



**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**MODELO CONCEPTUAL DE UNA MÁQUINA
TRITURADORA DE CAUCHO PARA EL RECICLAJE
SOSTENIBLE DE NEUMÁTICOS EN LAMBAYEQUE**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Autor

Lozada Silva Roimer Gabriel

ORCID <https://orcid.org/0009-0002-4903-1994>

Asesor:

Dr. Rojas Coronel Angel Marcelo

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2720-9707>

Línea de Investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

Sub línea de Investigación:

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura
Pimentel-Perú**

2024


DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy(somos) egresado (s)del Programa de Estudios de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

**MODELO CONCEPTUAL DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA EL
RECICLAJE SOSTENIBLE DE NEUMÁTICOS EN LAMBAYEQUE**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

LOZADA SILVA ROIMER GABRIEL	DNI: 76180791	
-----------------------------	---------------	---

Pimentel, 08 de febrero de 2025

Dedicatoria

A mis padres, cuyo apoyo incondicional e impulso continuo han sido el apoyo esencial en mi crecimiento personal y académico. A mis profesores y compañeros de trabajo, que con sus lecciones han ampliado mi perspectiva profesional y me han motivado a alcanzar mis objetivos con efectividad.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por su paciencia y apoyo constante durante este proceso. A mis docentes, por su valiosa orientación y sus contribuciones críticas que han facilitado la mejora de este trabajo. Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a mis compañeros y amigos, cuya cooperación y respaldo han sido fundamentales en mi desarrollo académico.

Índice

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos	4
Resumen	6
Abstract	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Realidad Problemática.....	9
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Hipótesis.....	15
1.4 Objetivos	15
1.5 Teorías Relacionadas al tema	16
II. METODO DE INVESTIGACION.....	20
III. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	47
IV. REFERENCIAS.....	49

Resumen

Este trabajo de investigación propone un modelo conceptual de una máquina trituradora de neumáticos para el reciclaje sostenible de neumáticos en la región de Lambayeque. La acumulación de neumáticos no utilizados (NFU) constituye un grave problema medioambiental debido a su gradual degradación y a las emisiones contaminantes originadas por su incineración o desecho. El estudio se enfoca en examinar las tecnologías presentes de trituración, elaborar un modelo de maquinaria que se ajuste a las demandas locales y valorar los efectos sociales y medioambientales de su puesta en marcha. Se seleccionó por la trituración mecánica como la tecnología fundamental por su factibilidad técnica y económica, además de su facilidad de aplicación en escala reducida. Mediante el estudio de parámetros operativos, la representación en caja negra y la matriz morfológica, se consiguió determinar un diseño inicial de la máquina que maximiza la eficiencia y reduce el impacto en el medio ambiente. Finalmente, los hallazgos señalan que el modelo sugerido puede aportar de manera significativa a la administración sostenible de los NFU en Lambayeque, fomentando la economía circular y la mejora de la calidad ambiental en la zona.

Palabras clave: neumáticos, trituradora, reciclaje, Economía circular, Impacto ambiental

Abstract

This research work proposes a conceptual model of a tire machine for sustainable tire recycling in the Lambayeque region. The accumulation of unused tires (UNUTs) is a serious environmental problem due to their gradual degradation and the polluting emissions caused by their incineration or disposal. The study focuses on examining the current shredding technologies, developing a machinery model that fits local demands and assessing the social and environmental effects of its implementation. Mechanical shredding was selected as the fundamental technology due to its technical and economic feasibility, as well as its ease of application on a small scale. By studying operational parameters, black box representation and morphological matrix, it was possible to determine an initial design of the machine that maximizes efficiency and reduces the impact on the environment. Finally, the findings indicate that the suggested model can significantly contribute to the sustainable management of UNUTs in Lambayeque, promoting the circular economy and improving environmental quality in the area.

Keywords: tires, shredder, recycling, circular economy, environmental impact

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad unos de los principales problemas que enfrenta nuestro planeta es la contaminación, El reutilizamiento de productos al final de su vida útil se ha convertido en una opción efectiva para reducir los niveles de contaminación.

La contaminación generada por los neumáticos desechados representa un desafío ambiental significativo a nivel mundial. Con millones de neumáticos desechados cada año, este material se acumula en vertederos, espacios abiertos e incluso en cuerpos de agua, contribuyendo a la contaminación del suelo, el agua y el aire. A medida que la población mundial y el parque automotor continúan creciendo, la gestión adecuada de los neumáticos al final de su vida útil se ha vuelto una preocupación urgente.

Los residuos sólidos generados por los neumáticos representan un problema, ya que su eliminación y reutilización son complicadas debido a su tamaño, forma y naturaleza de degradación físico-química, lo cual requiere un esfuerzo significativo. Generalmente, cuando un neumático llega al final de su vida útil, es desechado mediante su quema directa o abandonado en lugares que perjudican el medio ambiente. El problema grave de estas acciones es la acumulación de neumáticos y la emisión de gases contaminantes al quemarlos. [1]

En este contexto, por la necesidad de encontrar soluciones efectivas para el reciclaje y la gestión de neumáticos desechados. En esta investigación tiene como finalidad dar una solución viable al aprovechamiento del caucho reciclado a través del planteamiento de una trituradora de caucho la cual no solo facilitaría el proceso de reciclaje, sino que también contribuiría a la reducción de desechos y al mismo tiempo ofrecería una solución rentable y sostenible para la producción de una variedad de productos de caucho reciclado.

