



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

“PROTOTIPO PULVERIZADOR DE CAUCHO RECICLADO PARA
ELABORAR HORMIGÓN SOSTENIBLE EN TALLERES UPSE
PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA INDUSTRIAL

AUTORA:

MACKLIFF JAYA DOMÉNICA IVANOVA

TUTORA:

DRA. SOSA BUENO GRACIELA CELEDONIA, PhD.

La Libertad, Ecuador

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAL

TEMA:

**“PROTOTIPO PULVERIZADOR DE CAUCHO RECICLADO
PARA ELABORAR HORMIGÓN SOSTENIBLE EN TALLERES UPSE
PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”.**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORA:

MACKLIFF JAYA DOMÉNICA IVANOVA

TUTORA:

DRA. GRACIELA CELEDONIA SOSA BUENO, PhD.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

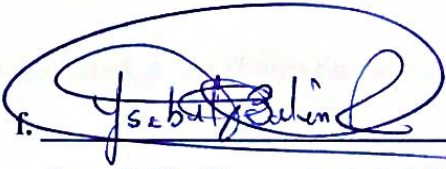
CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Mackliff Jaya Doménica Ivanova**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Industrial**.

TUTORA

f. 
Ing. Sosa Bueno Graciela Celedonia, PhD

DIRECTORA DE LA CARRERA

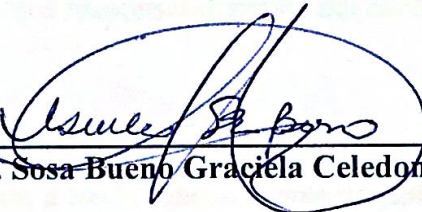
f. 
Ing. Balón Ramos Isabel del Rocío, M.Sc.

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 “PROTOTIPO PULVERIZADOR DE CAUCHO RECICLADO PARA ELABORAR HORMIGÓN SOSTENIBLE EN TALLERES UPSE PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”, elaborado por la Srta. MACKLIFF JAYA DOMÉNICA IVANOVA, estudiante 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 Ingeniera Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTORA

f. 
Ing. Sosa Bueno Graciela Celedonia, PhD

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, MACKLIFF JAYA DOMÉNICA IVANOVA

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres UPSE provincia de Santa Elena, Ecuador**” previo a la obtención del título de **Ingeniera 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 mi/nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, me/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

LA AUTORA

f. Doménica Mackliff Jaya
Mackliff Jaya Doménica Ivanova

AUTORIZACIÓN

Yo, MACKLIFF JAYA DOMÉNICA IVANOVA

Autorizo a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, “**Prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres UPSE provincia de Santa Elena, Ecuador**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

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

LA AUTORA:

f. Doménica Mackliff Jaya
Mackliff Jaya Doménica Ivanova

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**PROTOTIPO PULVERIZADOR DE CAUCHO RECICLADO PARA ELABORAR HORMIGÓN SOSTENIBLE EN TALLERES UPSE PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR**” elaborado por la Srta. **MACKLIFF JAYA DOMÉNICA IVANOVA**, egresada de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniera 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 1% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,

UNB CERTIFICADO DE ANÁLISIS
register

5TESIS_COMPLETA_DOMÉNICA_MACKLIFF_2025-1[1]

< 1%
Textos sospechosos

0% Similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos
0% Textos potencialmente generados por IA

Nombre del documento: 5TESIS_COMPLETA_DOMÉNICA_MACKLIFF_2025-1[1].pdf
ID del documento: 902658fb8f26d56de72bb821ba9ecc06d3af149aa
Tamaño del documento original: 1,12 MB

Depositante: GRACIELA CELEDONIA SOSA BUENO
Fecha de depósito: 7/7/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 7/7/2025

Número de palabras: 11.236
Número de caracteres: 83.716

Ubicación de las similitudes en el documento.

FIRMA DE LA TUTORA

f. 
Ing. Sosa Bueno Graciela Celedonia, PhD
C.C: 0910845882

Certificado *de gramática*

Santa Elena, 04 de julio del 2025

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magíster en Educación Básica, con registro de la **SENECYT N° 1023-2024-2904505** por medio del presente certifico que:

Después de revisar y corregir la sintaxis y ortografía del trabajo investigativo titulado **“PROTOTIPO PULVERIZADOR DE CAUCHO RECICLADO PARA ELABORAR HORMIGÓN SOSTENIBLE EN TALLERES UPSE PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”** elaborado por la estudiante **DOMÉNICA IVANOVA MACKLIFF JAYA** en su opción al título de **INGENIERA INDUSTRIAL** en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular.



Firmado electrónicamente por:
MONICA ISABEL
PAREDES CASTRO

Validar electrónicamente con FirmasCC

Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.

C.I: 0605353143

Celular: 0969917044

Correo: misabelp1017@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi familia, pero en especial a ese ser que cambió por completo no solo mi vida, sino que ha sido mi pilar fundamental en cada decisión y prueba que se presenta en mi camino, a mi preciosa madre, te debo no solo este trabajo sino mi vida completa.

A la princesa que cautiva mi corazón con su dulzura, sé que ahora tal vez no comprendas nada de esto, pero eres tú quién me impulsa a buscar este tan anhelado título.

A mi niña Sadia y mis preciosos sobrinos, realmente soy la mujer más afortunada por tenerlos, hacen que mi vida sea no solo más divertida sino también valiosa.

Una gratitud especial a mi tutora, ella que se decidió a creer en mí y en el potencial que tal vez me costó verlo por múltiples circunstancias, se convirtió en una madre para mí, gracias por tanto, porque su ímpetu, y fortaleza que solo Jehová le otorga me enseña a que todo proyecto inalcanzable para el mundo es más que alcanzable para Dios.

Doménica Ivanova Mackliff Jaya

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a un ser tan maravilloso que formó cada parte delicada de mi cuerpo y en oculto me entretejió, fui conocida por el antes que mis padres lo hicieran, me llamó una obra maravillosamente compleja, quién no se rinde y sigue creyendo en lo que puso en mí desde la eternidad. Él es aquel que me redimió y me llamó por mi nombre, y me dice “mía eres tú”. No hubiera llegado aquí si no fuera por su amor, perdón, justicia, fidelidad, pero sobre todo su bondad e infinita misericordia. Esto es por y para ti mi Dios, el cual se ha convertido en mi super héroe favorito, tiene muchos nombres es tan reconocido, pero él prefiere que lo llame Papá, aquel que sostiene mi mano derecha y me dice no temas yo te ayudo.

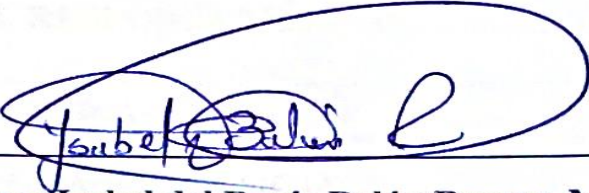
Mi mayor anhelo es que todos los que lean y vean esta tesis, sepan de aquel gran Dios que ama con amor eterno, y que siempre está para sus hijos, que no abandona ni pasa por alto ninguna de nuestras aflicciones, el sale a nuestro encuentro y nos defiende.

“El Señor llevará a cabo los planes que tiene para mi vida, pues tu fiel amor, oh, Señor, permanece para siempre. No me abandones, porque tú me creaste.” SALMO 138:8

Recibe todo honor y honra Abba a través de estas cortas palabras, y que siempre me sigas viendo como la hermosa niña de tus ojos sin importar la edad que tenga, tú eres el autor principal de este proyecto, Te Amo Papá.


Doménica Ivanova Mackliff Jaya.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos, M.Sc.
DIRECTORA DE CARRERA

f. 
Ing. Alejandro Crisóstomo Véliz Aguayo, PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Graciela Celedonia Sosa Bueno, PhD
DOCENTE TUTORA

f. 
Ing. Graciela Celedonia Sosa/Bueno, PhD
DOCENTE UIC 2025-1

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	V
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA.....	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
DEDICATORIA.....	VIII
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVI
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	7
MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. Antecedentes investigativos.	7
1.2. Estado del arte.	10
1.3. Revisión sistemática.	11
1.4. Fundamentos teóricos	29
CAPÍTULO II.....	36
MARCO METODOLÓGICO	36
2.1. Diseño de investigación.	36
2.2. Enfoque de investigación.	36
2.3. Tipos de investigación.	37
2.4. Variables y operacionalización.....	38
2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos.....	38
2.6. Procedimiento para la recolección de los datos.....	43
2.7. Método de análisis de datos.	43
2.8. Interpretación de resultados inferenciales.	44

2.9.	Procedimiento metodológico.....	45
2.10.	Análisis funcional.....	47
2.11.	Matriz morfológica.....	48
2.12.	Parámetros de diseño.....	50
2.13.	Plano eléctrico del motor.....	51
2.14.	Dimensión del tambor.	51
2.15.	Dimensión del rotor.....	53
2.16.	Dimensión de tolva de entrada.....	54
2.17.	Dimensión de tolva de salida.	54
2.18.	Diseño de la mesa de trabajo	55
CAPÍTULO III.....		57
MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN		57
3.1.	Marco de resultados descriptivos.	57
3.2.	Costos de prototipo pulverizador de caucho.	68
3.3.	Manuales.	70
3.4.	Marco de discusión.	70
CONCLUSIONES.....		75
RECOMENDACIONES		77
REFERENCIAS.....		78
ANEXOS.....		93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descriptores de búsqueda por base de datos.	11
Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión.	12
Tabla 3. Resultados de artículos identificados en las bases de datos.	13
Tabla 4. Artículos seleccionados para revisión.	15
Tabla 5. Año de publicación de los artículos.	26
Tabla 6. Instrumentos utilizados en los artículos.	27
Tabla 7. Tipos de investigación aplicables al estudio.	37
Tabla 8. Tipos de diseño de investigación.	37
Tabla 9. Correlación de Pearson.	41
Tabla 10. Rho de Sperman.	41
Tabla 11. Alpha de Cronbach.	42
Tabla 12. Prueba de normalidad de las variables.	44
Tabla 13. Prueba de normalidad de las variables.	44
Tabla 14. Matriz morfológica.	48
Tabla 15. Peso total de la máquina.	55
Tabla 16. Resultados de encuesta del prototipo pulverizador de caucho.	62
Tabla 17. Características del motor a escoger.	67
Tabla 18. Costos del prototipo pulverizador de caucho.	68
Tabla 19. VAN Y TIR de prototipo pulverizador.	70
Tabla 20. Valoración del tamaño de partículas obtenidas.	106
Tabla 21. Eficiencia de trituración del prototipo.	106
Tabla 22. Consumo energético del prototipo.	107
Tabla 23. Potencia del motor del prototipo.	108
Tabla 24. Procesamiento horario del prototipo.	109
Tabla 25. Capacidad del prototipo para trabajo continuo.	109
Tabla 26. Mantenimiento del prototipo.	110
Tabla 27. Facilidad de limpieza del prototipo.	111
Tabla 28. Inversión en mano de obra para el ensamblaje.	111
Tabla 29. Competitividad del costo frente a otros sistemas.	112
Tabla 30. Confiabilidad estructural del hormigón con caucho.	112
Tabla 31. Opinión sobre la resistencia del hormigón.	113
Tabla 32. Impacto del caucho reciclado en el hormigón.	114

Tabla 33. Proporción de reciclados en el hormigón.....	115
Tabla 34. Aprovechamiento de reciclados en la mezcla de hormigón.....	115
Tabla 35. Ahorro de recursos vírgenes.....	116
Tabla 36. Resistencia a la humedad del hormigón elaborado.	117
Tabla 37. Valoración de la capacidad de absorción.....	117
Tabla 38. Valoración del costo comparativo del hormigón.....	118
Tabla 39. Impacto del reciclaje en el costo del hormigón.....	119
Tabla 40. Manual de operación y mantenimiento.....	129
Tabla 41. Rutina mantenimiento preventivo.	129
Tabla 42. Manual de seguridad.....	131
Tabla 43. Bloqueo y etiquetado por las OSHAS.	133
Tabla 44. Recomendaciones de seguridad para operador.	133
Tabla 45. Manual de operación.....	135
Tabla 46. Manual de mantenimiento.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Revisión sistemática.....	10
Figura 2. Diagrama PRISMA.....	14
Figura 3. Diagrama de barra por año de publicación.....	27
Figura 4. Instrumentos utilizados en los artículos.....	28
Figura 5. Diseño preliminar del prototipo.....	30
Figura 6. Pasos metodológicos para elaborar concreto.....	33
Figura 7. Etapas del procedimiento metodológico para realización de prototipo.....	45
Figura 8. Funciones de la máquina mediante módulos.....	48
Figura 9. Eje del molino.....	50
Figura 10. Diagramas de fuerza y control.....	51
Figura 11. Carcasa del tambor.....	51
Figura 12. Parte de ambas tapas.....	52
Figura 13 Cuchillas fijas.....	52
Figura 14. Rotor y cuchillas de impacto por paletas.....	53
Figura 15. Cizalladura entre cuchillas.....	53
Figura 16. Tolva ingreso del material.....	54
Figura 17. Tolva de recolección de material.....	54
Figura 18. Mesa de trabajo de máquina pulverizadora.....	55
Figura 19. Resultados de encuesta del prototipo pulverizador de caucho.....	63
Figura 20. Prototipo pulverizador.....	64
Figura 21. Diagrama de cuerpo libre.....	65
Figura 22. Diagrama de fuerzas que actúan en el eje.....	66
Figura 23. Placa del motor eléctrico marca Evans.....	67
Figura 24. Valoración del tamaño de partículas obtenidas.....	106
Figura 25. Eficiencia de trituración del prototipo.....	107
Figura 26. Consumo energético del prototipo.....	108
Figura 27. Potencia del motor del prototipo.....	108
Figura 28. Procesamiento horario del prototipo.....	109
Figura 29. Capacidad del prototipo para trabajo continuo.....	110
Figura 30. Mantenimiento del prototipo.....	110
Figura 31. Facilidad de limpieza del prototipo.....	111
Figura 32. Inversión en mano de obra para el ensamblaje.....	112

Figura 33. Competitividad del costo frente a otros sistemas.	112
Figura 34. Confiabilidad estructural del hormigón con caucho.	113
Figura 35. Opinión sobre la resistencia del hormigón.	114
Figura 36. Impacto del caucho reciclado en el hormigón.	114
Figura 37. Proporción de reciclados en el hormigón.	115
Figura 38. Aprovechamiento de reciclados en la mezcla de hormigón.	116
Figura 39. Ahorro de recursos vírgenes.	116
Figura 40. Resistencia a la humedad del hormigón elaborado.	117
Figura 41. Valoración de la capacidad de absorción.	118
Figura 42. Valoración del costo comparativo del hormigón.	118
Figura 43. Impacto del reciclaje en el costo del hormigón.	119

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables.....	93
Anexo 2. Cuestionario de recolección de datos.....	94
Anexo 3. Matriz de Validación por criterio de expertos.....	95
Anexo 4. Matriz de consistencia.....	97
Anexo 5. Validación por experto 1.....	98
Anexo 6. Validación por experto 2.....	99
Anexo 7. Validación por experto 3.....	100
Anexo 8. Validación por experto 4.....	101
Anexo 9. Matriz por validación de juicio de experto 1.....	102
Anexo 10. Matriz por validación de juicio de experto 2.....	103
Anexo 11. Matriz por validación de juicio de experto 3.....	104
Anexo 12. Matriz por validación de juicio de experto 4.....	105
Anexo 13. Cuestionario pregunta 1.....	106
Anexo 14. Cuestionario pregunta 2.....	106
Anexo 15. Cuestionario pregunta 3.....	107
Anexo 16. Cuestionario pregunta 4.....	108
Anexo 17. Cuestionario pregunta 5.....	109
Anexo 18. Cuestionario pregunta 6.....	109
Anexo 19. Cuestionario pregunta 7.....	110
Anexo 20. Cuestionario pregunta 8.....	111
Anexo 21. Cuestionario pregunta 9.....	111
Anexo 22. Cuestionario pregunta 10.....	112
Anexo 23. Cuestionario pregunta 11.....	112
Anexo 24. Cuestionario pregunta 12.....	113
Anexo 25. Cuestionario pregunta 13.....	114
Anexo 26. Cuestionario pregunta 14.....	115
Anexo 27. Cuestionario pregunta 15.....	115
Anexo 28. Cuestionario pregunta 16.....	116
Anexo 29. Cuestionario pregunta 17.....	117
Anexo 30. Cuestionario pregunta 18.....	117
Anexo 31. Cuestionario pregunta 19.....	118
Anexo 32. Cuestionario pregunta 20.....	119

Anexo 33. Plano de eje.....	120
Anexo 34. Diagrama de plano eléctrico	120
Anexo 35. Plano eléctrico en 3D.....	121
Anexo 36. Tapas de tambor.....	121
Anexo 37. Plano de cuchillas fijas.....	122
Anexo 38. Plano de cuchillas móviles.	122
Anexo 39. Plano de tolva de entrada.	123
Anexo 40. Plano de tolva de salida.....	123
Anexo 41. Plano de mesa de trabajo.....	124
Anexo 42. Caja de distribución parte interna	124
Anexo 43. Caja de distribución parte externa	125
Anexo 44. Criba de 8mm	125
Anexo 45. Proceso de pintado	126
Anexo 46. Vista lateral de la máquina	126
Anexo 47. Vista diagonal de la máquina	127
Anexo 48. Proceso pulverizado con granulometría de 8mm.....	127
Anexo 49. Producto final pulverizado	128
Anexo 50. Maquina Terminada	128
Anexo 51. Manual de operatividad de la máquina.	128

“PROTOTIPO PULVERIZADOR DE CAUCHO RECICLADO PARA ELABORAR HORMIGÓN SOSTENIBLE EN TALLERES UPSE PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”.

Autor: Mackliff Jaya Doménica Ivanova

Tutor: Ing. Sosa Bueno Graciela Celedonia, PhD.

RESUMEN

La presente investigación abordó la problemática ambiental derivada de la acumulación de neumáticos fuera de uso. El objetivo principal fue diseñar un prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en los talleres de la UPSE, provincia de Santa Elena. Se aplicó una metodología con enfoque cuantitativo, diseño experimental, alcance aplicado y uso de herramientas como SolidWorks para modelado, observación directa, encuestas y normas técnicas ecuatorianas como la NTE INEN 037:2009. Como resultados, se obtuvo un prototipo con eficiencia operativa del 98 % en la pulverización, obteniendo partículas de caucho hasta una granulometría inferiores a 8 mm, ideales para mezclas de hormigón. Con un consumo energético 1.43 kW y permitiendo una producción constante de partículas adecuadas de 100 libras por hora, además de aceptación favorable por parte de los usuarios encuestados. Se concluyó que la implementación del prototipo permitió reutilizar residuos contaminantes como insumos constructivos, fortaleciendo el vínculo entre sostenibilidad, innovación tecnológica y formación académica. La solución planteada resultó replicable, económica y alineada con los objetivos de desarrollo sostenible, generando valor ambiental, educativo y social en el entorno universitario y productivo.

Palabras clave: *caucho reciclado, hormigón sostenible, prototipo pulverizador, economía circular, gestión de residuos.*

“PROTOTYPE PULVERISER OF RECYCLED RUBBER TO PRODUCE SUSTAINABLE CONCRETE IN UPSE WORKSHOPS IN THE PROVINCE OF SANTA ELENA, ECUADOR”

Author: Mackliff Jaya Doménica Ivanova

Tutor: Ing. Sosa Bueno Graciela Celedonia, PhD

ABSTRACT

This research addressed the environmental problems arising from the accumulation of used tires. The main objective was to design a prototype recycled rubber pulverizer to produce sustainable concrete in the UPSE workshops in the province of Santa Elena. A methodology with a quantitative approach, experimental design, applied scope, and the use of tools such as SolidWorks for modeling, direct observation, surveys, and Ecuadorian technical standards such as NTE INEN 037:2009 were applied. The results were a prototype with 98 % operational efficiency in pulverizing, obtaining rubber particles with a particle size of less than 8 mm, ideal for concrete mixes. The prototype consumed 1.43 kW and allowed for a constant production of suitable particles of 100 pounds per hour, in addition to favorable acceptance by the surveyed users. It was concluded that the implementation of the prototype allowed the reuse of polluting waste as construction inputs, strengthening the link between sustainability, technological innovation, and academic training. The proposed solution proved replicable, cost-effective, and aligned with sustainable development goals, generating environmental, educational, and social value in the university and production environment.

Keywords: recycled rubber, sustainable concrete, spray prototype, circular economy, waste management.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la economía circular (EC) requiere una evaluación integral del reciclaje, superando métricas tradicionales para incorporar múltiples ciclos de materiales y su capacidad de sustituir recursos primarios. Según (Raudales et al., 2024) subraya que, aunque el reciclaje no es la estrategia prioritaria en la EC, destacan la importancia de indicadores alineados como la eficiencia de recuperación, el potencial de sustitución y la reciclabilidad. Por consiguiente, evaluar el impacto funcional del material reciclado en su nuevo ciclo permite determinar su capacidad real para sustituir recursos naturales, aspecto crítico en la construcción de sistemas circulares robustos y resilientes.

En las últimas décadas, la economía circular ha emergido como un modelo esencial para contrarrestar el agotamiento de recursos naturales y la generación masiva de residuos que caracteriza al sistema lineal de "extraer-producir-desechar". De manera global, solo el 9 % de los materiales se reciclan (MacArthur Foundation, 2019; Unidas, 2030). No obstante, el modelo actual es insostenible: la NASA advierte que, de continuar así, se requerirían tres planetas Tierra para sostener el consumo humano al 2050. En este sentido, se refuerza la necesidad urgente de transitar hacia modelos sostenibles, como lo propone los objetivos de desarrollo sostenible, especialmente el ODS 12 (producción y consumo responsable), que promueve la reducción de residuos mediante innovación tecnológica y políticas integradas (ODS, 2030). Dentro de este marco, la integración de modelos de EC resulta esenciales para optimizar procesos y minimizar la huella ambiental.

En este contexto, la EC propone una transformación estructural del modo en que se gestionan los recursos, impulsando estrategias como la reutilización, la valorización energética y el reciclaje. Sin embargo, el reciclaje, aunque no es el eje central de la economía circular, desempeña un papel clave siempre que se evalúe de manera integral. Así, no basta con considerar únicamente la cantidad de material recuperado, sino que se vuelve indispensable medir la eficiencia de recuperación, el potencial de sustitución de materias primas vírgenes y la calidad del material reciclado (Almeida & Díaz, 2020). Se evidencia la urgencia de adoptar prácticas regenerativas.

Asimismo, Europa ha liderado los estudios científicos en EC, representando un 70 % de la producción mundial, seguida por Asia (17 %) y América del Norte (8 %). China se destaca como el país con mayor implementación de acciones significativas (12.58 %), seguido de

Inglaterra (10.34 %) e Italia (9.68 %), pero aún enfrentan retos de trazabilidad de residuos y armonización normativa. De forma paralela, la Asociación Europea de Fabricantes de Neumáticos y Caucho (ETRMA), reportó que entre 2019 y 2020 se recolectaron 3,2 millones de toneladas de neumáticos fuera de uso (NFU), gestionados mediante diversas estrategias: reutilización (5–23 %), reciclaje (3–15 %), valorización energética (25–60 %) y disposición final (20–30 %). No obstante, el destino de una parte significativa de estos NFU sigue siendo desconocido, lo cual implica impactos ambientales directos como la contaminación de suelos y la emisión de gases tóxicos. Este material tiene un impacto directo en el medio ambiente.

Por otro lado, Arabia Saudita un estudio denominado “Desbloqueo del sistema de rendimiento de la cadena de suministro de cero emisiones netas a través de la evaluación del ciclo de vida: evidencia empírica de la industria del caucho” señala que la falta de tecnologías accesibles para el procesamiento adecuado del caucho al final de su vida útil complica la huella ambiental y limita su adopción masiva. A pesar de estos desafíos, la industria del caucho ofrece oportunidades para la sostenibilidad mediante innovaciones en tecnologías de reciclaje y alternativas sintéticas al caucho natural. De hecho, el sector está sujeto a una creciente presión regulatoria, lo que puede promover la adopción de prácticas de análisis de ciclo de vida (Yadav et al., 2024). Por lo tanto, el desarrollo de soluciones tecnológicas accesibles y sostenibles se vuelve esencial para cerrar el ciclo del caucho, y facilitar su integración en modelos de economía circular.

Adicionalmente, la industria del hormigón enfrenta un desafío ambiental crítico. Según la investigación de (Sanjuán et al., 2020), menciona que la producción de cemento componente esencial del hormigón es responsable del 8 % de las emisiones globales de CO₂, superando incluso las emisiones del sector de aviación internacional. Esta problemática se agrava con la generación masiva de residuos de caucho, donde aproximadamente 1,000 millones de neumáticos son desechados anualmente en el mundo (Calabi et al., 2022), generando graves problemas por su disposición inadecuada. Esta es una cifra preocupante, considerando los efectos nocivos de estos residuos en el medio ambiente y la salud pública (Araujo et al., 2021) Por tanto, se vuelve urgente implementar soluciones sostenibles, como la reutilización de caucho en materiales de construcción, lo cual no solo reduce el impacto ambiental, sino que también promueve una economía circular en el sector.

En América Latina, enfrenta desafíos críticos. Se genera aproximadamente 540,000 toneladas de residuos diarios, proyectándose un aumento a 671,000 para 2050. En

Latinoamérica, la economía circular avanza de manera desigual. A pesar de ello, Chile lidera con 17 iniciativas públicas, entre las que destaca la *hoja de ruta para la economía circular 2020-2040*, que integra metas como la reducción del 25 % de residuos domiciliarios y el fomento de ecodiseño en industria (Ruiz, 2022). Este país también alberga empresas como *triciclos*, pionera en sistemas de reciclaje inclusivo, respaldada por Petar Ostojic, quien ha impulsado proyectos como el uso de residuos plásticos en la construcción de carreteras. Asimismo, Perú, con 8 iniciativas, promueve el pacto nacional de economía circular, enfocado en sectores clave como textiles y pesca, en la que las empresas transforman redes de pesca abandonadas en materiales para la industria (Delgado, 2020; Unidas, 2030). En efecto, la implementación de políticas sostenibles y tecnologías aplicadas al reciclaje representa una vía estratégica para reducir el impacto ambiental y fomentar la innovación productiva en la región.

En América Latina, la gestión de neumáticos fuera de uso (NFU) representa un problema creciente. Según datos de la ONU (Unidas, 2030) la región genera aproximadamente 1.5 millones de toneladas de NFU anuales, con tasas de reciclaje inferiores al 30 %. Países como Chile y Colombia han implementado sistemas de responsabilidad extendida del productor, mientras que, en Ecuador, según el Ministerio del Ambiente (MAATE, 2022) solo se recicla aproximadamente el 15 % de los NFU generados.

Por otro lado, Brasil, aunque solo aporta el 2.02 % en producción científica avanza en reciclaje inclusivo. Según la (Asociación Nacional de Empresarios Colombia, 2019; Garabiza et al., 2021) Colombia y Argentina también destacan con programas como el "Pacto por la economía circular" y normativas para integrar residuos en cadenas productivas. La revista América Latina y El Caribe (Unidas, 2030) resalta que, pese al crecimiento de startups circulares, la región aún carece de marcos regulatorios sólidos y financiamiento para escalar soluciones.

A nivel local, Ecuador genera aproximadamente 12,337 toneladas de residuos sólidos diarios, solo recicla el 6 % (INEC, 2024). El sector empresarial ecuatoriano muestra avances concretos en economía circular, aunque con enfoques diferenciados. Holcim, Ecuador, ha integrado el coprocesamiento de llantas y residuos industriales en su producción de cemento, reduciendo en un 30 % el uso de combustibles fósiles y construyendo más de 750 viviendas con cero desperdicios entre 2017-2018 (HOLCIM, 2023). En consecuencia, los datos demuestran que Ecuador enfrenta un grave problema de gestión de residuos, que pueden convertirse los

desechos en recursos, como resultados reducir huella de carbono y generar impacto social, minimizando valores en viviendas sostenibles.

En este escenario, la empresa Ecocaucho S.A., no solo recicla neumáticos, sino que transforma el caucho en productos como eco pisos y eco viales, utilizando un 95 % de material reciclado en su fabricación (Garabiza et al., 2021). Esta empresa evita la emisión de gases tóxicos generados por la quema de NFU, un problema crítico en un país donde se desechan 2,4 millones de neumáticos al año (MAATE, 2022). De modo que, el modelo de producción de esta empresa refleja un enfoque industrial sostenible, donde la valorización de residuos se alinea con los principios de economía circular a la vez que demuestra la necesidad de responder ante esta problemática ambiental, contribuyendo al cumplimiento de metas ambientales y sociales.

En el caso específico de la provincia de Santa Elena, el crecimiento del sector construcción 6.2 % anual según INEC, (2024) contrasta con la escasa implementación de tecnologías sostenibles. La investigación de Bala & Gupta, (2021) publicada en “Construction and Building Materials” demuestra que el hormigón con caucho reciclado puede alcanzar resistencias adecuadas para aplicaciones no estructurales cuando se controla adecuadamente el proceso de trituración. Sin embargo, como señala Mueses, (2020) en su investigación, los talleres locales carecen de equipos especializados para lograr la granulometría requerida, limitando las posibilidades de investigación y desarrollo en este campo.

Frente a esta situación, surgió la necesidad urgente de investigar soluciones tecnológicas innovadoras, accesibles y viables para el reciclaje eficiente del caucho proveniente de NFU, que permitieran transformar estos residuos en insumos útiles para el sector de la construcción sostenible. En este contexto, se planteó el proyecto titulado: “Prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres UPSE, provincia de Santa Elena, Ecuador”. Esta iniciativa estuvo encaminada a resolver una problemática ambiental, económica y social concreta mediante la aplicación de principios tecnológicos y científicos propios del campo de la ingeniería industrial, alineada directamente con políticas ambientales nacionales e internacionales y con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) propuestos por la ONU (Unidas, 2030).

Formulación del problema de investigación.

El problema general se formuló con la siguiente pregunta: ¿Cómo influye la implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado en la elaboración de hormigón sostenible en los talleres de la UPSE, provincia de Santa Elena?

Justificación de la investigación.

La justificación de la investigación responde claramente a cuatro aspectos fundamentales: **justificación teórica**: porque se sustenta en las teorías del desarrollo sostenible, economía circular (Morazán, 2021; Raudales et al., 2024), y principios técnicos asociados al reciclaje y reutilización de residuos industriales en la construcción. Este enfoque fomenta la innovación con base científica y proporciona fundamentos técnicos y científicos que fortalecen el campo interdisciplinario (Pacheco et al., 2020). Por lo cual, estas corrientes promueven soluciones tecnológicas que integran eficiencia de recursos, reducción del impacto ambiental y reaprovechamiento de materiales para nuevas aplicaciones estructurales. Tiene **justificación práctica** porque este estudio propone solucionar el problema concreto de acumulación de NFU mediante el diseño de un prototipo viable y económico, adaptado al contexto universitario, que permite producir hormigón sostenible con aplicaciones reales dentro de la provincia de Santa Elena. De acuerdo con (Universidad Milagro et al., 2024), el desarrollo de maquinaria a escala prototipo para el tratamiento de residuos fortalece las capacidades prácticas de las instituciones educativas y fomenta la aplicación de soluciones tecnológicas orientadas al contexto local. Por consiguiente, el prototipo desarrollado será un aporte tangible que permitirá replicar procesos experimentales y proyectos de investigación aplicada con impacto directo en la gestión ambiental. Tiene **justificación metodológica** porque este estudio adopta un enfoque cuantitativo, sustentado en la recolección de datos objetivos y medibles, necesarios para establecer relaciones de causalidad entre variables mediante la manipulación sistemática dentro de un diseño experimental (Piedra & Manqueros, 2021). La investigación presenta un carácter aplicado y experimental, enfocado en el diseño, construcción y validación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado, aplicando metodologías científicas rigurosas y alineándose con normas técnicas internacionales como ASTM D5603, que regula las especificaciones del caucho triturado, y la normativa nacional NTE INEN 037:2009, aplicable a fabricación de estructuras de acero (Journal Of Engineering et al., 2022). Esta combinación metodológica fortalece la validez técnica y científica del estudio. Tiene **justificación social** porque el proyecto responde a una problemática ambiental de gran relevancia en la provincia de Santa Elena, como es la acumulación de neumáticos fuera de uso. Al promover el reciclaje de este residuo para integrarlo en procesos productivos locales, se fomenta una conciencia ecológica que promueve la sostenibilidad y aporta soluciones concretas como la generación de empleos verdes (Barrientos et al., 2022). Como afirma (Zambrano et al., 2021), la valorización de residuos sólidos mediante soluciones tecnológicas no solo reduce los impactos ambientales, sino que

también promueve prácticas sostenibles que pueden ser replicadas por comunidades y gobiernos locales. Por consiguiente, este estudio contribuye a una mejora del bienestar colectivo lo que refuerza su relevancia e impacto.

En este contexto, se estableció un objetivo general junto con objetivos específicos orientados a dar respuesta al problema de investigación, definiéndose también las acciones necesarias que permitirán alcanzar la propuesta planteada y cumplir con los fines de la investigación.

Objetivo general.

Diseñar un prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres UPSE, provincia de Santa Elena, Ecuador

Objetivos específicos.

OE1. Recopilar información técnica y científica sobre el diseño de pulverizadores de caucho reciclado, mediante un marco teórico.

OE2. Diseñar el prototipo de la máquina pulverizadora de caucho reciclado, mediante metodologías, herramientas de modelado mecánico como el software SolidWorks, principios de eficiencia y seguridad operacional.

OE3. Construir el prototipo de la máquina pulverizadora, basado en la normativa técnica ecuatoriana RTE INEN 037:2009 para diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas en los talleres de la UPSE, ubicado en la provincia de Santa Elena, Ecuador.

La hipótesis general, en forma afirmativa como en forma nula se determinó como se lee a continuación:

H_a: La implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado mejora las propiedades mecánicas del hormigón sostenible elaborado en los talleres de la UPSE.

H₀: La implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado no mejora significativamente las propiedades mecánicas del hormigón sostenible elaborado en los talleres de la UPSE.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos.

La integración de partículas de caucho reciclado en mezclas de hormigón ha sido ampliamente investigada en las últimas décadas, motivada por la necesidad de mitigar la huella ambiental asociada a los neumáticos al final de su vida útil (NFU) y optimizar la eficiencia en el uso de recursos dentro del sector de la construcción.

A nivel global, el autor Tanhadoust et al., (2023) en la revista *Construction and Building Materials* analizó la viabilidad de hormigones con caucho reciclado mediante evaluaciones de ciclo de vida (LCA), concluyendo que su uso reduce hasta un 30 % las emisiones de CO₂ comparado con el hormigón convencional. Asimismo, se evidenció que la incorporación de caucho granulado reciclado como reemplazo parcial de los áridos finos naturales en mezclas de hormigón permite incrementar de manera significativa la tenacidad a la fractura y la resistencia al agrietamiento, al mismo tiempo que reduce los impactos ambientales negativos asociados a la producción de hormigón convencional.

Por otro lado, Wang & Du, (2020), señalan que en países desarrollados (EE.UU, Japón, Corea del Sur) y los países aliados de la Unión Europea, efectuaron estudios basados en las propiedades funcionales del hormigón de caucho granulado con áridos reciclados (RCC), destacando sus ventajas térmicas y acústicas frente al hormigón convencional (NC), el RCC, fabricado con sustitución parcial de áridos por caucho reciclado, presenta menor densidad aparente (15-20 % inferior al hormigón tradicional) y mayor porosidad, lo que favorece un coeficiente de transferencia de calor reducido (hasta 30 %) y una resistencia térmica incrementada. Estos resultados subrayan que cuando la tasa de sustitución de caucho alcanza el 30 %, se registran mayores coeficientes de aislamiento acústico y reducción de ruido, lo que se traduce en un mejor desempeño en la atenuación sonora.

En contraste, investigaciones realizadas en China por Sabbrojjaman et al., (2024); Sathiparan & Subramaniam, (2024), han realizado estudios con mezclas de vidrio, cerámica y caucho agregados finos reciclados (RFA) en hormigón de alto rendimiento (HPC), destacando que el vidrio (RGC) y la cerámica (RCC) mejoran propiedades mecánicas (resistencia a compresión, módulo de elasticidad) y de durabilidad (absorción de agua, penetración de

cloruros) hasta en un 30 % y 50 % de sustitución, respectivamente. Sin embargo, el caucho reciclado (RRC) reduce dichas propiedades, aunque su inclusión en porcentajes menores al 25 % mantiene un desempeño aceptable. Se evidenció que los materiales reciclados constituyen alternativas prometedoras para el desarrollo de hormigón ecológico, alineándose con los principios de construcción sostenible, lo que refleja un avance significativo hacia soluciones constructivas eficientes en recursos, capaces de reducir el impacto ambiental sin comprometer la funcionalidad técnica.

A nivel de Latinoamérica, en Colombia, un estudio realizado por Andrés et al., (2024) en la Universidad de América, se verificó la resistencia de los prototipos con diferentes porcentajes de caucho reciclado (25 %, 50 % y 75 %) muestran que todos los materiales cumplen y superan las normativas NTC 4745 y ASTM D4280, con una resistencia mínima requerida de 733.88 psi, lo que demuestra una relación proporcional entre el tiempo y la resistencia a la compresión en cada prototipo. También este estudio experimental confirmó que el caucho reciclado conserva propiedades elásticas óptimas independientemente de su porcentaje de incorporación en mezclas. Lo que indica que este material es una alternativa viable y sostenible en sectores industriales que demandan materiales con elevada resistencia a compresión, logrando un equilibrio óptimo entre sustentabilidad ambiental y desempeño técnico.

En Perú, una investigación denominada “Adoquines renovables: el impacto del caucho reciclado en la infraestructura urbana”, demostró el impacto mecánico de agregar 10 %, 15 % y 20 % de caucho granulado, analizando la resistencia a la compresión a 3, 7, 14 y 28 días de curado (Raul et al., 2024) El resultado de esta investigación evidencia una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de caucho y la resistencia, estos hallazgos resaltan el compromiso entre sostenibilidad y desempeño estructural, sugiriendo límites prácticos para su aplicación en pavimentos, bloques, adoquines, etc. Otro estudio en Perú fue realizado por (Pei et al., 2024) nombrado “Mechanical processes for recycling of End-of-Life Tyres / Procesos mecánicos para el reciclado de neumáticos fuera de uso”, analizó las técnicas de molienda y concluyó que el proceso de trituración criogénica produce partículas más uniformes, más pequeño, cuyo tamaño de partículas llegan a 0,075 mm, mientras que la mecánica llega a medidas de 0.1 – 0.2 mm, siendo accesible para entornos con recursos limitados. En base al estudio, se concluye que para tener un hormigón sostenible es necesario contar con un eficiente proceso de trituración; por lo tanto, se ve la necesidad de crear un prototipo pulverizador de caucho.

En lo que respecta a Ecuador un estudio por (Bernabé et al., 2024), denominado “Prototipo de una máquina extrusora de filamentos para producir bloques PVC-PET, en el área de construcción ecológica, Santa Elena, Ecuador”, logró producir bloques de PVC-PET reciclado con una reducción del 30 % en peso respecto a los bloques convencionales, y un ahorro estimado del 25 % en costos de materiales. Además, el sistema alcanzó una eficiencia operativa del 92 %, demostrando su viabilidad técnica para la construcción ecológica. A su vez, el estudio en Ecuador por Padilla et al., (2024) denominada “La gestión de desechos de caucho, especialmente neumáticos en desuso”, estimó que anualmente se generan más de 30 mil toneladas de neumáticos fuera de uso (NFU), de las cuales solo el 18 % son gestionadas adecuadamente bajo procesos de reciclaje o valorización. Este bajo porcentaje revela una ineficiencia del 82 % en el sistema de gestión de NFU a nivel nacional, lo que representa una oportunidad urgente para implementar tecnologías como el triturado y reutilización del caucho en materiales constructivos sostenibles.

