para así tener la capacidad mínima, máxima y operativa.

Para tener la capacidad estándar, primero fue necesario obtener la capacidad de las muestras, para ello, se dividió la cantidad de material triturado entre el tiempo que se tomó, de allí podemos considerar que la capacidad estándar de la máquina es la suma de todas las muestras entre el número total.

**Tabla 46.***Capacidad por muestra.*

Capacidad por prueba (g/min)					Capacidad estándar (g/min)	Capacidad operativa (g/min)
MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5		
87.2483221	121.885157	98.5126521	130.071229	137.039331	114.9513384	118.0651666

*Nota.* Elaborado por los autores.

**Capacidad estándar:** es aquel volumen de producción normal que se genera por el procesamiento de material en un periodo determinado, es por lo que se consideró el promedio de la capacidad de triturado en cada una de las muestras de la prueba 3. Este valor representa el rendimiento medio que se espera de la máquina cuando se encuentra en condiciones operativas normales, este valor es de 114.95 gramos por minuto.

**Capacidad mínima:** se tomó la menor cantidad de material triturado por minuto registrada en las muestras, este resultado puede atribuirse al hecho de que la máquina aun requiere modificaciones en el diseño para alcanzar un óptimo funcionamiento. Como podemos observar en la tabla 48, la capacidad mínima es de 87.24 gramos por minuto, lo que sugiere que, aunque el rendimiento es aceptable, aún existen oportunidades de mejoras en su eficiencia operativa.

**Capacidad máxima:** para la capacidad máxima se consideró la mayor cantidad de material que la maquina logra triturar por el lapso de un minuto, este representa el mejor desempeño en condiciones reales de operación, 137 gramos por minuto es el rendimiento de trituración que se observa.

**Capacidad operativa:** la máquina es capaz de producir 118.06 gramos por minuto de material triturado, considerando que la capacidad operativa es la capacidad teórica corregida por el nivel de eficiencia real alcanzada, el cual lo podemos encontrar en la tabla 46, para este punto se puede decir que la capacidad teórica máxima es la mayor observada en la tabla 48, que es de 137 gramos por minuto.

$$\text{Capacidad operativa} = \text{capacidad teórica máxima} \times \frac{\text{eficiencia \%}}{100\%}$$

$$\text{CO} = 137 \text{g/min} \times \frac{86\%}{100\%}$$

$$\text{CO} = 118.06 \text{g/min}$$

De la misma manera, podemos proyectar la capacidad operativa por año, jornada laboral, mensual y anual presentada en la tabla 47, esta capacidad se mantiene con la misma eficiencia de la prueba 3, ya que esta es una proporción constante entre lo que realmente tritura la maquina y lo que teóricamente se puede triturar. Lo que cambia con el tiempo es la cantidad total de material producido, siempre y cuando las condiciones de operación se mantengan como por ejemplo la misma velocidad o que se mantenga el mismo rendimiento.

**Tabla 47.**

*Capacidad operativa.*

Capacidad operativa (kg/min)	Capacidad por hora (kg/hora)	Capacidad por jornada laboral (kg/día)	Capacidad mensual (toneladas/mes)	Capacidad anual (toneladas/año)
0.118065167	7.083909997	51.71254298	1.137675946	13.44526117

*Nota.* Elaborado por los autores.

Como se observa en la tabla 47, se calculó la capacidad por hora de trabajo que dio como resultado 7.08 kg por hora, de la misma manera se obtuvo por jornada laboral considerando solo 7.30 horas, ya que los otros 30 minutos son de almuerzo, con esto se obtuvo que por jornada de trabajo se trituran 51.71 kilogramos por día, al mes obtuvieron 1.13 toneladas (22 días laborales) y por último se obtuvo 13.44 toneladas al año considerando que se trabajan 260 días.

En comparación a la máquina antes de ser rediseñada y automatizada, se observa que, si hubo mejoras significativas, en una hora de trabajo se trituraban 180 botellas (Soriano et al., 2024) que, convirtiendo a gramos, el peso es de 2700 g, estimando que las botellas pesan 15 g/cada una, con estos nuevos cambios de la trituradora, la capacidad es de 7083.91 g por hora de trabajo, que es 472 botellas considerando el mismo peso de cada una. Con esto se concluye que hubo un incremento de capacidad del 162 % con una eficiencia del 86 % considerando que aún es necesario hacer varios ajustes en la maquina antes de ser entregada.

**Tabla 48.**

*Resumen comparativo.*

	botella	peso por botella (gramos)	CAPACIDAD POR HORA (G/HORA)	# de botellas por hora
Ahora	1	15	7083.91	472
Antes	1	15	2700	180
Incremento	162%			

*Nota.* Elaborado por los autores.

En la tabla 49 se presenta un resumen de cada una de las pruebas hechas con PS y PET, HDPE, EPS y cartón, donde se realiza un análisis general y así observar cuál es su capacidad operativa y eficiencia.

**Tabla 49.**

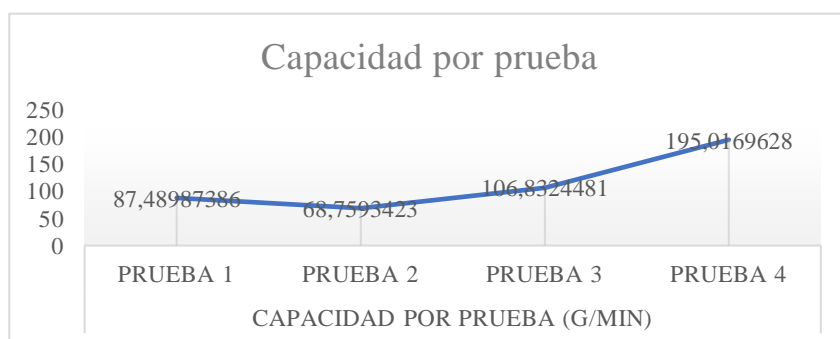
*Resumen general de pruebas.*

CAPACIDAD POR PRUEBA (G/MIN)				CAPACIDAD ESTANDAR (G/MIN)	CAPACIDAD OPERATIVA(g/min)
PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4		
87.4898739	68.7593423	106.832448	195.016963	114.5246568	154.4515875

*Nota.* Elaborado por los autores.

**Figura 41.**

*Capacidad por prueba.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

Como se puede apreciar en la tabla 51 y la figura 42, se evidencia la capacidad operativa de cada prueba, sabiendo que cada una consta de 5 muestras, para la primera prueba con una capacidad operativa de 87 g, por cada minuto de trabajo, prueba 2; 68 g, por minuto de trabajo; prueba 3; 106 g, por minuto de trabajo y prueba 4 con 195 g, por minuto de trabajo. Con esto podemos decir que la capacidad estándar es la máquina es de 114.52 gramos por minuto de trabajo, y una capacidad operativa de 154,4 gramos por minuto de trabajo; con una eficiencia operativa general del 79%.

### 3.10. Presupuesto de la investigación.

La tabla 50 presenta de manera visual un desglose detallado de los costos relacionados con materiales, adquisición de equipos y mecanismos necesarios para la creación de la máquina trituradora de materiales plásticos. Esta incluye una nómina de elementos esenciales como son: materiales e insumos, estructura, cuerpo de la tolva, herramientas, entre otros, de la misma forma

cada componente o ítems está acompañado de la cantidad, costo unitario y el costo total de la inversión.

**Tabla 50.**

*Cálculo de costo de inversión.*

Ítem	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
a. Mecánica (cuchillas).			
BARRA DE TRANS. 1 1/4 1.5 mtrs.	1,5	\$ 24,75	\$ 37,13
BARRA DE TRANS-3/8.	1,5	\$ 2,40	\$ 3,60
TORTAS PARA SEPARADORES 60mmX 12mm de espesor.	20	\$ 3,00	\$ 60,00
EJE DE TRANSMISION DE 2 1/2 " 20 cm.	1	\$ 20,00	\$ 20,00
PLANCHA NEGRA DE 1/2".	1	\$ 70,00	\$ 70,00
BARRA CALIBRADA PARA CUÑA 10X10mm (1mtrs).	1	\$ 10,00	\$ 10,00
b. Gastos de transporte.			
Gastos de movilización.	1	\$ 31,00	\$ 31,00
c. Materiales e insumos.			
CAJA DE CONTROL.	1	\$ 46,00	\$ 46,00
BREACKER 220 V.	1	\$ 18,00	\$ 18,00
CONTACTOR.	2	\$ 50,00	\$ 100,00
GUARDA MOTOR.	1	\$ 45,00	\$ 45,00
RIELES.	1	\$ 3,00	\$ 3,00
CANALETAS.	1	\$ 8,00	\$ 8,00
RELAY.	1	\$ 12,00	\$ 12,00
CABLE FLEXIBLE AWG #8(2mtrs) #14 (5mtrs).	1	\$ 7,00	\$ 7,00
PULSADOR MARCHA/PARO.	1	\$ 12,00	\$ 12,00
PULSADOR MARCHA.	1	\$ 2,50	\$ 2,50
LUZ PILOTO VERDE.	1	\$ 2,00	\$ 2,00
LUZ PILOTO ROJO.	1	\$ 2,00	\$ 2,00
PULSADOR DE EMERGENCIA.	2	\$ 10,00	\$ 20,00
BORNERAS ELÉCTRICAS.	2	\$ 2,00	\$ 4,00
PRENSA ESTOPA.	6	\$ 0,70	\$ 4,20
CABLE CONCÉNTRICO #10 (4.5 mtrs).	4,5	\$ 2,00	\$ 9,00
CABLE CONCÉNTRICO #16 (2.5 mtrs).	2,5	\$ 1,50	\$ 3,75
CAPACITOR 45 uf 370V.	1	\$ 8,92	\$ 8,92
CAJA PLÁSTICA VACÍA PARA 1 COMANDO	1	\$ 1,82	\$ 1,82
CABLE CONCÉNTRICO #12 (2 mtrs)	2	\$ 1,80	\$ 3,60
TEMPORIZADOR.	1	\$ 50,00	\$ 50,00

SENSOR -----	1	\$	25,00	\$	25,00
LUZ INDICADOR VOL/AMP ROJO 110/220V 22MM.	1	\$	5,60	\$	5,60
d. Estructura.					
TUBO TENC CUADRADO 3/4x 1.5 mm.	3	\$	7,50	\$	22,50
PL GALV. 0.90 mm.	2	\$	27,50	\$	55,00
AUTOPERFORANTE 12*3/4.	150	\$	0,05	\$	7,50
TUBO CUADRADO NEG 5/8*1.0 1mtrs.	1	\$	0,93	\$	0,93
ANGULO 20*2 ( 3/4*2) 2.5 mtrs.	2,5	\$	1,21	\$	3,03
e. Cuerpo de tolva.					
PLATINA 25*3 (1*1/8) 4.5 mtrs.	4,5	\$	0,95	\$	4,28
PLANCHA NEGRA 2mm - 3/32 60cmX1.22 mtrs.	1	\$	12,19	\$	12,19
PERNOS NEGROS 1/4 CON TUERCAS Y ANILLAS.	16	\$	0,09	\$	1,44
f. Pintura.					
BROCHA 1 1/2.	3	\$	1,00	\$	3,00
FONDO UNIPRIME GRIS 1/2 L.	1	\$	3,50	\$	3,50
PINTURA SINTÉTICA AZUL ALUMINEADO 1.5 L.	1,5	\$	6,00	\$	9,00
PINTURA SINTÉTICA GRIS ALUMINEADO 1 L.	1	\$	6,00	\$	6,00
DILUYENTE 3L.	3	\$	1,50	\$	4,50
g. Herramientas.					
FRESA 3/8.	1	\$	8,25	\$	8,25
CARETA P/SOLDAR.	1	\$	3,00	\$	3,00
PISTOLA P/SILICON 9" AZUL SSA-A089.	1	\$	2,36	\$	2,36
BROCA 1/4 PARA HIERRO.	1	\$	1,90	\$	1,90
GAFAS DE SOLDAR.	1	\$	5,00	\$	5,00
PISTOLA DE COMPRESOR.	1	\$	11,50	\$	11,50
h. Materiales adicionales.					
ACEITE 20W 50 PARA TORNO.	1	\$	7,00	\$	7,00
HOJAS DE SIERRA.	3	\$	1,50	\$	4,50
DISCO DE CORTE 4".	6	\$	1,40	\$	8,40
DISCO DE PULIR 4".	3	\$	1,55	\$	4,65
SILICON BLANCO 1200 ABRO.	1	\$	2,39	\$	2,39
TIZA PARA HIERRO.	2	\$	0,30	\$	0,60
LIJA GRUESA.	1	\$	0,50	\$	0,50
ELECTRODO 6011 * 1/8.	6	\$	1,90	\$	11,40
TEFLÓN.	1	\$	0,50	\$	0,50
CEPILLO COPA RIZADO 3" PARA AMOLADORA.	1	\$	7,00	\$	7,00

Subtotal	\$	836,93
Imprevistos 5%	\$	41,85
<b>Total</b>	<b>\$</b>	<b>878,77</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

Con todos los datos mencionados que se pueden apreciar dentro de la tabla 50, se destaca un análisis meticuloso en la obtención de los componentes para la ejecución del proyecto, con un valor que asciende hasta los \$836.93 a su vez le adjunta un imprevisto del 0.05 para calcular el valor total de la inversión de \$878,77 cabe recalcar que no se colocó el precio de motor, la caja reductora y el soporte de la máquina, refleja la inversión necesaria es los materiales para su largo funcionamiento.

La tabla 51 muestra indicadores financieros que reflejan una inversión altamente rentable, donde se visualiza un costo total de inversión de \$878.77 y un valor actual neto de \$2.819, se evidencia una ganancia significativa en relación con el desembolso, asimismo se tiene una tasa interna de retorno del 117.32%, ya que indica una rentabilidad superior, mientras que el periodo de recuperación es de solo un año y el costo beneficio es de 1.034 lo que afirma la viabilidad y ejecución del proyecto.