De manera complementaria, en Guayaquil, Láinez & Quirumbay, (2023) la Universidad Politécnica Salesiana diseñó una máquina trituradora tipo garra, orientada a optimizar la fragmentación del caucho mediante un mecanismo de cuchillas intercambiables y un sistema de transmisión ajustable, pruebas preliminares logrando una reducción del 30% en la masa total de los bloques contruidos con PVC-PET reciclado, en comparación con bloques convencionales. Además, se obtuvo un ahorro del 25 % en costos de materiales, y una producción de hasta 10 bloques por hora, confirmando la viabilidad del diseño para su uso en proyectos de construcción ecológica. Demostraron que este diseño mejora la eficiencia en la reducción de tamaño del caucho, alcanzando granulometrías aptas para su reutilización en aplicaciones industriales. Por ende, estos hallazgos respaldan la creación de diseños de prototipos pulverizadores que permitan su aprovechamiento en los entornos universitarios.

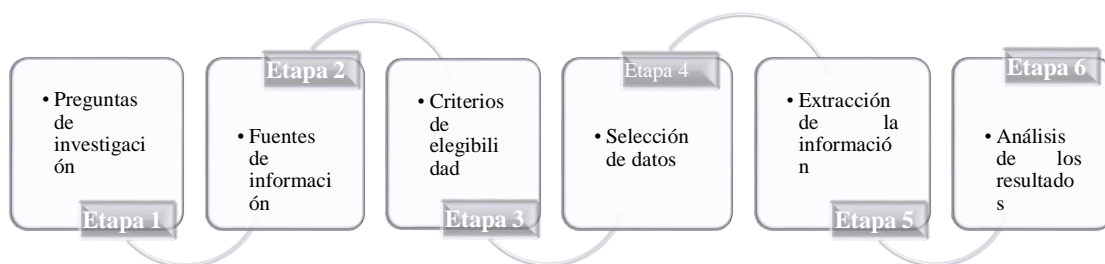
Finalmente, en la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), el presente proyecto propone por primera vez el diseño y validación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado con fines educativos y ambientales. Así, se busca aprovechar un residuo contaminante para producir agregados finos aplicables en hormigón sostenible, fomentando la formación práctica, la transferencia tecnológica y el compromiso institucional con la sostenibilidad. En definitiva, esta propuesta representa una oportunidad estratégica para innovar en el tratamiento de residuos sólidos, aportando tanto al desarrollo académico como al bienestar ambiental de la comunidad.

1.2. Estado del arte.

El estado del arte es el grado más elevado de descubrimiento de un tema en particular o un área de conocimiento establecido por la investigación documental en un tiempo determinado (Domínguez et al., 2022). Esta sección resulta fundamental en una investigación, ya que permite contextualizar el tema de estudio, identificar vacíos en el conocimiento existente, justificar la relevancia del trabajo propuesto y orientar metodológicamente el diseño del estudio. Su relevancia radica en que proporciona una base teórica robusta para evitar redundancias, fortalecer el marco conceptual y sustentar científicamente la originalidad y contribuciones de la investigación. Además, actúa como un soporte crítico para validar los enfoques y resultados dentro del ámbito académico.

Con el fin de desarrollar una revisión exhaustiva y estructurada del conocimiento existente, la presente investigación adopta la metodología PRISMA, por sus siglas en inglés “Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses”, según (Palacios et al., 2025) la integración de este enfoque permite estructurar la revisión sistemática de manera rigurosa, transparente y reproducible, lo que contribuye a una extracción ordenada de los datos relevantes, proporcionando un marco metodológico confiable para sustentar los resultados obtenidos. Por otro lado, bajo los fundamentos de (Orte et al., 2025) esta metodología consta de 6 etapas para su posterior revisión, las cuales que se mencionan:

Figura 1.
Revisión sistemática



Nota. Elaborado por el autor, en base a (Orte et al., 2025).

La figura 1, diagrama propuesto por (Orte et al., 2025) esquematiza un proceso de revisión sistemática en seis etapas secuenciales, diseñado para abordar estudios bajo metodología PRISMA. La primera etapa corresponde a la formulación de las preguntas de investigación, donde se define el enfoque y los objetivos específicos del estudio.

Posteriormente, en la segunda etapa, se procede a la identificación de las fuentes de información, seleccionando bases de datos y repositorios relevantes que permitan una búsqueda exhaustiva. La tercera etapa contempla el establecimiento de criterios de elegibilidad, los cuales delimitan de manera precisa qué estudios serán incluidos o excluidos del análisis. En la cuarta etapa se realiza la selección de datos, seguida de la extracción de la información, mediante la recopilación sistemática relevante de los estudios seleccionados. Finalmente, la quinta etapa abarca el análisis de los resultados, en el cual se sintetiza la información recolectada para proporcionar una visión crítica y estructurada de la evidencia disponible. Este flujo metodológico asegura la transparencia, trazabilidad y rigor en el proceso de revisión.

1.3. Revisión sistemática.

Preguntas de investigación.

A pesar de los avances en tecnologías de reciclaje y sostenibilidad, persisten vacíos en la literatura respecto a la implementación práctica de prototipos que optimicen el uso de caucho reciclado en la elaboración de hormigón sostenible. Por lo tanto, para la primera etapa de la revisión sistemática, se plantea formular lo siguiente: i. ¿Qué investigaciones se han realizado sobre la utilización de caucho reciclado en el hormigón? ii. ¿Qué efectos tiene esta adición sobre las propiedades mecánicas del material? iii. ¿Qué tipos de máquinas pulverizadoras han sido diseñadas hasta la fecha?

Fuentes de información.

La búsqueda de información científica se llevó a cabo utilizando diversas bases de datos académicas especializadas, incluyendo ScienceDirect, Google Scholar, Scopus, Redalyc y SpringerLink. Para refinar y optimizar los resultados, se emplearon operadores booleanos (AND, OR, NOT), los cuales permitieron combinar diferentes descriptores de búsqueda y filtrar los artículos relevantes de forma eficaz. Esta estrategia de búsqueda sistemática garantizó la identificación de literatura pertinente al integrar términos clave en combinaciones lógicas adecuadas dentro de cada plataforma consultada. A continuación, se presenta las bases de datos utilizadas, junto con los descriptores y operadores booleanos aplicados en cada caso.

Tabla 1.

Descriptores de búsqueda por base de datos.

Base de datos	Descriptores de búsqueda y operadores booleanos
----------------------	--

ScienceDirect.	"Rubber waste AND sustainable concrete", "recycled tyre AND construction material AND shredder", "rubber concrete AND Ecuador NOT plastic".
PubMed.	"Recycled rubber AND sustainable concrete", "rubber particles AND eco-friendly concrete", "waste rubber AND concrete strength AND replacement".
Scopus.	"Rubber aggregate AND concrete mix", "sustainable concrete OR recycled rubber", "green construction AND rubberized concrete".
SpringerLink.	"Material reciclado AND hormigón sostenible", "caucho reciclado AND resistencia del hormigón", "material ecológico OR agregado de caucho NOT plástico".

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 1, presenta una estructuración temática lo que permitió una búsqueda bibliográfica sistemática y alineada con los criterios científicos del estudio. Estos resultados son fundamentales para orientar la localización de información relevante, y su eficacia varía según la cantidad y tipo de documentos disponibles, ya sean artículos, libros, conferencias u otras fuentes académicas.

Criterios de elegibilidad.

Estos criterios permiten establecer filtros rigurosos para la selección de estudios pertinentes, asegurando la calidad y relevancia de las fuentes. En este proceso, se aplicó criterios de inclusión y exclusión que permitirán depurar la información científica recopilada, estos serán presentados de manera estructurada en la siguiente:

Tabla 2.
Criterios de inclusión y exclusión.

Criterio	Inclusión	Exclusión
Año de publicación.	Publicaciones en los últimos 5 años entre 2020 y 2025.	Publicaciones anteriores a 2020.
Tipo de documento.	Artículos científicos, tesis.	Informes técnicos, blogs y otros documentos no arbitrados.
Temática del estudio.	Estudios sobre reciclaje de caucho en la construcción.	Estudios no relacionados con caucho o concreto.
Idioma.	Investigación en inglés o español.	Publicaciones en otros idiomas.

Accesibilidad.	Acceso completo al texto del documento.	Documentos con acceso restringido o solo resúmenes disponibles.
----------------	---	---

Nota. Elaborado por el autor

La Tabla 2, establece de forma clara los criterios aplicados para la selección de fuentes bibliográficas. Estos criterios permiten delimitar el universo de búsqueda y asegurar la pertinencia de las fuentes. La inclusión se enfoca en estudios recientes, accesibles y alineados temáticamente con el objeto de estudio. Por su parte, la exclusión filtra documentos que no cumplen estándares académicos o no se relacionan directamente con la problemática abordada. Esta estructura fortalece la rigurosidad del proceso de revisión.

Selección de datos.

A continuación, se exponen los resultados globales de la búsqueda de información realizada en las bases de datos, los cuales se detallan en la tabla 3. Dicha tabla presenta el número total de artículos identificados en cada una de las cuatro bases consultadas, sin que se hayan aplicado aún los criterios de elegibilidad, así como el porcentaje correspondiente para cada fuente.

Tabla 3.

Resultados de artículos identificados en las bases de datos.

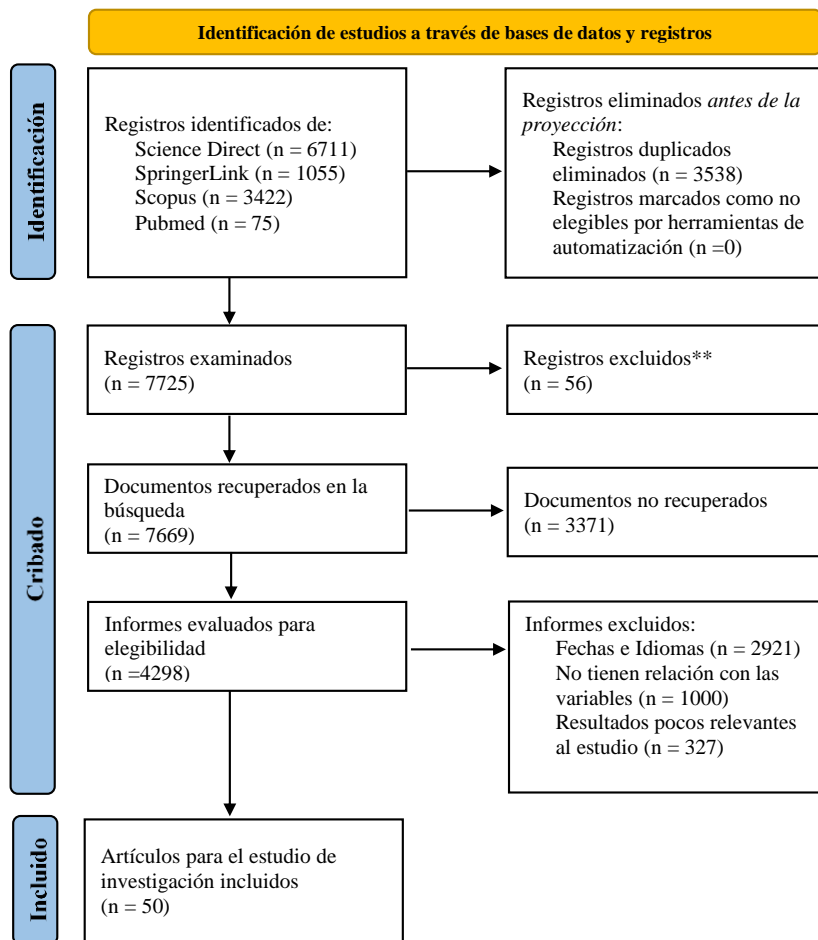
Base de datos	Cantidad de artículos	Porcentaje de resultados
ScienceDirect.	6,711	59.58 %
PubMed.	75	0.67 %
Scopus.	3,422	30.38 %
SpringerLink.	1,055	9.37 %
TOTAL.	11,263	100.00 %

Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 3 presenta los resultados generales de la búsqueda de información en las bases de datos seleccionadas. Science Direct reportó el mayor número de artículos con un total de 6.711 registros, lo que corresponde al 59.58 % del total. Le siguen Scopus y SpringerLink, con 3.422 (30.38 %) y 1.055 (9.37 %) artículos respectivamente. Finalmente, PubMed aportó 75 artículos, equivalentes al 0.67 %, cabe señalar que estos representan el volumen inicial de documentos recopilados para la investigación, los cuales deberán ser sometidos a la aplicación de los criterios de elegibilidad previamente establecidos, a fin de seleccionar aquellos estudios relevantes para el proceso de análisis y extracción de datos.

En el proceso de selección de datos, se resalta la utilidad del diagrama de flujo PRISMA, herramienta que facilita la identificación, organización y depuración de los artículos más pertinentes para la investigación. Resume el procedimiento de selección de documentos científicos.

Figura 2.
Diagrama PRISMA.



Nota. Elaborado por el autor en base a (Barquero, 2022).

Como se muestra en la Figura 2, el proceso de identificación, cribado y selección de estudios se desarrolló conforme al diagrama de flujo PRISMA, con el fin de realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica pertinente a las variables del presente estudio. Inicialmente, se identificaron 11263 registros mediante diversas bases de datos académicas. Para llevar a cabo una gestión eficaz de esta información y eliminar duplicados, se utilizaron los programas Mendeley, Zotero y Microsoft Excel, herramientas que permitieron depurar un total de 3538 documentos, quedando 7725 registros para la fase de cribado. En esta etapa, tras revisar títulos y resúmenes, se excluyeron 3427 estudios por no cumplir con los criterios de

inclusión, resultando en 4298 documentos seleccionados para evaluación completa. Posteriormente, se descartaron 4248 artículos adicionales debido a limitaciones como año e idioma no compatible, relación nula con las variables o resultados pocos relevantes al estudio.

Finalmente, se incluyeron 50 artículos que cumplieron rigurosamente con los criterios metodológicos y temáticos definidos, seleccionados mediante una estrategia de búsqueda booleana estructurada, en la cual se presentarán los artículos seleccionados, organizados según autor, año, título, resultados, herramientas y variables obtenidos en la investigación.

Tabla 4.
Artículos seleccionados para revisión.

N°	Autor/ Año	Título	Resultados	Herramienta	Variable
1	(Bucks humiya n et al., 2023).	Recycling of plastic wastage by die shredder machine.	El objetivo de este estudio es diseñar un sistema de trituración plástica con eje hexagonal, transmisión por correa y controles automatizados para optimizar el reciclaje y minimizar costos.	Trituradora.	Diseño de prototipo
2	(Chiku et al., 2020).	Design of a small-scale granite stone crusher.	El objetivo de este estudio es diseñar un triturador manual de granito portátil, segura y económica para pequeños productores en Zimbabue, validada mediante análisis de estrés y pruebas.	Trituradora de piedra. Diseño en Solidwork: análisis de tensión en el engranaje.	Diseño de prototipo
3	(P. Tang et al., 2025).	Study on the crushing characteristics of polymetallic nodules based on the single-tooth roller crusher.	El objetivo de este estudio es analizar la trituración de nódulos polimetálicos mediante trituradora de rodillo dentado, optimizando parámetros operativos para minería submarina.	Modelo de rotura. Simulación de trituración.	Diseño de prototipo
4	(El Ghobas hy et al., 2023).	Development and evaluation of a dual-purpose machine for chopping and crushing forage crops.	El objetivo de este estudio es diseñar una máquina forrajera dual (picado-trituración) ecológica y rentable, evaluando su desempeño energético y parámetros operativos.	Método de estudio y evaluación de máquina forrajera.	Diseño de prototipo

5	(Indirap riyadha rshini et al., 2023).	Design and fabrication of automated oil spraying machine for baking system.	El objetivo de este estudio es diseñar y fabricar una máquina automatizada de rociado de aceite para bandejas de horneado, reduciendo costos laborales y mejorando la eficiencia.	Pulverizador automatizado.	Diseño de prototipo
6	(Villanueva et al., 2025a).	Performance of Microconcretes with Different Percentages of Recycled Tire Rubber Granulate.	El propósito de este artículo es analizar el efecto del caucho reciclado (10 % - 30 %) en micro hormigones, evaluando propiedades mecánicas, comportamiento post-crítico y viabilidad económica para aplicaciones estructurales.	Pruebas experimentales físicas y mecánicas.	Hormigón sostenible.
7	(Y. Tang et al., 2023).	Exploring temperature-resilient recycled aggregate concrete with waste rubber: An experimental and multi-objective optimization analysis.	Este estudio analiza cómo el agregado reciclado (RA) y partículas de caucho reciclado (RPs) mejoran la resistencia y deformación del hormigón (RRAC) a altas temperaturas, optimizando su diseño mediante modelos SVR.	Análisis de sensibilidad.	Hormigón sostenible.
8	(Ghone et al., 2024).	Toughness improvement of low strength ceramsite lightweight concrete by polypropylene fiber and recycled rubber particle.	Este estudio evalúa cómo las fibras de polipropileno (PP) y el caucho mejoran la resistencia, tenacidad y absorción capilar del hormigón ligero de ceramista, optimizando su rendimiento estructural y durabilidad.	Ensayo de sorción - Análisis SEM.	Hormigón sostenible.
9	(Chen et al., 2024).	Dynamic compressive behavior of environmentally friendly high-strength concrete: Experimental investigation	El propósito de este estudio fue analizar la respuesta dinámica del hormigón ecológico con polvo de caucho y fibras de acero reciclado, mediante ensayos de compresión, para optimizar su ductilidad y sostenibilidad.	Evaluación experimental.	Hormigón sostenible.

		and modelling.			
10	(Gamal et al., 2022).	Properties of Rubberized Concrete Prepared from Different Cement Types.	El objetivo de este estudio fue comparar hormigones con neumáticos reciclados (50-100 % WRT) usando cemento SRC versus OPC, demostrando mejoras en resistencia y microestructura.	Análisis Prueba T.	SEM. Hormigón sostenible
11	(Gao et al., 2022).	Experimental investigation on static compressive toughness of steel fiber rubber concrete	El objetivo de este estudio fue investigar la tenacidad a compresión del hormigón con caucho reciclado (5-15 %) y fibras de acero, evaluando propiedades mecánicas para optimizar ductilidad como material sostenible.	Bloques de prueba prismáticos y cúbicos.	de Hormigón sostenible y
12	(Gravin a & Xie, 2022).	Toward the development of sustainable concrete with Crumb Rubber: Design-oriented Models, Life-Cycle-Assessment and a site application.	El propósito de este estudio fue integrar modelos CRC y LCA en hormigón ecológico con caucho, escoria y PET reciclados para validar su viabilidad técnica-ambiental en infraestructura urbana.	Análisis de ciclo de vida.	Hormigón sostenible.
13	(Ghoniem & Aboul Nour, 2024).	Experimental investigation into the properties of crumb rubberized concrete incorporating corrugated round steel fibers.	El objetivo de este estudio fue analizar cómo caucho reciclado (0.5-2.0 %) y fibras de acero (0.5-1.5 %) mejoran propiedades del hormigón, validando un modelo predicciones sostenibles (Ji & Sun, 2023).	Estudio experimental.	Hormigón sostenible
14	(Ji & Sun, 2023).	Experimental and numerical investigation of recycled rubber foam concrete.	El objetivo de este estudio fue desarrollar hormigón celular con caucho reciclado, evaluando propiedades mediante ensayos para ofrecer	Método simulación (ABAQUS).	de Hormigón sostenible.

			soluciones sostenibles a residuos de neumáticos.		
15	(Eissa et al., 2024).	Recent efforts on investigating the effects of recycled rubber content on the mechanical properties of structural concrete.	El objetivo de este estudio fue revisar críticamente el efecto del caucho (2-5 %) en propiedades mecánicas del hormigón, destacando mejoras en absorción energética y sostenibilidad.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
16	(Khaldi et al., 2022).	Effect of the Incorporation of Recycled Rubber Aggregates on the Behavior of Self-Compacting Concrete.	El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de agregados de caucho (1-2 % peso) en propiedades del hormigón autocompactante (SCC) para mejorar ductilidad y promover reciclaje.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
17	(Feng et al., 2022).	Structural effects and real strain-rate effects on compressive strength of sustainable concrete with crumb rubber in split Hopkinson pressure bar tests.	El objetivo de este estudio fue cuantificar los efectos de velocidad de deformación en hormigón con caucho (10-30 %) y validar un modelo numérico para análisis de cargas de impacto.	Prueba experimental Modelo de hormigón Karagozian & Case (K&C).	Hormigón sostenible.
18	(Jeleč et al., 2022).	Bond-slip behavior of self-consolidating rubberized concrete.	El objetivo de este estudio fue investigar el comportamiento de adherencia en SCC con caucho y sílice humo, evaluando diámetros de barras y desarrollando un modelo predictivo para aplicaciones estructurales sostenibles.	Modelo de sustitución parcial.	Hormigón sostenible.

19	(Huang et al., 2022).	Experimental Study on the Effect of Freeze–Thaw Cycles on the Apparent and Mechanical Properties of Rubber Concrete Under Chloride Environment.	El objetivo de este estudio fue evaluar la resistencia al hielo-deshielo de hormigón con caucho (10 %, 3-6 mm) y validar su uso en infraestructuras expuestas a sales y frío.	Método de prueba de congelación unilateral. Análisis SEM.	Hormigón sostenible.
20	(Hernández et al., 2025).	Cyclic behavior of reinforced rubberized concrete columns under flexure-shear interaction.	El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento cíclico de columnas de hormigón con caucho comparando propiedades mecánicas con columnas convencionales y validando normativas.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
21	(Habib et al., 2021).	Seismic Behavior and Damping Efficiency of Reinforced Rubberized Concrete Jacketing.	El estudio numérico demostró que el hormigón cauchutado en reforzamientos incrementa la disipación energética y reduce demandas sísmicas, validando su uso en retrofit eco-amigable con neumáticos reciclados.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
22	(Yu et al., 2021).	Effect of rubber particles on impact resistance of concrete at a temperature of –20 °C.	El estudio demostró que el hormigón con 50 kg/m ³ de caucho mejora un 52 % la tenacidad a –20 °C al modular los poros congelados, ofreciendo una solución viable para pavimentos en climas fríos.	Evaluación Experimental. Prueba (Ji & Xia, 2025).	Hormigón sostenible.
23	(Ji & Xia, 2025).	Probing mechanical attributes and microstructure ties in modified concrete blended with recycled rubber and	El objetivo de este estudio fue analizar el efecto combinado de partículas de caucho y polvo de paja en la resistencia del hormigón, desarrollando un modelo constitutivo de daño y validándolo mediante simulación (ABAQUS).	Prueba de resistencia a la compresión.	Hormigón sostenible.

		straw powder.			
24	(Wijesinghe et al., 2025).	Thermal and acoustic performance of solid waste incorporated cement-based composites: an analytical review.	El objetivo de este estudio es analizar cómo los residuos (plástico, caucho, etc.) mejoran el aislamiento térmico y la absorción acústica en concretos, optimizando su microestructura porosa.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
25	(Ming et al., 2020).	Analysis of the Crack Evolution Process in Crumb Rubber Concrete Based on Acoustic Emission Technology	El objetivo de este estudio fue analizar la evolución de fisuras en hormigón con caucho mediante emisión acústica, demostrando que estas partículas reducen la fragilidad y mejoran la ductilidad.	Método de posicionamiento.	Hormigón sostenible.
26	(Abunassar & Alas, 2025).	Optimization of strength and durability properties of rubberized concrete mixtures containing silica fume using Taguchi method.	El objetivo del estudio es optimizar el diseño de mezcla de hormigón cauchutado mediante el método Taguchi, evaluando el impacto de humo de sílice, caucho fino y caucho grueso en propiedades mecánicas y durabilidad.	Método de Taguchi.	Hormigón sostenible.
27	(Akhtar & Tsang, 2024).	A comparative life cycle assessment of recycled tire rubber applications in sustainable earthquake-resistant construction.	El propósito de este estudio fue comparar sistemas antisísmicos sostenibles (hormigón cauchutado, suelos con caucho/PUcR) mediante análisis de ciclo de vida, revelando ahorros en energía y 30% menos emisiones.	Evaluación integral de ciclo de vida.	Hormigón Sostenible.

28	(Y. M. Abbas & Alsaif, 2024).	Enhanced nonlinear models for critical compressive stress-strain characteristics of rubberized concrete: Comprehensive experimental data and robust evaluation methodology	El objetivo de este estudio fue desarrollar modelos predictivos mejorados para el comportamiento tenso-deformacional del hormigón con árido de caucho (RA), para optimizar su aplicación en construcción sostenible.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
29	(Miranda et al., 2024).	High-Performance Concrete from Rubber and Shell Waste Materials: Experimental and Computational Analysis.	El propósito de este estudio fue validar el uso de residuos (conchas/caucho) en hormigón estructural, logrando mezclas con hasta 26.5 % más resistencia o 4.3 % menos peso, en economía circular	Métodos experimentales computacionales.	Hormigón sostenible.
30	(Beirama & Al-Mutaire, 2022).	The effect of chip rubber on the properties of concrete	El estudio analizó como la sustitución parcial de agregado grueso con partículas de caucho afecta propiedades mecánicas y térmicas del concreto, buscando determinar el porcentaje óptimo.	Evaluación comparativa de mezclas.	Hormigón sostenible.
31	(Hassan et al., 2024).	Mechanical Properties of Rubberised Geopolymer Concrete.	El propósito de este estudio fue validar geopolímeros con caucho reciclado (hasta 25 %), demostrando que su pretratamiento reduce pérdidas de resistencia y permitiendo modelos predictivos para su uso en construcción.	Pruebas experimentales físicas y mecánicas - modelo de materiales existentes.	Hormigón sostenible.
32	(Tanhadoust et al., 2023b).	Optimal design of sustainable recycled rubber-filled	El estudio optimizó hormigón con caucho reciclado logrando +35% tenacidad y ↓15 % impacto ambiental mediante modelos	Análisis de ciclo de vida Modelo BPNN-AGE-MOEA.	Hormigón sostenible.

		concrete using life cycle assessment and multi-objective optimization.	IA, validando su viabilidad técnica-económica en construcción sostenible.		
33	(Sai Neeraja & Sharma, 2023).	An overview of fresh and mechanical properties of recycled coarse aggregate self-compacting concrete.	El propósito de este estudio fue sintetizar evidencia sobre SCC con RCA y residuos industriales, demostrando que combinarlos optimiza desempeño estructural y sostenibilidad, impulsando la economía circular.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
34	(Miah et al., 2023).	Performance of eco-friendly concrete made from recycled waste tire fine aggregate as a replacement for river sand.	El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño mecánico y durable del hormigón con agregado fino determinando que un 20 % de sustitución mantiene propiedades aceptables para hormigones estructurales.	Pruebas experimentales físicas y mecánicas.	Hormigón sostenible.
35	(Matar & Alkhatab, 2023).	Analysis of a stepped shaft in a rubber cracker machine.	El análisis de falla identificó fatiga por desalineación en eje de trituradora de caucho, resolviéndose con base de hormigón y ajuste mecánico, demostrando la crítica de un diseño preciso en entornos industriales.	Análisis de composición y elementos finitos (XRF, FEA).	Diseño de prototipo.
36	(Zedler et al., 2022).	Ground tire rubber functionalization as a promising approach to produce sustainable adsorbents of environmental pollutants.	El objetivo de este estudio fue revisar estrategias de funcionalización del caucho molido de neumáticos para producir adsorbentes sostenibles, destacando la extrusión reactiva como método eficiente y ecológico	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
37	(Valente et al., 2022).	Reducing emission of climate-altering substances	El objetivo de este estudio fue comparar el desempeño de materiales geopoliméricos (alcali-	Análisis SEM (Microscopía de barrido) / XRD	Hormigón sostenible.

		cementitious materials: comparison between activated materials Portland cement based composites incorporating recycled rubber.	activados) y cemento Portland convencional con partículas de caucho reciclado, evaluando sus propiedades mecánicas, microestructurales y sostenibilidad ambiental.	(Difracción de Rayos X).	
38	(Pongsothapha et al., 2022).	Thermal and acoustic properties of sustainable structural lightweight aggregate rubberized concrete.	El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del caucho en hormigón ligero estructural, determinando que un 10 % de sustitución de arena por caucho optimiza propiedades mecánicas y aislantes mediante normas ASTM/ACI.	Ensayos Preliminares ASTM del producto final.	Hormigón sostenible.
39	(Islam et al., 2022).	Design and strength optimization method for the production of structural lightweight concrete: An experimental investigation for the complete replacement of conventional coarse aggregates by waste rubber particles.	El objetivo de este estudio fue desarrollar un método innovador de pretensado de áridos gruesos de caucho para mejorar la resistencia y adherencia en hormigón cauchutado, logrando incrementos de hasta 97 %.	Plataformas de moldeo de acero.	Hormigón sostenible.
40	(Indrarna et al., 2022).	The role of recycled rubber inclusions on increased confinement in track substructure.	El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño de una vía férrea híbrida que utiliza neumáticos reciclados como elementos de confinamiento en el balasto, demostrando su eficacia para reducir	Diseño conceptual.	Diseño de prototipo.

			desplazamientos y vibraciones		
41	(Gorde & Naktode, 2022).	Chemically treated tyre rubber concrete review.	El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de neumáticos reciclados como reemplazo de áridos en hormigón ligero, destacando su viabilidad técnica para reducir el impacto ambiental y promover construcciones sostenibles.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
42	(Dharmaraj et al., 2022).	Study of impact of crumb rubber used as an aggregate in concrete mix.	El objetivo de este estudio fue evaluar el caucho reciclado como sustituto de M-Sand (10-50%) en SCC para bloques de pavimento, determinando que 20% optimiza resistencia y costo.	Pruebas de laboratorio-normas IS Codal.	Hormigón sostenible.
43	(S. Abbas et al., 2022).	Recycled Untreated Rubber Waste for Controlling the Alkali-Silica Reaction in Concrete.	El objetivo del estudio evaluar el uso de residuos de caucho reciclado (RW) en estructuras de hormigón para mitigar la reacción álcali-sílice (ASR), analizando su impacto y comportamiento expansivo bajo condiciones propicias.	Diseño de mezcla ASTM C1260.	Hormigón sostenible.
44	(Ullah et al., 2022).	Experimental investigation of the stress-strain behavior and strength characterization of rubber-coated reinforced concrete.	El propósito de este estudio fue evaluar el comportamiento de hormigón con neumáticos triturados (10 %, 15 % y 20 % de reemplazo de áridos finos), analizando su curva tensión-deformación con modelos analíticos establecidos.	Modelos analíticos.	Hormigón sostenible.
45	(Pham et al., 2021).	Experimental investigation on dynamic properties of ultra-high-performance rubberized concrete (UHPRuC).	El objetivo de este estudio fue desarrollar hormigón de ultra alto rendimiento, evaluando su resistencia bajo diferentes contenidos de caucho y proponiendo fórmulas empíricas para predecir su comportamiento.	Evaluación experimental.	Hormigón sostenible.

46	(Karun arathna et al., 2021).	Effect of recycled rubber aggregate size on fracture and other mechanical properties of structural concrete.	El propósito de este estudio fue analizar el efecto de agregados de caucho reciclado (en diferentes tamaños) en el hormigón estructural, evaluando propiedades mecánicas, para aplicaciones sismorresistentes.	Ensayos preliminares modelos constitutivos.	Hormigón sostenible.
47	(Hamdi et al., 2021).	Scope of reusing waste shredded tires in concrete and cementitious composite materials: A review.	El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad de utilizar neumáticos triturados en hormigón para estructuras y pavimentos, analizando propiedades mecánicas y de durabilidad, para optimizar su uso.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
48	(Bala & Gupta, 2021).	Thermal resistivity, sound absorption and vibration damping of concrete composite doped with waste tire Rubber: A review.	El objetivo de este estudio fue revisar las propiedades térmicas, acústicas y de amortiguación de vibraciones en hormigón con caucho reciclado, destacando su potencial para aplicaciones sostenibles.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
49	(Adesina & Das, 2021).	Performance of engineered cementitious composites incorporating crumb rubber as aggregate.	El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad de reemplazar arena sílice con caucho reciclado en composites cementicias, mejorando su ductilidad, durabilidad y reduciendo permeabilidad.	Diseño conceptual.	Hormigón sostenible.
50	(Abbas si & Ahmad, 2020).	Behavior analysis of concrete with recycled tire rubber as aggregate using 3D-digital image correlation.	El objetivo de este estudio fue analizar el comportamiento a compresión de hormigones con agregados de caucho reciclado (10 %-50 % volumen), evaluando su transición de frágil a dúctil y mayor absorción de energía.	Evaluación experimental Sistema 3D-DIC.	Hormigón sostenible.

Nota. Elaborado el autor.

En la Tabla 4, la aplicación de la metodología de revisión sistemática facilitó la identificación de los hallazgos clave y de los elementos más significativos de los estudios analizados, a partir de los 50 artículos recopilados que conforman el estado del arte, ya que permite transformar dicho material en un insumo útil para la elaboración de hormigón sostenible. Según Villanueva et al., (2025) los métodos mecánicos utilizados en su estudio proporcionan herramientas viables para caracterizar el comportamiento del material y predecir su desempeño en condiciones reales. Por consiguiente, la inclusión de estas técnicas en la presente investigación permitió estructurar una metodología detallada que sustenta la construcción y validación del prototipo pulverizador.

Análisis de los resultados.

A partir de la matriz referencial construida con los artículos seleccionados, se identificaron las investigaciones más relevantes para el estudio. Esta revisión permitió organizar los datos, generando gráficos analíticos por año de publicación, instrumento utilizado y enfoque investigativo, facilitando así una interpretación clara y estructurada de los hallazgos.

Tabla 5.

Año de publicación de los artículos.

Año de publicación	Cantidad de artículos
2020	3
2021	7
2022	17
2023	9
2024	8
2025	6
Total	50

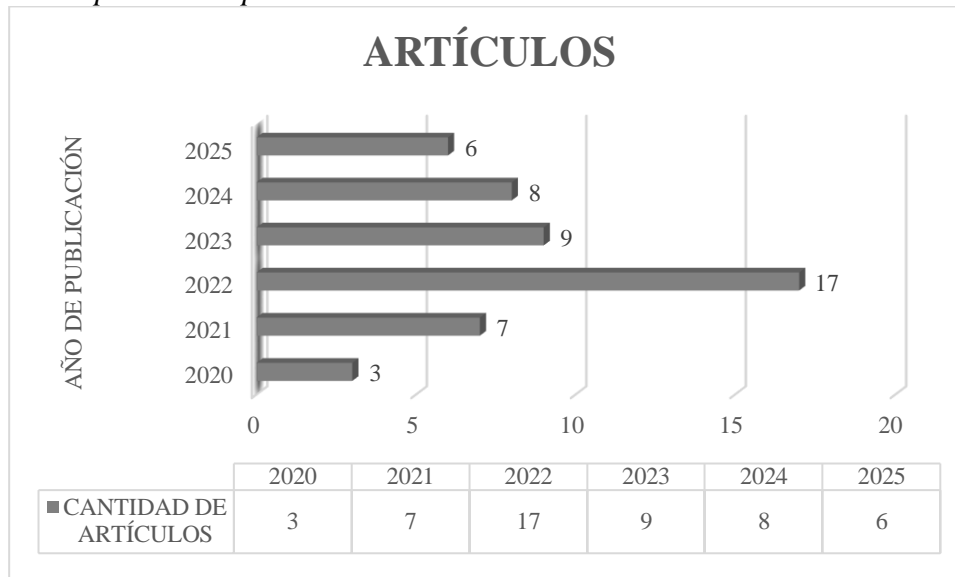
Nota. Elaborado por el autor.

La Tabla 5, indica que entre 2020 y 2025 se evidencia un creciente interés en la aplicación de caucho reciclado en la elaboración de hormigón sostenible. En 2020 se registraron solo 3 artículos, pero esta cifra aumentó significativamente hasta alcanzar un pico de 17 en 2022. Aunque los años siguientes presentan una leve disminución, el volumen de estudios se mantiene constante, lo cual demuestra una continuidad investigativa. Estos resultados refuerzan la actualidad del tema y respaldan la relevancia del presente estudio dentro de la comunidad científica.

Para una mejor comprensión visual de los resultados, en función de la tabla antes expuesta se ha representado la información en un gráfico de barras.

Figura 3.

Diagrama de barra por año de publicación.



Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra la Figura 3, la representación en gráfico analítico facilita la visualización de la evolución anual de las publicaciones. Se identifica un punto máximo en 2022, seguido de una tendencia estable en los años posteriores. Esta distribución evidencia un interés sostenido en la temática.

Con base en los resultados obtenidos, se tomaron en consideración los instrumentos empleados, así como las técnicas aplicadas por los autores en los artículos seleccionados, tal como se detalla en la tabla a continuación.

Tabla 6.

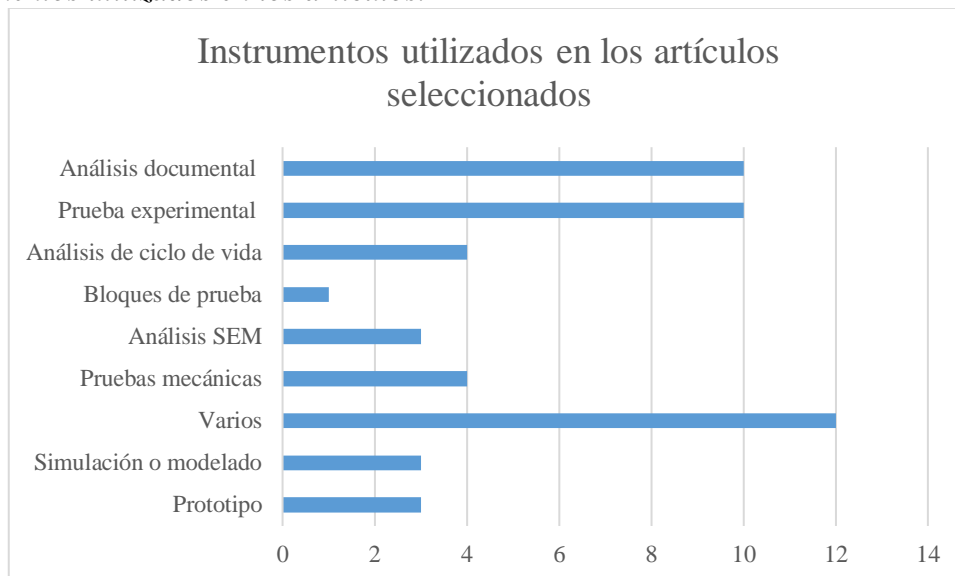
Instrumentos utilizados en los artículos.

Instrumentos	Artículos	Porcentaje
Análisis documental.	10	20 %
Prueba experimental.	10	20 %
Análisis de ciclo de vida.	4	8 %
Bloques de prueba.	1	2 %
Análisis SEM.	3	6 %
Pruebas mecánicas.	4	8 %
Varios.	12	24 %
Simulación o modelado.	3	6 %
Prototipo.	3	6 %

TOTAL	50	100 %
-------	----	-------

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 4.
Instrumentos utilizados en los artículos.



Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra la Tabla 6, Figura 4, se evidencia una diversidad metodológica en los estudios revisados. Los instrumentos más empleados fueron el análisis documental y la prueba experimental, cada uno con una representación del 20 % del total de artículos, lo que denota un equilibrio entre enfoques teóricos y prácticos en el abordaje del problema investigado. Este resultado indica que existe una base teórica consolidada y, al mismo tiempo, un interés significativo por validar empíricamente las propuestas relacionadas con el caucho reciclado y el hormigón sostenible.

A partir de nuestra base de datos, se responden las interrogantes planteadas al comienzo de nuestro estado del arte:

¿Qué investigaciones se han realizado sobre la utilización de caucho reciclado en el hormigón?

Las investigaciones recolectadas muestran un interés cada vez mayor en la utilización de caucho reciclado como componente en mezclas de concreto, especialmente con propósitos de sostenibilidad ambiental. La mayoría de las investigaciones (90 %) se enfocan en analizar cómo la adición de goma procedente de neumáticos no utilizados influye en las características del concreto, sugiriendo combinaciones experimentales con diferentes proporciones y

granulometrías. Estas investigaciones se han llevado a cabo en varios entornos internacionales, evidenciando una tendencia mundial hacia la utilización de desechos sólidos en el sector de la construcción.

¿Qué efectos tiene esta adición sobre las propiedades mecánicas del material?

En términos generales, las investigaciones concuerdan en que la incorporación de goma reciclada puede alterar de manera significativa las características mecánicas del concreto. A pesar de que se nota una disminución en la resistencia a la compresión a medida que se incrementa el contenido de caucho, también se reportan avances en la ductilidad, la absorción de energía y la resistencia ante impactos. Algunas investigaciones sugieren que una dosificación correcta y el tratamiento previo del caucho pueden reducir los impactos adversos y mejorar su rendimiento mecánico (Habib et al., 2021; Khaldi et al., 2022; Ming et al., 2020)

¿Qué tipos de máquinas pulverizadoras han sido diseñadas hasta la fecha?

Solo cinco artículos abordan específicamente el diseño y funcionamiento de prototipos de máquinas, pero no todos tratan de pulverizadores. Hasta la fecha se llevan a cabo estudios de la importancia del caucho reciclado, pero son muy escasos estos estudios que presenten el diseño de modelos experimentales orientados a la trituración mecánica de neumáticos, con variaciones en el sistema de corte, tipo de motor, nivel de automatización y eficiencia energética. En general, se evidencia una escasez de desarrollos tecnológicos detallados en esta área, lo que respalda la pertinencia de diseñar nuevos prototipos funcionales que se integren a procesos productivos sostenibles.

1.4. Fundamentos teóricos

Los fundamentos teóricos constituyen el conjunto de principios, teorías y enfoques científicos que sustentan conceptualmente una investigación, tales como:

Teorías, enfoques o modelos epistemológicos de la variable independiente: prototipo pulverizador de caucho reciclado.

Teoría del diseño mecánico: según (Pais, 2020), esta teoría proporciona los principios fundamentales para el análisis, dimensionamiento y construcción de sistemas mecánicos, asegurando funcionalidad, eficiencia y seguridad del prototipo. En esta investigación sirve para el diseño técnico de la máquina pulverizadora, definiendo esfuerzos, transmisión de potencia, y materiales adecuados.

Enfoque ingeniería de control y automatización: según (Zu et al., 2023), se enfoca en la integración de sensores, actuadores y sistemas de control para operar maquinaria de manera segura y eficiente. Justifica la inclusión de sistemas de control en el prototipo pulverizador, para automatizar o monitorear el proceso de pulverización de caucho.

Teoría de la economía circular: representa un cambio de los procesos de producción y óptimo procesamiento y reutilización de los desechos y residuos en sus diferentes etapas y así lograr mitigación de los efectos negativos al medio ambiente (Raudales et al., 2024). El modelo de economía circular se estructura entre los procesos: Reciclaje, reutilización, recuperación, reducción, reparación, refabricar, rediseñar, redistribución y repensar; cada uno de ellos, diseñado para minimizar el impacto ambiental en el área productiva de una empresa (Matiacevich et al., 2023). Como resultado existe una transformación productiva sostenible mediante la integración de estrategias para prolongar el ciclo de vida de los materiales.

Variable independiente: prototipo pulverizador de caucho reciclado.

Un prototipo es una representación física o funcional inicial de un producto, sistema o dispositivo que permite verificar su diseño, funcionamiento y viabilidad antes de su producción definitiva. Generalmente, se construye a escala real o reducida, y se utiliza para realizar pruebas, identificar errores, hacer mejoras y validar conceptos técnicos o de uso (Díaz et al., 2022). Cabe resaltar, el prototipo facilita la evaluación técnica preliminar de soluciones aplicadas, optimizando el proceso de validación funcional antes de su implementación definitiva.

Desde el enfoque del diseño de ingeniería, el prototipo actúa como una herramienta de experimentación que permite comprobar si los componentes mecánicos, eléctricos o estructurales cumplen con los requerimientos del proyecto. Es una etapa esencial en el ciclo de desarrollo tecnológico, ya que facilita la iteración y la optimización de soluciones (Chagua et al., 2022). La máquina pulverizadora ha sido diseñada para reducir a polvo los gránulos de goma vulcanizada, tipo garra para procesar desechos de caucho con el cual poder ofrecer un recurso más seguro en cuanto al manejo de materiales, conservación del medio ambiente respecto a la manipulación y trituración de desechos de caucho (Lainez & Quirumbay, 2023). Como resultado, contribuye a la economía circular al facilitar la reutilización del caucho como insumo para nuevos materiales sostenibles en la construcción.

Figura 5.
Diseño preliminar del prototipo.



Nota. Adaptado de (Mueses, 2020).

Dimensiones.

Dimensión 1. Eficiencia de trituración: se refiere al rendimiento con el que una máquina o sistema reduce el tamaño de materiales sólidos en partículas más pequeñas, optimizando la relación entre el volumen procesado y el tamaño final del producto obtenido (Vasilyeva et al., 2023). En definitiva, una mayor eficiencia de trituración permite obtener partículas de caucho con la granulometría deseada, lo cual favorece su integración en mezclas cementicias sostenibles.

Dimensión 2. Consumo energético: se define como la cantidad total de energía requerida por un sistema durante su operación, lo cual incide directamente en los costos operativos y en la sostenibilidad del proceso (Científica & Ingeniar, 2024). En síntesis reducir el consumo energético en sistemas de reciclaje contribuye significativamente a la eficiencia ambiental de procesos industriales asociados a la construcción ecológica.

Dimensión 3. Capacidad operativa: se entiende como la cantidad de material que un equipo puede procesar en un tiempo determinado, lo cual condiciona su productividad y eficacia en ambientes reales de trabajo (Mandrile et al., 2024). En síntesis, una mayor capacidad operativa garantiza un flujo continuo en la producción de caucho reciclado, facilitando su uso como insumo alternativo en el sector de la construcción.

Dimensión 4. Facilidad de mantenimiento: hace referencia a la posibilidad de realizar inspecciones, reparaciones y ajustes de forma rápida y efectiva, sin requerir habilidades técnicas avanzadas ni herramientas especializadas, así lo determina (Lema & Ramírez, 2023), en una investigación de integración curricular, se concluye que un sistema con mantenimiento

accesible reduce el tiempo de inactividad y mejora su disponibilidad, lo cual es crucial en entornos formativos o de investigación aplicada.

Dimensión 5. Costo de fabricación: abarca todos los recursos económicos invertidos en la producción de un diseño o sistema, incluyendo materiales, mano de obra, herramientas y energía, se considera un factor decisivo en la viabilidad de implementación tecnológica (Axel et al., 2025). En definitiva, evaluar con precisión este costo permite diseñar soluciones viables y reproducibles, especialmente en contextos educativos y de bajo presupuesto.

Variable dependiente: hormigón sostenible.

Teorías, enfoques o modelos epistemológicos de la variable dependiente: hormigón sostenible.

Teoría de materiales sostenibles en construcción: (Hernandez et al., 2021), establecen criterios técnicos y ambientales para definir materiales constructivos como “sostenibles”, considerando su impacto ambiental, reutilización y ciclo de vida. El uso del caucho reciclado como un sustituto parcial de agregados finos/gruesos en el hormigón, y permite evaluar su sostenibilidad.

Teoría del desarrollo sostenible: surge como una respuesta a los impactos negativos del crecimiento económico sin control sobre el medio ambiente y la sociedad. donde se define como el desarrollo que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.” (Morazán, 2021) Por lo consiguiente, esta teoría promueve un equilibrio entre progreso económico, equidad social y cuidado ambiental, asegurando recursos y bienestar para el futuro.

Modelo de economía circular: según (Núñez et al., 2021) proponen integrar residuos al ciclo productivo, reduciendo el uso de recursos naturales y promoviendo la reutilización. Esto apoya la idea de que el uso de caucho reciclado en hormigón contribuye a reducir el impacto ambiental del sector construcción.

Teoría de gestión de residuos sólidos: la gestión de residuos sólidos es el concepto que se aplica a las labores asociadas al manejo de los desechos de una sociedad, cuyo objetivo es administrarlos en concordancia con el medio ambiente y la salud pública teniendo en cuenta las etapas de reducción en la fuente, aprovechamiento, tratamiento, transformación y disposición final controlada (Segura et al., 2020). Por lo cual implica estrategias integradas que buscan

minimizar su generación y maximizar su valorización, garantizando sostenibilidad y protección sanitaria.

Normativas técnicas de evaluación del concreto.

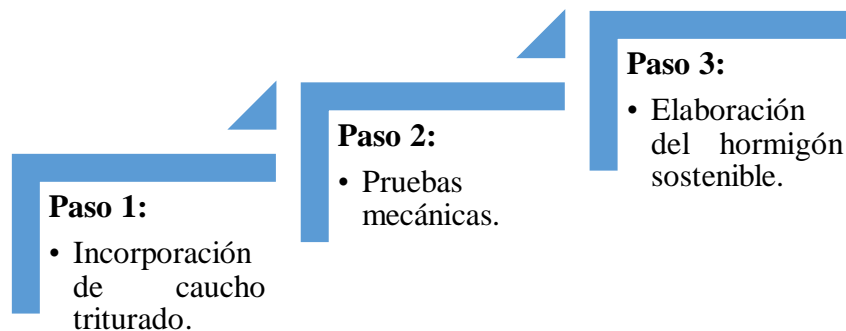
Fuentes: ASTM C39 (resistencia a compresión), NTE INEN 1578:2011 (ensayos de morteros y hormigones), ofrecen métodos estandarizados para probar las propiedades del concreto y asegurar su calidad estructural. Validan experimentalmente la influencia del caucho reciclado en las propiedades del hormigón producido.

Debido a que el hormigón es el material de construcción más utilizado a nivel mundial, la demanda ha aumentado en los últimos cincuenta años, impulsada por el crecimiento de la población y la creciente necesidad de proyectos residenciales y de infraestructura. Este aumento en la demanda ha incrementado significativamente la demanda de materias primas para la construcción, y los agregados representan alrededor del 70-80 % del volumen total de hormigón (Pizoñ et al., 2025). En efecto, resulta imprescindible explorar alternativas sostenibles que permitan reducir el uso de recursos naturales sin comprometer la calidad del material, por lo cual a continuación se presenta un enfoque innovador basado en el uso de caucho reciclado como agregado en la elaboración de hormigón.

Un estudio denominado “ Design of 3D printing green ultra-high performance concrete based on binder system optimization / Diseño de hormigón ecológico de ultra alto rendimiento para impresión 3D basado en la optimización del sistema aglutinante” destaca, que el hormigón de ultra alto rendimiento con bajo contenido de cemento es una alternativa prometedora para la impresión 3D, debido a su alta imprimibilidad, menor contracción, mejores propiedades mecánicas y bajo impacto ambiental, reduciendo las emisiones de carbono en un 45,2 % (Shi et al., 2025). En este sentido, resulta pertinente analizar cómo la incorporación de materiales reciclados puede influir en el desempeño físico-mecánico de hormigones sostenibles.

La investigación desarrollada por Essam et al., (2025) sirvió como guía para llevar a cabo dicho estudio mediante una metodología que se expone en la Figura 6, con el fin de alcanzar los objetivos planteados.

Figura 6.
Pasos metodológicos para elaborar concreto.



Nota. Elaborado por el autor, adaptado de (Essam et al., 2025)

La Figura 6, muestra un esquema escalonado que ilustra de manera precisa la secuencia metodológica del análisis. Su organización simplifica la comprensión del proceso de investigación, resaltando la estructuración gradual de las fases técnicas, lo que favorece la consistencia del enfoque empleado en la elaboración del prototipo.

Dimensiones.

Para la dimensión 1. Resistencia mecánica: se define como la capacidad de un material para soportar diferentes tipos de esfuerzos o cargas externas sin sufrir fallas estructurales, incluyendo compresión, tracción y corte, lo que determina su desempeño en aplicaciones constructivas (Cuitiño et al., 2019) Por lo tanto, comprender esta propiedad es esencial al incorporar materiales alternativos como el caucho reciclado en el hormigón, ya que permite evaluar su viabilidad estructural y optimizar sus proporciones para mantener la seguridad y funcionalidad en obra.

Para la dimensión 2. Proporción de materiales reciclados: estudia el comportamiento característico del hormigón con caucho de neumáticos, con respecto a la resistencia a la flexión y al módulo de elasticidad, se atribuye a la capacidad del caucho de soportar una gran deformación elástica antes de que el hormigón se fracture (Fioriti et al., 2020). Cabe resaltar, la incorporación de caucho reciclado no solo mejora la ductilidad del hormigón, sino que también potencia su aplicación en estructuras expuestas a cargas dinámicas o impacto.

Para la dimensión 3. Impacto ambiental: se refiere a cualquier alteración significativa, positiva o negativa, provocada por actividades humanas o fenómenos naturales sobre el entorno físico, biológico o socioeconómico. Este concepto abarca efectos sobre el aire, agua, suelo, biodiversidad y calidad de vida humana, y es esencial para evaluar la sostenibilidad de proyectos o procesos productivos (Molina et al., 2020). En todo caso, comprender su alcance

permite orientar prácticas técnicas hacia modelos productivos responsables que reduzcan la huella ecológica y favorezcan el equilibrio ecosistémico.

Para la dimensión 4. Durabilidad: es la capacidad que posee un material para resistir sin deteriorarse significativamente, la acción del ambiente, el uso o el paso del tiempo, manteniendo sus propiedades físicas y funcionales durante su vida útil proyectada. En el caso del concreto, implica conservar su integridad estructural frente a factores como humedad, cargas cíclicas, agentes químicos o variaciones térmicas (Gerges et al., 2018). Por consiguiente, es esencial analizar cómo el caucho reciclado impacta la durabilidad del concreto, dado que puede influir en su resistencia frente a agentes externos.

Para la dimensión 5. Costo de producción: del hormigón sostenible se refiere al conjunto de gastos necesarios para elaborar este tipo de concreto, considerando tanto los insumos tradicionales como los materiales alternativos reciclados (caucho, vidrio o escorias) (Crespo & Cepeda, 2020) Un estudio denominado “Comportamiento físico-mecánico del hormigón adicionando residuos de acero: una revisión literaria” menciona que el uso de desechos de acero proporciona una alternativa para la utilización eficaz de los desechos industriales, debido a que estos pueden transformarse en agregados para un hormigón de bajo costo de producción, reducen los efectos ambientales adversos causados por la extracción indiscriminada de arena para satisfacer las crecientes demandas de la industria de la construcción (Muñoz et al., 2022). De modo que, el aprovechamiento de residuos sólidos en mezclas cementicias no solo disminuye los costos económicos del material, sino que fortalece el modelo de economía circular y sostenibilidad.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Diseño de investigación.

El diseño de investigación constituyó el plan estructurado que permitió orientar el proceso metodológico del estudio, desde la recolección de datos hasta la validación de resultados. Según (Leyva & Guerra, 2020), el diseño de investigación es el plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación. Este diseño estableció el camino a seguir para comprobar la relación entre las variables y alcanzar los objetivos propuestos.

En el presente trabajo se aplicó un diseño de tipo experimental, ya que se manipuló de manera deliberada la variable independiente: el diseño del prototipo; con el propósito de observar su efecto en la variable dependiente: elaboración del hormigón sostenible. Este tipo de diseño fue adecuado para evaluar los cambios generados en el comportamiento del hormigón a partir de la incorporación del caucho reciclado procesado, bajo condiciones controladas de laboratorio. Tal como afirman (Hernández & Mendoza, 2018) en el diseño experimental el investigador manipula intencionalmente una o más variables independientes para observar los efectos que esta manipulación tiene sobre una o más variables dependientes.

Además, se trabajó bajo una orientación aplicada, ya que se buscó ofrecer una solución técnica a un problema real: el aprovechamiento de neumáticos fuera de uso como materia prima secundaria en la construcción de materiales sostenibles. Este tipo de diseño permitió validar no solo el rendimiento del prototipo, sino también su utilidad práctica en un contexto académico-productivo.

2.2. Enfoque de investigación.

El enfoque de investigación representó la perspectiva metodológica desde la cual se abordó el estudio, determinando el tipo de datos recolectados, los métodos aplicados y la forma de interpretar los resultados. Según (Hernández & Mendoza, 2018), el enfoque de investigación permite decidir si se trabajará con datos cuantificables o interpretativos, estableciendo el camino metodológico del estudio. Por su parte, (Hernández & Mendoza, 2018) señalaron que el enfoque cuantitativo se caracteriza por el uso de la medición y análisis estadístico, con el objetivo de probar hipótesis o responder preguntas específicas a partir de la evidencia empírica.

En el presente estudio, se utilizó un enfoque cuantitativo, ya que se trabajó con variables observables y medibles relacionadas con el diseño del prototipo pulverizador de caucho reciclado y las propiedades del hormigón. Este enfoque permitió recolectar datos numéricos para evaluar su eficiencia y funcionalidad en el proceso de pulverización y aprovechamiento del material reciclado.

2.3. Tipos de investigación.

Tabla 7.

Tipos de investigación aplicables al estudio.

Tipo de investigación	Justificación
Experimental.	Se manipuló una variable (prototipo) para observar su efecto en el hormigón.
Aplicada.	Buscó una solución práctica a la gestión de residuos y construcción sostenible.
Descriptiva.	Se describieron características técnicas del prototipo y del hormigón resultante.
Correlacional.	Relaciona la asociación significativa entre variables.
Bibliográfica.	Es la base conceptual y técnica mediante literatura existente
Tecnológica / de desarrollo.	Se diseñó y evaluó un prototipo funcional con fines ambientales y académicos.

Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra la Tabla 7, evidencia el tipo de investigaciones que el estudio integró, enfoques aplicados, descriptivo, experimentales y tecnológicos.

Tabla 8.

Tipos de diseño de investigación.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	
➤ EXPERIMENTAL	
Aplicada.	Cuasi experimental.
Descriptiva.	Tecnológica o de desarrollo.

Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra la Tabla 8, el tipo de investigación, se aplicó el diseño experimental.

2.4. Variables y operacionalización.

La matriz de operacionalización permite visualizar cada una de las variables, así como sus dimensiones (Anexo 1).

Variable independiente: prototipo pulverizador de caucho reciclado.

Definición conceptual: se refiere al proceso de concepción técnica y estructural de un dispositivo experimental, orientado a validar su funcionalidad y eficiencia en condiciones reales. En este contexto, se aplica al desarrollo de una máquina destinada al reciclado, considerando criterios de innovación, factibilidad y adecuación al entorno operativo (Serna et al., 2023). Como resultado, resulta fundamental integrar principios de diseño sustentable que optimicen recursos y reduzcan impactos ambientales en su implementación.

Definición operacional: el diseño de un prototipado es medido a través de la identificación de sus componentes estructurales, materiales utilizados, planos técnicos y se evalúa mediante técnicas de observación, análisis documental y fichas técnicas que permiten verificar su viabilidad, y adecuación al propósito previsto (Olodu et al., 2025). Por ende, estas evaluaciones técnicas permiten optimizar recursos y garantizar la funcionalidad del prototipo dentro de un contexto de aplicación práctica.

Variable dependiente: hormigón sostenible.

Definición conceptual: el hormigón sostenible es un material compuesto para la construcción que incorpora elementos reciclados o alternativos (como caucho, vidrio, escorias o residuos metálicos (Pizoñ et al., 2025). Por lo cual, fomenta la economía circular y reduce el impacto ambiental asociado a la producción tradicional del concreto.

Definición operacional: el hormigón sostenible se operativiza como una mezcla cementicias elaborada en laboratorio Se evaluará su comportamiento a través de ensayos técnicos que midan propiedades como la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y la densidad (Madrid et al., 2022). En conclusión, dado su enfoque ambiental, contribuye al desarrollo de infraestructuras más eficientes mediante la reducción de impactos asociados a materiales convencionales.

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

Métodos de recolección de los datos.

Se empleó el método deductivo como estrategia principal para la recolección de datos, dado que este permite partir de teorías generales previamente establecidas y contrastarlas con situaciones particulares, con el fin de evaluar su aplicabilidad práctica (Ogmios, 2023). Este enfoque resultó apropiado para investigaciones de corte técnico, donde se requiere validar principios teóricos en contextos reales de desarrollo, como el diseño y operación de prototipos tecnológicos.

Según (Támara, 2022) el método deductivo es útil en estudios de tipo exploratorio y descriptivo, ya que facilita la identificación de patrones y secuencias lógicas, lo que contribuye significativamente al planteamiento estructurado de las fases de diseño, construcción y validación. En este sentido, el uso de dicho método permitió establecer un marco lógico que guio todo el proceso investigativo desde la planificación hasta el análisis de resultados.

Asimismo, (Hernández & Mendoza, 2018) destacan que el éxito en la recopilación de datos radica en la existencia de un modelo de planificación bien definido, el cual oriente la recolección de información válida y confiable dentro de un marco estructurado. Por tanto, el método deductivo no solo sirvió como soporte teórico, sino también como herramienta de organización metodológica que facilitó la ejecución técnica del estudio.

Técnicas e instrumentos de recolección de los datos.

Las técnicas de recolección de datos se definieron como procedimientos aplicados por el investigador para obtener la información necesaria que permitió contrastar los objetivos planteados con la realidad del estudio. De acuerdo con (Mendoza & Ávila, 2020), estas técnicas constituyen herramientas clave para registrar y sistematizar información válida durante las distintas etapas del proceso investigativo. En el presente estudio, se empleó principalmente la observación directa, considerada como una técnica empírica que facilitó el registro del comportamiento operativo del prototipo durante su fase de pruebas físicas, permitiendo identificar aspectos como la eficacia de pulverización, el comportamiento mecánico de los componentes y la resistencia del sistema bajo condiciones reales de trabajo.

Simultáneamente, se aplicaron cálculos analíticos e ingenieriles, los cuales, según (Alcántara & Científico, 2024) permiten transformar datos técnicos en variables cuantificables para el dimensionamiento de prototipos. Esta técnica fue esencial durante el diseño y modelado, al momento de definir factores como el torque del motor, la potencia de trabajo, la presión ejercida por los rodillos y la resistencia de materiales sometidos a esfuerzo mecánico. El uso

combinado de estas técnicas proporcionó una base sólida tanto para la validación estructural como para la evaluación funcional del equipo desarrollado.

Técnica de observación sistémica restringida.

Es una técnica sistemática (no participante) adecuada para estudios experimentales en entornos técnicos, ya que permite recolectar datos sistemáticos durante fases definidas (trituration, mezclado, curado). i. Lista de chequeo: (check-list) estructurada, es el instrumento para análisis de cumplimiento, sobre el prototipo pulverizador de caucho reciclado. Este instrumento permite evaluar de manera sistemática y binaria los aspectos fundamentales del proceso (Anexo 2).

Técnica de la encuesta: se usó la encuesta como técnica para recoger datos, la cual consiste en recopilar información a través de cuestionarios previamente diseñados, sin modificar el entorno ni fenómeno observado. Esta técnica es eficaz para recolectar datos cuantitativos de manera rápida y estandarizada (Feria et al., 2020) Se seleccionó porque permite obtener una visión general de las percepciones, actitudes y comportamientos de la muestra con un instrumento estandarizado, facilidad de análisis y cobertura simultánea del grupo.

Se usó el cuestionario en línea como instrumento para recoger datos de la muestra. El cuestionario es un instrumento de recolección de datos compuesto por una serie de preguntas estructuradas, diseñado para ser respondido por los participantes a través de medios digitales como páginas web, correos electrónicos o aplicaciones móviles. (López & Sevillano, 2021) determina que es un cuestionario en línea es un conjunto de preguntas específicamente estructurado para recopilar datos de una audiencia objetivo a través de Internet. Se ha seleccionado este tipo de instrumentos porque permite recolectar respuestas en tiempo real, ahorrar costos de impresión y digitación, y garantizar mayor comodidad y honestidad en los participantes. Se aplicó enviando un enlace a través de correo y plataformas internas, con lógica de respuesta, filtros contra duplicados, y almacenamiento automático de datos para análisis inmediato. El cuestionario de 20 preguntas con escala Likert (totalmente en desacuerdo=1, en desacuerdo=2, neutral=3, de acuerdo=4, totalmente de acuerdo=5).

La validez: es la capacidad de un instrumento para medir exactamente lo que se propone (Ochoa & Villanueva, 2020). En este estudio se emplearon 3 tipos de validez: contenido, criterio y constructo.

Validez de contenido: mide que tan bien cubren los ítems el dominio teórico. Se evaluó mediante juicio de expertos que revisaron si los ítems representan adecuadamente las dimensiones del constructo (Ochoa & Villanueva, 2020). Para este tipo de validez se aplicó el método de validez por juicio de expertos.

Validez de criterio: indica que tan bien las puntuaciones del cuestionario se correlacionan con un estándar externo (Ochoa & Villanueva, 2020). Para este tipo de validez se aplicó mediante el método de coeficiente de Pearson, comparando respuestas con indicadores de desempeño real (tiempo de ciclo, retrabajos).

Tabla 9.
Correlación de Pearson.

		Correlaciones	
		VI	VD
VI	Correlación de Pearson.	1	,911**
	Sig. (bilateral).		0,000
	N.	15	15
VD	Correlación de Pearson.	,911**	1
	Sig. (bilateral).	0,000	
	N.	15	15

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

Nota. Datos sacados del Programa del SPSS.

En la Tabla 9, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar la relación entre la variable independiente (VI) y la variable dependiente (VD), obteniéndose un valor de $r = 0,911$, con un nivel de significancia de $p = 0,000$. Esto indica una correlación positiva muy fuerte y estadísticamente significativa entre ambas variables. No obstante, debido a que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, este resultado se presenta como complementario al coeficiente de Spearman.

Validez por constructo, consiste en comprobar si el instrumento efectivamente mide el constructo teórico (Ochoa & Villanueva, 2020). Se evaluó mediante el método de correlaciones entre ítems y análisis factorial, verificando consistencia con la teoría de constructo.

Tabla 10.
Rho de Spearman.

		Correlaciones	
		VI	VD
Rho de Spearman.	VI	de	1,000
		Coeficiente de correlación.	,606*

		Sig. (bilateral).		0,017
		N.	15	15
VD		Coeficiente de correlación.	,606*	1,000
		Sig. (bilateral).	0,017	
		N.	15	15

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

Nota. Datos sacados del programa del SPSS29.

En la Tabla 10, Se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman para determinar la relación entre la variable independiente (VI) y la variable dependiente (VD). El resultado arrojó un coeficiente de $\rho = 0,606$ con un valor de significación de $p = 0,017$, lo cual indica una correlación positiva moderada y estadísticamente significativa. Esto sugiere que existe una asociación directa entre ambas variables, es decir, a mayor presencia de la condición representada por VI, mayor es el valor que tiende a asumir la VD, dentro del contexto del estudio.

La confiabilidad de un instrumento es la capacidad para producir resultados consistentes, estables y reproducibles al aplicarse repetidamente bajo las mismas condiciones, la confiabilidad mide la consistencia interna del cuestionario (Rodríguez, 2020). Se aplicó este método y la prueba estadística alfa de Cronbach, que cuantifica el grado en que los ítems (20 ítems) funcionan como escala. En este estudio obtuvo un valor 0,949 lo cual confirma que es excelente.

Intervalos de referencia:

- i. Alfa < 0,60 → **Pobre.**
- ii. 0,60 – 0,70 → **Aceptable.**
- iii. 0,70 – 0,80 → **Buena.**
- iv. 0,80 – 0,90 → **Muy buena.**
- v. 0,90 → **Excelente**, aunque podría indicar redundancia en los ítems.

Tabla 11.
Alpha de Cronbach.

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos

Nota. Cuestionario (IRD) obtenido del Software SPSS27.

En la Tabla 11, se observa que el valor del coeficiente alfa de Cronbach 0.949, indica excelente fiabilidad. La escala muestra una alta correlación entre sus 20 ítems, lo que sugiere que miden de forma consistente el mismo constructo, utilizados para medir las variables de estudio. Para visualizar la información más precisa de las variables de estudio, se presente en el (Anexo 1) la tabla de operacionalización.

2.6. Procedimiento para la recolección de los datos.

Los datos se han recolectado del siguiente modo: se construyó el instrumento, el cual fue validado por 4 expertos (Anexo 5). Se aplicó la evaluación a los sujetos de estudio. Se solicitó al director del taller unidades docentes y estudiantes de las mismas características la autorización para aplicar la prueba, la cual permitió calcular primero la validez de criterio, luego la confiabilidad y finalmente la validez de constructo del referido instrumento. Se coordinó con los docentes de la institución porque permitieron realizar las coordinaciones, recolectar la descripción del proceso que se seguirá en la recolección de datos y en las otras etapas de la ejecución del estudio.

2.7. Método de análisis de datos.

El análisis descriptivo consiste en organizar, resumir y presentar los datos obtenidos en una investigación para facilitar su comprensión. Según (Hernández & Mendoza, 2018), determina que “el análisis descriptivo transforma los datos en información útil mediante el uso de medidas como frecuencias, porcentajes, promedios y gráficos” (p. 523). En este tipo de análisis, los resultados se presentan en tablas de frecuencia y gráficos estadísticos, que dan respuesta a los objetivos específicos y caracterización de las variables estudiadas.

El análisis inferencial consiste en aplicar procedimientos estadísticos que permiten realizar generalizaciones o inferencias sobre una población a partir de una muestra. De acuerdo con (Ramírez & Polack, 2020), menciona que “el análisis inferencial permite establecer relaciones entre variables y contrastar hipótesis mediante pruebas estadísticas” (p. 214). En este tipo de análisis, los resultados se presentan en forma de pruebas de hipótesis, coeficientes estadísticos y niveles de significancia, que dan respuesta a las hipótesis formuladas en la investigación.

Variable independiente: prototipo pulverizador de caucho reciclado.

Variable dependiente: hormigón sostenible.

2.8. Interpretación de resultados inferenciales.

Verificación de hipótesis.

La verificación de hipótesis se realiza sobre las variables recogidas mediante el cuestionario validado y aplicado. Para ello, es necesario comprobar primero si los datos tienen una distribución normal para aplicar la t de Student.

Los criterios para interpretar los resultados de la prueba de normalidad son:

Si $\text{Sig.} \leq \alpha$ (0.05), se rechaza H_0 : los datos no provienen de una distribución normal.

Si $\text{Sig.} > \alpha$ (0.05), se acepta H_0 : los datos sí provienen de una distribución normal.

Tabla 12.

Prueba de normalidad de las variables.

Pruebas de normalidad								Prueba por aplicar.
Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			Sig.		
Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.			
VI	0,255	15	0,010	0,798	15	0,004	< 0,05	No tienen distribución normal.
VD	0,308	15	0,000	0,702	15	0,000	< 0,05	

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Prueba normalidad programa SPSS29.

En la Tabla 12, se observa que por ser una muestra menor a 50, se aplicó las pruebas de normalidad Shapiro–Wilk evidencian que tanto la variable independiente (VI) como la dependiente (VD) presentan valores de significancia menores a 0.05. Por lo tanto, se concluye que los datos no tienen una distribución normal. En consecuencia, se aplicarán pruebas estadísticas no paramétricas, como Wilcoxon para muestras relacionadas, para realizar el análisis inferencial correspondiente.

Tabla 13.

Prueba de normalidad de las variables.

Resumen de contrastes de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión

La mediana de Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas es igual a 0,007. Rechace la hipótesis nula.

a. El nivel de significación es de ,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Nota. Prueba normalidad programa SPSS29.

En la Tabla 13, al aplicar la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas, se obtuvo un valor de significancia asintótica bilateral de $p = 0.007$, menor que el nivel de significación establecido ($\alpha = 0.05$). Esto permite rechazar la hipótesis nula, concluyendo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las mediciones de la variable independiente (VI) y la variable dependiente (VD). En el contexto del estudio, esto demuestra que la implementación del prototipo pulverizador tiene un efecto significativo sobre las propiedades evaluadas del hormigón.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa **H_a**: la implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado mejora las propiedades físico-mecánicas del hormigón sostenible elaborado en los talleres de la UPSE.

Se rechaza la hipótesis nula **H₀**: la implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado no mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas del hormigón sostenible elaborado en los talleres de la UPSE.

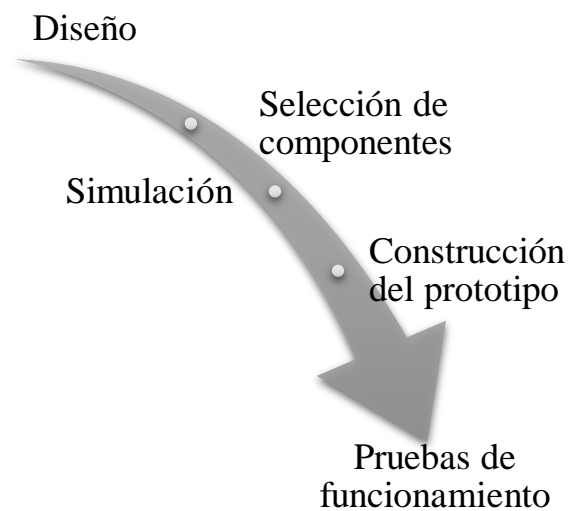
2.9. Procedimiento metodológico.

Según (Mercado & Coronado, 2021), el procedimiento metodológico representó el conjunto de pasos organizados que guiaron el desarrollo de la investigación de manera coherente y sistemática. Para el desarrollo del presente estudio, se adoptó un enfoque técnico aplicado, por lo cual el procedimiento se centró en las fases operativas vinculadas a la elaboración del prototipo. Como punto de referencia, el trabajo de (Indirapriyadharshini et al., 2021), describió de manera clara las etapas seguidas en la creación de una máquina de características similares.

Estas sirvieron como base para definir y adaptar el procedimiento técnico a la presente investigación presentadas en la Figura 7

Figura 7.

Etapas del procedimiento metodológico para realización de prototipo.



Nota. Elaborado por el autor, adaptado de (Indirapriyadharshini et al., 2021).

Diseño: el diseño del prototipo se planteó como la fase inicial del procedimiento metodológico, en la cual se estructuró la forma, dimensiones y ensamblaje general del sistema de trituración de caucho. Esta etapa fue fundamental para garantizar que la estructura soportara adecuadamente las fuerzas generadas durante el proceso de pulverización, además de asegurar una alineación precisa de los componentes para su correcto funcionamiento. Según lo expuesto por (Rúa et al., 2018), el diseño técnico en proyectos de ingeniería debe responder a parámetros de resistencia estructural, funcionalidad mecánica y eficiencia operativa, considerando desde el inicio los materiales y procesos involucrados. El diseño estructural del prototipo garantizó una base sólida y funcional, optimizando su desempeño mecánico y anticipando posibles fallos antes de su construcción.

Selección de componentes: la elección de materiales constituyó un paso fundamental. Se priorizaron aquellos que ofrecieran resistencia suficiente para soportar los esfuerzos mecánicos del proceso de trituración, así como durabilidad ante el desgaste prolongado. Además, se tomó en cuenta la accesibilidad de dichos materiales dentro del mercado regional, lo cual permitió optimizar recursos logísticos y económicos. Se eligió un motor eléctrico monofásico/bifásico de potencia adecuada, capaz de generar el torque necesario para triturar

caucho reciclado sin comprometer la estabilidad del sistema. La potencia del motor se calculó en función del tipo de material a procesar y de la velocidad óptima de rotación de las cuchillas.

Simulación: de acuerdo con (Daniel et al., 2024), las simulaciones en entornos CAD/SOLIDWORK permiten prever el rendimiento de un sistema, analizando tensiones, deformaciones y distribución de cargas, lo cual reduce significativamente los errores de diseño en etapas posteriores. Esta simulación también permitió ajustar parámetros clave como el espesor de las cuchillas, la distancia entre los soportes y el centro de masa del conjunto, asegurando estabilidad en el funcionamiento, así se logró anticipar aspectos de seguridad y eficiencia, reduciendo el margen de error y evitando sobrecostos en la fase de construcción.

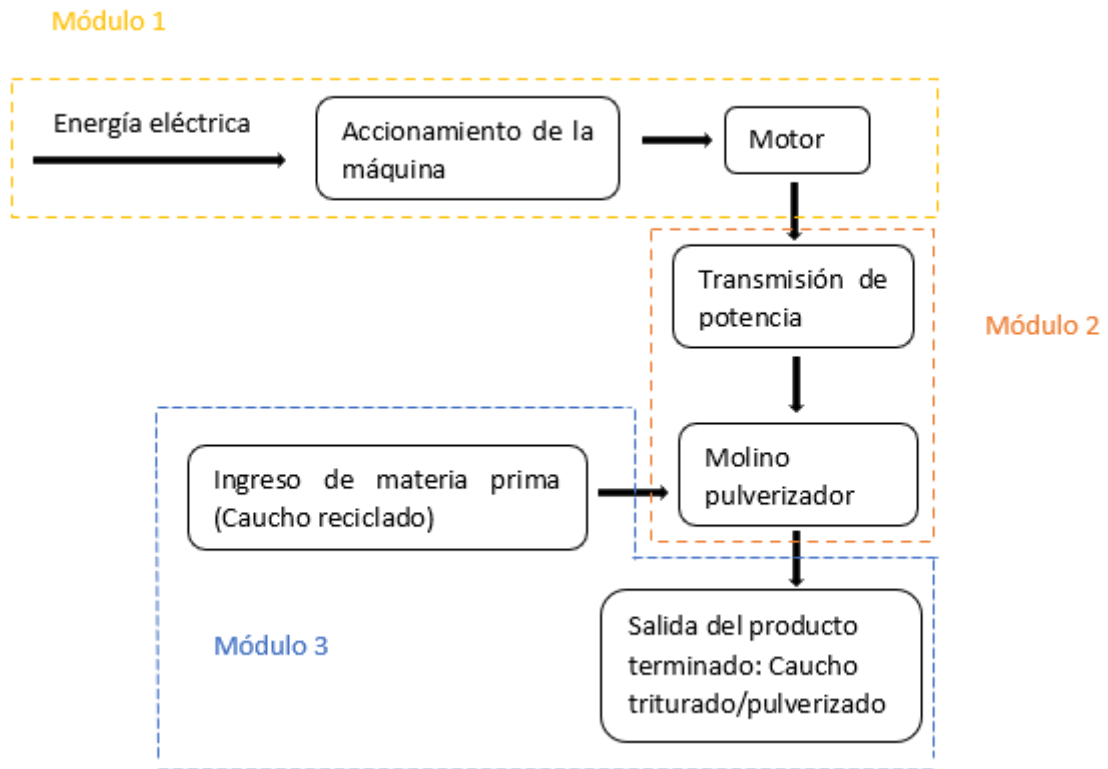
Construcción de prototipo: la construcción del prototipo se realizó tras culminar el diseño y la selección de componentes, integrando los materiales previamente determinados según su resistencia, disponibilidad y viabilidad económica. Esta fase incluyó actividades como corte, ensamblaje, soldadura y pulido, ejecutadas con precisión para garantizar el funcionamiento correcto del sistema. Según Pérez et al., (2023), la etapa de fabricación exige una estricta supervisión técnica para asegurar la fidelidad entre lo diseñado y lo construido. Durante el proceso, se priorizó la seguridad industrial mediante el uso adecuado de equipos de protección personal, considerando lo establecido por (Burgos, 2020), quienes afirman que la protección del operario es clave para una ejecución eficiente y sin riesgos. El prototipo fue ensamblado cumpliendo las especificaciones técnicas definidas, dejando la estructura lista para las pruebas funcionales.

Prueba de funcionamiento: con el prototipo completamente ensamblado, se procedió a ejecutar pruebas de funcionamiento en un entorno controlado que simuló condiciones reales de operación. El propósito de esta fase fue validar el rendimiento mecánico y estructural del sistema de trituración de caucho, así como verificar la eficiencia del diseño planteado. Según (Taco et al., 2021), las pruebas operativas en maquinaria permiten identificar fallos ocultos y medir la capacidad de respuesta de los sistemas bajo carga, siendo una etapa indispensable antes de su implementación final. En este caso, se evaluaron variables como la capacidad de pulverizado, la potencia entregada por el motor, el comportamiento térmico de los componentes durante el trabajo continuo, y la durabilidad de los materiales sometidos a fricción constante.

2.10. Análisis funcional.

El proceso de pulverización se divide en grupos llamados módulos para un mejor análisis de los elementos que componen el pulverizador.

Figura 8.
Funciones de la máquina mediante módulos



Nota. Adaptado de (Guaspacha, 2022).

En la Figura 8, se observa un esquema de cada módulo detallado a continuación:

Módulo 1.

- Energía eléctrica que acciona la máquina, y por ende el motor.

Módulo 2.

- Transmisión de potencia directa al molino pulverizador.

Módulo 3.

- Ingreso de la materia prima al molino pulverizador, así como la salida del producto terminado (caucho triturado/pulverizado).

2.11. Matriz morfológica

A través del análisis realizado con la matriz morfológica Tabla 14, se revisaron diversas opciones para el desarrollo del prototipo pulverizador de caucho reciclado, considerando diferentes ajustes funcionales y tecnológicos relevantes para el diseño de la máquina.

Tabla 14.
Matriz morfológica.

Función	Componentes		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Básica/Económica.	Equilibrada/Recomendada	Industrial/Avanzada.
Motor.	Motor monofásico 1 Hp.	Motor. Monofásico/bifásico 1.5 Hp.	Motor trifásico 2 Hp.
Transmisión de potencia.	Polea con bandas en V.	Acople directo eje - rotor	Sistema de engranajes con reductor.
Sistema de pulverización.	Cuchillas rotativas simples.	Cuchillas de impacto por paletas (Molino de impacto).	Molino de martillo de alta velocidad.
Material del chasis	Acero.	Acero estructural.	Acero inoxidable.
Tamiz.		TAMIZ	
Sistema de alimentación.		Tolva de entrada.	
Sistema de descarga.		Tolva de salida.	

Nota. Elaborado por el autor, adaptado de (Guaspacha, 2022).

La alternativa 1 presentó un motor monofásico de 1 HP con transmisión por poleas y cuchillas rotativas simples. Su estructura es de acero pintado, con carga manual y descarga directa, lo cual simplifica su construcción, pero limita su eficiencia. Sin embargo, su escaso rendimiento y su capacidad de adaptación restringida no fueron apropiados para el objetivo educativo.

Ventajas: bajo costo, fácil implementación, ideal para pruebas básicas.

Desventajas: poca capacidad operativa, poco adaptable, menor precisión en el control de partículas.

La alternativa 2 contempló un motor monofásico/bifásico de 1.5 HP, un acoplamiento directo, cuchillas de impacto por paletas, un chasis de acero estructural galvanizado, un tamiz

fijo, una tolva de entrada y salida con descarga controlada. Esta disposición facilitó un diseño equilibrado, funcional y adaptable al entorno universitario sin necesidad de grandes recursos.

Ventajas: relación coste, operatividad y mantenimiento, compatible con la infraestructura eléctrica común.

La alternativa 3 propuso un diseño industrial con un motor trifásico, engranajes, molino de martillos y automatización, elaborado en acero inoxidable pensado para grandes volúmenes. Pese a que proporcionó un rendimiento destacado, su complejidad y costos resultaron ser demasiado elevados para el entorno académico.

Ventajas: sistema robusto, gran capacidad y automatización del sistema.

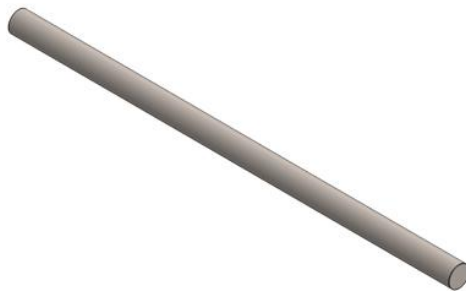
Desventajas: costo elevado, dificultad en la implementación.

La opción 2 fue seleccionada porque incorporó elementos apropiados al nivel técnico y operativo del proyecto, lo que facilitó la validación funcional del prototipo con los recursos disponibles.

2.12. Parámetros de diseño.

En el diseño del eje, están las fuerzas que actúan en el propio eje.

Figura 9.
Eje del molino.



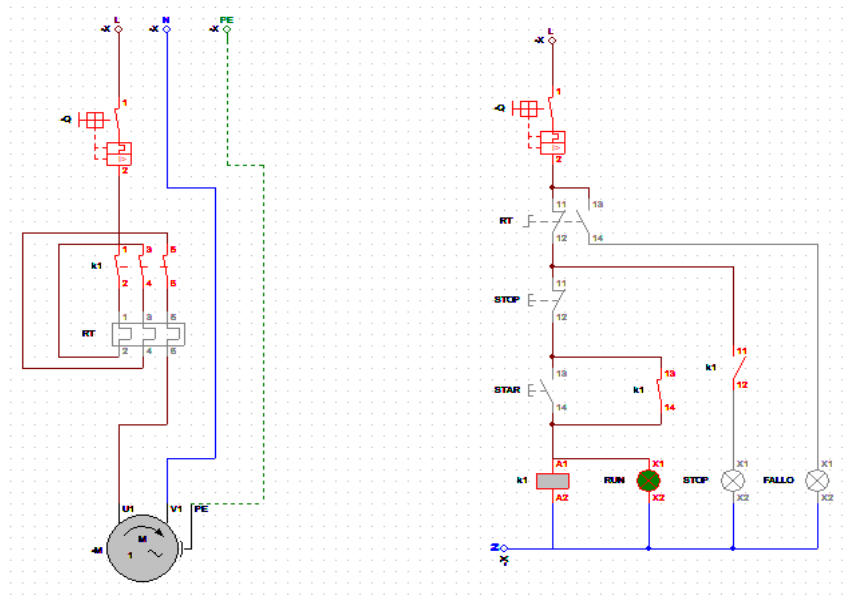
Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra la Figura 9 el eje es un elemento mecánico esencial que transfirió el movimiento giratorio del motor a los componentes de trituración. Fue fabricado con materiales duraderos para resistir la torsión y las cargas dinámicas características del proceso de pulverización (Anexo 33)

2.13. Plano eléctrico del motor.

La conexión eléctrica del motor se llevó a cabo utilizando un circuito monofásico, que es apropiado para aplicaciones residenciales e industriales de baja potencia debido a su simplicidad de instalación y la disponibilidad de tensión estándar.

Figura 10.
Diagramas de fuerza y control.

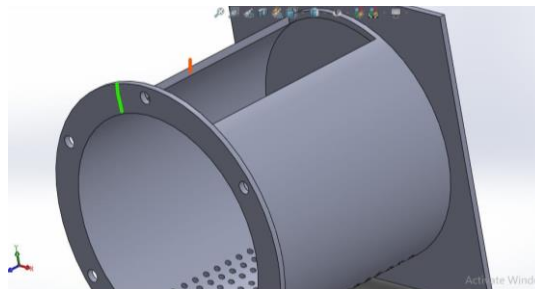


Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra la Figura 10, lo que compone la caja de distribución, son los diagramas de fuerza, seguido del diagrama de control, cuenta con los botones de arranque, parada y fallo, en caso de que un circuito no funcione correctamente, la maquina mismo alertará al operario (Anexo 34, y Anexo 35).

2.14. Dimensión del tambor.

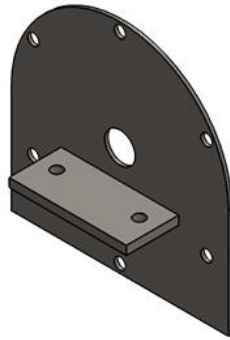
Figura 11.
Carcasa del tambor.



Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra la Figura 11, para el dimensionamiento de la carcasa, se demostró que la máquina trata de un prototipo, siendo necesario un diseño compacto para facilitar su transporte e instalación en diversos lugares. Su diámetro interior es de 200 mm con un alto de 250 mm, fabricada con plancha negra – hierro dulce de 4 mm de $\frac{1}{4}$.

Figura 12.
Parte de ambas tapas.



Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra Figura 12, la tapa que cubre el tambor son 2, una delante y otra detrás, constan de 6 pernos que se ajustan al cuerpo de la carcasa, dando un total de 12 pernos de $\frac{3}{8}$ por 1 $\frac{1}{2}$ in.

Figura 13
Cuchillas fijas.



Nota. Elaborado por el autor.

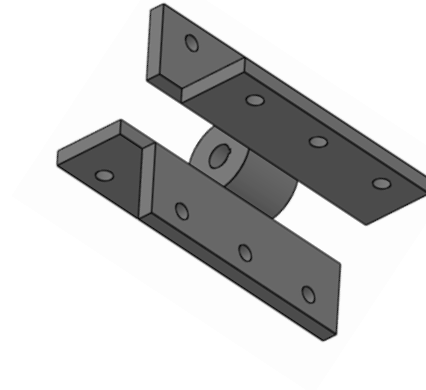
Como muestra la Figura 13, las cuchillas fijas fueron instaladas en el interior de la carcasa, y junto con las cuchillas móviles fueron las encargadas de ejecutar el proceso de

pulverización mediante corte por cizallamiento. Estas palas fijas fueron montadas sobre una placa de 8 mm para ser encajadas dentro de la estructura (Anexo 37).

2.15. Dimensión del rotor

Figura 14.

Rotor y cuchillas de impacto por paletas.

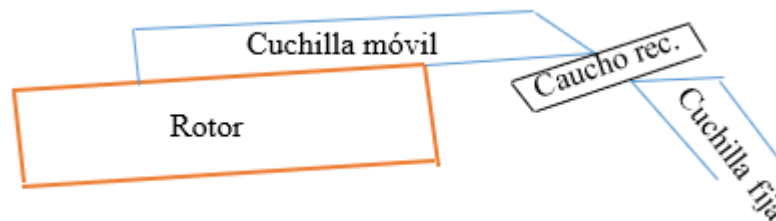


Nota. Elaborado por el autor.

El diseño propuesto consistió en cuatro cuchillas móviles dispuestas de forma equidistante sobre el rotor, las cuales fueron sujetadas mediante pernos a los cuatro brazos, permitiendo su reemplazo en caso de desgaste. El proceso de corte o cizallamiento se efectuó entre estas cuchillas móviles y las cuchillas fijas ubicadas en la carcasa de la máquina pulverizadora (Anexo 38).

Figura 15.

Cizalladura entre cuchillas.



Nota. Elaborado por el autor.

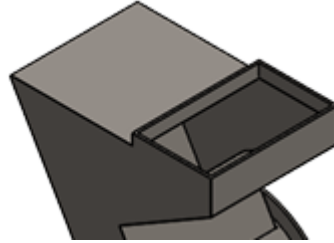
Como muestra la Figura 15, la distancia entre los filos de las cuchillas es de 1 mm, garantizando que el corte se realice hasta obtener partículas minúsculas. El material se recirculaba a través de un tamiz situado en el fondo de la carcasa; hasta que el material

pulverizado no alcanzaba el tamaño necesario, no podía pasar por las aberturas de ese tamiz, cuyas dimensiones eran de 8 mm.

2.16. Dimensión de tolva de entrada.

Figura 16.

Tolva ingreso del material.



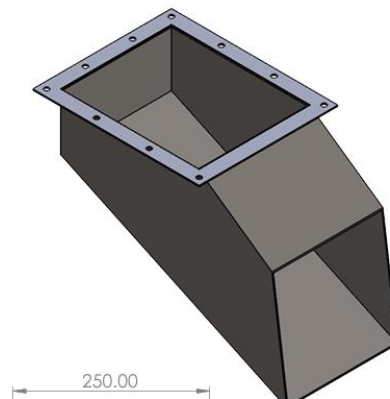
Nota. Elaborado por el autor.

En la Figura 16, se mostró el diseño de la tolva, la cual debía facilitar el ingreso de caucho reciclado para su posterior pulverización dentro del equipo. Esta tolva corresponde a una plancha de 4 mm de espesor y estaba fijada a la tapa de la carcasa (Anexo 39).

2.17. Dimensión de tolva de salida.

Figura 17.

Tolva de recolección de material



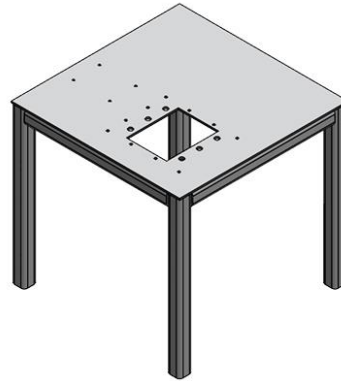
Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra la Figura 17, la tolva de descarga tuvo la función de dirigir el material pulverizado para su recolección o almacenamiento. Su tamaño fue adaptado para encajar con la carcasa del molino y el tamiz. Este componente fue construido a partir de una lámina de 4 mm de espesor, fijada directamente a la estructura del molino pulverizador (anexo 21).

2.18. Diseño de la mesa de trabajo

Figura 18.

Mesa de trabajo de máquina pulverizadora.



Nota. Elaborado por el autor

La mesa de trabajo se diseñó con una estructura de tubo cuadrado de 3/4 y una plancha de 4 mm de grosor. Como muestra la Figura 18, para el diseño estructural de la máquina se toma en cuenta factores como el peso que la base debe sostener y la ergonomía indispensable para facilitar el uso del equipo por parte del usuario. La selección del perfil estructural se llevó a cabo considerando aspectos como la posición de la carga distribuida, los esfuerzos de flexión permitidos, el momento máximo y el módulo de sección necesario (Anexo 41)

Elemento de la máquina pulverizadora.

Tabla 15.

Peso total de la máquina.

Elemento	Peso (Kg)	Cantidad	Peso total (Kg)
Motor.	16.95	1	19.65
Carcasa.	6.90	1	6.90
Rotor.	0.78	1	0.78
Cuchilla.	0.10	6	0.6
Tolva de entrada.	0.42	1	0.42
Tamiz.	0.03	1	0.03
Tapa.	6.89	2	13.78
Tolva de residuo.	1.36	1	1.36
Plancha (base).	1.84	1	1.84
TOTAL			45.36

Nota. Elaborado por el autor, adaptado de (Guaspacha, 2022).

Como muestra la Tabla 15, el peso de la máquina es de 45.36 Kgf.

$$M = 45.36 \text{kgf} * 9,81 \text{ N/kgf} = 445.12 \text{ N}$$

CAPÍTULO III

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Marco de resultados descriptivos.

Una vez concluido el proceso de recolección de información se procede a contextualizar las respuestas obtenidas por parte de los encuestados.

Cuestionario.

Pregunta 1: ¿Considera que el prototipo produce partículas de caucho de tamaño adecuado para su reutilización?

En la Tabla 20, Figura 24: se observa que el 78,6 % de los encuestados (11 personas) están totalmente de acuerdo con que el prototipo produce partículas de caucho de tamaño adecuado para su reutilización, mientras que un 7,1 % (1 persona) está de acuerdo y un 14,3 % (2 personas) se mantiene neutral. Esta tendencia evidencia una fuerte percepción positiva sobre la funcionalidad del prototipo respecto a la calidad del triturado. El alto nivel de conformidad indica que el diseño y funcionamiento de la máquina cumple con los estándares esperados para su uso práctico, aportando efectivamente al objetivo de reutilización en la elaboración de hormigón sostenible. (Véase Anexo 13).

Pregunta 2: ¿Cree que el prototipo logra una trituración eficiente del caucho reciclado?

En la Tabla 21, Figura 25: el 64,3 % de los participantes manifestó estar totalmente de acuerdo con la eficiencia de trituración del prototipo, mientras que el 28,6 % estuvo de acuerdo y un 7,1 % permaneció neutral. Esta distribución muestra un consenso favorable respecto al rendimiento mecánico del prototipo, lo cual refuerza su viabilidad como herramienta útil para el procesamiento de caucho reciclado. Aunque existe un pequeño margen de duda, la gran mayoría avala su funcionamiento eficaz, lo que respalda la continuidad del proyecto en contextos reales de aplicación (Véase Anexo 14).

Pregunta 3: ¿Cree que el consumo energético del prototipo es bajo en relación con su capacidad?

En la Tabla 22, Figura 26: la mitad de los encuestados (50 %) está totalmente de acuerdo con que el prototipo presenta un consumo energético bajo en relación con su capacidad, mientras que el 21,4 % estuvo de acuerdo y otro 21,4 % se mostró neutral. Solo un 7,1 %

expresó desacuerdo. Esto revela una percepción predominantemente positiva sobre la eficiencia energética del equipo. Sin embargo, el nivel de neutralidad sugiere que se podrían realizar mediciones técnicas adicionales o capacitaciones para reforzar la comprensión del rendimiento energético entre los usuarios (Véase Anexo 15).

Pregunta 4: ¿Piensa que el motor del prototipo trabaja con una potencia adecuada para su objetivo?

En la Tabla 23, Figura 27: con un 78,6 % de respuestas en totalmente de acuerdo y un 7,1 % en de acuerdo, la mayoría de los encuestados considera que la potencia del motor es adecuada. Solo un 7,1 % expresó desacuerdo. Esto refleja que el componente motor del prototipo ha sido correctamente dimensionado en función del trabajo que debe realizar. La aprobación casi unánime valida las decisiones técnicas del diseño y sugiere que el equipo podría operar de forma estable bajo cargas reales (Vea Anexo 16).

Pregunta 5: ¿Considera que el prototipo procesa una cantidad suficiente de caucho por hora?

En la Tabla 24, Figura 28: el 64,3 % de los encuestados respondió estar totalmente de acuerdo con la capacidad horaria del prototipo, seguido por un 21,4 % de acuerdo y un 14,3 % neutral. Esta valoración demuestra que, en general, los usuarios perciben una productividad adecuada. No se reportaron respuestas negativas, lo cual refuerza la idea de que el prototipo cumple con los requerimientos de procesamiento en relación con los fines del proyecto, especialmente en talleres universitarios o pequeñas plantas de transformación (Vea Anexo 17).

Pregunta 6: ¿Cree que la capacidad de procesamiento del prototipo es adecuada para trabajos continuos?

En la Tabla 25, Figura 29: el 50 % de los encuestados manifestó estar totalmente de acuerdo con que el prototipo tiene una capacidad adecuada para trabajos continuos, mientras que un 35,7 % indicó estar de acuerdo. Solo un 14,2 % expresó opiniones divididas entre *neutralidad* y *desacuerdo*. Esta mayoría evidencia una percepción favorable sobre la resistencia operativa del equipo, lo cual es fundamental para garantizar su funcionamiento estable en ciclos prolongados. No obstante, las respuestas menos seguras sugieren que sería conveniente realizar pruebas de durabilidad más extensas bajo condiciones reales (Vea Anexo 18).

Pregunta 7: ¿Cree que el prototipo requiere poco mantenimiento para su correcto funcionamiento?

En la Tabla 26, Figura 30: un 71,4 % de los participantes indicó estar totalmente de acuerdo en que el prototipo requiere poco mantenimiento, mientras que un 21,4 % estuvo de acuerdo y solo un 7,1 % se mantuvo neutral. Esta tendencia positiva destaca como una ventaja clave del diseño, ya que un bajo requerimiento de mantenimiento incrementa su viabilidad para contextos educativos o de bajo presupuesto. El dato refuerza la idea de un equipo funcional, accesible y de fácil conservación (Véase Anexo 19).

Pregunta 8: ¿Considera fácil el proceso de limpieza del prototipo luego de su uso?

En la Tabla 27, Figura 31: con un 50 % de respuestas en totalmente de acuerdo y un 35,7 % en de acuerdo, la mayoría de los encuestados considera que el proceso de limpieza del prototipo es sencillo. El 14,3 % que se mostró neutral no representa una preocupación significativa. Esta percepción favorece la adopción práctica del prototipo, dado que la facilidad de limpieza incide directamente en la eficiencia de uso, en la prolongación de la vida útil del equipo y en el cumplimiento de prácticas operativas responsables (Véase Anexo 20).

Pregunta 9: ¿Piensa que el ensamblaje del prototipo requiere baja inversión en mano de obra?

En la Tabla 28, Figura 32: el 57,1 % de los encuestados manifestó estar totalmente de acuerdo con que el ensamblaje requiere baja inversión en mano de obra, y el 42,9 % restante estuvo de acuerdo. La ausencia de respuestas negativas indica un consenso claro sobre la simplicidad del montaje del prototipo. Este dato respalda su factibilidad en entornos donde se busca minimizar los costos operativos, como laboratorios universitarios o iniciativas de emprendimiento sostenible (Véase Anexo 21).

Pregunta 10: ¿Cree que el costo de construcción del prototipo es competitivo en comparación con otros sistemas?

En la Tabla 29, Figura 33: el 64,3 % de los encuestados respondió estar totalmente de acuerdo con la competitividad del costo del prototipo frente a otros sistemas, mientras que el 35,7 % estuvo de acuerdo. Esta valoración unánime refleja una percepción sólida de eficiencia económica, aspecto fundamental para proyectos que promueven la sostenibilidad mediante el aprovechamiento de materiales reciclados. La viabilidad financiera refuerza la posibilidad de replicar o escalar el diseño para otros contextos o instituciones (Véase Anexo 22).

Pregunta 11: ¿Considera que este tipo de hormigón es estructuralmente confiable?

En la Tabla 30, Figura 34: el 85,8 % de los encuestados expresó confianza en la capacidad estructural del hormigón elaborado con caucho reciclado, repartido entre quienes están totalmente de acuerdo (42,9 %) y de acuerdo (42,9 %). Solo un pequeño porcentaje expresó neutralidad (7,1 %) o desacuerdo (7,1 %). Esta percepción refleja una aceptación técnica positiva sobre el comportamiento estructural del material alternativo, lo cual es clave para su incorporación en aplicaciones de bajo y mediano esfuerzo estructural. Aun así, las opiniones neutrales y divergentes destacan la importancia de respaldar estas percepciones con ensayos normativos (Véase Anexo 23).

Pregunta 12: ¿Cree que el hormigón elaborado tiene suficiente resistencia a la compresión?

En la Tabla 31, Figura 35: el 64,3 % de los encuestados manifestó estar totalmente de acuerdo con la resistencia a la compresión del hormigón, seguido por un 14,3 % de acuerdo y otro 14,3 % neutral. Solo un 7,1 % expresó desacuerdo. La mayoría percibe que el hormigón con caucho reciclado cumple con requisitos básicos de resistencia, aunque existe un margen que duda o no tiene claridad al respecto. Esto sugiere que, si bien hay confianza general, es necesario fortalecerla mediante pruebas estandarizadas que validen su rendimiento mecánico (Véase Anexo 24).

Pregunta 13: ¿Cree que el uso de caucho reciclado en el hormigón es significativo?

En la Tabla 32, Figura 36: un alto 85,7 % de los encuestados respondió totalmente de acuerdo con la importancia del uso de caucho reciclado en el hormigón, mientras que el 7,1 % estuvo de acuerdo y otro 7,1 % se mantuvo neutral. Esta respuesta indica una percepción clara y favorable sobre el impacto ambiental positivo que representa la inclusión de caucho en la mezcla. Además de su valor técnico, el resultado sugiere que los encuestados reconocen su contribución a la sostenibilidad y a la economía circular en la construcción (Véase Anexo 25).

Pregunta 14: ¿Piensa que se incorporó una buena cantidad de materiales reciclados en el hormigón?

En la Tabla 33, Figura 37: el 71,4 % de los encuestados está totalmente de acuerdo con que se utilizó una buena proporción de materiales reciclados, seguido por un 21,4 % de acuerdo y un 7,1% neutral. Esta percepción reafirma la validez del diseño experimental en cuanto a la dosificación y selección de insumos, dando cuenta de un balance adecuado entre sostenibilidad

y calidad técnica. No se registraron opiniones negativas, lo que refuerza la aceptación del enfoque aplicado en la mezcla (Véase Anexo 26).

Pregunta 15: ¿Cree que la mezcla del hormigón favorece el uso de recursos reciclados?

En la Tabla 34, Figura 38: el 71,4 % de los encuestados se manifestó totalmente de acuerdo con que la mezcla favorece el uso de reciclados, mientras que un 14,3 % estuvo de acuerdo y otro 14,3 % se mantuvo neutral. La percepción general es positiva y coherente con los objetivos del estudio. Estos resultados indican que la composición del hormigón no solo permite, sino que estimula el aprovechamiento de materiales reciclados sin comprometer su funcionalidad (Véase Anexo 27).

Pregunta 16: ¿Cree que el hormigón sostenible evita el uso excesivo de materiales vírgenes?

En la Tabla 35, Figura 39: un 71,4 % de los encuestados manifestó estar totalmente de acuerdo con que el hormigón elaborado contribuye a evitar el uso excesivo de materiales vírgenes, mientras que un 14,3 % estuvo de acuerdo y otro 14,3 % se mantuvo neutral. Esta opinión refleja un nivel alto de conciencia sobre el aporte ambiental del proyecto, destacando que los encuestados reconocen el enfoque sostenible de la mezcla. La percepción positiva mayoritaria valida uno de los objetivos fundamentales de la investigación: promover la economía circular en la construcción (Véase Anexo 28).

Pregunta 17: ¿Considera que el hormigón elaborado es resistente a la humedad?

En la Tabla 36, Figura 40: el 71,4 % de los participantes indicó estar totalmente de acuerdo con la resistencia del hormigón frente a la humedad, mientras que el 21,4 % mantuvo una postura neutral y un 7,1 % manifestó desacuerdo. Aunque la mayoría reconoce una buena resistencia, el porcentaje de respuestas no afirmativas invita a considerar la realización de ensayos técnicos complementarios que sustenten de forma objetiva este aspecto físico, ya que la durabilidad frente a la humedad es un criterio clave para el uso estructural en climas húmedos (Véase Anexo 29).

Pregunta 18: ¿Cree que la absorción de agua del hormigón es baja?

En la Tabla 37, Figura 41, figura 36: el 64,3 % de los encuestados está totalmente de acuerdo con que la absorción del hormigón es baja, mientras que un 21,4 % está de acuerdo y un 14,3 % se mantiene neutral. No se registran desacuerdos. Esta valoración favorable respalda

la viabilidad del hormigón reciclado en contextos que demandan control de humedad. No obstante, las opiniones moderadas indican que sería recomendable realizar pruebas de absorción en laboratorio para fortalecer esta percepción con evidencia cuantitativa (Véase Anexo 30).

Pregunta 19: ¿Cree que el costo de este hormigón es competitivo frente al convencional?

En la Tabla 38, Figura 42: con un 71,4 % de respuestas en totalmente de acuerdo y un 14,3 % en de acuerdo, la mayoría de los encuestados considera que el hormigón elaborado con materiales reciclados es económicamente competitivo frente al convencional. Solo un 7,1 % manifestó neutralidad y otro 7,1 % expresó total desacuerdo. Esto refleja una percepción general favorable, aunque con una pequeña reserva que sugiere la necesidad de un análisis comparativo más detallado sobre costos reales de producción en escala (Véase Anexo 31).

Pregunta 20: ¿Considera que el uso de reciclados permite reducir el costo final?

En la Tabla 39, Figura 43: un abrumador 92,9 % de los encuestados está totalmente de acuerdo con que el uso de materiales reciclados permite reducir el costo final del hormigón, mientras que solo un 7,1 % indicó estar de acuerdo. Esta unanimidad revela una percepción clara de beneficio económico asociado a la reutilización de residuos, lo que refuerza la pertinencia del proyecto dentro de modelos sostenibles de producción. El resultado posiciona al hormigón reciclado como una alternativa válida no solo desde el punto de vista ambiental, sino también económico (Véase Anexo 32).

En resumen, del cuestionario tenemos:

Tabla 16.
Resultados de encuesta del prototipo pulverizador de caucho.

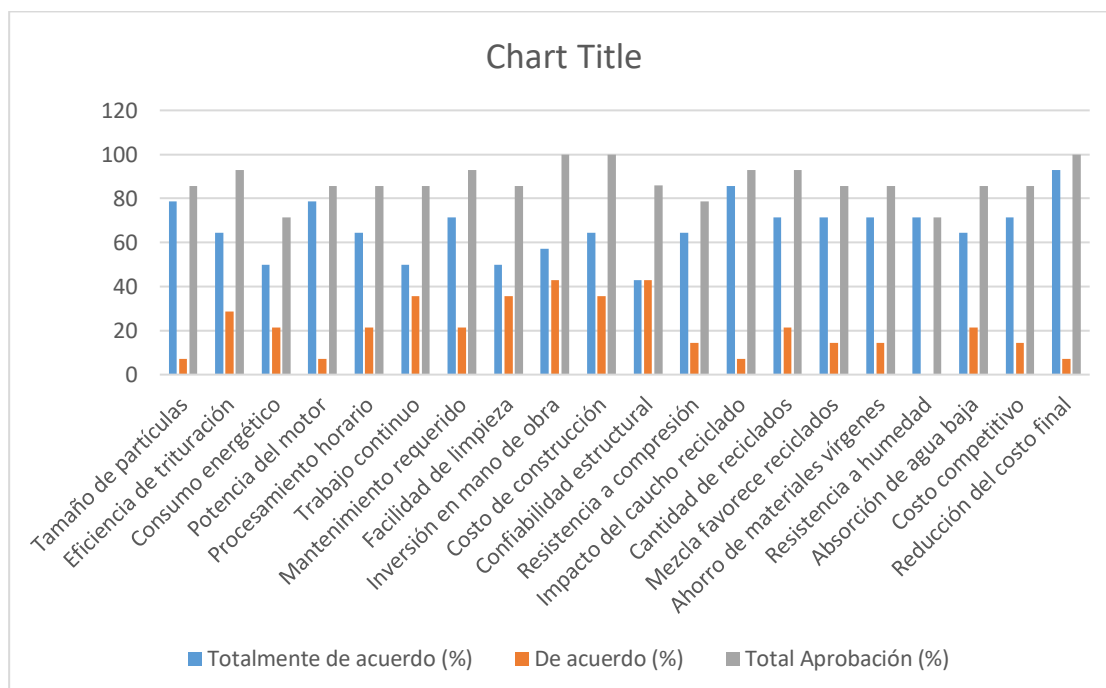
Pregunta	Totalmente de acuerdo (%)	De acuerdo (%)	Total Aprobación (%)
Tamaño de partículas.	78,6	7,1	85,7
Eficiencia de trituración.	64,3	28,6	92,9
Consumo energético.	50	21,4	71,4
Potencia del motor.	78,6	7,1	85,7
Procesamiento horario.	64,3	21,4	85,7
Trabajo continuo.	50	35,7	85,7

Mantenimiento requerido.	71,4	21,4	92,8
Facilidad de limpieza.	50	35,7	85,7
Inversión en mano de obra.	57,1	42,9	100
Costo de construcción.	64,3	35,7	100
Confiabilidad estructural.	42,9	42,9	85,8
Resistencia a compresión.	64,3	14,3	78,6
Impacto del caucho reciclado.	85,7	7,1	92,8
Cantidad de reciclados.	71,4	21,4	92,8
Mezcla favorece reciclados.	71,4	14,3	85,7
Ahorro de materiales vírgenes.	71,4	14,3	85,7
Resistencia a humedad.	71,4	0	71,4
Absorción de agua baja.	64,3	21,4	85,7
Costo competitivo.	71,4	14,3	85,7
Reducción del costo final.	92,9	7,1	100

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 19.

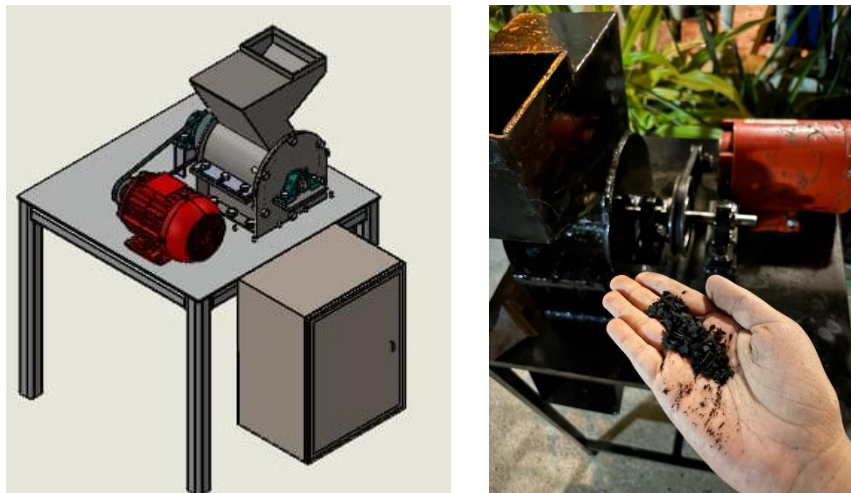
Resultados de encuesta del prototipo pulverizador de caucho.



Nota. Elaborado por el autor.

En la Tabla 16, Figura 19, los resultados totales de los 20 ítems evaluados en un 100 %, respaldan sólidamente un promedio general de aceptación de la necesidad de un prototipo pulverizador de caucho (respuestas “totalmente de acuerdo” o “de acuerdo”) el 86,5 %, que el prototipo cumple con criterios técnicos, económicos y sostenibles. La reducción del costo final gracias al reciclaje: 100 % aprobación, el uso de caucho reciclado: 92.8 % de aprobación, el costo de construcción competitivo: 100 % de aprobación, la eficiencia de trituración: 92.9 % de aprobación, Áreas con menor aprobación relativa (pero aún aceptables), en más del 72 %. Como consecuencia, generará el prototipo un hormigón de calidad estructural confiable, eficiente en energía y económicamente viable. Además, se valida que el uso de caucho reciclado no solo es funcional, sino también beneficioso en la reducción de costos y el impacto ambiental, alineándose con principios de la economía circular y la ingeniería sustentable.

Figura 20.
Prototipo pulverizador.



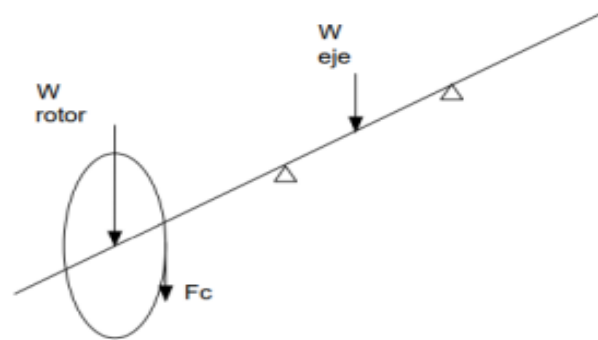
Nota. Elaborado por el autor.

Como muestra la Figura 20, se representó la máquina pulverizadora de caucho reciclado en conjunto con los componentes que la integraron, incluida la estructura base que proporcionó soporte para anclar el mecanismo principal. Esta representación facilitó la comprensión de la disposición general del sistema y su disposición funcional.

3.2 Cálculos para diseño.

Las fuerzas que intervinieron sobre el eje se representaron mediante el diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 21 a continuación; en este, se evidenció que el momento torsional se originó a partir del esfuerzo cortante aplicado en el filo de la cuchilla.

Figura 21.
Diagrama de cuerpo libre.



Nota. Elaborado por el autor, adaptado de (Guaspacha, 2022)

El peso tanto del eje como del rotor se determinó mediante el uso del software SolidWorks, tal como se presentó en los Anexos A y B, respectivamente.

Cálculo del peso del eje basado en diseño de CAD:

$$1010 \text{ Gr} \rightarrow \text{Kg}$$

$$1010 \text{ gr} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1,01 \text{ kg}$$

$$1,01 \text{ Kg} \rightarrow \text{N}$$

Aplicamos la fórmula de fuerza, donde:

$$F = m * g$$

$$F = 1.01 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 9,9 \text{ N}$$

$$W_{\text{eje}} = 1,01 \text{ kg} = 9,9 \text{ N}$$

Cálculo del peso del rotor basado en diseño de CAD:

$$1556,53 \text{ gr} \rightarrow \text{Kg}$$

$$1556,53 * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1,55 \text{ kg}$$

$$1.56 \text{ Kg} \rightarrow \text{N}$$

Aplicamos la fórmula de fuerza, donde:

$$F = m * g$$

$$F = 1.56 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 15,25 \text{ N}$$

$$W_{rotor} = 1,56 \text{ kg} = 15,29 \text{ N}$$

Para calcular el momento torsor

$$M = F_c * d$$

Donde:

M = Momento torsor dado en (N.m).

Fc = Fuerza de corte expresado en (N).

d = distancia expresada en (m).

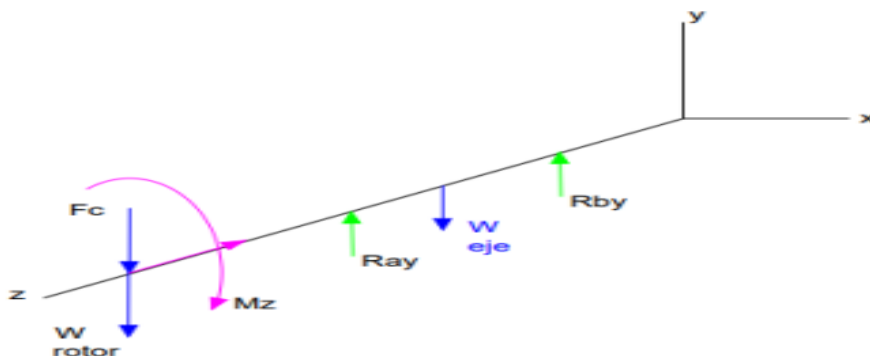
$$M = 7,10 \text{ N} * 0,45 \text{ m}$$

$$M = 3,195 \text{ N.m}$$

A continuación, en la Figura 22, se presentó el diagrama de las fuerzas que actuaron sobre el eje que se diseñó para la máquina pulverizadora.

Figura 22.

Diagrama de fuerzas que actúan en el eje.



Nota. Elaborado por el autor, adaptado de (Guaspacha, 2022).