**Tabla 51.**  
*Resultados financieros.*

Indicador	Formula	Resultado \$ 878,77
<b>VAN</b> (valor actual neto)	$\sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo neto en el periodo } t}{(1+r)^t} - \text{inversion inicial}$	\$2.819
<b>TIR</b> (Tasa interna de retorno)	$\sum \left( \frac{\text{Flujo neto}}{(1+TIR)^t} \right) - \text{inversion inicial}$	117,32%
<b>PER</b> (Periodo de recuperación)	$PER = \frac{\text{Invesrion inicial}}{\text{flujo de caja anual}}$	1 año
<b>CB</b> (Costo beneficio)	$CB = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$	1.034

*Nota.* Elaborado por los autores.

### **3.11. Marco de discusión.**

Mediante su investigación Taco et al. (2021) creó un prototipo de una maquina trituradora de materiales de PET, abarcando un tiempo de ciclo inicial de 14.6 sg/u triturada, además, tiene un promedio de 24 horas para reducir 5,918 botellas. Por lo tanto, se reducen durante un año aproximadamente 19 toneladas de plásticos, ahorrando mensualmente \$350 por mano de obra, estos datos reflejan una disminución del consumo de energía de 328.24 kwh que son equivalente a un ahorro de \$26.59.

Según Soriano et al. (2024) construyó una maquina trituradora cuya capacidad de producción era de 6 botellas por minuto, empleando una eficiencia operacional que varía de 33 % al 38 % teniendo como resultado partículas que oscilan entre 4 y 7 mm, por ende, tiene un costo de elaboración de \$1.849,73, en conclusión, genera los siguientes indicadores; VAN de \$1.628,53, TIR del 116% y PR de 5 meses y 16 días.

De la misma manera, Soriano et al. (2024) realizó un estudio de tiempo, en el cual se ejecutaron 5 pruebas, abarcando un tiempo de trituración de plástico de 180 botellas por hora de trabajo, con una eficiencia del 35 % sabiendo esto, se realizaron modificaciones técnicas a la máquina trituradora los cuales fueron; mejora del sistema mecánico, eléctrico, automatizado, entre otros. Bajo estos fundamentos, se emplearon nuevas muestras de toma de tiempos los cuales resultaron en 5 muestras a una producción de 472 botellas en una hora, teniendo como resultado una eficiencia operativa del 86 % del material triturado y una capacidad de 7083.91 gramos por hora de trabajo.

### **3.12. Limitaciones del estudio.**

Las limitaciones del proyecto se centraron en restricciones de tiempo y en inconvenientes técnicos, como el funcionamiento inadecuado de las cuchillas, el cual provocó retrasos significativos en la realización de las pruebas lo que conllevó a la dificultad de conocer a tiempo el rendimiento real de la trituradora y así ajustarse a los cronogramas establecidos. Además, se presentaron obstáculos adicionales debido a que el taller no contaba con los insumos ni las herramientas necesarias, por lo que complicó aún más el desarrollo eficiente de ciertas etapas del proyecto, así como la difícil adquisición de materiales dentro de la provincia, restándonos tiempo para la entrega del equipo terminado.

## CONCLUSIONES

En el primer capítulo se optó por ejecutar una revisión de la literatura, empleando el método marco SALSA el cual nos permitió recolectar información acerca de las variables de estudio “automatización de maquina trituradora y eficiencia operativa”, ejecutados en 4 motores de búsqueda durante los últimos 5 periodos, donde se analizaron 50 artículos que nos dedujeron los enfoques, metodologías, tipo de investigación, métodos, técnicas e instrumentos de recopilación de datos dando como resultado el artículo más idóneo que resalta la mejora de la eficiencia operativa de máquinas dedicadas a la trituración del material PET.

El estudio empleó un enfoque cuantitativo, con una investigación aplicada mediante un diseño experimental, que abarca un procedimiento metodológico el cual consta de 5 etapas que son selección de materiales, diseño del sistema de trituración, desarrollo del sistema mecánico, construcción y resultados. Se aplicaron técnica de estudio de tiempo complementada con la observación directa, una hoja de registro y encuestas, además, se ejecutó el método de Delphi con una calificación basada en escala de Likert de 1 hasta el 5 para validación de los expertos y comprobar validez y fiabilidad de los datos, a su vez, se analizó mediante el alfa de Cronbach obtenidos en el software estadístico IBM PSPSS 25, dando como resultado 0.75 que indica que la calificación como aceptable. Por ende, se obtiene como resultado la correlación de las variables durante el apego del coeficiente de Pearson del 0.77 que afirma la aceptación de la hipótesis alternativa y el rechazo de la hipótesis nula.

Finalmente, se ejecutaron los programas SolidWorks, AutoCAD, CadeSimu, los cuales permitieron describir y detallar las partes esenciales de la máquina trituradora, simulando la unión entre el diseño mecánico, eléctrico y acople de las piezas. Así mismo, se realizó una comparación entre la máquina antes y después de la automatización, donde el estudio de tiempo dio como resultado que en un lapso de 60 minutos se trituraron 180 botellas, teniendo una eficiencia del 35 %, mientras que, luego de realizarse modificaciones técnicas a la máquina trituradora como; mejora del sistema mecánico, eléctrico, automatizado, entre otros. Bajo estos fundamentos, se emplearon nuevas muestras de toma de tiempos los cuales resultaron 13 registros, donde solo se consideró la prueba 3 que consta de 4 muestras, debido a que es el material más utilizado, donde dio una producción de 472 botellas en una hora, teniendo como resultado una eficiencia operativa

del 86% del material triturado. Por último, se visualiza una mejora significativa de la eficiencia operacional de la máquina de un 51% y una capacidad operativa del 7083.91 gramos por hora.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda emplear en las investigaciones de proyectos un estudio detallado abarcando la técnica del marco SALSAS ya que garantiza una base sólida de los datos obtenidos durante la búsqueda de artículos esenciales que permitan innovar las especificaciones técnicas de máquinas industriales, también nos ayuda a seleccionar las metodologías técnicas e instrumentos para la recopilación de información verídica que me ayude a erradicar los paradigmas de investigación para maximizar los beneficios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena empleando prácticas y enfatizando en tecnologías emergentes. Esto permitirá desarrollar soluciones óptimas, eficientes y amigables con el medio ambiente, promoviendo así la reducción del impacto ambiental en la generación de residuos plásticos.

Se considera oportuno en futuras investigaciones donde se desarrollen máquinas industriales, adopten un enfoque cuantitativo, un diseño experimental, una investigación aplicada, la cual ayude a deducir en forma analítica la relación que existe entre las variables claves del objeto de estudio. Así mismo, se recomienda utilizar una metodología desglosada en diversas etapas, ejecutando la técnica de estudios de tiempos como fuente primordial para la mejora continua de las actividades, implementar hoja de cálculo, registro de actividades, diagramas de operaciones de procesos y flujos de recorrido de procesos, incorporar indicadores que midan la disminución del impacto ambiental durante la elaboración del prototipo, o a su vez, durante la reutilización de material reciclado, también es esencial para potenciar su importancia.