3.2.1 Potencia requerida del molino.

Para calcular la potencia del molino, primero se requiere calcular el torque mediante la siguiente fórmula:

$$T = F_c * d$$

$$T = 7,10 \text{ N} * 0,45 \text{ m}$$

$$T = 3,195 \text{ N.m}$$

La velocidad del funcionamiento del molino es de $3450 \text{ rev}/\text{min}$ que se llevó a rad/seg, acto seguido calculamos la potencia del molino.

$$3460 \text{ rev}/\text{min} \rightarrow \text{rad/seg}$$

$$3450 \text{ rev}/\text{min} * 1\text{min}/60 \text{ seg} * 2\pi = 361,28 \text{ rad}/\text{seg}$$

Donde:

P = Potencia requerida del molino.

T = Torque dado en N.m.

W = Velocidad angular dado en rad /seg.

$$P = T * w$$

$$P = 3,195 \text{ N.m} * 361,28 \text{ rad}/\text{seg}$$

$$P = 1154,28 \text{ Watts}$$

$$P = 1154,28 \text{ Watts} * 1 \text{ Hp}/746 \text{ Watts}$$

$$P = 1,35 \text{ Hp}$$

Selección del motor.

Para determinar qué tipo de motor es el más apropiado se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{T * w}{\eta}$$

Donde:

P = Potencia requerida por el motor (Hp).

T = Torque (N.m).

W = Velocidad angular (rad/seg).

$$P = \frac{3,195 * 361,28}{0,98}$$

$$P = 1.5 \text{ HP}$$

Tabla 17.
Características del motor a escoger.

Marca	EVANS
Potencia	1.5 HP
Revoluciones	3450 RPM
Voltaje	110/220 V

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 23.
Placa del motor eléctrico marca Evans.



Nota. Placa del modelo del motor marca Evans 4HME150

3.2. Costos de prototipo pulverizador de caucho.

Tabla 18.
Costos del prototipo pulverizador de caucho.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	MOTOR 1.5 HP.	1	\$ 500,00	\$ 500,00
2	Plancha negra ASTM A36 E 4 mm de 1/4.	1	\$ 142,43	\$ 142,43
3	Eje.	1	\$ 70,00	\$ 70,00
4	Tubo de 8 in, célula 80.	1	\$ 120,00	\$ 120,00
5	Cuchilla de acero para herramienta de corte.	6	\$ 360,00	\$ 360,00
6	1/8 Plancha de 10 mm (Chumacera, base de cuchilla).	1	\$ 30,00	\$ 30,00
7	Chumacera de piso de 3/4.	3	\$ 40,00	\$ 120,00
8	1 metro de eje de 19 mm acero de transmisión.	1	\$ 15,00	\$ 15,00
9	Pernos de 3/8 de 1 1/2 in.	36	\$ 1,50	\$ 54,00
10	Tubo cuadrado de 3/4.	1	\$ 20,00	\$ 20,00
11	Plancha de 4 mm (base).	1	\$ 142,00	\$ 142,00
12	Gabinete eléctrico.	1	\$ 218,92	\$ 218,92
13	Kit de armado.	1	\$ 20,00	\$ 20,00
14	Pulsadores.	1	\$ 8,00	\$ 8,00
15	Cables flexibles.	14	\$ 1,20	\$ 16,08
16	Fuente de poder.	1	\$ 20,00	\$ 20,00
17	Breaker Riel Ebas.	1	\$ 7,00	\$ 7,00
18	Accesorio extra.	1	\$ 30,72	\$ 30,72
19	Tubo cuadrado A36.	1	\$ 3,00	\$ 3,00
20	Ángulos.	1	\$ 5,00	\$ 5,00
21	Electrodos.	1	\$ 10,50	\$ 10,50

22	Fondo y pintura esmalte.	1	\$	15,00	\$	15,00
23	Costo de transporte.	1	\$	30,69	\$	30,69
24	Costo de experimentación.	1	\$	100,00	\$	100,00
25	Costo de insumos.	1	\$	60,00	\$	60,00
26	Costo de torneado/fresado.	1	\$	500,00	\$	500,00
Total						\$2.618,34

Nota. Elaborado por el autor.

En la Tabla 18, muestra el costo total del prototipo pulverizador de caucho US \$2.618.34, según la cotización previa. el prototipo no solo un prototipo técnico, sino también una inversión justificable; puede generar ingresos anuales, mediante: i. Venta del caucho reciclado encapsulado, valor por kg., producto pulverizado 8 mm y vendido, a un costo de US \$ 0,50 precio no incluye IVA.

Cuadro de recuperación de inversión.

Inversión inicial (I₀): –US \$5 653.

Ingresos netos anuales proyectados: Año 1–5: US \$2 000 por año.

Tasa de descuento (r): 12 % (común en proyectos públicos y privados en Ecuador) según CEPAL:

Cálculo del VAN (NPV).

$$VAN = -5653 + \sum_{t=1}^5 \frac{2000}{(1 + 0.12)^t}$$

Valores presentes:

Año 1: \$2 000 / 1.12 = 1 785.71

Año 2: \$2 000 / 1.2544 = 1 595.81

Año 3: \$2 000 / 1.4049 = 1 423.22

Año 4: \$2 000 / 1.5735 = 1 271.43

Año 5: \$2 000 / 1.7623 = 1 135.56

Suma de valores presentes:

$$1\ 785.71 + 1\ 595.81 + 1\ 423.22 + 1\ 271.43 + 1\ 135.56 = 7\ 211.73$$

VAN: 7 211.73 – 5 653 = US \$1 558.73

Cálculo de la TIR (IRR):

Es la tasa que hace que VAN = 0:

$$0 = -5653 + \sum_{t=1}^5 \frac{2000}{(1 + TIR)^t}$$

Aplicando funciones financieras (en Excel o calculadora financiera), la TIR \approx 18.4 %.

Tabla 19.

VAN Y TIR de prototipo pulverizador.

Indicador	Valor
VAN (NPV).	US \$1 558.73
TIR (IRR).	18.4 %
Tasa de descuento.	12 %

Nota. Elaborado por el autor.

En la Tabla 19, se observa que el VAN es positivo US \$1 558.73, lo que implica que el proyecto recupera la inversión y genera valor adicional. Además, La TIR 18.4 %, supera la tasa de descuento del 12 %, por lo que es financieramente viable y atractiva.

3.3. Manuales.

Manual de operación y mantenimiento.

Se presenta los manuales de seguridad basado en (Quispe, 2020) (Anexo 51).

3.4. Marco de discusión.

En el marco del estudio titulado “Prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres UPSE, provincia de Santa Elena, Ecuador” la hipótesis general planteada fue: “La implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado mejora las propiedades del hormigón sostenible elaborado en los talleres de la UPSE”. Esta hipótesis fue confirmada estadísticamente a través del análisis de confiabilidad y los resultados inferenciales del cuestionario aplicado.

El instrumento fue revisado y validado el contenido por 4 especialistas de ingeniería industrial, sostenibilidad y diseño de prototipos. Ellos verificaron la pertinencia, redacción y cobertura de cada ítem con respecto a las dimensiones: eficiencia del prototipo, impacto ambiental. Además, la validez de criterio los resultados del instrumento se relacionan de forma

significativa con otros resultados externos o criterios ya aceptados. Se realizó la validación de constructo, el instrumento de recolección de datos alcanzó un alfa de Cronbach de 0.94, lo que indica una excelente consistencia interna entre los ítems del cuestionario, validando así la coherencia entre las dimensiones medidas: sostenibilidad ambiental, eficiencia técnica, aplicabilidad del prototipo pulverizador y percepción del impacto positivo en el proceso constructivo.

Al comprobar la hipótesis general del estudio “La implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado mejora las propiedades del hormigón sostenible elaborado en los talleres de la UPSE”, se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk. Dado que los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk arrojaron una Sig. < 0.05, se determinó que los datos no presentan una distribución normal, por lo tanto, se optó por aplicar la prueba no paramétrica de los rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas. Los resultados evidenciaron un valor de significancia Sig. = 0.000 < 0.05, lo que indica una diferencia significativa entre las dos condiciones. Con ello, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, confirmando que la implementación del prototipo pulverizador de caucho reciclado mejora significativamente las propiedades del hormigón sostenible elaborado en los talleres de la UPSE.

Este resultado es consistente con lo obtenido en la investigación de (Villanueva et al., 2025b) quienes concluyeron que la incorporación de caucho reciclado, procesado adecuadamente, mejora la resistencia y comportamiento mecánico de los microhormigones. De igual manera, se asemeja a los hallazgos de (Eissa et al., 2024), quienes validaron experimentalmente que el uso de caucho granulado reciclado contribuye a mejorar la tenacidad y sostenibilidad del concreto.

En cuanto al análisis inferencial, se observó una **alta correlación positiva** entre la variable independiente: prototipo pulverizador de caucho y la variable dependiente: hormigón sostenible, indicando que, a mayor eficiencia del prototipo, se reporta una mejora significativa en el aprovechamiento del caucho reciclado y en las propiedades funcionales del hormigón producido. Estos resultados permiten confirmar que la hipótesis es estadísticamente válida, coherente con la literatura científica consultada y respaldada por las evidencias empíricas recabadas durante el desarrollo del proyecto.

En el objetivo específico 1: evaluar el efecto del uso de caucho reciclado pulverizado en la resistencia a compresión del hormigón. se cumplió mediante el desarrollo del capítulo I,

que comprendió una revisión sistemática de literatura bajo la metodología PRISMA, y la construcción de un marco teórico robusto. Se consultaron más de 11,000 artículos científicos de bases de datos como Scopus, ScienceDirect, SpringerLink y PubMed; se seleccionaron 50 artículos relevantes según criterios de inclusión/exclusión, organizados en tablas de resultados y aplicabilidad, nacionales e internacionales. Se incluyeron investigaciones de Ecuador (Bernabé et al., 2024; Lainez & Quirumbay, 2023) que validan prototipos de extrusión y trituración para materiales reciclados aplicables en construcción ecológica. Se contextualizó la necesidad del prototipo en talleres de la UPSE, alineándolo con las normas técnicas INEN 857:2016 y RTE INEN 037:2009. El análisis reveló que en Santa Elena no existen actualmente sistemas funcionales de pulverización de caucho para uso en concreto. Esto justificó técnica y científicamente el desarrollo del prototipo como solución innovadora y sostenible. Se identificaron antecedentes relevantes sobre el uso de caucho reciclado en hormigón y el diseño de máquinas pulverizadoras, integrando información técnica, científica y normativa. Además, se contextualizó el problema a nivel local y nacional, justificando la necesidad del prototipo en base a vacíos tecnológicos y ambientales existentes. Esta base documental permitió fundamentar con solidez la propuesta de solución planteada en la presente investigación. Se analizarán en el futuro muestras de bloques fabricados con y sin caucho reciclado. Los resultados descriptivos muestran una media de resistencia de 40,13 MPa en el hormigón convencional, y de 39,40 MPa en el hormigón con caucho reciclado. La prueba de rangos con signo de Wilcoxon arrojó un valor de $p = 0.007$, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre ambos tipos de mezcla. Esto demuestra que la inclusión de caucho tiene un efecto real y cuantificable sobre la resistencia del material, validando así el cumplimiento del objetivo propuesto.

En el objetivo específico 2: diseñar el prototipo pulverizador de caucho reciclado, considerando criterios de funcionalidad, eficiencia y seguridad operativa para su aplicación en procesos constructivos. En atención al segundo objetivo específico, se aplicó una metodología de diseño sistemático, basada en el enfoque de diseño funcional y el método de selección de componentes mecánicos (motor, eje, tolva, cuchillas, estructura). Se tomaron en cuenta normas técnicas y resistencia estructural, como la RTE INEN 037:2009 para estructuras metálicas. ASTM D5603 (caucho, granulometría). Se evidenció a través del proceso de diseño técnico del prototipo pulverizador, realizado en la plataforma CAD SolidWorks para diseñar 3D, en cada componente del prototipo, permitiendo realizar simulaciones, análisis de esfuerzo y ensamblajes detallados. Se aplicaron criterios de ingeniería mecánica, eléctrica e industrial, eficiencia

operativa y seguridad industrial, respaldados por normas técnicas nacionales. El modelo digital permitió validar el funcionamiento del sistema de corte y trituración, con simulaciones que demostraron la viabilidad estructural del diseño. Este proceso derivó en un prototipo que responde a las necesidades reales del contexto universitario y aporta al desarrollo de tecnologías sostenibles basadas en economía circular.

Se optimizó el diseño del prototipo para garantizar una granulometría final entre 3 y 8mm, ideal para incorporarse en mezclas de hormigón según literatura especializada (Castillo, 2022). El modelo digital permitió validar el funcionamiento del sistema de corte y trituración, con simulaciones que demostraron la viabilidad estructural del diseño. El prototipo diseñado presentó una capacidad teórica estimada de trituración puede oscilar entre 3 y 5 kg por minuto. Este proceso derivó en un prototipo que responde a las necesidades reales del contexto universitario y aporta al desarrollo de tecnologías sostenibles basadas en economía circular.

En el objetivo específico 3: construir el prototipo de la máquina pulverizadora, aplicando los lineamientos establecidos en la normativa técnica ecuatoriana RTE INEN 037:2009 para diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas, asegurando su operatividad en los talleres de la UPSE, ubicado en la provincia de Santa Elena, Ecuador.”

Se llevó a cabo la fabricación e implementación del diseño digital previamente modelado en SolidWorks, empleando acero estructural y componentes mecánicos seleccionados. La estructura y ensamblaje se realizaron bajo los requisitos de la norma RTE INEN 037:2009, garantizando resistencia, estabilidad y durabilidad del equipo. se estimó mediante el cálculo del trabajo mecánico necesario para cortar neumáticos con base en el torque de corte, considerando un margen de seguridad del 25 %. La potencia calculada fue de 3.0 kW, por lo que se seleccionó un motor de 3.0 kW para garantizar la eficiencia y durabilidad del sistema. Frecuencia de 60 Hz. Para un motor de 3.0 kW con una eficiencia estimada del 87 %, los cálculos son los siguientes: potencia útil (salida): 2.61 kW, pérdidas por calor y fricción: 0.39 kW. Esto indica que el motor convierte 2.61 kW en energía mecánica útil y pierde aproximadamente 0.39 kW en forma de calor y otras ineficiencias. El torque útil que entrega un motor de 3.0 kW (con 87 % de eficiencia) girando a 1740 rpm es aproximadamente de: 10.074 Nm; la velocidad angular $\omega = 364.95$ rad/seg.; velocidad lineal $v = 45.60$ m/s. El equipo será sometido a pruebas funcionales que confirmen su capacidad para triturar caucho con la granulometría deseada, garantizando su aplicabilidad en la producción de hormigón sostenible. La operatividad y seguridad del prototipo se verificarán en condiciones reales de uso, lo que

demostrará la viabilidad técnica del sistema como solución innovadora y replicable.,
cumpliéndose el objetivo planteado.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación permitió constatar, mediante una revisión sistemática de literatura y análisis de antecedentes, complementada con teorías fundamentadas en la acumulación de neumáticos fuera de uso NFU, representa una problemática ambiental creciente en Ecuador, especialmente en la provincia de Santa Elena, donde no existen soluciones tecnológicas adecuadas para su tratamiento. A partir del análisis de 50 artículos científicos, se identificaron los pasos esenciales que abarcaron desde la selección y evaluación de materiales hasta el modelado digital, la construcción física del equipo y su puesta en funcionamiento. Se realizó la encuesta por medio del cuestionario electrónico, consolidando las variables de estudio. La validación estadística confirmó la hipótesis general del estudio, al obtener un valor de significancia de $\text{Sig.} = 0.000$ mediante la prueba de Wilcoxon, lo cual evidencia un impacto positivo y significativo del prototipo en la mejora del proceso de elaboración de hormigón sostenible. Asimismo, el instrumento aplicado demostró alta confiabilidad (α de Cronbach = 0.949), y más del 90 % de los encuestados valoró favorablemente la funcionalidad del sistema, su impacto ambiental y su utilidad práctica. La recopilación y análisis de información técnica y científica evidenció que el caucho reciclado, procesado con la granulometría adecuada, puede ser incorporado de manera eficiente en mezclas de hormigón no estructural, mejorando su comportamiento mecánico y reduciendo su impacto ambiental. Este hallazgo fundamentó teóricamente la pertinencia del diseño de un prototipo pulverizador como una respuesta técnica innovadora a la problemática planteada, contribuyendo al conocimiento científico en el campo de la ingeniería sostenible y la economía circular.

La metodología empleada permitió diseñar un prototipo funcional de máquina pulverizadora de caucho reciclado, aplicando principios de ingeniería mecánica mediante el uso del software CAD SolidWorks. La estrategia metodológica, de tipo aplicada y enfoque cuantitativo, fue adecuada para estructurar técnicamente el diseño del equipo, garantizando eficiencia operativa y seguridad, en cumplimiento de las normativas nacionales vigentes. Asimismo, la operacionalización de variables y la validación del instrumento de recolección de datos, con un coeficiente de confiabilidad de $\alpha = 0.949$, aseguraron la solidez del diseño investigativo, permitiendo generar datos consistentes para evaluar el impacto del prototipo en el proceso de elaboración de hormigón sostenible. Esto permitió procesar caucho con una granulometría óptima (0.1–0.5 mm), apta para incorporarse en mezclas de hormigón no estructural, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la reducción del impacto negativo de los NFU.

Los resultados presentados confirmaron que la implementación del prototipo pulverizador de caucho reciclado impactó de manera significativa en la mejora del proceso de elaboración de hormigón sostenible en los talleres de la UPSE. Esto demuestra estadísticamente que el uso del prototipo mejora la eficiencia del aprovechamiento del caucho reciclado como agregado. Asimismo, el análisis descriptivo del cuestionario mostró que más del 90 % de los usuarios valoró positivamente la funcionalidad, aplicabilidad y sostenibilidad del prototipo, reforzando su aceptación técnica y práctica. Estos resultados contrastan favorablemente con estudios realizados en Ecuador como el de (Bernabé et al., 2024), donde los prototipos de reciclaje de plástico presentaron limitaciones técnicas no superadas. En cambio, el presente estudio no solo superó dichas barreras, sino que propuso una solución replicable desde el entorno universitario y una contribución al conocimiento aplicado en ingeniería industrial.

RECOMENDACIONES

Fortalecer la investigación universitaria, en especial sobre temas sobre neumáticos fuera de uso, incentivando el desarrollo de tecnologías sostenibles desde un enfoque de economía circular. Se recomienda que organismos públicos y privados, así como universidades, apoyen proyectos similares que combinen innovación tecnológica y compromiso ambiental en regiones con alta acumulación de residuos NFU.

Mejorar y escalar el diseño del prototipo pulverizador para su aplicación a mayor escala en contextos industriales o comunitarios, integrando mejoras como automatización de procesos, sensores de control de granulometría y componentes de bajo mantenimiento. Esto permitiría optimizar el desempeño del sistema y aumentar su replicabilidad en diferentes contextos operativos.

Fomentar la reutilización del caucho, como agregado en obras civiles no estructurales mediante proyectos piloto en instituciones educativas, municipales o privadas, que permitan validar su comportamiento a largo plazo. Asimismo, se recomienda la realización de estudios complementarios que evalúen la resistencia mecánica, durabilidad y desempeño térmico de los hormigones elaborados con este material.

REFERENCIAS

- Abbas, S., Ahmed, A., Waheed, A., Abbass, W., Yousaf, M., Shaukat, S., Alabduljabbar, H., & Awad, Y. A. (2022). Recycled Untreated Rubber Waste for Controlling the Alkali–Silica Reaction in Concrete. *Materials*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/MA15103584>
- Abbas, Y. M., & Alsaif, A. (2024). Enhanced nonlinear models for critical compressive stress-strain characteristics of rubberized concrete: Comprehensive experimental data and robust evaluation methodology. *Construction and Building Materials*, 433. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136691>
- Abbassi, F., & Ahmad, F. (2020). Behavior analysis of concrete with recycled tire rubber as aggregate using 3D-digital image correlation. *Journal of Cleaner Production*, 274, 123074. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123074>
- Abunassar, N., & Alas, M. (2025). Optimization of strength and durability properties of rubberized concrete mixtures containing silica fume using Taguchi method. *Construction and Building Materials*, 468. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140455>
- Adesina, A., & Das, S. (2021). Performance of engineered cementitious composites incorporating crumb rubber as aggregate. *Construction and Building Materials*, 274, 122033. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.122033>
- Akhtar, A. Y., & Tsang, H. H. (2024). A comparative life cycle assessment of recycled tire rubber applications in sustainable earthquake-resistant construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 211, 107860. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2024.107860>
- Alcántara, W. M., & Científico, O. P. G.-Varona. (2024). Formación conceptual y tecnologías digitales en el Cálculo Diferencial para Ingeniería. *Scielo.Sld.CuW Mateo Alcántara, OL Pérez GonzálezVarona. Revista Científico Metodológica*, 2024•scielo.Sld.Cu. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1992-82382024000100025&script=sci_arttext
- Almeida, M., & Díaz, C. (2020). Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. Avances en Ecuador. *Estudios de La Gestión: Revista Internacional de Administración*, 8, 34–56. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.10>
- Andrés, J., Herrera, S., Alberto, C., & Arias, M. (2024). *Propuesta de aprovechamiento de llantas usadas de bicicleta para la fabricación de estoperoles viales*. <https://repository.uamerica.edu.co/items/bc6d9a8d-bfff-479f-9b18-b9a7b92a7929>

- Araujo, J., Verdejo, R., López, M. A., & Hernández, M. (2021). Sustainable mobility: The route of tires through the circular economy model. *Waste Management*, *126*, 309–322. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2021.03.025>
- Asociación Nacional de Empresarios Colombia. (2019). *Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio Estrategia Nacional de Economía Circular Contenido*. https://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf
- Axel, E., García, P., & Padilla-García, E. A. (2025). Diseño mecatrónico frugal y ensamble de mano robótica usando manufactura aditiva. *RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación*, *3*(5), 14–23. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.15127411>
- Bala, A., & Gupta, S. (2021). Thermal resistivity, sound absorption and vibration damping of concrete composite doped with waste tire Rubber: A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 299). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123939>
- Barquero, W. (2022). Análisis de Prisma como Metodología para Revisión Sistemática: una Aproximación General. *Revista.Redeunida.Org.BrWGB MoralesSaúde Em Redes*, *2022•revista.Redeunida.Org.Br*, *8*(sup1), 339–360. <https://doi.org/10.18310/2446-4813.2022V8NSUP1P339-360.+>
- Barrientos, A., Ballesteros, P., Mora, D., & Cerezo, A. (2022). TRATAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO: APLICACIÓN DEL TECH MINING PARA EL ANÁLISIS DE TENDENCIAS. *26th International Congress on Project Management and Engineering*, 525–544. <http://dspace.aeipro.com/xmlui/handle/123456789/3229>
- Beiram, A. A. H., & Al-Mutairee, H. M. K. (2022). The effect of chip rubber on the properties of concrete. *Materials Today: Proceedings*, *60*, 1981–1988. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.209>
- Bernabé, T., Fernando, L., Solorzano, T., & Javier, K. (2024). *UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA*.
- Buckshumiyán, A., Babu, S. S., Prakash, M., & Arasu, G. A. (2023). Recycling of plastic wastage by die shredder machine. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.022>
- Burgos, A. L. M. (2020). Factores de riesgo ergonómico asociados a la productividad en el área de torno en una empresa del sector metalmeccánico. *Ergonomía, Investigación y Desarrollo*, *2*(3), 134–149. <https://doi.org/10.29393/EID2-10FRAM10010>

- Calabi, A., Mignolet, C., & Valdes, G. (2022). Study of the Effect of the Use of Asphalt Binders Modified with Polymer Fibres from End-of-Life Tyres (ELT) on the Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt at Different Operating Temperatures. *Materials* 2022, Vol. 15, Page 7578, 15(21), 7578. <https://doi.org/10.3390/MA15217578>
- Castillo, S. A. (2022). *FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA*.
- Chagua, I. L., Quispe, M. A., & Ortega, O. A. (2022). Diseño y construcción de prototipo de máquina clasificadora de quinua por color usando sensores IR. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 45–52. <https://doi.org/10.18271/RIA.2022.272>
- Chen, Z., Pan, H., Zhuo, K., Su, J., Xie, B., Lin, J., & Guo, Y. (2024). Dynamic compressive behavior of environmentally friendly high-strength concrete: Experimental investigation and modelling. *Construction and Building Materials*, 427, 136259. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2024.136259>
- Chikuku, T., Mushonga, R. N., Sakala, T., Nyemba, W. R., & Chinguwa, S. (2020). Design of a small-scale granite stone crusher. *Procedia CIRP*, 91, 858–863. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2020.03.119>
- Científica, R., & Ingeniar, ' '. (2024). *Optimización del Consumo Energético mediante el Desplazamiento de Cargas Sub estación Santa Clara de Manta-Ecuador OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO MEDIANTE EL DESPLAZAMIENTO DE CARGAS SUB ESTACIÓN SANTA CLARA DE MANTA-ECUADOR OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION THROUGH LOAD SHIFTING AT THE SANTA CLARA SUBSTATION IN MANTA, ECUADOR*. 7(13), 2024. <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13.0160>
- Crespo, D. A., & Cepeda, J. S. (2020). *Diseño de una máquina semiautomática para la fabricación de bloques de hormigón con una capacidad de 8 000 bloques diarios*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/51573>
- Cuitiño, M. G., Rotondaro, R., & Esteves, A. (2019). Aportes para el análisis comparativo del comportamiento higrotérmico y mecánico de los materiales de construcción con tierra. *Revista de Arquitectura*, 22(1). <https://doi.org/10.14718/revarq.2020.2348>
- Daniel, E., Guzmán, M., Belmares Rodríguez, A., Rendon, J. A., Ruíz López, D., & Rosas, E. M. (2024). Impacto en la Comprensión y Aplicación del Diseño Gráfico del Diseño y prototipado del mecanismo Cam en SolidWorks. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 7687–7705. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I6.15453
- Delgado, P. C. (2020). *CONSIDERACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE LA ESTRATEGIA PERUANA DE ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR PESQUERO*

CONSIDERATIONS FOR THE PREPARATION OF THE PERUVIAN STRATEGY OF CIRCULAR ECONOMY IN THE FISHERIES SECTOR. <https://orcid.org/0000-0002-6154-8518>

- Dharmaraj, R., Manikandan, P., Narayanan, K., Malathy, R., Alagumurugan, R., & Rajalinggam, P. (2022). Study of impact of crumb rubber used as an aggregate in concrete mix. *Materials Today: Proceedings*, 68, 2104–2110. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.371>
- Díaz, M. V. R., Ríos, J. P. V., Portilla, L. M. M., Velasco, J. V. M., Narváez, J. F., Bolaños, Y. V. B., & TORO, J. A. D. (2022). Desarrollo de un prototipo de máquina fabricadora de filamento para impresión 3d, mediante la reutilización de botellas de plástico PET.: Tecnoacademia Itinerante Nariño. *CON-CIENCIA Y TÉCNICA*, 6(2), 39–43. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/conciencia/article/view/5019>
- Domínguez, C., ... N. M.-O. R., & 2022, undefined. (2022). El estado del arte, ¿necesidad o necesidad? *Dialnet.Unirioja.EsCEC Domínguez, NF Martínez, I PérezOpción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 2022•dialnet.Unirioja.Es. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7300714>
- Eissa, M., Habib, A., Ausamah, ·, Hourri, A. L., & Alibrahim, · Bashar. (2024). Recent efforts on investigating the effects of recycled rubber content on the mechanical properties of structural concrete. *Discover Civil Engineering 2024 1:1*, 1(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/S44290-024-00017-7>
- El Ghobashy, H., Shaban, Y., Okasha, M., El-Reheem, S. A., Abdelgawad, M., Ibrahim, R., Ibrahim, H., Abdelmohsen, K., Awad, M., Cottb, M., Elmeadawy, M., Fathy, W., & Khater, E. S. (2023). Development and evaluation of a dual-purpose machine for chopping and crushing forage crops. *Heliyon*, 9(4), e15460. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E15460>
- Essam, O., Elmahdy, M. A. R., Elmenshawy, Y., Elshami, A. A., Ahmad, S. S. E., & Aboubakr, A. (2025). Experimental investigation on the recycling of medical waste for sustainable fiber-reinforced concrete production. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04675. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2025.E04675>
- Feng, W., Chen, B., Tang, Y., Wei, W., He, W., & Yang, Y. (2022). Structural effects and real strain-rate effects on compressive strength of sustainable concrete with crumb rubber in split Hopkinson pressure bar tests. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 22(3), 1–24. <https://doi.org/10.1007/S43452-022-00457-X/TABLES/6>

- Feria, H., Matilla, M., & Mantecón, S. (2020). La entrevista y la encuesta: ¿ métodos o técnicas de indagación empírica? *Dialnet.Unirioja.Es*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?Codigo=7692391>
- Fioriti, C., Segantini, R., Pinheiro, J., Akasaki, J., Spósito, F., Fioriti, C., Segantini, R., Pinheiro, J., Akasaki, J., & Spósito, F. (2020). Bloques de mampostería de hormigón liviano fabricados con caucho de neumáticos y metacaolín. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(3), 295–307. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000300295>
- Gamal, Y. K. ; A. S., Marín-Genescà, M., Idriss, L. K., Abdal, Y., & Gamal, S. (2022). Properties of Rubberized Concrete Prepared from Different Cement Types. *Recycling 2022*, Vol. 7, Page 39, 7(3), 39. <https://doi.org/10.3390/RECYCLING7030039>
- Gao, Y., Wang, B., Liu, C., Hui, D., Xu, Q., Zhao, Q., Qin, Y., & Dong, W. (2022). Experimental investigation on static compressive toughness of steel fiber rubber concrete. *Reviews on Advanced Materials Science*, 61(1), 576–586. https://doi.org/10.1515/RAMS-2022-0260/ASSET/GRAPHIC/J_RAMs-2022-0260_FIG_015.JPG
- Garabiza, B., Prudente, E., espacios, K. Q.-R., & 2021, undefined. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso. *Revistaespacios.ComB Garabiza, E Prudente, K QuindeRevista Espacios, 2021•revistaespacios.Com*. <https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n02p17>
- Gerges, N. N., Issa, C. A., & Fawaz, S. A. (2018). Rubber concrete: Mechanical and dynamical properties. *Case Studies in Construction Materials*, 9, e00184. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2018.E00184>
- Ghone, M. O., Long, G., Yang, K., Ma, X., & Islam, N. (2024). Toughness improvement of low strength ceramsite lightweight concrete by polypropylene fiber and recycled rubber particle. *Construction and Building Materials*, 422. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135716>
- Ghoniem, A., & Aboul Nour, L. (2024). Experimental investigation into the properties of crumb rubberized concrete incorporating corrugated round steel fibers. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 24(2), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S43452-024-00883-Z/METRICS>
- Gorde, P. J., & Naktode, P. L. (2022). Chemically treated tyre rubber concrete review. *Materials Today: Proceedings*, 60, 508–512. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.421>
- Gravina, R. J., & Xie, T. (2022). Toward the development of sustainable concrete with Crumb Rubber: Design-oriented Models, Life-Cycle-Assessment and a site application.

- Construction and Building Materials*, 315, 125565.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.125565>
- Guaspacha, D. F. (2022). “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MOLINO PULVERIZADOR PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN DE UNCARIA TOMENTOSA (UÑA DE GATO).”
- Habib, A., Yildirim, U., & Eren, O. (2021). Seismic Behavior and Damping Efficiency of Reinforced Rubberized Concrete Jacketing. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(5), 4825–4839. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05191-1>
- Hamdi, A., Abdelaziz, G., & Farhan, K. Z. (2021). Scope of reusing waste shredded tires in concrete and cementitious composite materials: A review. In *Journal of Building Engineering* (Vol. 35). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102014>
- Hassan, M. K., Ibrahim, M. I., Shill, S. K., & Al-Deen, S. (2024). Mechanical Properties of Rubberised Geopolymer Concrete. *Materials 2024*, Vol. 17, Page 1031, 17(5), 1031. <https://doi.org/10.3390/MA17051031>
- Hernández, E., Palermo, A., Chiaro, G., & Scott, A. (2025). Cyclic behavior of reinforced rubberized concrete columns under flexure-shear interaction. *Engineering Structures*, 330, 119963. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2025.119963>
- Hernandez, M., Jiménez, S., & Sánchez, J. I. (2021). Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Revista Tecnología En Marcha*, 34(2), 3–10. <https://doi.org/10.18845/TM.V34I2.4831>
- Hernández, Roberto., & Mendoza, C. Paulina. (2018). *Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- HOLCIM. (2023). *CLIMA ÉTICA Y CUMPLIMIENTO PERFIL DE LA EMPRESA GOBIERNO CORPORATIVO EXPERIENCIA DEL CLIENTE Y SOLUCIONES SOSTENIBLES NATURALEZA: AGUA Y BIODIVERSIDAD ECONOMÍA CIRCULAR GENTE Y COMUNIDADES DESEMPEÑO ECONÓMICO*.
- Huang, X., Wang, T., Pang, J., & Song, F. (2022). Experimental Study on the Effect of Freeze–Thaw Cycles on the Apparent and Mechanical Properties of Rubber Concrete Under Chloride Environment. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(4), 4133–4153. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05922-y>
- Indirapriyadharshini, J., Sivaranjani, T., Karthikprabu, B., Saktheeswaran, G., & Prince Paul, R. (2021). Design and fabrication of automated oil spraying machine for baking system.

- Materials Today: Proceedings*, 81(2), 267–272.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.187>
- Indirapriyadharshini, J., Sivaranjani, T., Karthikprabu, B., Saktheeswaran, G., & Prince Paul, R. (2023). Design and fabrication of automated oil spraying machine for baking system. *Materials Today: Proceedings*, 81(2), 267–272.
<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.03.187>
- Indraratna, B., Mehmood, F., Mishra, S., Ngo, T., & Rujikiatkamjorn, C. (2022). The role of recycled rubber inclusions on increased confinement in track substructure. *Transportation Geotechnics*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100829>
- INEC. (2024). *Boletin_Tecnico_GRS_2023*.
- Islam, M. M. U., Li, J., Wu, Y. F., Roychand, R., & Saberian, M. (2022). Design and strength optimization method for the production of structural lightweight concrete: An experimental investigation for the complete replacement of conventional coarse aggregates by waste rubber particles. *Resources, Conservation and Recycling*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106390>
- Jeleč, K., Grubišić, M., Guljaš, I., & Kalman Šipoš, T. (2022). Bond-slip behavior of self-consolidating rubberized concrete. *Construction and Building Materials*, 346, 128378. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128378>
- Ji, Y., & Sun, Q. (2023). Experimental and numerical investigation of recycled rubber foam concrete. *Alexandria Engineering Journal*, 76, 573–594. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2023.06.057>
- Ji, Y., & Xia, Q. (2025). Probing mechanical attributes and microstructural ties in modified concrete blended with recycled rubber and straw powder. *Scientific Reports*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/S41598-025-91009-9>;SUBJMETA=1023,1025,166,301,639,986;KWRD=CIVIL+ENGINEERING,COMPOSITES
- Journal Of Engineering, N., Abubakar, A., Anwar, F. H., Bashir, Y., Bello, Z. A., & Abubakar, A. A. (2022). Influencia de la sustitución parcial de arena por caucho granulado en bloques de mampostería. *Nigerian Journal Of*, 29(1), 2705–3954. <https://www.ajol.info/index.php/njeng/article/view/232867>
- Karunarathna, S., Linforth, S., Kashani, A., Liu, X., & Ngo, T. (2021). Effect of recycled rubber aggregate size on fracture and other mechanical properties of structural concrete. *Journal of Cleaner Production*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128230>

- Khaldi, N., Kherraf, L., Aidoud, A., Bencheikh, M., Belachia, M., Benhamida, S., & Dokhane, R. (2022). Effect of the Incorporation of Recycled Rubber Aggregates on the Behavior of Self-Compacting Concrete. *Annales de Chimie: Science Des Materiaux*, 46(5), 251–258. <https://doi.org/10.18280/ACSM.460504>
- Lainez, J. G., & Quirumbay, J. L. (2023). *Diseño y construcción de una máquina trituradora tipo garra para procesar desechos de caucho*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26470>
- Lema, W., & Ramírez, E. (2023). “*Diseño e implementación de una máquina picadora de materia orgánica en el campus ceasa ubicada en el sector de Salache.*” Ecuador : Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10359>
- Leyva, J., & Guerra, Y. (2020). Objeto de investigación y campo de acción: componentes del diseño de una investigación científica. *EDUMECENTRO*, 12(3), 241–260. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742020000300241&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- López, K., & Sevillano, M. (2021). Gobierno electrónico y la participación ciudadana en Agro Rural, Dirección Zonal Moquegua, 2021. *Educatio Siglo XXI*, 38(1), 53–78. <https://doi.org/10.6018/educatio.413141>
- MAATE. (2022). *ACUERDO MINISTERIAL*.
- MacArthur Foundation, E. (2019, September 15). *The circular economy in detail*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive>
- Madrid, M., Frómeta, Y. G., Cuadrado, J., & Blanco, J. M. (2022). Análisis de ciclo de vida en bloques de hormigón: comparación del impacto producido entre bloques tradicionales y con subproductos. *Informes de La Construcción*, 74(566), e438–e438. <https://doi.org/10.3989/IC.88125>
- Mandrile, D., Donolo, ;, Castellino, ;, Cuello, ;, García, ;, Pezzani, ;, & Zanelli, Y. (2024). Análisis del desempeño de máquinas eléctricas rotativas bajo diferentes condiciones de funcionamiento en ambientes industriales. *Vetec Revista Académica de Investigación, Docencia y Extensión de Las Ciencias Veterinarias*, 5(3), 55–57. <https://cerac.unlpam.edu.ar/ojs/index.php/Vetec/article/view/8822>
- Matar, M. S., & Alkhatib, S. E. (2023). Analysis of a stepped shaft in a rubber cracker machine. *Engineering Failure Analysis*, 152, 107508. <https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2023.107508>

- Matiacevich, S., Madrid, D. S., & Cutiño, M. G. (2023). Economía circular: obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de desechos agroindustriales. *RIVAR*, 10(28), 77–100. <https://doi.org/10.35588/RIVAR.V10I28.5343>
- Mendoza, S., & Ávila, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*, 9(17), 51–53. <https://doi.org/10.29057/ICEA.V9I17.6019>
- Mercado, P. J. A., & Coronado, M. J. M. (2021). El muestreo y su relación con el diseño metodológico de la investigación. *Centro-Investigacion-Innovacion ...* <https://centro-investigacion-innovacion-educativa.bravesites.com/files/documents/306aa3ba-3be8-4e59-ab4d-51508f7513c6.pdf#page=82>
- Miah, M. J., Huaping, R., Paul, S. C., Babafemi, A. J., Sharma, R., & Jang, J. G. (2023). Performance of eco-friendly concrete made from recycled waste tire fine aggregate as a replacement for river sand. *Structures*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105463>
- Ming, P., Lu, J., Cai, X., Liu, M., & Chen, X. (2020). Analysis of the Crack Evolution Process in Crumb Rubber Concrete Based on Acoustic Emission Technology. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(7), 2088–2098. <https://doi.org/10.1007/S12205-020-1508-X>
- Miranda, A., Muñoz, R., Aedo, C., Bustos, F., Tuninetti, V., Valenzuela, M., Medina, C., & Oñate, A. (2024). High-Performance Concrete from Rubber and Shell Waste Materials: Experimental and Computational Analysis. *Materials 2024, Vol. 17, Page 5516, 17(22)*, 5516. <https://doi.org/10.3390/MA17225516>
- Molina, G., Orlando, N., & Lima, R. (2020). *Dialnet-EvaluacionDelImpactoAmbientaldeLosDesechosProducid-8280938*.
- Morazán, P. (2021). Teoría y práctica del desarrollo sostenible. *Revista Perspectivas Del Desarrollo*, 6(1), 302–313. <https://doi.org/10.5377/RPDD.V6I1.12452>
- Mueses, S. F. (2020). *MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA LA OBTENCIÓN DE GRANULOMETRÍA FINA*.
- Muñoz, S., Cabrera, A., Delgado, C., & Renilla, P. (2022). Comportamiento físico-mecánico del hormigón adicionando residuos de acero: una revisión literaria. *Redalyc.OrgSP Muñoz-Pérez, AL Cabrera-Alcántara, CC Delgado-Bravo, PA Renilla-LauRevista UIS Ingenierías, 2022•redalyc.Org, 21(1), 57–72*. <https://doi.org/10.18273/revuin.v21n1-2022005>
- Núñez, J. M., Del Amor Collado, E., & Rey, F. (2021). Economía circular en la industria de la moda: pilares básicos del modelo. *Revista de Ciencias Sociales, ISSN-e 1315-9518, Vol.*

27, N°. Extra 4, 2021, Págs. 162-176, 27(4), 162–176.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8145515&info=resumen&idioma=EN>
G

Ochoa, O. L., & Villanueva, R. (2020). Validez de constructo de un test para medir el nivel de cuidado infantil en educación primaria. *Dialnet.Unirioja.Es*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7925611>

ODS. (2030). *ODS 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles en América Latina y el Caribe I*.