Finalmente, es recomendable desarrollar el diseño en software ya que permite visualizar medidas exactas para la simulación entre el diseño mecánico, eléctrico y acople de piezas de máquinas industriales y realizar una automatización eficiente; es primordial realizar estudios que permitan detectar posibles fallas estructurales que impidan la incorporación de un sistema automático.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, Y., Urpi, S., Rivera, B., Luis, J., & Ugarte, D. (2021). *Herramientas prácticas para optimizar el servicio en tu empresa*. <https://editorialmarcaribe.es/ark:/10951/isbn.9789915977133>
- Aldea Molina, A. L. (2021). Influencia del rediseño de los procesos productivos de una empresa de envolturas flexibles basado en la mejora continua. *Industrial Data*, 24(1), 7–22. <https://doi.org/10.15381/idata.v24i1.19616>
- Arroyo Vaca. (2022). Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. *E-IDEA Journal of Engineering Science*. <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id240>
- Atta, K. T., Euzébio, T., Ibarra, H., Moreira, V. S., & Johansson, A. (2019). Extension, Validation, and Simulation of a Cone Crusher Model. *IFAC-PapersOnLine*, 52(14), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.09.154>
- Barona López, G., & Velasteguí, L. E. (2021). Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0. *AlfaPublicaciones*, 3(3.1), 84–101. <https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.80>
- Beloglazov, I. I. I., & Ikonnikov, D. A. (2020). Computer Simulation Methods for Crushing Process in an Jaw Crusher. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 142(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/142/1/012074>
- Betancourt-Enamorado, Jennifer. L., Castaño-Berrio, Juan. D., Hamburguer-Arroyo, W., Niño-Betancourt, Juan. C., Tanus-Fernández, C., & Huyke-Taboada, A. (2022). Aplicación del Estudio de Métodos y Tiempos a la Mejora de Procesos: Caso Fábrica La Milagrosa (imágenes religiosas en yeso). *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 4(1). <https://doi.org/10.17981/bilo.4.1.2022.10>
- Bogdanov, V. S., Fadin, Y. M., Vasilenko, O. S., Demchenko, C. E., & Trubaeva, V. A. (2024). Analytical dependences of motion of working part in inertial cone crusher.

*IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 327(4).  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042113>

Carolina Fernández, Jonathan Moore, A. C. e I. S. de T. W. & R. A. P. (WRAP) y N. E. y A. N. del F. M. para L. N. (WWF M. (2025). *Abordando plásticos problemáticos y evitables en México*. [www.pactodelosplasticosmexico.org](http://www.pactodelosplasticosmexico.org)

Chari, 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). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05344-5>

Codina et al., L. (2023). *Revisiones de la literatura sistematizadas Scoping reviews con frameworks SALSA y PRISMA*.

Cruzado-Bazán, H. J., Gil-Aguirre, A. P., Cruz-Salinas, L. E., & Flores-Sánchez, C. M. (2023). Effect of the application of work study on the productivity of a manufacturing company-Peru. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.543>

Cuevas Arteaga, C., González Montenegro, Y. Á., Torres Salazar, M. del C., & Valladares Cisneros, M. G. (2020). Importancia de un estudio de tiempos y movimientos. *Inventio*, 16(39). <https://doi.org/10.30973/inventio/2020.16.39/7>

Díaz Muñoz, G. A., Alfredo, D., & Duque, S. (2021). *La calidad como herramienta estratégica para la gestión empresarial Quality as a strategic tool for business management*. 19–36. <https://doi.org/10.31095/podium.202>

Diógenes, J., & Falcón, Z. (2021). Gestión de seguridad industrial y salud ocupacional: reducción de riesgos laborales Management of industrial safety and occupational health: reduction of occupational risk Artículos: Ingeniería metalúrgica. *Cienc. Geogr*, 25, 229–236. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.23020>

- Du, & Qian et al. (2024). *BioRes\_19\_2\_2286\_Du\_SQD\_Design\_Opt\_Eval\_Corn\_Straw\_Crushing\_Rub\_Filament\_23225*.
- Edgar Ventura Quispe. (2025). *Mantenimiento preventivo y la conservación de máquinas y equipos de la Empresa Inmobiliaria Marítima S.A. Lima 2023*.
- 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. (2023a). Development and evaluation of a dual-purpose machine for chopping and crushing forage crops. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15460>
- 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. (2023b). Development and evaluation of a dual-purpose machine for chopping and crushing forage crops. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15460>
- Enrique Soto-Chávez, L. I., William Ugalde-Vicuña III, J., & Holger Zambrano-Silva, D. I. (2021). *Teoría de las restricciones y su impacto en las mejoras de la productividad Integrated Theory of constraints and their impact on productivity improvements Teoria das restrições e seu impacto nas melhorias de produtividade*. 63(11), 398–411. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i11.3277>
- Essamlali, I., Nhaila, H., & El Khaili, M. (2024). Advances in machine learning and IoT for water quality monitoring: A comprehensive review. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 6). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27920>
- Estrada-Pérez, M. G., & Alcalá-Adrianzén, M. E. (2023). Post-press management proposal through theory of engineering methods to increase the productivity of the box line, Trujillo 2022. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.938>

Fabian, A., & Lozano, D. (2023). *Diseño de un soporte de techo innovador para televisores dirigido a la optimización de espacio y estética.*

Gavidia-Ruíz et al. (2022). *La observación en la investigación, método o técnica, a propósito de la táctica y la estrategia.*

Granda Campoverde, R., & Bermeo Valencia, C. (2022). Transformación digital: propuesta metodológica para la automatización de procesos desde el enfoque del BPM. *Revista Científica UISRAEL*, 9(3), 47–72. <https://doi.org/10.35290/rcui.v9n3.2022.621>

Handoyo, S., Suharman, H., Ghani, E. K., & Soedarsono, S. (2023). A business strategy, operational efficiency, ownership structure, and manufacturing performance: The moderating role of market uncertainty and competition intensity and its implication on open innovation. In *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* (Vol. 9, Issue 2). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100039>

Hanifa, R., Adam, M., Isnurhadi, & Andriana, I. (2023). DOES COMPETITIVE ADVANTAGE, OPERATING EFFICIENCY AND INTELLECTUAL CAPITAL EFFECT SUSTAINABLE COMPETITIVE ADVANTAGE (SCA)? *Journal of Law and Sustainable Development*, 11(3). <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i3.463>

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). <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). <https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100066>

Ladeuth, Y. M., López, D. D., & Socarrás, C. A. (2021). Electrical energy consumption diagnosis for planning a quality and technical standard ISO 50001: 2011.

*Informacion Tecnologica*, 32(1), 101–112. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100101>

Lamba, P., Kaur, D. P., Raj, S., & Sorout, J. (2022). Recycling/reuse of plastic waste as construction material for sustainable development: a review. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 29, Issue 57, pp. 86156–86179). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16980-y>

Liliana, Y., Soto, P., Carlos, J., & Dimate, R. (2021). *PAGINA WEB INSTRUCTIVA PARA NIÑOS DE 6 A 12 AÑOS SOBRE LOS DISTINTOS TIPOS DE PLASTICO PROYECTO DE GRADO PAGINA WEB INSTRUCTIVA PARA NIÑOS DE 6 A 12 AÑOS SOBRE LOS DISTINTOS TIPOS DE PLASTICO AUTORES.*

Llacetas-Espinoza, S. J., Quezada-Albino, N., Jauregui-Nongrados, N., & Rondon Jara, E. (2023). Application of the Lean Manufacturing methodology to increase production in the manufacturing company INDEMUG SAC. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.145>

Luján, Á., Lina, B., Cueva, Z., & Eduardo, C. (2021). *Marketing y la demanda de viviendas sostenibles en Perú.* <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28065533030>

Malindzakova, M., Malindzak, D., & Garaj, P. (2021). Implementation of the Single Minute Exchange of Dies method for reducing changeover time in a hygiene production company. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(4), 243–252. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2021-4-291>

Marín Ube, S. E., Jiménez Aldaz, J. V., Cortez Alvarado, L. E., & Morales Fischer, B. R. (2025). Estrategias didácticas para fomentar el pensamiento crítico en el desarrollo de competencias comunicacionales: Una revisión sistemática de literatura con el Método SALSA. *Revista Científica UISRAEL*, 12(1), 203–221. <https://doi.org/10.35290/rcui.v12n1.2025.1483>

- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. In *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Moreno-Schribertschnik, F., & Martinez, F. (2024). Elaboración de filamentos para impresión 3D a partir del reciclaje de botellas plásticas. *Revista Científica de La UCSA*, 11(3), 3–23. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2024.011.03.003>
- Moyón. (2021). “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO REMOTO PARA EL CONTROL DE MOTORES AC MONOFÁSICOS USANDO SISTEMAS EMBEBIDOS Y SOFTWARE LIBRE.”
- Naranjo-Vargas & Santillán-Mariño et al. (2019). Creación de una máquina picadora y trituradora de especies forrajeras para alimentación de ganado en la provincia de Chimborazo, parroquia Calpi. *Ciencia Digital*, 9(2), 109–123. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v9i2.378>
- Ochoa-Cuzcano, H. B., Santos-Del Rosario, D. A., & Díaz-Díaz, M. A. (2023). Time Study Method Implementation to Increase the Labor Productivity of the Picking Process in a Logistics Operator. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.989>
- Ojeda, J. P., & Mercante, I. T. (2021). Reciclaje De Residuos Plásticos Para La Producción De Agregados Livianos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 489–499. <https://doi.org/10.20937/rca.54081>
- Ou, T., & Chen, W. (2023). Modelling of Gyrotory Crusher Liner Wear Using a Digital Wireless Sensor. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(21). <https://doi.org/10.3390/s23218818>
- 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.108713>

Palomino, A. Q. (2022). Reutilización y reciclaje de residuos sólidos en economías emergentes en Latinoamérica: una revisión sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 13184–13202.  
[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i6.1316](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1316)

Parra, D. B., Murrieta Domínguez, F., & Cortes Herrera, C. A. (2020). *Análisis de tiempos y movimientos en el proceso de producción de vapor de una empresa generadora de energías limpias (Analysis of times and motions in the steam production process from a company that generates clean energy)*.  
<https://orcid.org/0000-0001-5245-909X>

Pedro Miguel Portillo Mendoza. (2022). Sistema de control automático para la detección de fuga de gas natural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3), 680–703. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i3.2253](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2253)

Pérez Fabián, I. N. (2025). Reciclaje de Plásticos: Una Estrategia Clave para la Sostenibilidad Ambiental. Una Revisión de la Literatura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 9514–9524.  
[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i6.15623](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15623)

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>

Pinchemel, A., Caetano, M., Rossi, R. M., & Antonio Silva, M. (2022). Indicadores de desempenho de companhias aéreas e seus impactos na eficiência operacional. *Brazilian Business Review*, 19(6), 642–665.  
<https://doi.org/10.15728/bbr.2022.19.6.4.pt>

- Portilla-Jiménez, J. G. (2022). Análisis del Marco Normativo de Economía Circular en Ecuador Orientado al Sector de los Plásticos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1), 38–47. <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3364>
- Prieto, A., Rodríguez Hernández, J., Cinta, ., Visa, P., & López-Rubio, A. (2023a). *Combatir la contaminación por plásticos Ciencia para las Políticas Públicas*.
- Prieto, A., Rodríguez Hernández, J., Cinta, ., Visa, P., & López-Rubio, A. (2023b). *Combatir la contaminación por plásticos Ciencia para las Políticas Públicas*.
- Rahal, M., Ahmed, B. S., Szabados, G., Fornstedt, T., & Samuelsson, J. (2025). Enhancing machine learning performance through intelligent data quality assessment: An unsupervised data-centric framework. *Heliyon*, 11(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42777>
- 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>
- Ricardo Javier, C. C., Paola del Carmen, V. C., & Israel Alejandro, M. P. (2023). Impacto de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el Rendimiento Académico: Una Revisión Sistemática de la Literatura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 10297–10316. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i4.7732](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7732)
- Ritchie, H., & Roser, y M. (2022). Contaminación plástica. *Nuestro Mundo En Datos*.
- Roca Cusidó, Alfred. (2023). *Control automático de procesos industriales : con prácticas de simulación y análisis por ordenador PC*. Díaz de Santos.
- Sinchai, A., Boonyang, K., & Simmala, T. (2024). Development of a Low-Cost Automated Injection Molding Device for Sustainable Plastic Recycling and Circular Economy Applications. *Inventions*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/inventions9060124>

- Singh, A., Lim, W. M., Jha, S., Kumar, S., & Ciasullo, M. V. (2023). The state of the art of strategic leadership. *Journal of Business Research*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113676>
- Soriano, O., Soria, A. N., Andre, R. J., & Libertad, L. (2024). *DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.*
- Sotelo, R. E. (2020). Optimization of the transport and internal storage of perishable products through a continuous improvement system - kaizen. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.566>
- Sumba, J. P., Leonardo, S. I. E., & Cruz, A. (2023a). *AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO A UNA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.*
- Sumba, J. P., Leonardo, S. I. E., & Cruz, A. (2023b). *AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO A UNA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.*
- Taco, V., Gonzales, O., & Bonifaz, P. (2021a). 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>
- Taco, V., Gonzales, O., & Bonifaz, P. (2021b). 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>
- Taco, V., Gonzales, O., & Bonifaz, P. (2021c). 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>

Valarezo Ulloa, M. J., & Ruiz Virgen, L. (2022). El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular. *CEDAMAZ*, 12(2).  
<https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i2.1265>

Vence, X., Pereira, Á., Laperche, B., & Pansera, M. (2024). Circular Economy, Sustainability and Degrowth. *Revista Galega de Economía*, 33(2), 1–6.  
<https://doi.org/10.15304/rge.33.2.10036>

Vlasopoulos, A., Malinauskaite, J., Żabnieńska-Góra, A., & Jouhara, H. (2023). Life cycle assessment of plastic waste and energy recovery. *Energy*, 277.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127576>

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.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344102018>

# ANEXOS






## Anexo A. Firma de validación de experto.

### Validación de instrumento por los Expertos

Nombre de instrumento: Cuestionario de recolección de datos.