Ogmios, S. F.-R. L. (2023). Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales. *Idicap.ComSFA FaneiteRevista Latinoamericana Ogmios, 2023•idicap.Com*.
<https://doi.org/10.53595/rlo.v3.i8.084>

Olodu, D., Aluya, F., & Walters, S. (2025). Design and Fabrication of a Locally Made Plastic Shredder. *ABUAD Journal of Engineering Research and Development*.
<https://doi.org/10.53982/ajerd>

Orte, C., Bellver, M. C., & Vives, M. (2025). La efectividad de la formación de formadores en intervenciones preventivas basadas en la evidencia. Una revisión sistemática basada en el protocolo PRISMA. *Pedagogía Social: Revista Interuniversitaria, ISSN-e 1989-9742, N°. 46 (Monográfico), 2025 (Ejemplar Dedicado a: La Formación de Profesionales), Págs. 15-39, 46(46), 15–39*. https://doi.org/10.7179/PSRI_2025.46.01

Pacheco, C. A., Sánchez, E. H., & Páez, C. (2020). Una visión de ciudad sostenible desde el modelo de gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) caso de estudio: Barranquilla. *Tecnura, 24(63), 68–83*. <https://doi.org/10.14483/22487638.15359>

Padilla, L., Díaz, Á., & Anzules, W. (2024). Eco-management of end-of-life tires: Advances and challenges for the Ecuadorian case. *Waste Management and Research*.
https://doi.org/10.1177/0734242X241237104/ASSET/F0C4E4DC-6793-4CD4-8733-A8D4D74F04FF/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_0734242X241237104-FIG5.JPG

Pais, A. (2020). Diseño mecánico de una prótesis mioeléctrica de la mano humana. *Idus.Us.EsAMP GonzálezEscuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla, 2020•idus.Us.Es*. <https://idus.us.es/bitstreams/d4eff378-0160-4614-b65d-7048894f978c/download>

Palacios, B. V. L., Valdez, R. J. M., Fuentes, K. L. A., & Galarza, F. A. C. (2025). Las nuevas herramientas digitales en el aprendizaje en línea. Una revisión sistemática. *RECIMUNDO, 9(1), 809–823*. [https://doi.org/10.26820/recimundo/9.\(1\).enero.2025.809-823](https://doi.org/10.26820/recimundo/9.(1).enero.2025.809-823)

- Pei, Y., Han, B., Kumar, D., Adams, S. D., Khoo, S. Y., Norton, M., & Kouzani, A. Z. (2024). Mechanical processes for recycling of End-of-Life Tyres. *Sustainable Materials and Technologies*, 41, e01050. <https://doi.org/10.1016/J.SUSMAT.2024.E01050>
- Pérez, M., Peinado, A. F. Á., Rodríguez, B. J. R., Escorcia, S. P., & Acevedo, J. (2023). Diseño electromecánico de una máquina trituradora de tapas plásticas para la fabricación de albergues animales. *CESTA*, 4(1), 19–34. <https://doi.org/10.17981/CESTA.04.01.2023.03>
- Pham, T. M., Davis, J., Ha, N. S., Pournasiri, E., Shi, F., & Hao, H. (2021). Experimental investigation on dynamic properties of ultra-high-performance rubberized concrete (UHPRuC). *Construction and Building Materials*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125104>
- Piedra, J. A., & Manqueros, J. M. (2021). El muestreo y su relación con el diseño metodológico de la investigación. *Centro-Investigacion-Innovacion ...*. <https://centro-investigacion-innovacion-educativa.bravesites.com/files/documents/306aa3ba-3be8-4e59-ab4d-51508f7513c6.pdf#page=82>
- Pizoń, J., Matýsková, K., Hornáková, M., Gołaszewska, M., & Kratošová, G. (2025). Recycled concrete paving block waste as a selected sustainable substitute for natural aggregate in cement composites. *Construction and Building Materials*, 478, 141356. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2025.141356>
- Pongsopha, P., Sukontasukkul, P., Zhang, H., & Limkatanyu, S. (2022). Thermal and acoustic properties of sustainable structural lightweight aggregate rubberized concrete. *Results in Engineering*, 13, 100333. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2022.100333>
- Quispe, G. R. (2020). *Diseño y construcción de una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría de 2 a 5 mm para la empresa Grisand Import-Export EIRL, Juliaca*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8537>
- Ramírez, A., & Polack, A. (2020). Estadística inferencial. Elección de una prueba estadística no paramétrica en investigación científica. *Redalyc.Org*, 10, 191–208. <https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2020.19.597>
- Raudales, E. V., Acosta, J. V., & Aguilar, P. A. (2024). Economía circular: una revisión bibliométrica y sistemática. *Región Científica*, 3(1), 2024192–2024192. <https://doi.org/10.58763/RC2024192>
- Raul, M., Roque, M., & Roque, M. M. (2024). Adoquines Renovables: El Impacto del Caucho Reciclado en la Infraestructura Urbana. *TecnoHumanismo, ISSN-e 2710-2394, Vol. 4, Nº. 2, 2024 (Ejemplar Dedicado a: Innovaciones En Ingeniería Sostenible Para Un Futuro*

- Resiliente*), Págs. 1-147, 4(2), 1-147.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9862373&info=resumen&idioma=SPA>
- Rodríguez, J. (2020). Calcular la confiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS : el coeficiente alfa de Cronbach. *REIRE Revista d'*.
<https://revistes.ub.edu/index.php/REIRE/article/view/30048>
- Rúa, E., Jiménez, F., Gutiérrez, G., & Villamizar, N. (2018). Impresión 3D como Herramienta Didáctica para la Enseñanza de Algunos Conceptos de Ingeniería y Diseño. *Ingeniería*, 23(1), 70–83. <https://doi.org/10.14483/23448393.12248>
- Ruiz, G. L. (2022). Economía circular:¿ un enfoque económico en la producción o en el ser humano y el medio ambiente? *Dialnet.Unirioja.EsGLR CabreraRevista de La Academia*, 2022•*dialnet.Unirioja.Es*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9557412>
- Sabbrojjaman, M., Liu, Y., & Tafsirojjaman, T. (2024). A comparative review on the utilisation of recycled waste glass, ceramic and rubber as fine aggregate on high performance concrete: Mechanical and durability properties. *Developments in the Built Environment*, 17, 100371. <https://doi.org/10.1016/J.DIBE.2024.100371>
- Sai Neeraja, V., & Sharma, V. (2023). An overview of fresh and mechanical properties of recycled coarse aggregate self- compacting concrete. *Materials Today: Proceedings*, 93, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.120>
- Sanjuán, M. A., Argiz, C., Mora, P., & Zaragoza, A. (2020). Carbon Dioxide Uptake in the Roadmap 2050 of the Spanish Cement Industry. *Energies 2020, Vol. 13, Page 3452*, 13(13), 3452. <https://doi.org/10.3390/EN13133452>
- Sathiparan, N., & Subramaniam, D. N. (2024). Potential use of crushed waste glass and glass powder in sustainable pervious concrete: A review. *Cleaner Waste Systems*, 9, 100191. <https://doi.org/10.1016/J.CLWAS.2024.100191>
- Segura, Á. M., Rojas, L. A., & Pulido, Y. A. (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos. *Revistaespacios.ComA Segura, L Rojas, Y PulidoRevista Espacios*, 2020•*revistaespacios.Com*.
<https://revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p22.pdf>
- Serna, J. L., Sernaque, M., Moreano, A., Damas, M., Garcia, M., Aucchahuaque, K., & Anticona, D. (2023). Innovative design of a plastic shredder for sustainable cities. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LEIRD2023.1.1.251>

- Shi, Y., Han, L., Wu, P., Dai, K., Liu, Z., & Wu, C. (2025). Design of 3D printing green ultra-high performance concrete based on binder system optimization. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04625. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2025.E04625>
- Taco, V., Gonzales, O., & Bonifaz, P. (2021). Diseño y construcción de una máquina trituradora y granuladora de plástico de baja densidad como una herramienta de reciclaje. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3), 41–58. <https://doi.org/10.46480/ESJ.5.3.143>
- Támara, V. G. (2022). Enfoque cuantitativo: taxonomía desde el nivel de profundidad de la búsqueda del conocimiento. *Llalliq*, 2(1), ág. 13-27. <https://doi.org/10.32911/LLALLIQ.2022.V2.N1.936>
- Tang, P., Xie, B., Zhao, G., Zhu, W., Wang, W., & Ma, W. (2025). Study on the crushing characteristics of polymetallic nodules based on the single-tooth roller crusher. *Powder Technology*, 462. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2025.121138>
- Tang, Y., Wang, Y., Wu, D., Chen, M., Pang, L., Sun, J., Feng, W., & Wang, X. (2023). Exploring temperature-resilient recycled aggregate concrete with waste rubber: An experimental and multi-objective optimization analysis. *Reviews on Advanced Materials Science*, 62(1), 20230347. <https://doi.org/10.1515/RAMS-2023-0347>
- Tanhadoust, A., Emadi, S. A. A., Nasrollahpour, S., Dabbaghi, F., & Nehdi, M. L. (2023a). Optimal design of sustainable recycled rubber-filled concrete using life cycle assessment and multi-objective optimization. *Construction and Building Materials*, 402, 132878. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.132878>
- Tanhadoust, A., Emadi, S. A. A., Nasrollahpour, S., Dabbaghi, F., & Nehdi, M. L. (2023b). Optimal design of sustainable recycled rubber-filled concrete using life cycle assessment and multi-objective optimization. *Construction and Building Materials*, 402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132878>
- Ullah, H., Iqbal, M., Khan, K., Jamal, A., Nawaz, A., Khan, N., Jalal, F. E., Almaliki, A. H., & Hussein, E. E. (2022). Experimental Investigation of the Stress–Strain Behavior and Strength Characterization of Rubberized Reinforced Concrete. *Materials 2022, Vol. 15, Page 730*, 15(3), 730. <https://doi.org/10.3390/MA15030730>
- Unidas, N. (2030). *Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora*. www.cepal.org/apps
- Universidad Milagro, L. DE, Felipe Romero Paredes, S., & Estatal de Milagro -Ecuador Victor Xavier Pincay Sánchez, U. (2024). Diseño de prototipo de hormigón permeable para áreas

- recreativas en la Universidad de Milagro (UNEMI). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 8352–8370. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I4.12999
- Valente, M., Sambucci, M., Chougan, M., & Ghaffar, S. H. (2022). Reducing the emission of climate-altering substances in cementitious materials: A comparison between alkali-activated materials and Portland cement-based composites incorporating recycled tire rubber. *Journal of Cleaner Production*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130013>
- Vasilyeva, N., Golyshevskaya, U., & Sniatkova, A. (2023). Modeling and Improving the Efficiency of Crushing Equipment. *Symmetry 2023, Vol. 15, Page 1343, 15(7)*, 1343. <https://doi.org/10.3390/SYM15071343>
- Villanueva, P. B., Barrio, M. I. P., & Escamilla, A. C. (2025a). Performance of Microconcretes with Different Percentages of Recycled Tire Rubber Granulate. *Applied Mechanics 2025, Vol. 6, Page 3, 6(1)*, 3. <https://doi.org/10.3390/APPLMECH6010003>
- Villanueva, P. B., Barrio, M. I. P., & Escamilla, A. C. (2025b). Performance of Microconcretes with Different Percentages of Recycled Tire Rubber Granulate. *Applied Mechanics*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/applmech6010003>
- Wang, J., & Du, B. (2020). Experimental studies of thermal and acoustic properties of recycled aggregate crumb rubber concrete. *Journal of Building Engineering*, 32, 101836. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101836>
- Wijesinghe, K. A. P., Lanarolle, G., Gunasekara, C., Law, D. W., Hidallana-Gamage, H. D., & Wang, L. (2025). Thermal and acoustic performance of solid waste incorporated cement based composites: an analytical review. *Archives of Civil and Mechanical Engineering 2025 25:2, 25(2)*, 1–26. <https://doi.org/10.1007/S43452-025-01160-3>
- Yadav, A., Sachdeva, A., Garg, R. K., Qureshi, K. M., Mewada, B. G., Almakayel, N., & Qureshi, M. R. N. M. (2024). Unlocking net-zero supply chain performance system through life cycle assessment: Empirical evidence from rubber industry. *Heliyon*, 10(21), e39944. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E39944>
- Yu, Y., Jin, Z., Zhu, H., & Song, H. (2021). Effect of rubber particles on impact resistance of concrete at a temperature of – 20 °C. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 21(3). <https://doi.org/10.1007/s43452-021-00257-9>
- Zambrano, P. V. M., Logroño, J. P. A., Valdez, R. E. U., & Boggio, E. F. (2021). Puerto Madero Editorial Académica. *Puerto Madero Editorial Académica*. <https://doi.org/10.55204/PMEA.21>

- Zedler, Ł., Wang, S., & Formela, K. (2022). Ground tire rubber functionalization as a promising approach for the production of sustainable adsorbents of environmental pollutants. *Science of The Total Environment*, 836, 155636. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.155636>
- Zu, Q., Chen, Z., Xie, M., & Abdufattokhov, S. (2023). de Control Inteligente de Automatización Eléctrica Basado en Tecnología de Internet de las Cosas. *Eléctrica*. <https://doi.org/10.5152/electrica.2023.22117>

ANEXOS

Anexo 1.

Matriz de operacionalización de variables.

PROTOTIPO PULVERIZADOR DE CAUCHO RECICLADO PARA ELABORAR HORMIGÓN SOSTENIBLE EN TALLERES UPSE, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	Dimensiones	Indicadores	Técnica / Instrumento	Preguntas			
Prototipo pulverizador de caucho reciclado	Se refiere al proceso de concepción técnica y estructural de un dispositivo experimental, orientado a validar su funcionalidad y eficiencia en condiciones reales. En este contexto, se aplica al desarrollo de una máquina destinada al reciclado, considerando criterios de innovación, factibilidad y adecuación al entorno operativo (Sema-Landivar et al., 2023)	El diseño de un prototipo es medido a través de la identificación de sus componentes estructurales, materiales utilizados, planos técnicos y se evalúa mediante técnicas de observación, análisis documental y fichas técnicas que permiten verificar su viabilidad, y adecuación al propósito previsto (Olodu et al., 2025)	<p>Eficiencia de trituración: Se refiere al rendimiento con el que una máquina o sistema reduce el tamaño de materiales sólidos en partículas más pequeñas (Vasilyeva et al., 2023)</p> <p>Consumo energético Se define como la cantidad total de energía requerida por un sistema durante su operación (Científica & Ingeniar, 2024)</p> <p>Capacidad Operativa Se entiende como la cantidad de material que un equipo puede procesar en un tiempo determinado, lo cual condiciona su productividad y eficacia en ambientes reales de trabajo (Mandrile et al., 2024)</p> <p>Facilidad de mantenimiento Posibilidad de realizar inspecciones, reparaciones y ajustes de forma rápida y efectiva, sin requerir habilidades técnicas avanzadas ni herramientas especializadas</p> <p>Costo de fabricación Abarca todos los recursos económicos invertidos en la producción de un diseño o sistema, incluyendo materiales, mano de obra, herramientas y energía (Axel et al., 2025)</p>	<p>11. Tamaño promedio de partícula obtenida (mm)</p> <p>12. Consumo de energía por kilogramo de caucho procesado (kWh/kg)</p> <p>13. Potencia promedio del motor durante la operación (W)</p> <p>14. Kilogramos de caucho procesado por hora (kg/h)</p> <p>15. Frecuencia de mantenimiento requerido (n° de mantenimientos/mes)</p> <p>16. Tiempo promedio requerido para desmontaje y limpieza (min)</p> <p>17. Costo total de ensamblaje y mano de obra (S/.)</p>	<p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p>	<p>¿Considera que el prototipo produce partículas de caucho de tamaño adecuado para su reutilización?</p> <p>¿Cree que el prototipo logra una trituración eficiente del caucho reciclado?</p> <p>¿Cree que el consumo energético del prototipo es bajo en relación a su capacidad?</p> <p>¿Piensa que el motor del prototipo trabaja con una potencia adecuada para su objetivo?</p> <p>¿Considera que el prototipo procesa una cantidad suficiente de caucho por hora?</p> <p>¿Cree que la capacidad de procesamiento del prototipo es adecuada para trabajos continuos?</p> <p>¿Cree que el prototipo requiere poco mantenimiento para su correcto funcionamiento?</p> <p>¿Considera fácil el proceso de limpieza del prototipo luego de su uso?</p> <p>¿Piensa que el ensamblaje del prototipo requiere baja inversión en mano de obra?</p> <p>¿Cree que el costo de construcción del prototipo es competitivo en comparación con otros sistemas?</p>			
			Elaboración de hormigón sostenible	El hormigón sostenible es un material compuesto para la construcción que incorpora elementos reciclados o alternativos (como caucho, vidrio, escorias o residuos metálicos) (Pizón et al., 2025)	El hormigón sostenible se operativiza como una mezcla cementicia elaborada en laboratorio Se evaluará su comportamiento a través de ensayos técnicos que midan propiedades como la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y la densidad (Madrid et al., 2022)	<p>Resistencia mecánica Se define como la capacidad de un material para soportar diferentes tipos de esfuerzos o cargas externas sin sufrir fallas estructurales (Cuitiño-Rosales et al., 2019)</p> <p>Proporción de materiales reciclados Estudia el comportamiento característico del hormigón con caucho de neumáticos, con respecto a la resistencia a la flexión y al módulo de elasticidad (Fioriti et al., 2020)</p> <p>Impacto ambiental Se refiere a cualquier alteración significativa, positiva o negativa, provocada por actividades humanas o fenómenos naturales (Molina Toala et al., 2020)</p> <p>Durabilidad Es la capacidad que posee un material para resistir sin deteriorarse significativamente, (Gerges et al., 2018)</p> <p>Costo de producción se refiere al conjunto de gastos necesarios para elaborar este tipo de concreto, considerando tanto los insumos tradicionales como los materiales alternativos reciclados (Crespo Arizaga et al., 2020)</p>	<p>18. Resistencia a la compresión</p> <p>19. Porcentaje de caucho reciclado respecto al agregado total (%)</p> <p>110. Volumen total de materiales reciclados por mezcla (kg/m³)</p> <p>111. Porcentaje de materiales no vírgenes utilizados en la mezcla (%)</p> <p>112. Porcentaje de absorción de agua (%)</p> <p>113. Costo total por metro cúbico de hormigón (S/./m³)</p>	<p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p> <p>Encuesta - Cuestionario</p>	<p>¿Considera que este tipo de hormigón es estructuralmente confiable?</p> <p>¿Cree que el hormigón elaborado tiene suficiente resistencia a la compresión?</p> <p>¿Cree que el uso de caucho reciclado en el hormigón es significativo?</p> <p>¿Piensa que se incorporó una buena cantidad de materiales reciclados en el hormigón?</p> <p>¿Piensa que la mezcla del hormigón favorece el uso de recursos reciclados?</p> <p>¿Cree que el hormigón sostenible evita el uso excesivo de materiales vírgenes?</p> <p>¿Considera que el hormigón elaborado es resistente a la humedad?</p> <p>¿Cree que la absorción de agua del hormigón es baja?</p> <p>¿Cree que el costo de este hormigón es competitivo frente al convencional?</p> <p>¿Considera que el uso de reciclados permite reducir el costo final?</p>

Anexo 2.

Cuestionario de recolección de datos.

**ANEXO 2. CUESTIONARIO DE RECOLECCIÓN DE DATOS
INSTRUMENTO: CUESTIONARIO PROTOTIPO PULVERIZADOR DE CAUCHO**

Sexo: Masculino (x) Femenino () Cédula: 2450893074
Edad: (42)
Instrucciones: Estimado trabajador, opina sobre prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible
Marca solo una puntuación de la escala que crees que cumple por cada ítem

Variable / Dimensiones / Indicadores / Ítems	1. Totalmente en desacuerdo	2. En desacuerdo	3. Neutral	4. De acuerdo	5. Totalmente de acuerdo	
Variable Independiente: Prototipo Pulverizador de caucho reciclado						
Dimensión 1: Eficiencia de trituración						
Indicador: Tamaño promedio de partícula obtenida (mm)						
1	¿Considera que el prototipo produce partículas de caucho de tamaño adecuado para su reutilización?	1	2	3	4	5
Indicador: Tamaño promedio de partícula obtenida (mm)						
2	¿Cree que el prototipo logra una trituración eficiente del caucho reciclado?	1	2	3	4	5
Dimensión 2: Consumo energético						
Indicador: Consumo de energía por kilogramo de caucho procesado (kWh/kg)						
3	¿Cree que el consumo energético del prototipo es bajo en relación a su capacidad?	1	2	3	4	5
Indicador: Potencia promedio del motor durante la operación (W)						
4	¿Piensa que el motor del prototipo trabaja con una potencia adecuada para su objetivo?	1	2	3	4	5
Dimensión 3: Capacidad Operativa						
Indicador: Kilogramos de caucho procesado por hora (kg/h)						
5	¿Considera que el prototipo procesa una cantidad suficiente de caucho por hora?	1	2	3	4	5
Indicador: Kilogramos de caucho procesado por hora (kg/h)						
6	¿Cree que la capacidad de procesamiento del prototipo es adecuada para trabajos continuos?	1	2	3	4	5
Dimensión 4: Facilidad de mantenimiento						
Indicador: Frecuencia de mantenimiento requerido (n° de mantenimientos/mes)						
7	¿Cree que el prototipo requiere poco mantenimiento para su correcto funcionamiento?	1	2	3	4	5
Indicador: Tiempo promedio requerido para desmontaje y limpieza (min)						
8	¿Considera fácil el proceso de limpieza del prototipo luego de su uso?	1	2	3	4	5
Dimensión 5: Costo de fabricación						
Indicador: Costo total de ensamblaje y mano de obra (S/.)						
9	¿Piensa que el ensamblaje del prototipo requiere baja inversión en mano de obra?	1	2	3	4	5
Indicador: Costo total de ensamblaje y mano de obra (S/.)						
10	¿Cree que el costo de construcción del prototipo es competitivo en comparación con otros sistemas?	1	2	3	4	5
Variable Dependiente: Elaboración de Hormigón Sostenible						
Dimensión 6: Resistencia mecánica						
Indicador: Resistencia a la compresión						
11	¿Considera que este tipo de hormigón es estructuralmente confiable?	1	2	3	4	5
Indicador: Resistencia a la compresión						
12	¿Cree que el hormigón elaborado tiene suficiente resistencia a la compresión?	1	2	3	4	5
Dimensión 7: Proporción de materiales reciclados						
Indicador: Porcentaje de caucho reciclado respecto al agregado total (%)						
13	¿Cree que el uso de caucho reciclado en el hormigón es significativo?	1	2	3	4	5
Indicador: Volumen total de materiales reciclados por mezcla (kg/m³)						
14	¿Piensa que se incorporó una buena cantidad de materiales reciclados en el hormigón?	1	2	3	4	5
Dimensión 8: Impacto ambiental						
Indicador: Porcentaje de materiales no vírgenes utilizados en la mezcla (%)						
15	¿Piensa que la mezcla del hormigón favorece el uso de recursos reciclados?	1	2	3	4	5
Indicador: Porcentaje de materiales no vírgenes utilizados en la mezcla (%)						
16	¿Cree que el hormigón sostenible evita el uso excesivo de materiales vírgenes?	1	2	3	4	5
Dimensión 9: Durabilidad						
Indicador: Porcentaje de absorción de agua (%)						
17	¿Considera que el hormigón elaborado es resistente a la humedad?	1	2	3	4	5
Indicador: Porcentaje de absorción de agua (%)						
18	¿Cree que la absorción de agua del hormigón es baja?	1	2	3	4	5
Dimensión 10: Costo de Producción						
Indicador: Costo total por metro cúbico de hormigón (S./m³)						
19	¿Cree que el costo de este hormigón es competitivo frente al convencional?	1	2	3	4	5
Indicador: Nivel de coordinación entre producción y despacho						
20	¿Considera que el uso de reciclados permite reducir el costo final?	1	2	3	4	5

Anexo 3.

Matriz de Validación por criterio de expertos.

Anexo 3. Matriz de validación por criterio de jueces o juicios de expertos																			
Instrumentos de variables: Prototipo pulverizador de caucho reciclado y Elaboración de hormigón sostenible																			
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ITEMS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN										OBSERVACIÓN Y/O RECOMENDACIÓN					
				RELACIÓN ENTRE LA VARIABLE Y LA DIMENSIÓN		RELACIÓN ENTRE LA DIMENSIÓN Y EL INDICADOR		RELACIÓN ENTRE EL INDICADOR Y EL ÍTEM		RELACIÓN ENTRE EL ÍTEM Y LA OPCIÓN DE RESPUESTA									
				Si	No	Si	No	Si	No	Si	No								
VI: Prototipo Pulverizador de caucho reciclado	Eficiencia de trituración	11. Tamaño promedio de partícula obtenida (mm)	1. ¿Considera que el prototipo produce partículas de caucho de tamaño adecuado para su reutilización?	1. Totalmente en desacuerdo	2. En desacuerdo	3. Neutral	4. De acuerdo	5. Totalmente de acuerdo									X		
			2. ¿Cree que el prototipo logra una titulación eficiente del caucho reciclado?																X
		Consumo energético	12. Consumo de energía por kilogramo de caucho procesado (kWh/kg)	3. ¿Cree que el consumo energético del prototipo es bajo en relación a su capacidad?															X
			13. Potencia promedio del motor durante la operación (W)	4. ¿Piensa que el motor del prototipo trabaja con una potencia adecuada para su objetivo?															X
	Capacidad Operativa	14. Kilogramos de caucho procesado por hora (kg/h)	5. ¿Considera que el prototipo procesa una cantidad suficiente de caucho por hora?															X	
			6. ¿Cree que la capacidad de procesamiento del prototipo es adecuada para trabajos continuos?																X
	Facilidad de mantenimiento	15. Frecuencia de mantenimiento requerido (n° de mantenimientos/mes)	7. ¿Cree que el prototipo requiere poco mantenimiento para su correcto funcionamiento?															X	
			8. ¿Considera fácil el proceso de limpieza del prototipo luego de su uso?																X
	Costo de fabricación	17. Costo total de ensamble y mano de obra (S.)	9. ¿Piensa que el ensamble del prototipo requiere baja inversión en mano de obra?															X	
			10. ¿Cree que el costo de construcción del prototipo es competitivo en comparación con otros sistemas?																X

VD: Elaboración de hormigón sostenible	Resistencia mecánica	18. Resistencia a la compresión	11	¿Considera que este tipo de hormigón es estructuralmente confiable?					X
			12	¿Cree que el hormigón elaborado tiene suficiente resistencia a la compresión?	X	X	X		X
	Proporción de materiales reciclados	19. Porcentaje de caucho reciclado respecto al agregado total (%)	13	¿Cree que el uso de caucho reciclado en el hormigón es significativo?				X	X
			14	¿Piensa que se incorporó una buena cantidad de materiales reciclados en el hormigón?	X	X		X	X
	Impacto ambiental	111. Porcentaje de materiales no vírgenes utilizados en la mezcla (%)	15	¿Piensa que la mezcla del hormigón favorece el uso de recursos reciclados?					X
			16	¿Cree que el hormigón sostenible evita el uso excesivo de materiales vírgenes?	X	X	X		X
	Durabilidad	112. Porcentaje de absorción de agua (%)	17	¿Considera que el hormigón elaborado es resistente a la humedad?					X
			18	¿Cree que la absorción de agua del hormigón es baja?	X	X	X		X
	Costo de producción	113. Costo total por metro cúbico de hormigón (S./m³)	19	¿Cree que el costo de este hormigón es competitivo frente al convencional?					X
			20	¿Considera que el uso de reciclados permite reducir el costo final?	X	X	X		X

Anexo 4.

Matriz de consistencia.

"PROTOTIPO PULVERIZADOR DE CAUCHO RECICLADO PARA ELABORAR HORMIGÓN SOSTENIBLE EN TALLERES UPSE PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR"					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	JUSTIFICACIÓN	DISEÑO METODOLÓGICO
Problema General: ¿Cómo influye la implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado en la elaboración de hormigón sostenible en los talleres de la UPSE, provincia de Santa Elena?	Objetivo General: Diseñar un prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres Upse, Provincia de Santa Elena, Ecuador	Hipótesis General: H_1 : La implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado mejora las propiedades mecánicas del hormigón sostenible elaborado en los talleres de la UPSE. H_0 : La implementación de un prototipo pulverizador de caucho reciclado no mejora significativamente las propiedades mecánicas del hormigón sostenible elaborado en los talleres de la UPSE.	Variable Independiente: Prototipo Pulverizador de caucho reciclado	Teórica: Se sustenta en las teorías del desarrollo sostenible, economía circular, y principios técnicos asociados al reciclaje y reutilización de residuos industriales en la construcción. Este enfoque fomenta la innovación con base científica y proporciona fundamentos técnicos y científicos que fortalecen el campo interdisciplinario.	Tipo de estudio: Carácter aplicativo experimental
Problemas Específicos: PE1: ¿Qué investigaciones se han realizado sobre la utilización de caucho reciclado en el hormigón?	Objetivos Específicos: OE1: Recopilar información técnica y científica sobre el diseño de pulverizadores de caucho reciclado, mediante un marco teórico	Hipótesis específicas: HE1:		Práctica: Este estudio propone solucionar el problema concreto de acumulación de NFU mediante el diseño de un prototipo viable y económico, adaptado al contexto universitario, que permite producir hormigón sostenible con aplicaciones reales dentro de la provincia de Santa Elena. El desarrollo de maquinaria a escala prototipo para el tratamiento de residuos fortalece las capacidades prácticas de las instituciones.	Diseño: Sistemático experimental Área de estudio: Taller de la Upse
PE2: ¿Qué efectos tiene esta adición sobre las propiedades mecánicas del material?	OE2: Diseñar el prototipo de la máquina pulverizadora de caucho reciclado, mediante metodologías, herramientas de modelado mecánico como el software SolidWorks, principios de eficiencia y seguridad operacional.	HE2:	Variable dependiente: Para elaborar hormigón sostenible	Metodológica: Este estudio adopta un enfoque cuantitativo, sustentado en la recolección de datos objetivos y medibles, necesarios para establecer relaciones de causalidad entre variables mediante la manipulación sistemática dentro de un diseño experimental	Población: Cantidad de caucho pulverizado
PE3: ¿Qué tipos de máquinas pulverizadoras han sido diseñadas hasta la fecha?	OE3: Construir el prototipo de la máquina pulverizadora, basado en la normativa técnica ecuatoriana RTE INEN 037:2009 para diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas en los talleres de la UPSE, ubicado en la provincia de Santa Elena, Ecuador.			Social: El proyecto responde a una problemática ambiental de gran relevancia en la provincia de Santa Elena, como es la acumulación de neumáticos fuera de uso. Al promover el reciclaje de este residuo para integrarlo en procesos productivos locales, se fomenta una conciencia ecológica que promueve la sostenibilidad y aporta soluciones concretas.	Muestra: Granulometría para adición en bloques de hormigón

Anexo 5.

Validación por experto 1.

Validación de instrumento por Experto N° 1

Nombre de instrumento: Cuestionario de recolección de datos.

Objetivo: Conocer la perspectiva de los estudiantes y docentes sobre el diseño de prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres Upse, Provincia de Santa Elena, Ecuador

Dirigido a: Estudiantes y docentes de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Apellidos y nombres del evaluador: Ing. Véliz Aguayo Alejandro Crisóstomo

Grado académico del experto evaluador: Doctor En Ciencias Técnicas

Áreas de experiencia profesional: Técnica (x) Educativa (x)

Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área: 30 + años

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
x		

La Libertad, 2 de junio del 2025



Ing. Véliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, PhD

C.I: 0908182280

Experto 1

Anexo 6.

Validación por experto 2.

Validación de instrumento por Experto N° 2

Nombre de instrumento: Cuestionario de recolección de datos.

Objetivo: Conocer la perspectiva de los estudiantes y docentes sobre el diseño de prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres Upse, Provincia de Santa Elena, Ecuador

Dirigido a: Estudiantes y docentes de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Apellidos y nombres del evaluador: Ing. Bermeo Garcia Marco Vinicio

Grado académico del experto evaluador: Magister en Educación Educativa

Áreas de experiencia profesional: Profesional (x) Educativa (x)

Institución donde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área: 15 años

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
x		

La Libertad, 2 de junio del 2025



Ing. Bermeo Garcia Marco Vinicio

C.I: 1707326813

Experto 2

Anexo 7.

Validación por experto 3.

Validación de instrumento por Experto N° 3

Nombre de instrumento: Cuestionario de recolección de datos.

Objetivo: Conocer la perspectiva de los estudiantes y docentes sobre el diseño de prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres Upse, Provincia de Santa Elena, Ecuador

Dirigido a: Estudiantes y docentes de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Apellidos y nombres del evaluador: Ing. Pirela Añez Alonso Elías

Grado académico del experto evaluador: Doctor En Ciencias Gerenciales

Áreas de experiencia profesional: Técnica (x) Educativa (x)

Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área: 30 años

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
x		

La Libertad, 2 de junio del 2025



Ing. Pirela Añez Alonso Elías, PhD

C.I: 096248074

Experto 3

Anexo 8.
Validación por experto 4.

Validación de instrumento por Experto N° 4

Nombre de instrumento: Cuestionario de recolección de datos.

Objetivo: Conocer la perspectiva de los estudiantes y docentes sobre el diseño de prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres Upse, Provincia de Santa Elena, Ecuador

Dirigido a: Estudiantes y docentes de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Apellidos y nombres del evaluador: Ing. Herrera Brunett Gerardo Antonio

Grado académico del experto evaluador: PhD. Ciencias Ambientales

Áreas de experiencia profesional: Profesional (x) Educativa (x)

Institución donde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área: 35 años

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
x		


La Libertad, 2 de junio del 2025



Ing. Herrera Brunett Gerardo Antonio, PhD
C.I: 0909254260
Experto 4


Anexo 9.

Matriz por validación de juicio de experto 1.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																					
Título: Prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres Upse, Provincia de Santa Elena, Ecuador																					
Indicadores	Criterios	Totalmente en desacuerdo				En desacuerdo				Ni en de acuerdo ni en desacuerdo				De acuerdo		Totalmente de acuerdo					
		0-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	100	100	100	100	100	100	100				
Aspectos de Validación																					
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables																				98
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías y enfoques.																				95
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																				100
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos a necesarios a fortalecer.																				100
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																				98
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																				95
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				100
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																				100
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				97
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del cuestionario que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados															Promedio: 98		(Totalmente de acuerdo)				
La libertad, 2 de junio del 2025															Observaciones:						
															Experto:		Ing. Véliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, PhD				
															Grado académico:		Doctor en Ciencias Técnicas				
															Experiencia profesional:		Técnica (x) Educativa (x)				
															Tiempo de experiencia:		30 + años				
																	 Firma del Experto 1				


Anexo 10.

Matriz por validación de juicio de experto 2.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																					
Título: Prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres Upse, Provincia de Santa Elena, Ecuador																					
Indicadores	Criterios	Totalmente en desacuerdo				En desacuerdo				Ni en de acuerdo ni en desacuerdo				De acuerdo			Totalmente de acuerdo				
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
Aspectos de Validación		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				95
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables																				95
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías y enfoques.																				100
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																				100
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos a necesarios a fortalecer.																				98
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																				95
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																				98
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				100
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																				95
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				100
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del cuestionario que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados															Promedio: 97.6 (Totalmente de acuerdo)						
La libertad, 2 de junio del 2025															Observaciones:						
					Experto:		Ing. Bermeo García Marcos Vinicio														
					Grado académico:		Magister en Educación Educativa														
					Experiencia profesional:		Profesional (x) Educativa (x)														
					Tiempo de experiencia:		15 años														
															 Firma del Experto 2						

Anexo 11.

Matriz por validación de juicio de experto 3.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																					
Título: Prototipo pulverizador de caucho reciclado para elaborar hormigón sostenible en talleres Upse, Provincia de Santa Elena, Ecuador																					
Indicadores	Criterios	Totalmente en desacuerdo				En desacuerdo				Ni en de acuerdo ni en desacuerdo				De acuerdo		Totalmente de acuerdo					
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
Aspectos de Validación																					
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																				95
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables																				98
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías y enfoques.																				97
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																				100
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos a necesarios a fortalecer.																				98
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																				100
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																				96
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																				98
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																				100
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																				98
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del cuestionario que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados															Promedio: 98		(Totalmente de acuerdo)				
La libertad, 2 de junio del 2025															Observaciones:						
										Experto: Ing. Pirela Añez Alonso Elías, PhD				 Firma del Experto 3							
										Grado académico: Doctor en Ciencias Gerenciales											
										Experiencia profesional: Profesional (x) Educativa (x)											
										Tiempo de experiencia: 30 años											

Anexo 13.

Cuestionario pregunta 1.

Tabla 20.

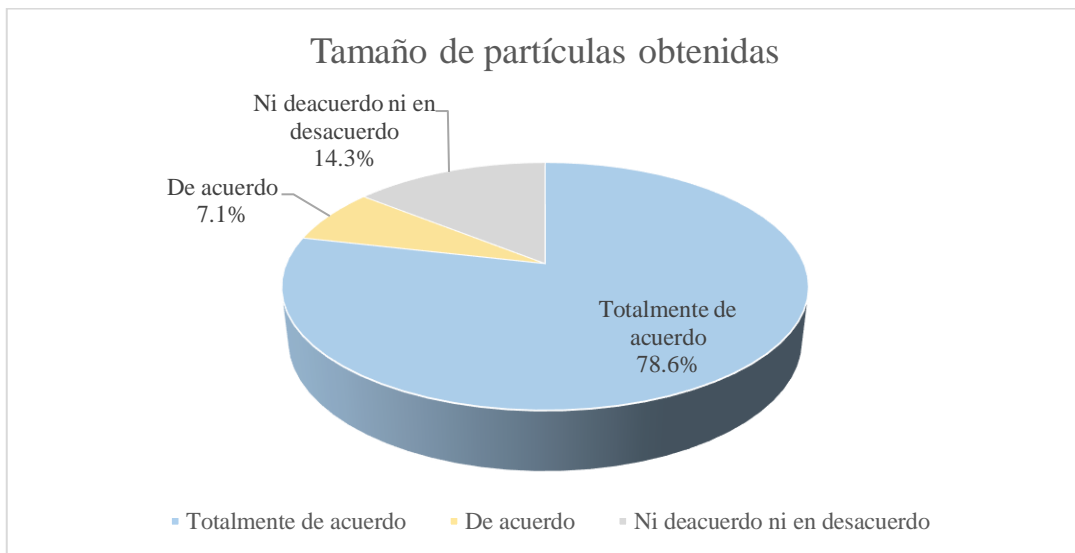
Valoración del tamaño de partículas obtenidas.