Objetivo: Explorar la perspectiva de los responsables sobre la automatización de la máquina trituradora de plástico en el taller de Ingeniería Industrial de la UPSE.

Dirigido a: Docentes especialistas y representantes de la unidad de práctica de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE).

Apellidos y nombres de los evaluadores:	Grado académico del experto evaluador:	Áreas de experiencia profesional:		Institución dónde labora:	Tiempo de experiencia profesional en el área:	Valoración:			Cedula	Firma
		Profesional	Educativa			Bueno	Regular	Malo		
Gonzalez Villacres Franklin Rafael	Ing. Mecánico- Master en Ciencias e Ingeniería de Materiales	X	X	Universidad Estatal Península de Santa Elena	13	X			103817060	
Veliz Aguayo Alejandro Crisóstomo	Doctor en Ciencias Teóricas	X	X	Universidad Estatal Península de Santa Elena	30 +	X			980182280	
Marco Bermeo Garcia	Ing. Industrial- MSc. Gerencia Educativa	X	X	Universidad Estatal Península de Santa Elena	20	X			1707326815	
Herrera Brunett Gerardo Antonio	Ingeniero Industrial, PhD	X	X	Universidad Estatal Península de Santa Elena	20+	X			909254260	
Pirela Añez Alonso Elias	Ingeniero Industrial, PhD.	X	X	Universidad Estatal Península de Santa Elena	22	X			962428074	

La Libertad, 02 Junio del 2025

Anexo B. Método del Delphi.

Ítems	Calificación del experto					Promedio	CRV
	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5		
1	4	4	4	4	4	4	1
2	3	2	3	2	3	2,6	0,65
3	4	3	4	3	4	3,6	0,9
4	3	3	3	3	3	3	0,75
5	4	3	4	3	4	3,6	0,9
6	2	3	3	2	2	2,4	0,6
7	3	3	3	4	3	3,2	0,8
8	3	3	3	3	3	3	0,75
9	4	4	4	4	4	4	1
10	4	3	4	3	4	3,6	0,9
11	3	3	3	3	3	3	0,75
12	4	4	4	4	4	4	1
13	2	2	3	3	4	2,8	0,7
14	3	4	3	3	4	3,4	0,85
15	2	3	4	5	4	3,6	0,9
16	2	3	2	3	3	2,6	0,65
17	3	2	4	3	3	3	0,75
18	4	3	4	3	4	3,6	0,9
19	2	3	2	3	2	2,4	0,6
20	3	3	2	3	4	3	0,75
						Resultado	0,805

### Anexo C. Confiabilidad del instrumento.

CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTO CEDEÑO-RIVERA - Excel

Archivo Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda Nitro PDF Pro

Calibri 11 A<sup>+</sup> A<sup>-</sup> Ajustar texto General Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición Complementos

ITEMS																					
ENCUESTADOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	SUMA
E1	5	5	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	1	3	1	3	3	1	51
E2	2	4	4	3	4	3	2	3	4	4	2	2	2	5	3	5	3	4	3	5	67
E3	5	5	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	52
E4	2	4	4	3	4	3	2	3	4	4	2	2	2	5	3	5	3	4	3	5	67
E5	2	5	2	3	2	3	2	3	3	5	3	3	2	5	2	5	2	5	2	5	64
VARIANZA	2,160	0,240	0,560	0,000	0,560	0,240	0,000	0,240	0,800	1,440	0,160	0,160	0,240	1,600	0,560	1,600	0,640	0,560	0,240	3,040	
SUMATORIA DE VARIANZAS	15,040																				
VARIANZA DE LA SUMA DE LOS ÍTEMS	51,760																				

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$$

$\alpha$ : Coeficiente de confiabilidad del cuestionario → 0,75  
 $k$ : Número de ítems del instrumento → 20  
 $\sum_{i=1}^k S_i^2$ : Sumatoria de las varianzas de los ítems. → 15,040  
 $S_T^2$ : Varianza total del instrumento. → 51,760

RANGO	CONFIABILIDAD
0.53 a menos	Confiabilidad nula
0.54 a 0.59	Confiabilidad baja
0.60 a 0.65	Confiable
0.66 a 0.71	Muy confiable
0.72 a 0.99	Excelente confiabilidad
1	Confiabilidad perfecta

0,75 Nuestro instrumento es de excelente confiabilidad

Anexo D. Correlación de variables.

IBM SPSS Statistics Processor está listo | Unicode ON | 19:15 | 8/6/2025

IBM SPSS Statistics Visor

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Gráficos Medidas Ampliaciones Ventana Ayuda

Resultado [Documento1] - IBM SPSS Statistics Visor

Región  
 Correlaciones  
 Título  
 Notas  
 Conjunto de datos  
 Correlaciones  
 Región  
 Correlaciones  
 Título  
 Notas  
 Correlaciones

Variable	Medida	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
¿Mantendrá sistemas automatizados?	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
¿Qué tipo de mejoras inmediatas esperaba usted las automatizar una máquina como la hiladora (reducción de tiempo de operación, menor desgaste, mayor seguridad, etc.?)	Correlación de Pearson	-.572	-.510	.637	.238	.374	.584	.238	.764	.748	.870	.637	.637	-.584	.778						
	Sig. (bilateral)	.213	.380	.248	.699	.536	.301	.699	.141	.146	.056	.248	.248	.301	.121						
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5						
¿Qué mejoras técnicas considera usted necesarias para optimizar la eficiencia operativa de esta máquina dentro del taller?	Correlación de Pearson	-.556	-.867	.670	.590	.549	.843	.590	.933*	.983**	.806	.670	.670	-.241	.813						
	Sig. (bilateral)	.330	.057	.216	.295	.337	.073	.295	.021	.003	.098	.216	.216	.896	.095						
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5						
¿Estrá de acuerdo con que la automatización de equipos forme parte de un plan institucional para mejorar la productividad del taller?	Correlación de Pearson	-.840	.327	-.327	-.408	-.480	-.167	-.408	.000	-.080	.373	-.327	-.327	-.667	.583						
	Sig. (bilateral)	.075	.591	.591	.495	.413	.789	.495	1.000	.898	.537	.591	.591	.219	.302						
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5						

\* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).  
 \*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

```

COMPUTE VI=P1+P2+P3+P4+P5+P6+P7+P8+P9+P10.
EXECUTE.
COMPUTE VD=P11+P12+P13+P14+P15+P16+P17+P18+P19+P20.
EXECUTE.
CORRELATIONS
/VARIABLES=VI VD
/PRINT=TWOTAIL NOSIG
/MISSING=FAIRWISE.
  
```

**Correlaciones**

		VI	VD
VI	Correlación de Pearson	1	.727
	Sig. (bilateral)		.164
	N	5	5
VD	Correlación de Pearson	.727	1
	Sig. (bilateral)	.164	
	N	5	5

Anexo E. Encuesta.