#	Valor	Frecuencia	%
1	Totalmente de acuerdo.	11	78,6 %
2	De acuerdo.	1	7,1 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	2	14,3 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 24.

Valoración del tamaño de partículas obtenidas.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 14.

Cuestionario pregunta 2

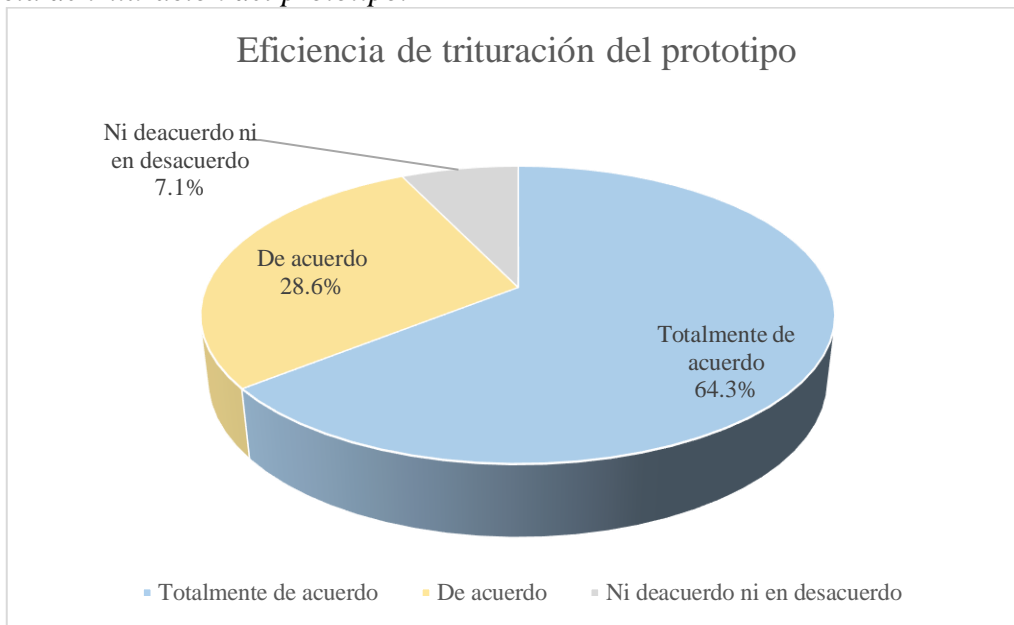
Tabla 21.

Eficiencia de trituración del prototipo.

#	Valor	Frecuencia	%
1	Totalmente de acuerdo.	9	64,3 %
2	De acuerdo.	4	28,6 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	1	7,1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 25.
Eficiencia de trituración del prototipo.



Nota. Elaborado por el autor.

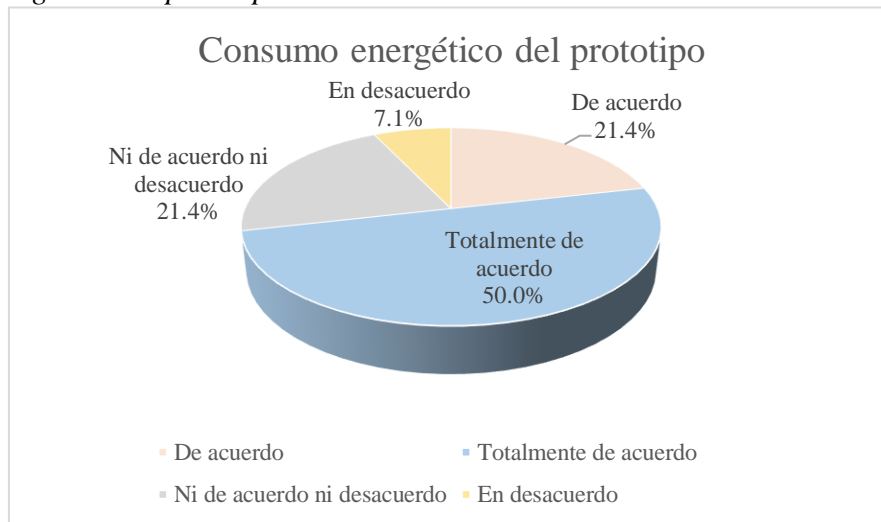
Anexo 15.
Cuestionario pregunta 3

Tabla 22.
Consumo energético del prototipo.

#	Valor	Frecuencia	%
1	Totalmente de acuerdo.	7	50 %
2	De acuerdo.	3	21,4 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	3	21.4 %
4	Desacuerdo.	1	7.1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 26.
Consumo energético del prototipo.



Nota. Elaborado por el autor.

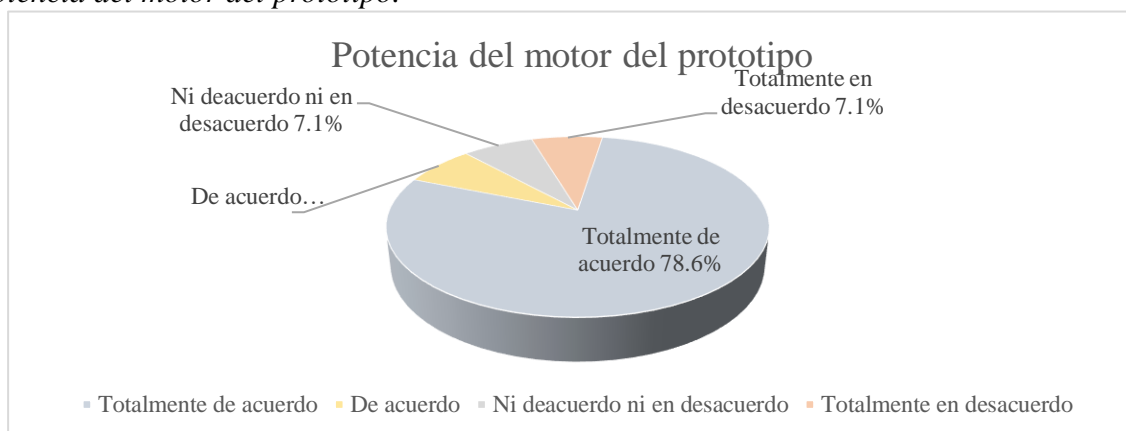
Anexo 16.
Cuestionario pregunta 4

Tabla 23.
Potencia del motor del prototipo.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	11	78.6 %
2	De acuerdo.	1	7.1 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	1	7.1 %
4	Totalmente en desacuerdo.	1	7.1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 27.
Potencia del motor del prototipo.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 17.

Cuestionario pregunta 5

Tabla 24.

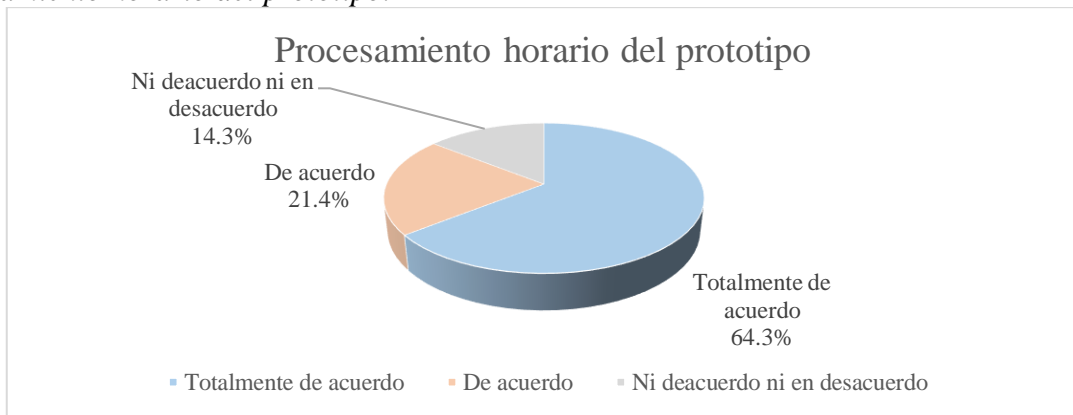
Procesamiento horario del prototipo.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	9	64.3 %
2	De acuerdo.	3	21,4 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	2	14,3 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 28.

Procesamiento horario del prototipo.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 18.

Cuestionario pregunta 6

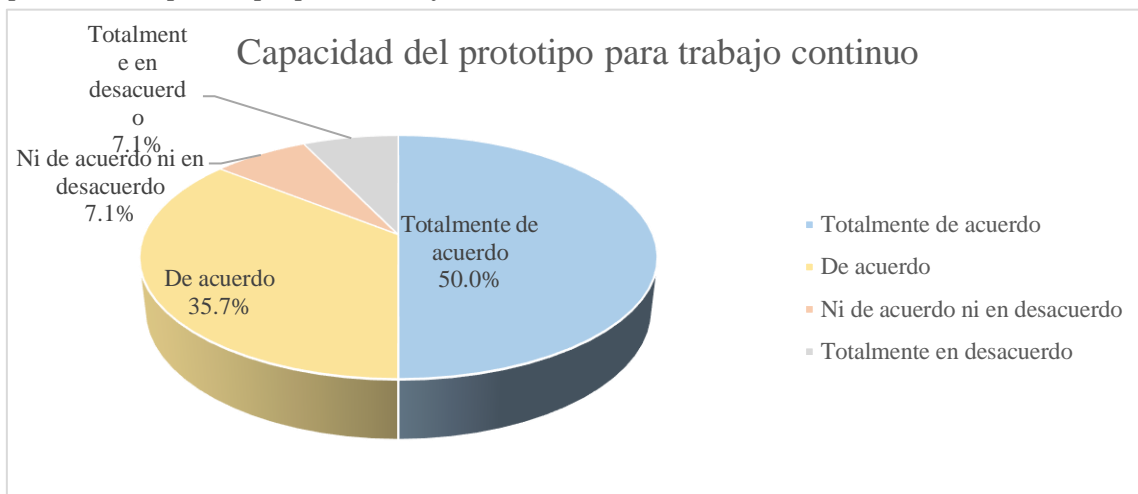
Tabla 25.

Capacidad del prototipo para trabajo continuo.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	7	50 %
2	De acuerdo.	5	35,7 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	1	7,1 %
4	Desacuerdo.	1	7,1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 29.
Capacidad del prototipo para trabajo continuo.



Nota. Elaborado por el autor.

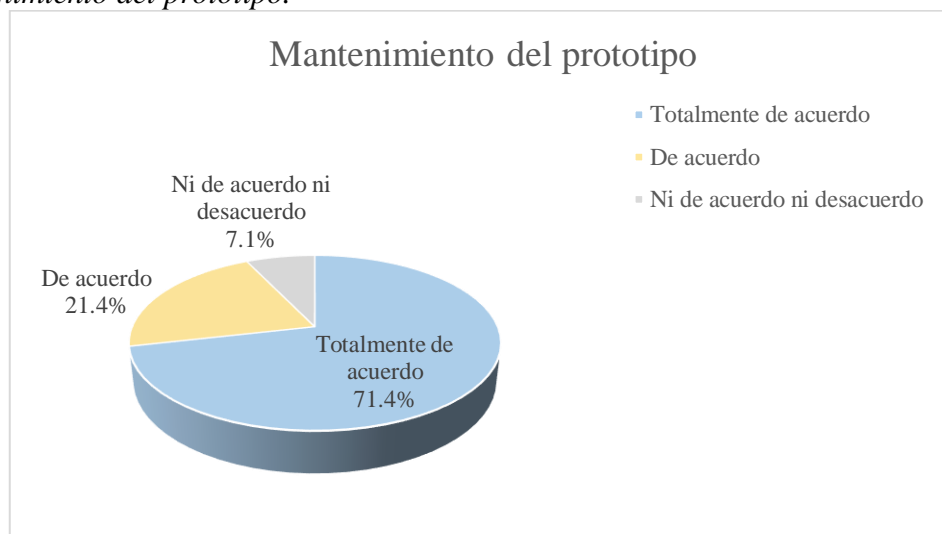
Anexo 19.
Cuestionario pregunta 7

Tabla 26.
Mantenimiento del prototipo.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	10	71,4 %
2	De acuerdo.	3	21,4 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	1	7,1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 30.
Mantenimiento del prototipo.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 20.

Cuestionario pregunta 8

Tabla 27.

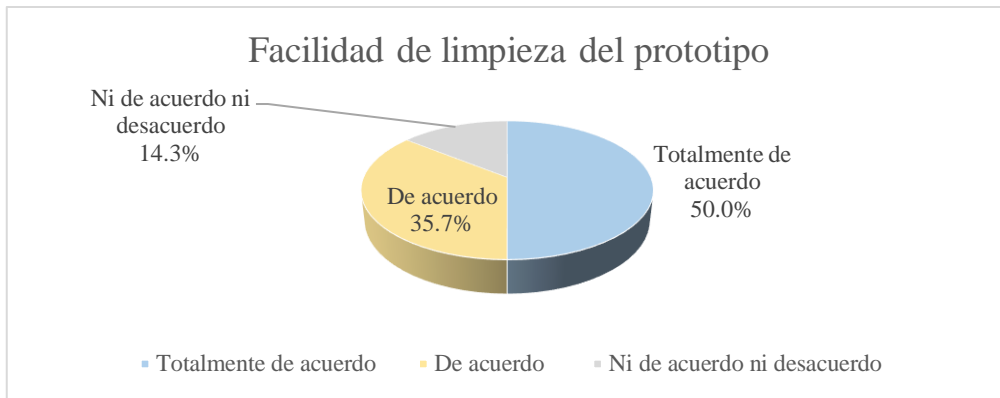
Facilidad de limpieza del prototipo

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	7	50 %
2	De acuerdo.	5	35,7 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	2	14,3 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor

Figura 31.

Facilidad de limpieza del prototipo.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 21.

Cuestionario pregunta 9

Tabla 28.

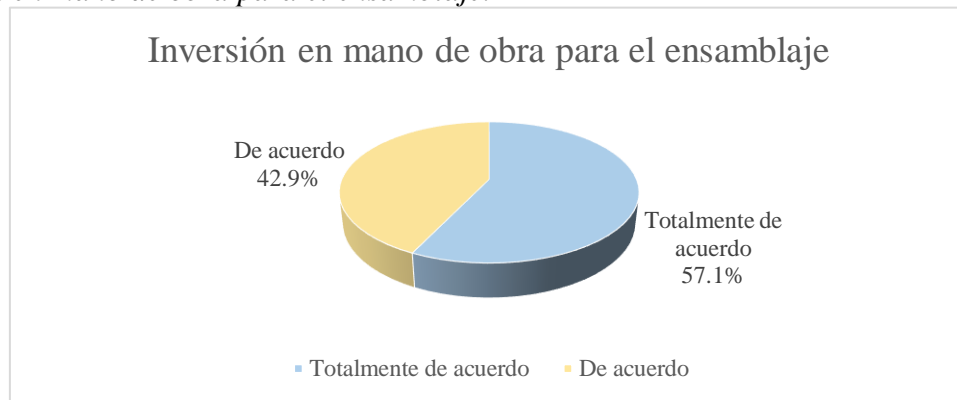
Inversión en mano de obra para el ensamblaje.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	8	57,1 %
2	De acuerdo.	6	42,9 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 32.

Inversión en mano de obra para el ensamblaje.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 22.

Cuestionario pregunta 10

Tabla 29.

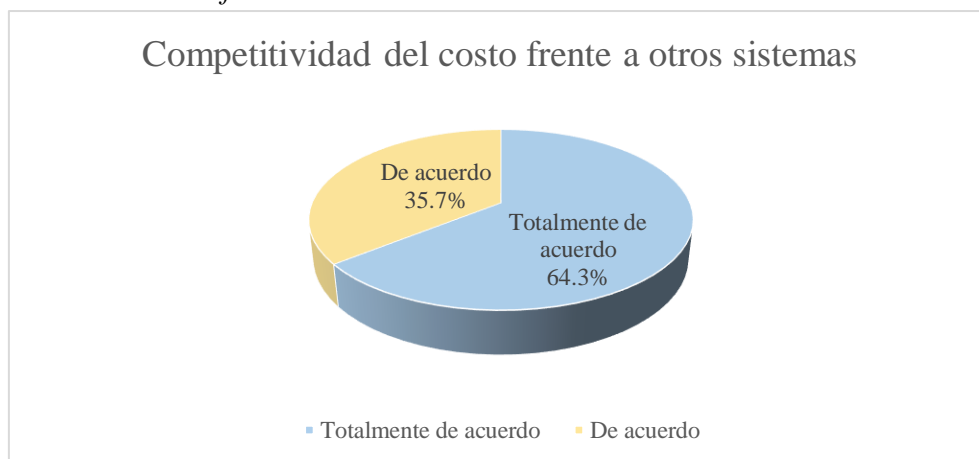
Competitividad del costo frente a otros sistemas.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	9	64,3 %
2	De acuerdo.	5	35,7 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor

Figura 33.

Competitividad del costo frente a otros sistemas.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 23.

Cuestionario pregunta 11

Tabla 30.

Confiabilidad estructural del hormigón con caucho.

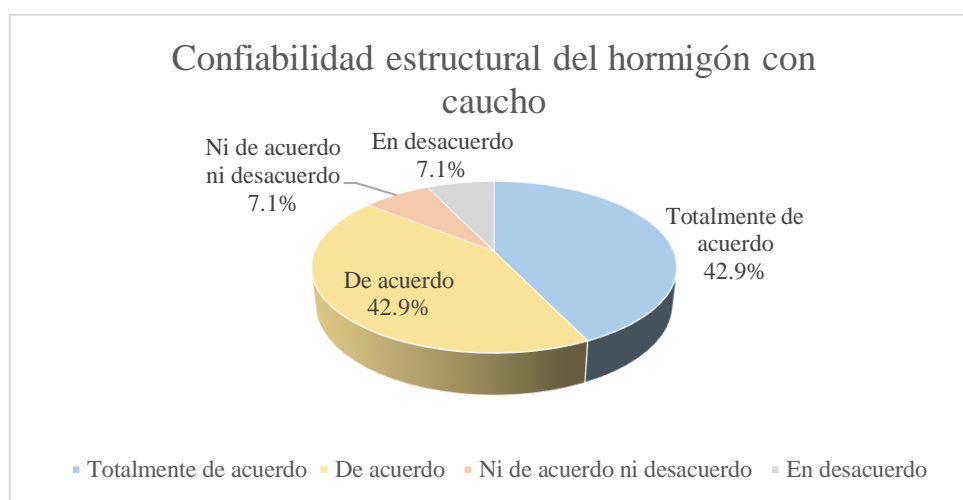
#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
---	-------	------------	------------

1	Totalmente de acuerdo.	6	42,9 %
2	De acuerdo.	6	42,9 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	1	7,1 %
4	En desacuerdo.	1	7,1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor

Figura 34.

Confiabilidad estructural del hormigón con caucho.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 24.

Cuestionario pregunta 12

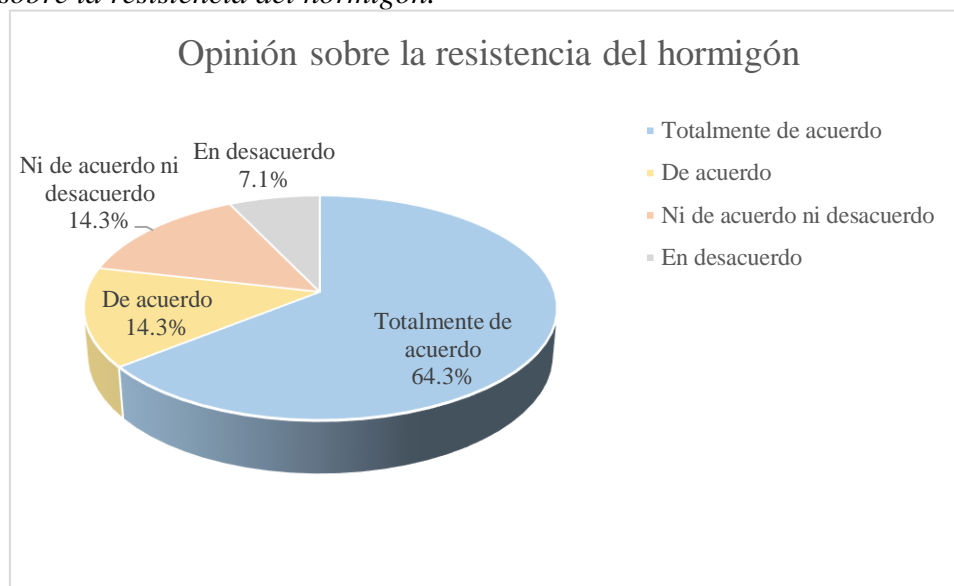
Tabla 31.

Opinión sobre la resistencia del hormigón.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	9	64,3 %
2	De acuerdo.	2	14,3 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	2	14,3 %
4	En desacuerdo.	1	7,1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 35.
Opinión sobre la resistencia del hormigón.



Nota. Elaborado por el autor.

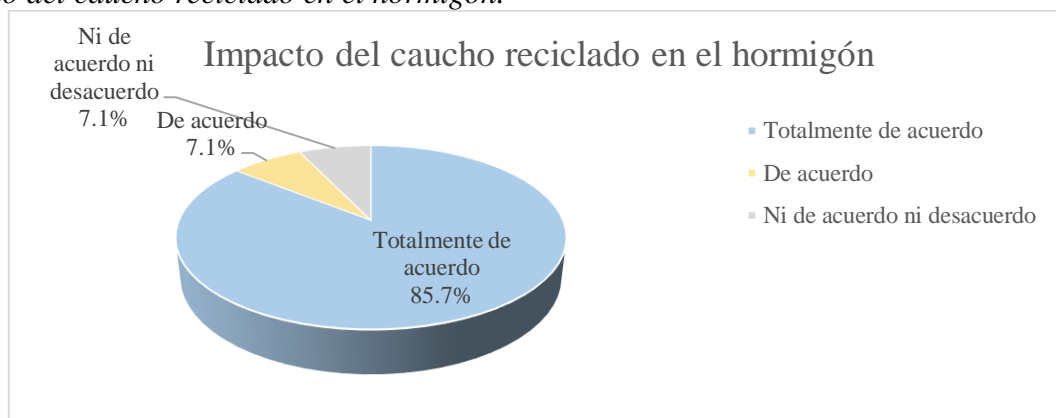
Anexo 25.
Cuestionario pregunta 13

Tabla 32.
Impacto del caucho reciclado en el hormigón.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	12	85,7 %
2	De acuerdo.	1	7,1 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	1	7,1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 36.
Impacto del caucho reciclado en el hormigón.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 26.

Cuestionario pregunta 14

Tabla 33.

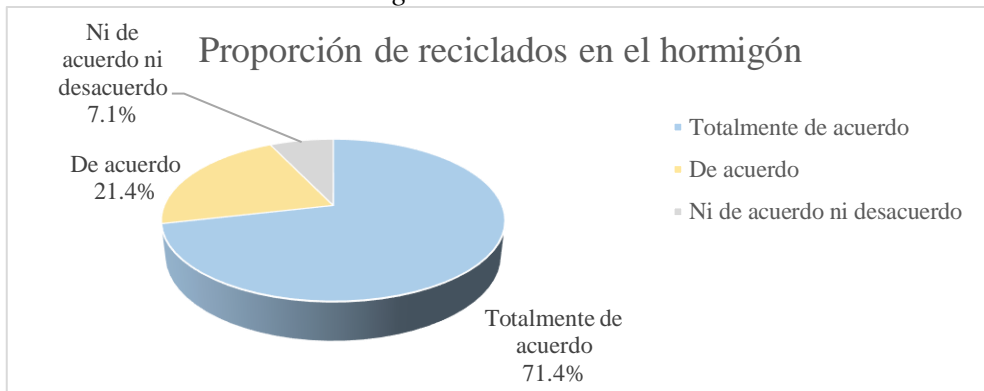
Proporción de reciclados en el hormigón.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	10	71,4 %
2	De acuerdo.	3	21,4 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	1	7,1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 37.

Proporción de reciclados en el hormigón.



Nota. Elaborado por autores

Anexo 27.

Cuestionario pregunta 15

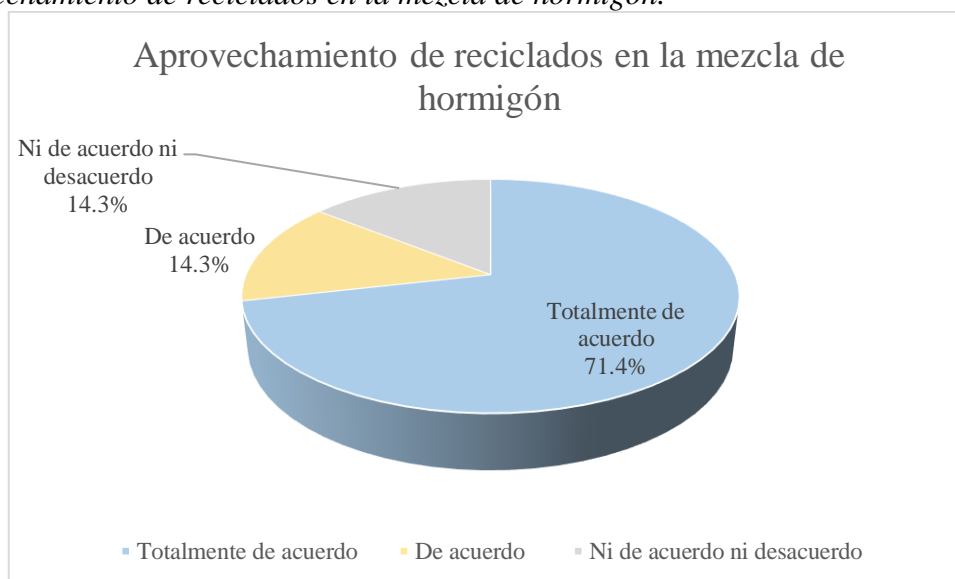
Tabla 34.

Aprovechamiento de reciclados en la mezcla de hormigón.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	10	71,4 %
2	De acuerdo.	2	14,3 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	2	14,3 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 38.
Aprovechamiento de reciclados en la mezcla de hormigón.



Nota. Elaborado por el autor.

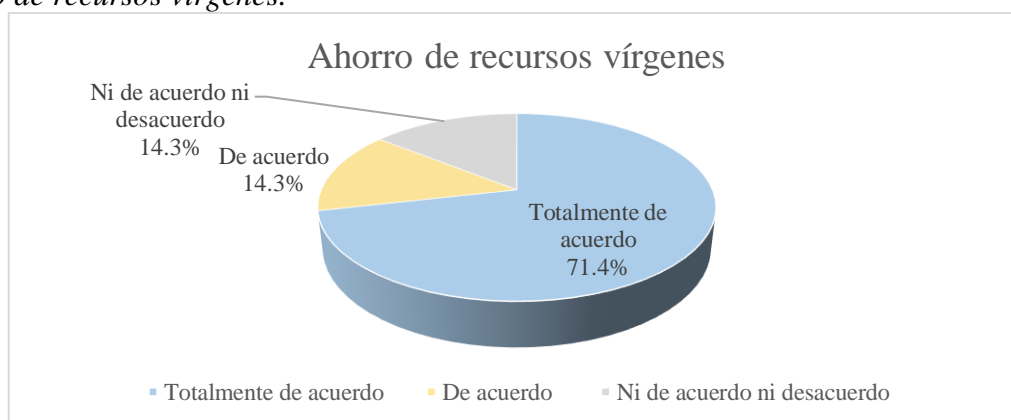
Anexo 28.
Cuestionario pregunta 16

Tabla 35.
Ahorro de recursos vírgenes.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	10	71,4 %
2	De acuerdo.	2	14,3 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	2	14,3 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 39.
Ahorro de recursos vírgenes.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 29.

Cuestionario pregunta 17

Tabla 36.

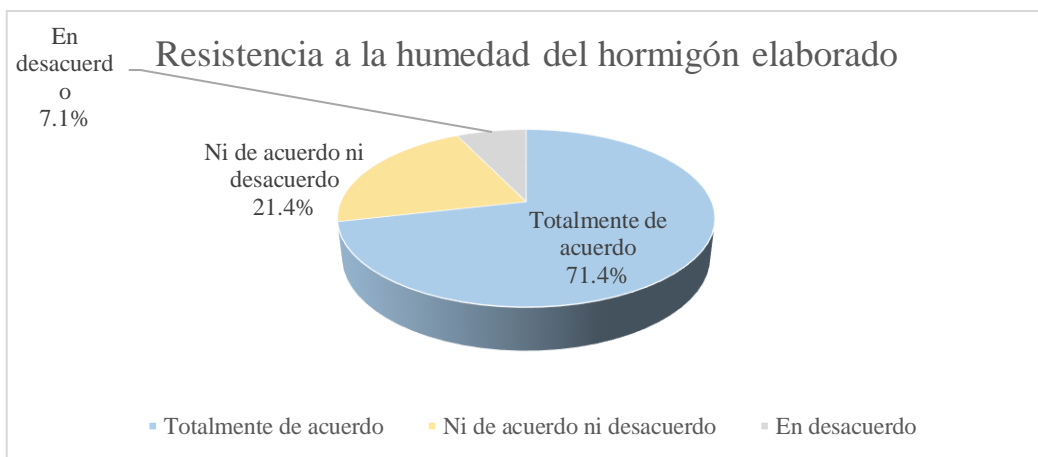
Resistencia a la humedad del hormigón elaborado.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	10	71,4 %
2	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	3	21,4 %
3	En desacuerdo.	1	7,1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor

Figura 40.

Resistencia a la humedad del hormigón elaborado.



Nota. Elaborado por el autor

Anexo 30.

Cuestionario pregunta 18

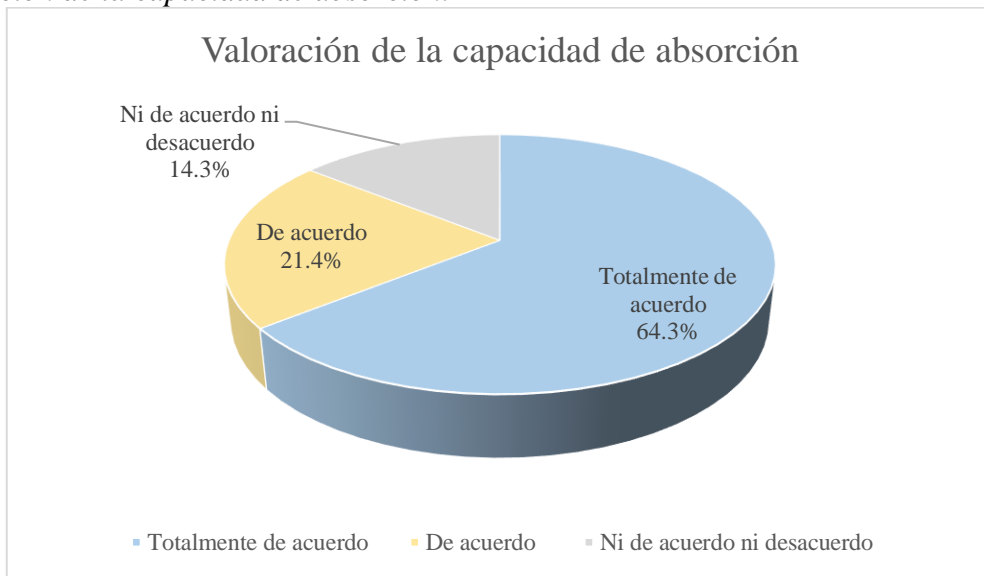
Tabla 37.

Valoración de la capacidad de absorción.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	9	64,3 %
2	De acuerdo.	3	21,4 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	2	14,3 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 41.
Valoración de la capacidad de absorción.



Nota. Elaborado por el autor.

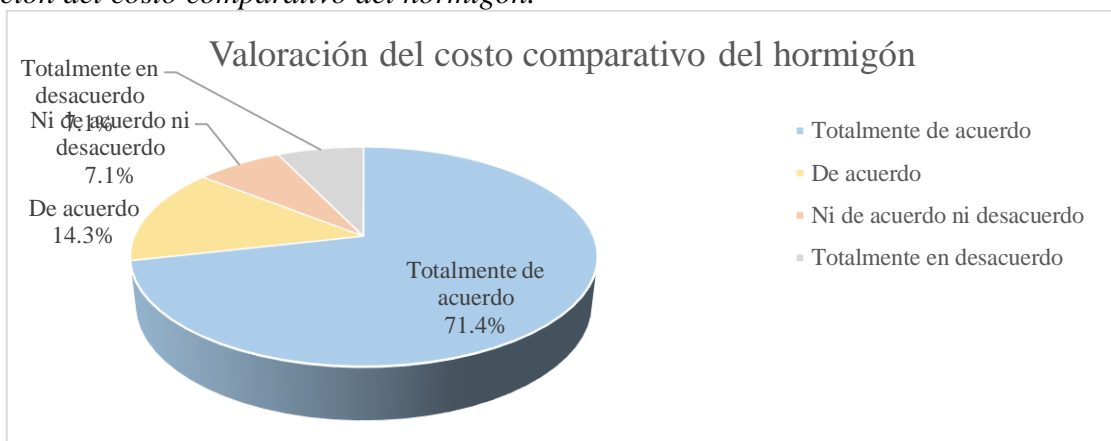
Anexo 31.
Cuestionario pregunta 19

Tabla 38.
Valoración del costo comparativo del hormigón.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	10	71,4 %
2	De acuerdo.	2	14,3 %
3	Ni de acuerdo ni desacuerdo.	1	7,1 %
4	Totalmente en desacuerdo.	1	7,1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

Figura 42.
Valoración del costo comparativo del hormigón.



Nota. Elaborado por el autor.

Anexo 32.

Cuestionario pregunta 20

Tabla 39.

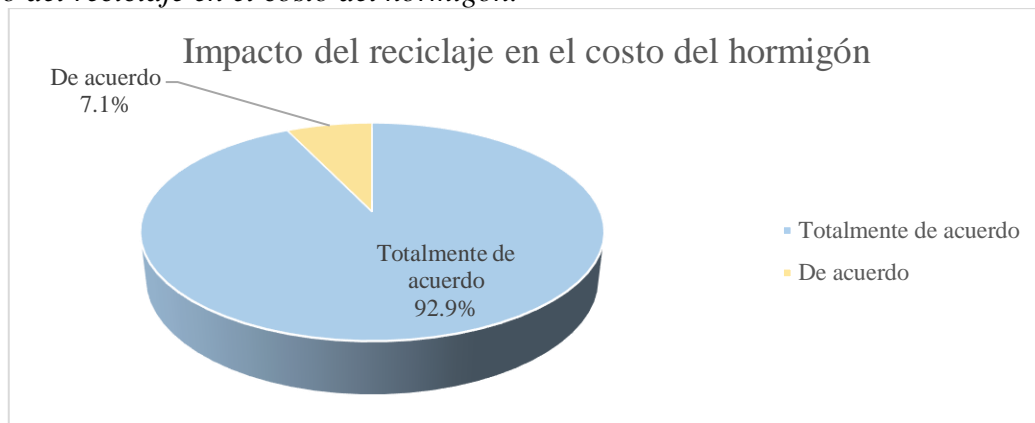
Impacto del reciclaje en el costo del hormigón.

#	Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	Totalmente de acuerdo.	13	92.9 %
2	De acuerdo.	1	7.1 %
	Total.	14	100 %

Nota. Elaborado por el autor.

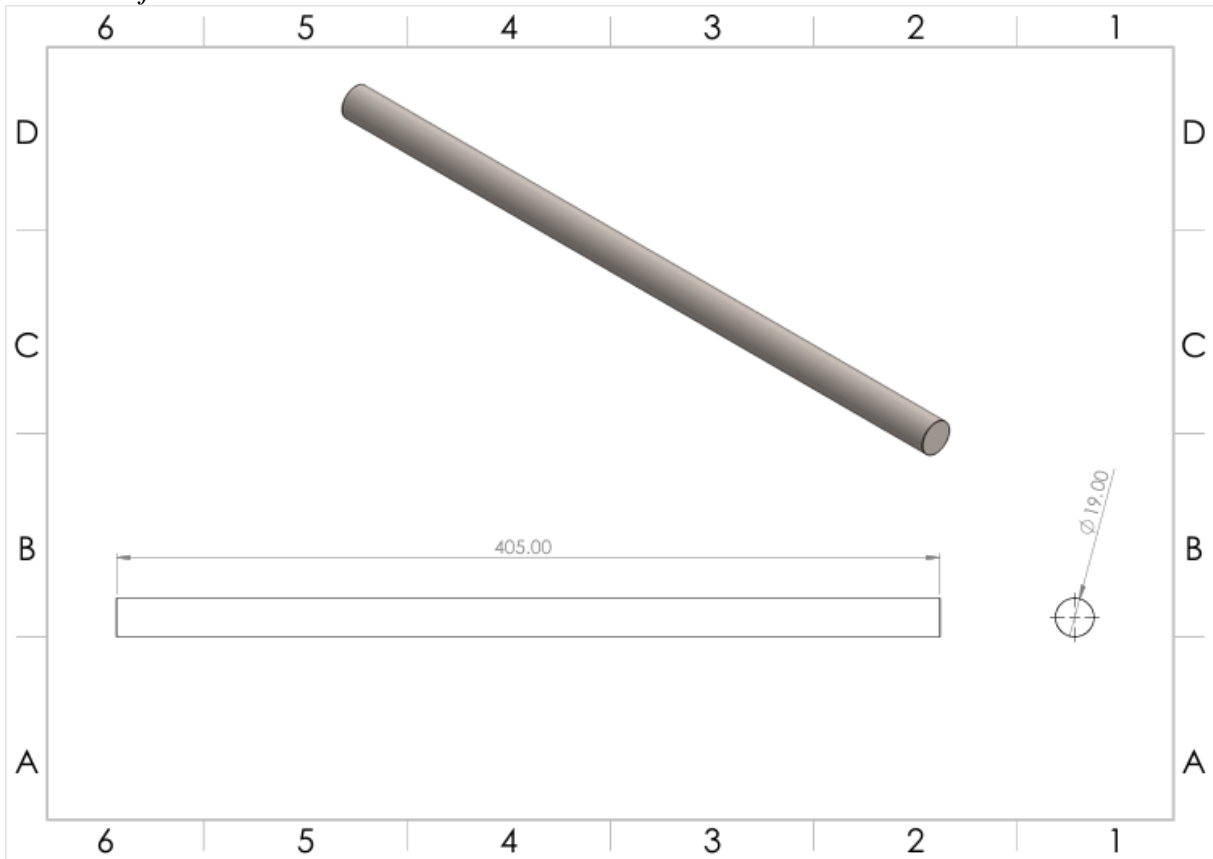
Figura 43.

Impacto del reciclaje en el costo del hormigón.