Nombre: <u>Enrique Montenegro</u>		Cédula: <u>6918256942</u>	
Sexo: Masculino (✓) Femenino ( )		Edad: (46)	
Marca solo una puntuación de la escala que crees que cumples por cada ítem			
Variable / Dimensiones / Indicadores / Ítems	ESCALA		
	1. SI	2. TAL VEZ	3. NO
Variable Independiente: Automatización de maquina trituradora			
Dimensión 1: Sistema de control automático			
Indicador 1: Pilotos de señal.			
1	¿La máquina cuenta con dispositivos visuales que indiquen el estado durante su operación?.		✓
Indicador 2: Presencia de sensores funcionales.			
2	¿La máquina cuenta con sensores que detecten la falta de material en la cámara de trituración?.		✓
Indicador 3: Funcionamiento del sistema de arranque.			
3	¿La máquina cuenta con un sistema de arranque directo funcional?.		✓
Indicador 4: Disponibilidad de actuadores			
4	¿La máquina cuenta con actuadores que permitan tener una trituración continua durante la jornada de trabajo?.		✓
Dimensión 2: Diseño de la máquina			
Indicador 5: Adecuación del diseño general.			
5	¿Considera usted que la máquina cumple con los requisitos básicos para la trituración del plástico reciclado?.		✓
Indicador 6: Diseño de cuchillas.			
6	¿Considera usted que el diseño de las cuchillas es óptima para la trituración del plástico reciclado?.		✓
Dimensión 3: Procesos			
Indicador 7: Precisión del material triturado.			
7	¿Cree usted que el espesor del material triturado que se obtiene en la máquina es la correcta?.		✓
Indicador 8: Capacidad de producción.			
8	¿Cree usted que la capacidad de producción máxima de la máquina es la adecuada?.		✓
Dimensión 4: Seguridad			
Indicador 9: Nivel de exposición del operario.			
9	¿La máquina tiene elementos mecánicos en movimiento sin protección y expuestos que puedan ocasionar accidentes al operario?.	✓	
Indicador 10: Disponibilidad de dispositivos automáticos de protección.			
10	¿La máquina cuenta con dispositivos automáticos que protejan la integridad física del operario durante su funcionamiento?.		✓
Dimensión 5: Impacto académico			
Indicador 11: Aporte didáctico de la máquina.			
11	¿Cree usted que la máquina aportará para el aprendizaje de los estudiantes como fines didáctico?.	✓	
Indicador 12: Uso académico.			
12	¿Estaría de acuerdo que la automatización de la máquina sea parte de proyectos de vinculación, investigación o titulación para el estudiante?.	✓	

Variable Dependiente: Mejora de procesos productivos y Eficiencia operativa.			
Dimensión 6: Productividad			
Indicador 13: Material triturado por jornada de trabajo.			
13	¿La cantidad de material triturado que se obtiene en la máquina durante la jornada de trabajo es la necesaria?.		✓
Indicador 14: Rendimiento de trituración.			
14	¿Considera usted que la máquina tritura la cantidad de material esperado en un tiempo razonable?.		✓
Dimensión 7: Eficiencia de los procesos			
Indicador 15: Operación de la máquina.			
15	¿Con qué frecuencia se detiene la máquina por fallas inesperadas?.	✓	
Dimensión 8: Consumo energético			
Indicador 16: Energía consumida por proceso.			
16	¿Cree usted que la máquina consume excesiva energía eléctrica durante la trituración?.		✓
Indicador 17: Uso eficiente de energía.			
17	¿Considera que la máquina usa eficientemente el consumo de energía eléctrica?.		✓
Dimensión 9: Mantenimiento			
Indicador 18: Frecuencia de mantenimiento.			
18	¿Con qué frecuencia se requiere mantenimiento de la máquina?.	✓	
Indicador 19: Costo asociado al mantenimiento.			
19	¿Considera que el costo de mantenimiento es elevado para el trabajo que realiza la máquina?.		✓
Dimensión 10: Calidad del producto			
Indicador 20: Uniformidad del triturado.			
20	¿El material triturado presenta una calidad uniforme?.		✓
Indicador 21: Cumplimiento de requisitos.			
21	El material triturado cumple con los requisitos solicitados?.		✓

Libro1 - Excel

Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda Nitro PDF Pro Diseño de gráfico Formato

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición Complementos

Gráfico 5

	Variable / Dimensiones / Indicadores / Ítems	ESCALA			1. SI	2. TAL VEZ	3. NO	%	%	%	%
		1. SI	2. TAL VEZ	3. NO							
1	¿La máquina cuenta con dispositivos visuales que indiquen el estado durante su operación?		1	4	20%	80%					
2	¿La máquina cuenta con sensores que detecten la falta de material en la cámara de trituración?			5		100%					
3	¿La máquina cuenta con un sistema de arranque directo funcional?			5	0%	100%					
4	¿La máquina cuenta con actuadores que permitan tener una trituración continua durante la jornada de trabajo?		1	4	20%	80%					
5	¿Considera usted que la máquina cumple con los requisitos básicos para la trituración del plástico reciclado?		2	3	40%	60%					
6	¿Considera usted que el diseño de las cuchillas es óptima para la trituración del plástico reciclado?		2	3	40%	60%					
7	¿Cree usted que el espesor del material triturado que se obtiene en la máquina es la correcta?		1	4	20%	80%					
8	¿Cree usted que la capacidad de producción máxima de la máquina es la adecuada?		2	3	40%	60%					
9	¿La máquina tiene elementos mecánicos en movimiento sin protección y expuestos que puedan ocasionar	2	2	1	40%	40%	20%				

¿La máquina cuenta con dispositivos visuales que indiquen el estado durante su operación?

¿La máquina cuenta con sensores que detecten la falta de material en la cámara de trituración?

¿La máquina cuenta con un sistema de arranque directo funcional?

¿La máquina cuenta con actuadores que permitan tener una trituración continua durante la jornada de trabajo?

¿Considera usted que la máquina cumple con los requisitos básicos para la trituración del plástico reciclado?

¿Considera usted que el diseño de las cuchillas es óptima para la trituración del plástico reciclado?

¿Cree usted que el espesor del material triturado que se obtiene en la máquina es la correcta?

¿Cree usted que la capacidad de producción máxima de la máquina es la adecuada?

¿La máquina tiene elementos mecánicos en movimiento sin protección y expuestos que puedan ocasionar

P6

P7

P8

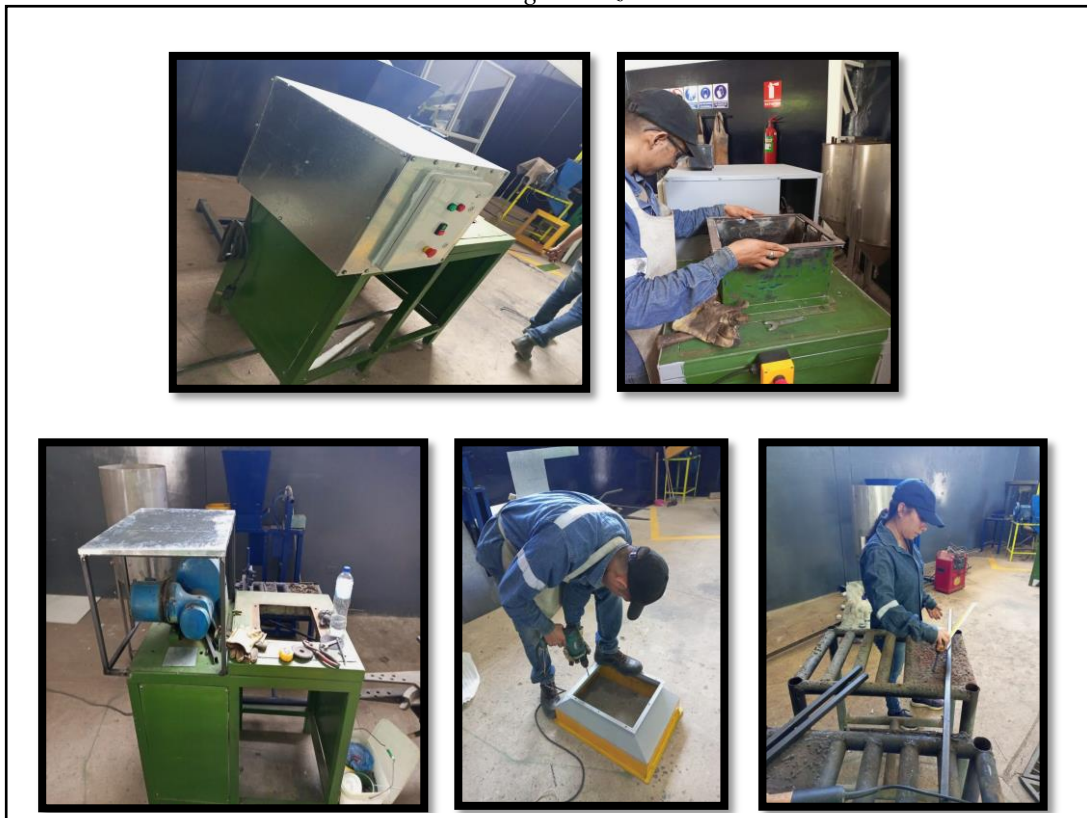
P9

Accesibilidad: es necesario investigar

*Anexo F. Proceso de fabricación de la estructura de protección del motor.*



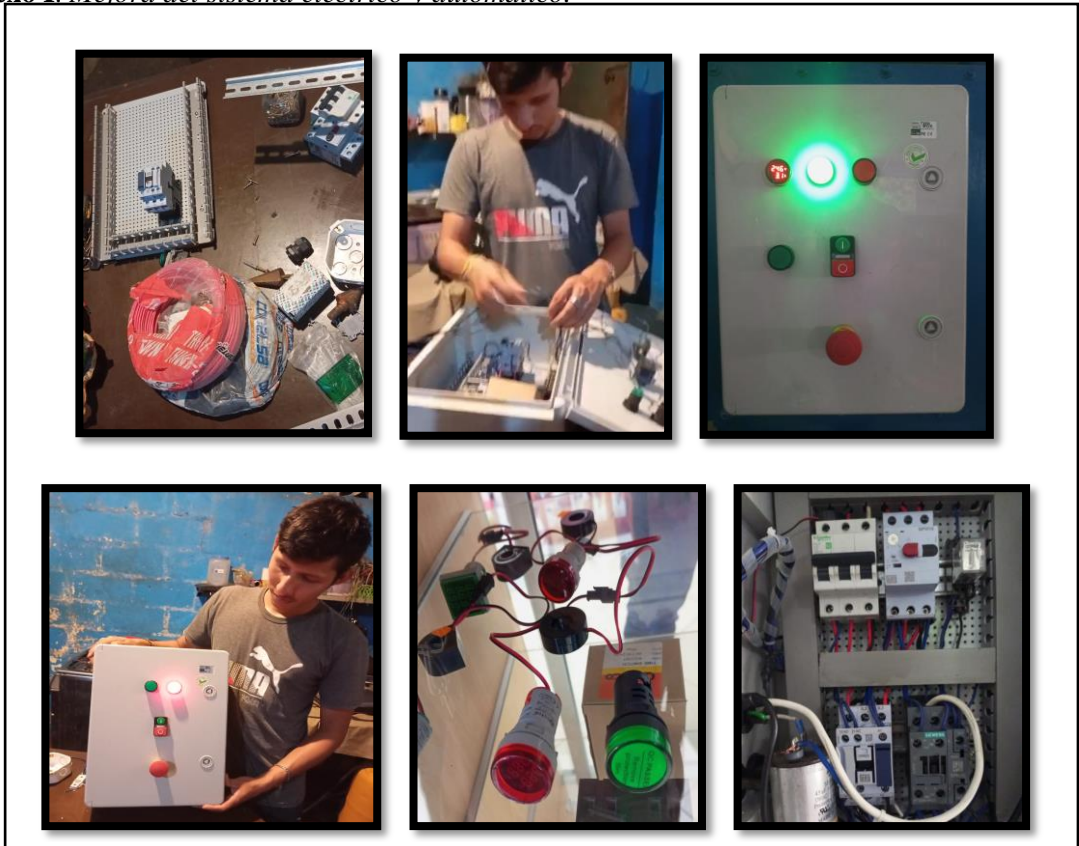
*Anexo G. Revestimiento estructural con lámina galvanizada.*



**Anexo H. Desarrollo estructural de tolva de descarga.**



**Anexo I. Mejora del sistema eléctrico y automático.**



**Anexo J. Proceso de modificación de cuchillas.**



**Anexo K. Proceso de modificación de separadores.**



**Anexo L.** *Acabado final y pruebas de funcionamiento.*



**Anexo M.** *Manual de usuario de la máquina trituradora de plástico.*

Una vez finalizado el rediseño y la construcción de la máquina de trituración, es fundamental elaborar un manual de usuario. Este manual ofrece instrucciones detalladas para el uso seguro y eficiente, incluyendo la puesta en marcha, el encendido y apagado, así como las acciones a tomar en caso de emergencia. Antes de operar la máquina, es imprescindible leer este manual por completo y familiarizarse con sus controles y sistemas de seguridad. Cumpla siempre con las indicaciones para prevenir accidentes y asegurar un funcionamiento correcto. Además, se recomienda el uso de equipo de protección personal, como guantes y gafas de seguridad, durante toda la operación.

**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.	
a	Botón marcha/paro: inicia y detiene el funcionamiento de la máquina y activa o desactiva el motor.
b	Botón verde (marcha): inicia el cambio de giro del motor ante posibles trabamientos.
c	Botón de emergencia en forma de hongo (parada de emergencia): existen dos botones, de fácil identificación por su forma de hongo, se utiliza en caso de atascamiento o emergencia para detener la máquina de inmediato. Al presionar cualquiera de estos botones, 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.

Las conexiones del sistema eléctrico esta mediante un sistema de conexión de arranque directo con un cambio de giro. Este sistema está controlado por las botoneras, las cuales están conectadas a un breaker de protección general el cual ante posibles sobrecargas protege al equipo, de la misma manera cuenta con un guarda motor que se activara si existe la presencia de algún cortocircuito, además de dos contactores que permiten la conexión y desconexión del motor y un cambio de giro de forma segura y controlada.

INSTRUCCIONES DE USO	
PASO Conexiones de la maquina	1: 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 Encendido de la máquina.	2: 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 Alimentación del material.	3: 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.	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 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.