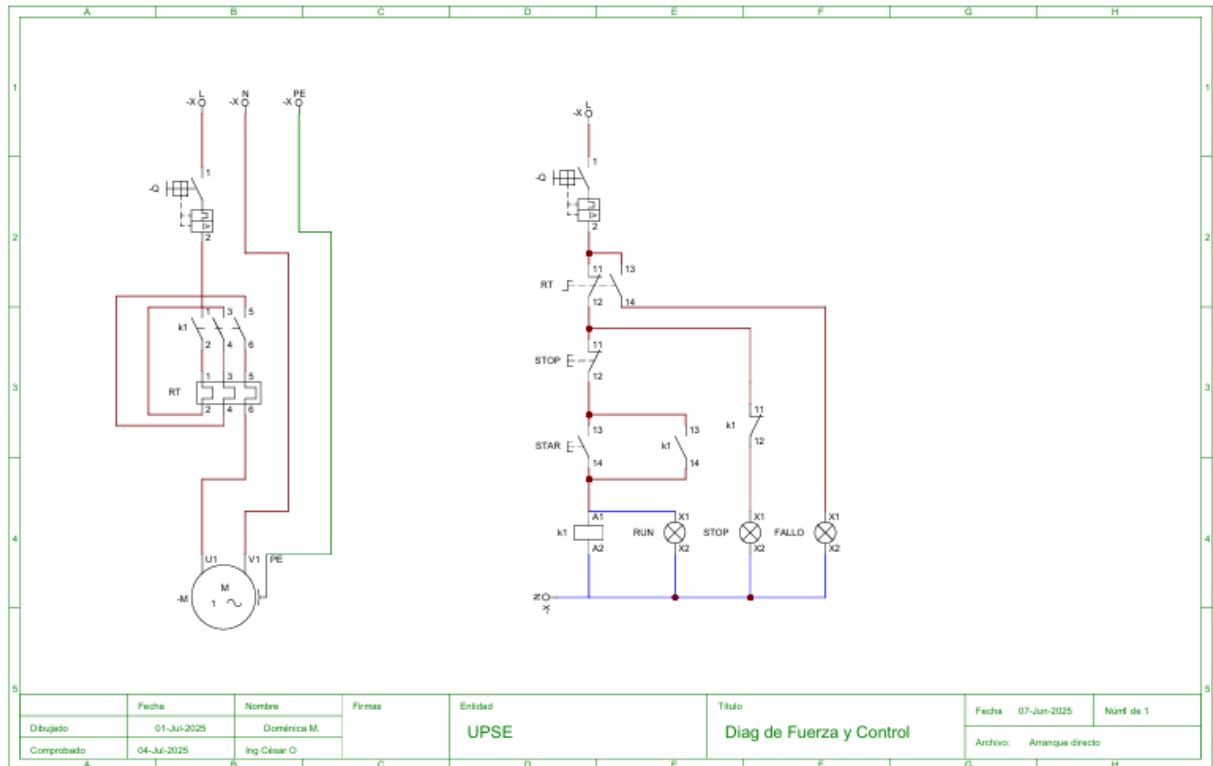


Nota. Elaborado por el autor

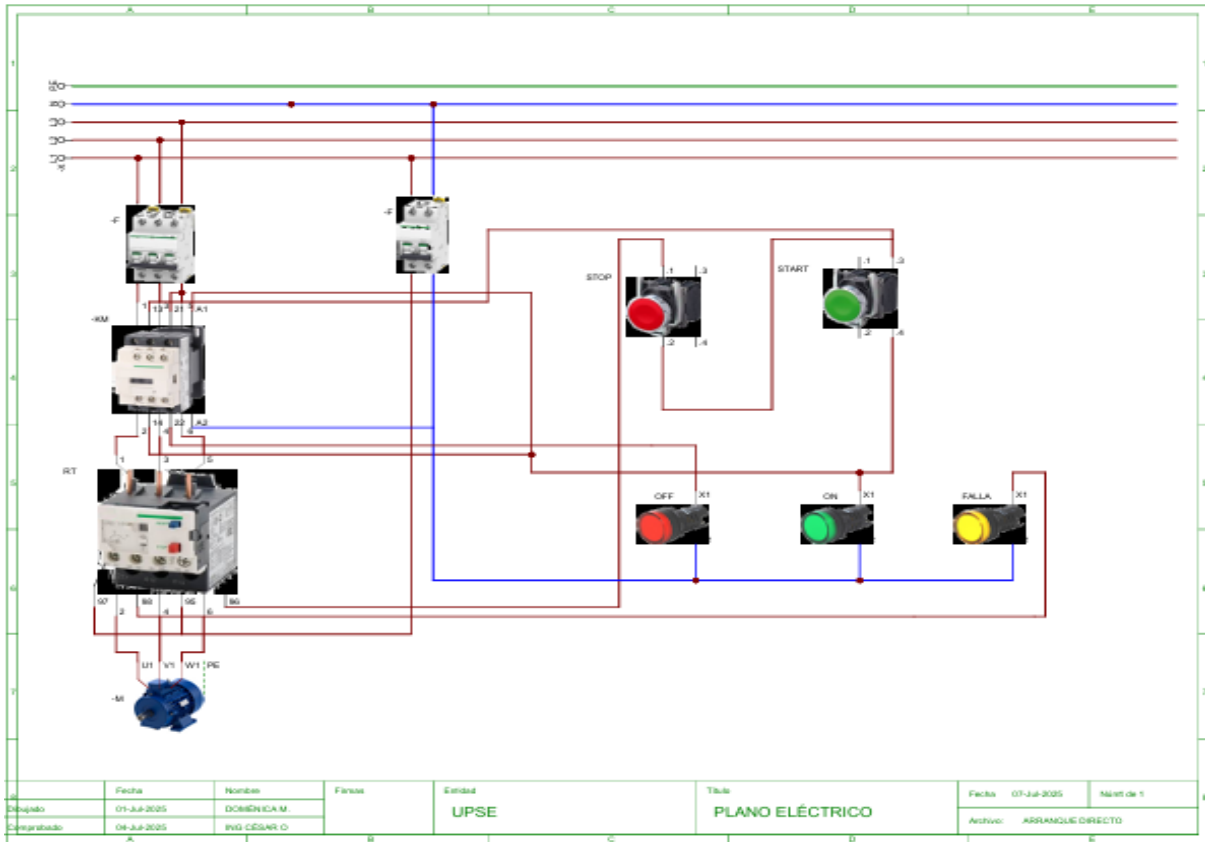
Anexo 33.
Plano de eje.



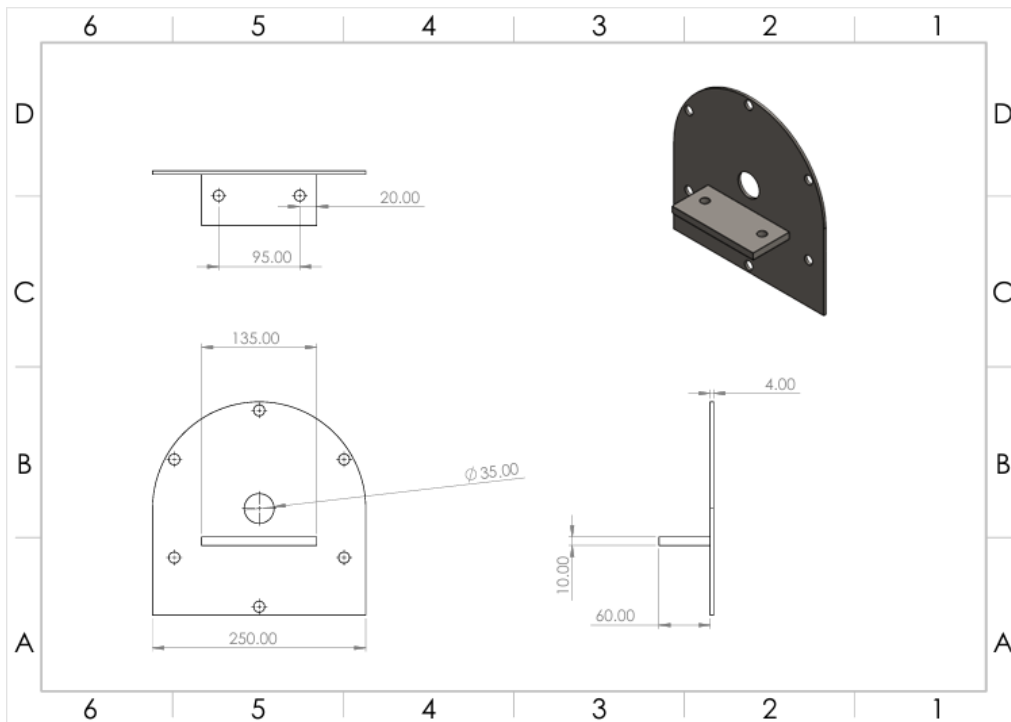
Anexo 34.
Diagrama de plano eléctrico



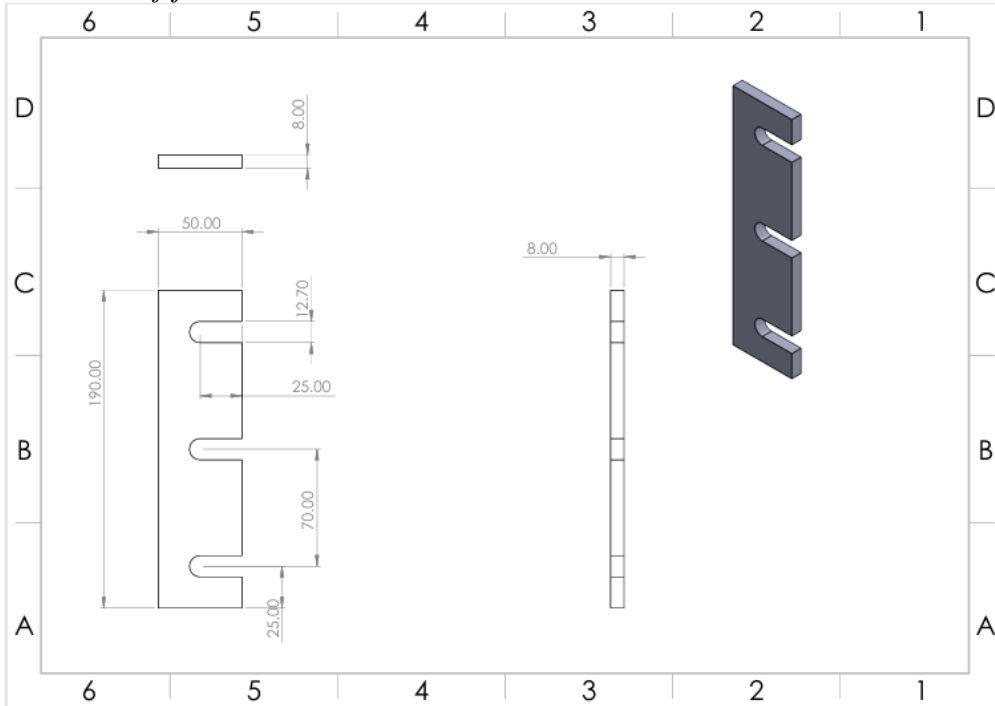
Anexo 35.
Plano eléctrico en 3D.



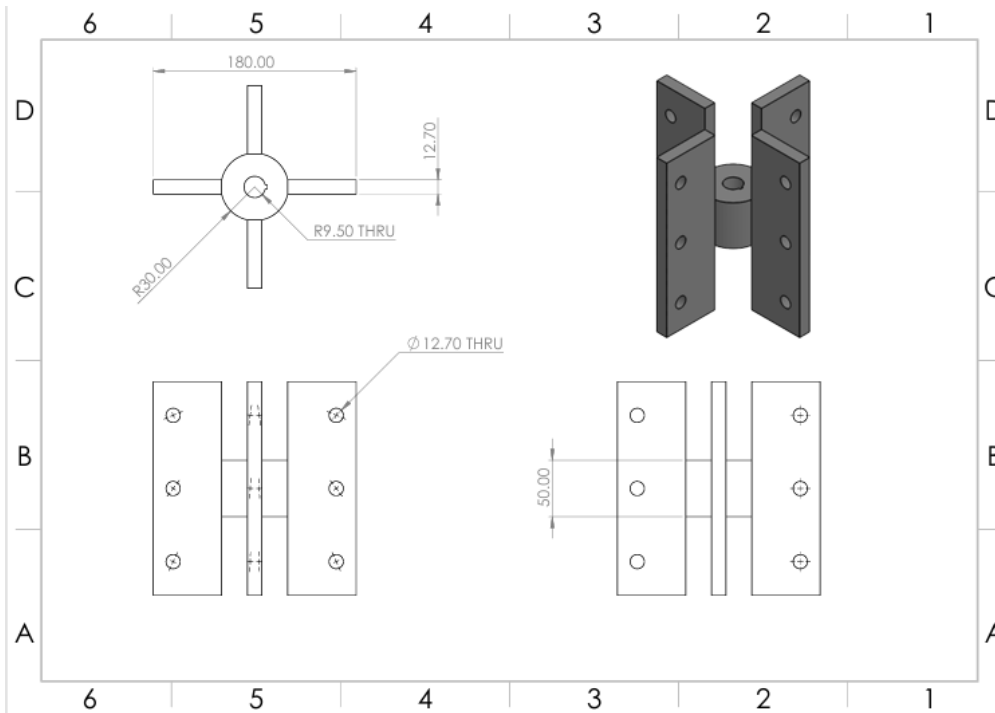
Anexo 36.
Tapas de tambor



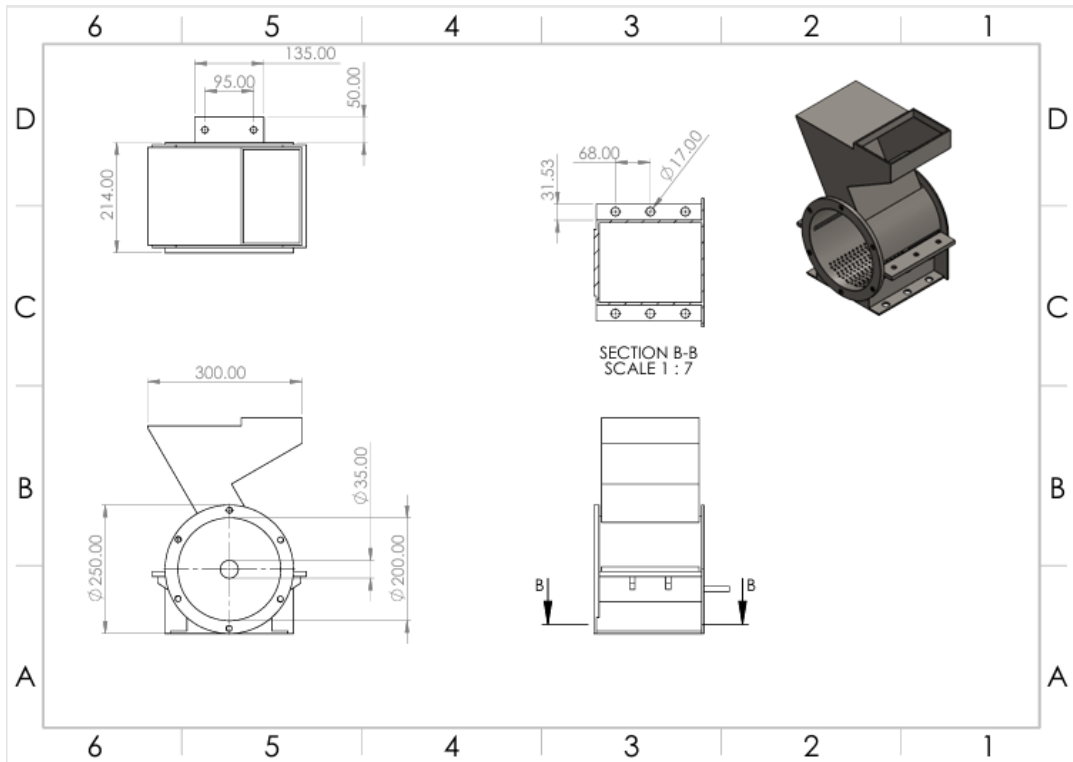
Anexo 37.
Plano de cuchillas fijas.



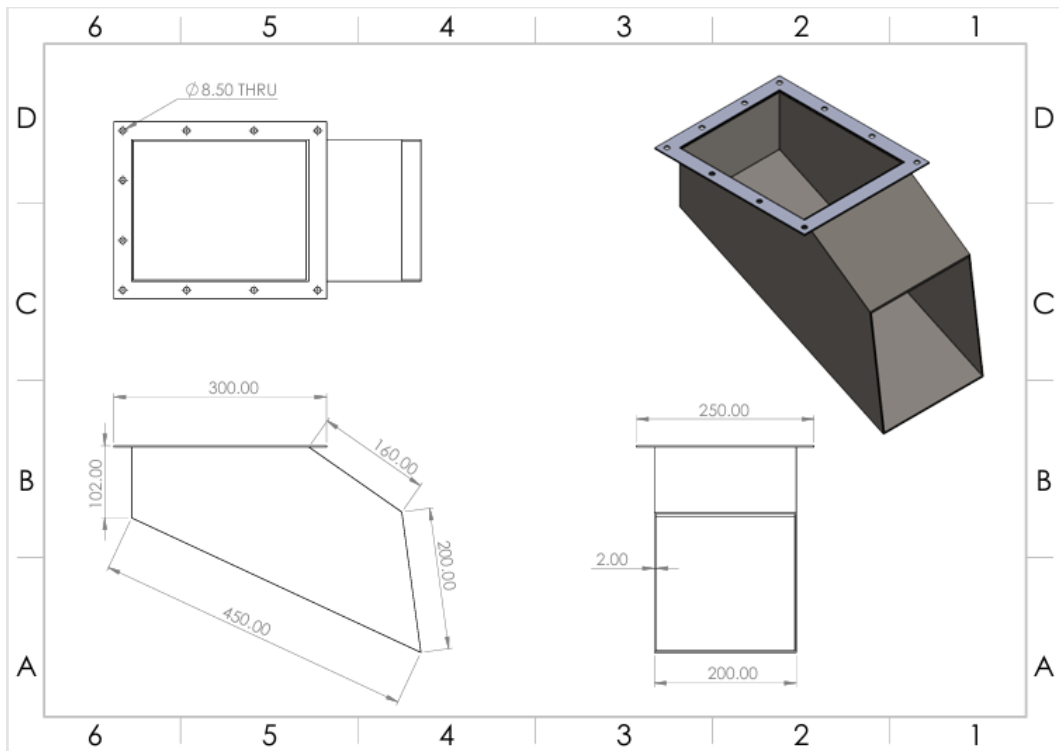
Anexo 38.
Plano de cuchillas móviles.



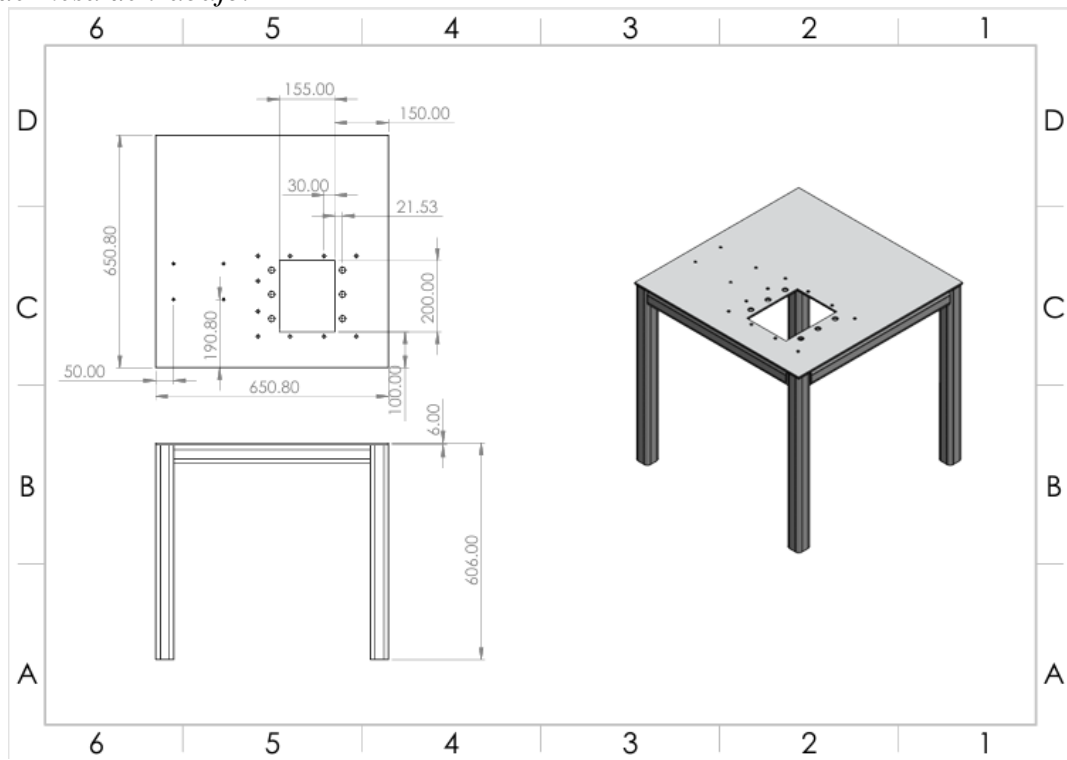
Anexo 39.
Plano de tolva de entrada.



Anexo 40.
Plano de tolva de salida.



Anexo 41.
Plano de mesa de trabajo.



Anexo 42.
Caja de distribución parte interna



Anexo 43.
Caja de distribución parte externa



Anexo 44.
Criba de 8mm



Anexo 45.
Proceso de pintado



Anexo 46.
Vista lateral de la máquina



Anexo 47.

Vista diagonal de la máquina

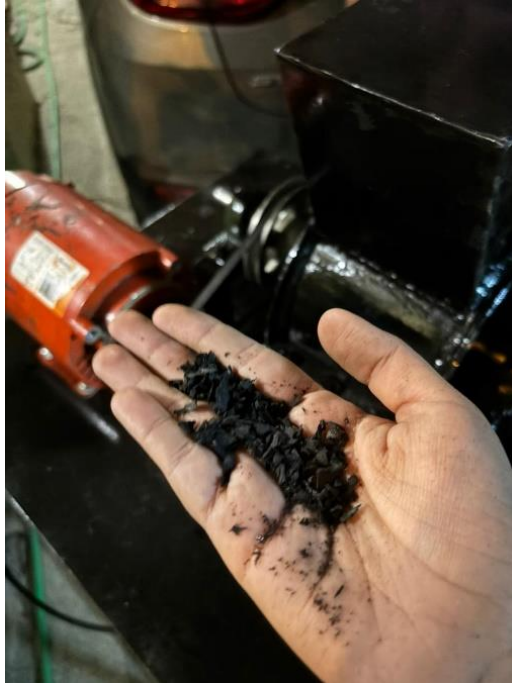


Anexo 48.

Proceso pulverizado con granulometría de 8mm



Anexo 49.
Producto final pulverizado



Anexo 50.
Maquina Terminada



Anexo 51.
Manual de operatividad de la máquina.

1.1 MANUALES.

1.1.2 Manual de operación y mantenimiento.

Se presenta los manuales de seguridad basado en (Quispe, 2020).

Tabla 40.

Manual de operación y mantenimiento.

Manual de operación y mantenimiento.

- I. Es preciso que el técnico operario tenga conocimiento de sistemas de movimiento de componentes y electricidad básica.
- II. Antes de iniciar el arranque de la máquina, es necesario comprobar el ajuste correcto de los pernos que sujetan las cuchillas y componentes de la máquina.
- III. Para realizar el proceso de operación utilice protectores auditivos, lentes de protección, ropa de trabajo adecuado, guantes de seguridad, máscara facial.
- IV. No introducir la mano en la tolva de alimentación ya que hay componentes en movimiento y puede ocasionar daños personales.
- V. Por precaución personal que no está incluido dentro de la operación mantener una distancia mínima de 10 metros de la máquina trituradora.
- VI. El mantenimiento, limpieza, ajustes, montaje y desmontaje de protectores de movimientos solo deberá llevarse a cabo con el motor apagado utilizando dispositivos de bloqueo de energía.
- VII. Cuando lleve a cabo los trabajos de mantenimiento y afilado de cuchillas asegúrese de utilizar herramientas estandarizadas.

Nota. Elaborado por el autor, en base a (Quispe, 2020).

1.1.3 Mantenimiento preventivo.

Todos los componentes de la máquina trituradora pueden presentar fallas, por tanto, se requiere un mantenimiento preventivo para el correcto funcionamiento de la máquina trituradora a continuación se detalla rutinas en diferentes tiempos.

Tabla 41.

Rutina mantenimiento preventivo.

Frecuencia	Trabajos por realizar
------------	-----------------------

Cada 24 horas de funcionamiento.

- Ejecutar inspección visual de fajas de transmisión, observe si tiene agrietamiento o desgaste prematuro.

- Lubrique los puntos de engrase de rodamientos de eje porta cuchillas y motor eléctrico.

- Limpie la máquina antes de iniciar el arranque de la máquina ya que partículas de caucho evitarían el correcto enfriamiento del motor eléctrico.

Una vez por semana.

- Afile y calibre las cuchillas de corte según el ángulo correcto de corte.

- Revise el correcto templado de correas de transmisión.

- Verifique el correcto ajuste de los pernos de sujeción de las cuchillas de corte si es necesario, corrija el ajuste al torque especificado.

- Verifique el correcto ajuste de los pernos de sujeción de brida soporte de rodamiento.

Cada tres meses.

- Revise el correcto alineamiento de poleas de transmisión.

- Inspeccione polea eje de motor y la polea eje porta cuchillas.

- Revise si existe fisura en la estructura.

- Revise el desgaste de las cuchillas de corte si es necesario cambie por unas nuevas.

Reparación por condición.

Estas tareas están acondicionadas en función a las inspecciones visuales.

- Si existe fisura en alguna de las partes de la estructura proceder con la reparación con soldadura.

- La faja de transmisión es la pieza más importante de la máquina trituradora, por el funcionamiento es normal el desgaste, proceda el cambio cada 12 meses de funcionamiento.

Nota. Elaborado por el autor en base a (Quispe, 2020).

1.1.3 MANUAL DE SEGURIDAD:

Las indicaciones de “peligro, advertencias, atención” para resaltar ciertas instrucciones importantes y críticas. Estará mencionado en el siguiente manual de seguridad y pegados como etiquetas en la máquina.

Peligro: indica una situación inminentemente peligrosa la cual, si no se evita, ocasionará la muerte o una lesión grave. Esta indicación se utiliza para señalar los casos más extremos.

Advertencia: indica una situación potencialmente peligrosa la cual, si no se evita, podría ocasionar la muerte o una lesión grave.

Atención: indica una situación potencialmente peligrosa la cual, si no se evita, podría ocasionar lesiones leves o moderadas; también se usa para advertir en contra de prácticas poco seguras.

El manejo de la máquina solo debe remitirse a personal que cumpla las condiciones de seguridad y calificaciones siguientes:

Tabla 42.
Manual de seguridad.

Manual de seguridad.

- I. Operador calificado y designados que cumplan con los requisitos de pruebas de funcionamiento y de condiciones físicas y mentales.
 - II. Personal de prueba y mantenimiento calificado, cuando sea necesario durante el cumplimiento de sus deberes.
 - III. Supervisor calificado para la operación de la máquina.
-

-
- IV. El operador de la máquina trituradora debe poseer buena capacidad auditiva, así como buena visión (con o sin gafas). También se requiere de una buena percepción de distancia segura de la máquina.
 - V. El operador de la máquina no deberá sufrir una condición de salud o incapacidad que pudiera entorpecer inesperadamente su capacidad de reaccionar con rapidez.
 - VI. El operador de la máquina que esté tomando medicamentos prescritos por un médico deberá presentar un certificado médico que asegure que los mismos no afecten la capacidad de operación de la máquina.
 - VII. En ninguna circunstancia deberá permitirse que un operador de quien se conozca o sospeche que está bajo la influencia del alcohol o las drogas haga funcionar la máquina.
 - VIII. El operador de la máquina debe tener una buena actitud respecto a la seguridad en todo momento.
-

Nota. Elaborado por el autor, en base a (Quispe, 2020).

Para asegurar la seguridad del personal que trabaje alrededor de la máquina, el operador de la máquina debe detener los trabajos de trituración y apagar el motor a través del control de arranque y apagado del motor, el no observar las precauciones podría resultar en el movimiento inesperado de la máquina o de sus accesorios, lo cual podría causar lesiones o la muerte del personal.

Para realizar cualquier inspección, mantenimiento o reparación de la máquina trituradora, seguir procedimientos de bloqueo o rotulación según procedimiento de la norma ANSI Z244.1 y según requieren las agencias OSHA (Administración de Seguridad y Salud Laboral de los EE. UU. Los procedimientos de bloqueo y etiquetado tienen como propósito proteger al personal que labora alrededor de la máquina trituradora al prevenir el arranque accidental o la exposición a la liberación peligrosa de energía como los choques eléctricos. El procedimiento requiere la colocación de bloqueo y etiqueta individual en la caja de control previamente dando corte de energía eléctrica que alimenta el motor, estos dispositivos son para prevenir el arranque intempestivo de la máquina, nunca intentar accionar el control de arranque cuando este bloqueado y etiquetado.

Tabla 43.

Bloqueo y etiquetado por las OSHAS.

Bloqueo y etiquetado.

- I. Notificar a todo el personal involucrado, incluido supervisores antes de efectuar el bloqueo y etiquetado.
 - II. Apagar la máquina, equipo, sistema o función afectado.
 - III. Desconectar, aislar o apagar el abastecimiento o fuente de energía.
 - IV. Aplicar bloqueos y/o etiquetas individuales a los controles, interruptores, etc.
 - V. Probar la máquina, el equipo o el sistema para comprobar que se ha desconectado la energía antes de efectuar el servicio o mantenimiento.
-

Nota. Elaborado por el autor, en base a (Quispe, 2020).

Tabla 44.

Recomendaciones de seguridad para operador.

Recomendaciones de seguridad para el operador de la máquina trituradora.

- a. Adiestrar a los operadores en cuanto al procedimiento de bloqueo y etiquetado utilizado en la máquina.
 - b. Identificar y localizar de antemano los interruptores y controles de corte que aíslan la energía a niveles peligrosos en las instalaciones.
 - c. Para realizar el proceso de operación utilice protectores auditivos, lentes de protección, ropa de trabajo adecuado, guantes de seguridad y máscara facial.
 - d. No introducir la mano en la tolva de alimentación ya que hay componentes en movimiento y puede ocasionar daños personales.
 - e. Por precaución personal que no está incluido dentro de la operación mantener una distancia mínima de 10 metros de la máquina trituradora.
 - f. Después de terminar el mantenimiento y servicio y que la persona encargada haya retirado cada bloqueo notificar al personal involucrado para restablecer la energía o potencia suministrada al motor.
-

-
- g. La máquina poseerá diversas etiquetas para advertir al personal de los peligros potenciales, para identificar los controles, los avisos ayudarán al funcionamiento seguro de la máquina.
 - h. Al realizar el montaje de componentes pesados utilice un sistema de elevación adecuada, utilizar aparejos adecuados para estabilizar y levantar objetos pesados.
 - i. El mantenimiento y el servicio involucran el manejo de componentes pesados que podrían causar lesiones, utilice grúa o tecles de elevación conjuntamente bloques de sostenimiento para evitar daños a las piezas.
 - j. Asegurarse de sostener de forma adecuada los componentes a suspender, nunca ubicarse debajo de la carga suspendida, podrían caerse si no les sostiene apropiadamente al sacar o insertar componentes pesados.
 - k. Todos los protectores, avisos, dispositivos de advertencia y dispositivos de protección deberán estar en su lugar y en condiciones óptimas antes de hacer funcionar la máquina.
 - l. La tornillería, pernos o tuercas flojas o faltantes deben apretarse apropiadamente o sustituirla con tornillería especificada según el manual de montaje.
 - m. La máquina debe de poseer un botón de parada de emergencia ubicada en el tablero de control de arranque, especificar que este interruptor es solo de detención de emergencia.
 - n. La máquina tiene una placa de peligro de alto voltaje que está ubicada en la tapa de la caja de control, puede haber presencia de alto voltaje, solo personal autorizado debe tener acceso al sistema eléctrico, el alto voltaje puede provocar lesiones o la muerte, puede haber presencia de alto voltaje con el motor funcionando o apagado.
 - o. Asegúrese que todas las protecciones y cubiertas estén en su lugar y en posición apropiada. Haga reparar las protecciones y cubiertas dañadas.
 - p. Aprenda el uso apropiado de los elementos de seguridad tales como pasadores, protectores de correa y componentes en movimiento (poleas de eje máquina, polea de motor)
-

-
- q. Evite usar ropa suelta, joyas o el pelo largo y suelto. Estos se pueden enredar en las partes móviles y causar graves lesiones o la muerte. Tampoco use ropas manchadas de aceite ya que son inflamables.
 - r. Use casco, anteojos de seguridad, zapatos de seguridad, protector auditivo, máscara y guantes cuando opere o mantenga la máquina, utilice guantes adecuados y resistentes que involucren astillas metálicas o fragmentos de material caucho alambrado.
 - s. El polvo generado por el caucho triturado no debe ser inhalado porque es peligroso para la salud, no utilice aire comprimido para limpiar la máquina.
 - t. Siempre que sea posible, opere la máquina o realice tareas trabajando de espaldas al viento.
 - u. Nunca ponga alguna parte de su cuerpo entre las partes móviles como la tolva de alimentación, puede ocasionar graves lesiones.
 - v. Asegúrese de contar con extintores y de saber utilizarlos.
 - w. Mantenga un botiquín de primeros auxilios en un lugar apropiado.
 - x. Sepa cómo actuar en caso de incendios.
-

Nota. Elaborado por el autor, en base a (Quispe, 2020).

1.1.5 MANUAL DE OPERACIÓN.

Tabla 45.

Manual de operación.

Manual de operación.

- a. Es preciso que el técnico operario tenga conocimiento de sistemas de movimiento de componentes y electricidad básica.
 - b. El operador debe verificar personalmente el área de trabajo, los caminos a usar y la existencia de obstáculos antes de iniciar las operaciones.
 - c. Antes de arrancar el motor, revise cuidadosamente el área por si hay condiciones inusuales que podrían ser peligrosos.
-

-
- d. Antes de iniciar el arranque de la máquina es necesario comprobar el ajuste correcto de los pernos que sujetan las cuchillas y componentes de la máquina.
 - e. Inspecciones deterioro o desgaste en las cuchillas fijas y giratorias, realice la mantención y afilado de las cuchillas si es necesario.
 - f. Nunca intente arrancar el motor haciendo contacto directo sin pasar por la caja de control, esto puede provocar un incendio o serias lesiones a cualquier persona involucrada en la operación de la máquina.
 - g. Lea y comprenda los contenidos del documento, ponga especial atención al procedimiento de seguridad, revise los instrumentos y caja de control antes de intentar arrancar el motor.
 - h. Familiarice con todos los controles de arranque, apagado, parada de emergencia y dispositivos de advertencia antes de arranque de la máquina trituradora.
 - i. No permita a ninguna persona no autorizada en el área de operación de la máquina.
 - j. Arranque el motor presionando el botón verde solo desde la caja de control de operador de la máquina.
 - k. Permita que trabaje el motor en vacío hasta que se mantenga una velocidad constante del motor sin carga.
 - l. Una vez que verifique el correcto funcionamiento de la máquina alimente a la tolva con gránulos de caucho proveniente de la segunda máquina.
 - m. Verifique el correcto flujo de alimentación de gránulos de caucho en la tolva para evitar atascamiento y parada intempestiva del motor.
 - n. Informe inmediatamente cualquier situación adversa en la máquina.
 - o. Se debe detener inmediatamente el motor cuando ocurra un atascamiento por exceso de material.
 - p. Si llegase a la parada del motor cumpla el procedimiento de desatoro de la máquina.
-

-
- q. Revise constantemente la descarga de los gránulos triturados de 2 a 5 milímetros evite la acumulación de material, utilice una herramienta de limpieza para evitar la acumulación de material.
 - r. Verifique constantemente el aumento de amperaje de la caja de control para controlar el atasco constante de la máquina.
 - s. Para el procedimiento de detención de parada del motor, permita que el motor trabaje en vacío por un periodo de 2 minutos para evitar la sobrecarga al motor en un próximo arranque de la máquina.
 - t. Presione el botón rojo de parada del motor, antes de retirarse de la máquina asegúrese la parada total del motor
 - u. Coloque la palanca de termo magnético en posición OFF y verifique que no haya alimentación eléctrica al tablero de control.
-

Nota. Elaborado por el autor, en base a (Quispe, 2020).

1.1.6 MANUAL DE MANTENIMIENTO Y LUBRICACIÓN.

Tabla 46.

Manual de mantenimiento.

Manual de mantenimiento y lubricación.

Antes del mantenimiento.

- a. Antes de efectuar el mantenimiento, asegúrese de tener los controles bloqueados y etiquetados, puede provocar serias lesiones o la muerte.
 - b. Siempre coloque la etiqueta de advertencia en la caja de control de arranque de la máquina para advertir a las demás personas que usted está realizando el mantenimiento de la máquina.
 - c. El mantenimiento, limpieza, ajustes, montaje y desmontaje de protectores de movimientos solo deberá llevarse a cabo con el motor apagado utilizando dispositivos de bloqueo de energía.
 - d. Solo utilice herramientas adecuadas para el trabajo a realizar, usar herramientas de baja calidad, defectuosa o de reemplazo podría provocar lesiones personales. Al
-

realizar trabajos de mantenimiento y afilado de cuchillas asegúrese de utilizar herramientas estandarizadas.

Durante el mantenimiento.

Nota: solo personal autorizado puede dar servicio y repara la máquina.

- a. Mantenga limpia la máquina la grasa, herramientas dispersas, etc. pueden hacerlo tropezar o resbalar, mantenga siempre la máquina limpia y ordenada.
 - b. Si entra agua al sistema eléctrico, hay peligro de que la máquina pueda moverse inesperadamente y/o dañar los componentes. No use agua ni vapor para limpiar los contactores eléctricos.
 - c. Nunca rocíe agua en las cubiertas del motor eléctrico se puede producir daños a los inducidos del motor.
 - d. Al realizar el desmontaje de la tolva de la máquina coloque en un lugar seguro para que no se caigan.
 - e. Siempre baje todo el componente al piso o su punto más bajo antes de dar servicio o efectuar reparaciones debajo de la máquina.
 - f. Nunca trabaje debajo de componentes suspendidos.
 - g. Manténgase alejado de las partes en movimiento como las poleas de motor y eje porta cuchillas, si entra en contacto directo o indirecto con partes en movimiento puede sufrir serios daños.
 - h. Siempre apriete los pernos de las cuchillas al torque recomendado ya que pueden aflojarse o sufrir una rotura por exceso de torque en los pernos de sujeción de las cuchillas.
 - i. Después de ajustar o reparar, vuelva a colocar las protecciones y guardas de las partes en movimiento.
 - j. Antes de soldar y/o reparar la máquina asegúrese que la puesta a tierra este cerca de la zona a soldar ya que puede dañar contactores. Proteja los cables eléctricos de salpicaduras por efecto del soldeo.
-

-
- k. La inspección visual es primordial al inicio de cada turno, camine alrededor de la máquina, realice una cuidadosa inspección visual, revise que todos los componentes se encuentren en condiciones óptimas, revise pernos, si existe fisuras o desgaste en las fajas.
-

Nota. Elaborado por el autor, en base a (Quispe, 2020).