1.1 Realidad Problemática.

Los neumáticos desechados son una fuente importante de contaminación debido a su composición y volumen. Hechos principalmente de caucho, que tarda cientos de años en descomponerse, los neumáticos desechados liberan compuestos tóxicos y contaminantes a medida que se descomponen. Estos compuestos pueden infiltrarse en el suelo y las aguas subterráneas, afectando negativamente a los ecosistemas locales y la salud humana.

Según el Departamento de Investigación de Statista, la producción mundial combinada de caucho natural y sintético, En el año 2000, ascendió a alrededor de 17,68 millones de toneladas métricas. Para 2023, esta cantidad había aumentado a aproximadamente 28,8 millones de toneladas métricas [2].

Casi el 70% de la producción mundial de caucho se destina a la fabricación de neumáticos. Se estima que alrededor de 800 millones de neumáticos en desuso son desechados anualmente en todo el mundo, lo que equivale a aproximadamente 10 millones de toneladas. Considerando que tanto el caucho natural como el sintético representan alrededor del 60% del peso de un neumático, esto significa que cada año se generan aproximadamente 6 millones de toneladas de residuos de neumáticos [3]. Con millones de neumáticos desechados cada año, este material se acumula en vertederos, espacios abiertos e incluso en cuerpos de agua, contribuyendo a la contaminación del suelo, el agua y el aire. A medida que la población mundial y el parque automotor continúan creciendo, la gestión adecuada de los neumáticos al final de su vida útil se ha vuelto una preocupación urgente. Los neumáticos desechados son una fuente importante de contaminación debido a su composición y volumen. Hechos principalmente de caucho, que tarda cientos de años en descomponerse, los neumáticos desechados liberan compuestos tóxicos y contaminantes a medida que se descomponen. Estos compuestos pueden infiltrarse en el suelo y las aguas subterráneas, afectando negativamente a los ecosistemas locales y la salud humana.

Lo más preocupante es que representan un grave riesgo de incendio, especialmente durante las estaciones secas. Los incendios de neumáticos son extremadamente difíciles de extinguir debido a su alto contenido energético y al gran volumen de espacio vacío que proporciona oxígeno al fuego. Además, apagar estos incendios con agua no es una solución ideal, ya que transporta subproductos nocivos al entorno circundante. Un ejemplo de los efectos devastadores de este tipo de incendios es el ocurrido en Tire King Recycling en Canadá, que duró 17 días [4].

El 63% (426.605) de los vehículos automotores que circulan por la capital colombiana son automóviles, repartiéndose el 47% restante entre campers (15%) (101.573 vehículos), camionetas (16%) (108.344 vehículos) y vehículos comerciales (6%). entre. (40.629 unidades). La ciudad de Bogotá tiene en promedio un automóvil por cada 17 habitantes. A juzgar por la cantidad de llantas producidas, según datos del Parque del Automóvil de Bogotá, la cantidad de llantas producidas para diversos tipos de vehículos cada año es de 2.059.555, las llantas actualmente en uso, incluyendo las de motor de dos ruedas, son 3.987.000; Todas estas cantidades de neumáticos se van descomponiendo paulatinamente en el suelo de Bogotá, y el conteo anual de llantas de desecho en la ciudad es de 2.500.000, de las cuales 750.000 finalmente son desechadas [5].

Las cuestiones relacionadas con la eliminación del caucho posconsumo han llevado a los gobiernos a comenzar a desarrollar e implementar regulaciones de manera cada vez más decisiva destinadas a reducir la contaminación generada por estos desechos. En particular, algunas de estas regulaciones alientan a la industria a utilizar caucho reciclado en su procesamiento, siendo Taiwán un pionero en implementar las regulaciones anteriores. Posteriormente, Estados Unidos, Japón y los países de la UE han ido incursionando sucesivamente en este campo, convirtiéndose en la región con mayor grado de desarrollo legislativo en la actualidad [6].

En países de Europa y recientemente en Chile, se ha implementado la ley REP o responsabilidad extendida del productor. Esta ley obliga a los importadores y productores de neumáticos a reciclar el 25% de los productos descartados al final de 2021 y, a las compañías mineras, al 100% al final de 2026. Esta normativa está a punto de ser implementada en el país y que elevaría los costos de los neumáticos nuevos, dado que el valor del reciclaje aumenta [7].

En el Perú en los últimos años se registró un aumento de los neumáticos en el mercado, En los últimos años, en nuestro país hemos observado un aumento en la disponibilidad de estos productos en el mercado. En 2014, se registró la entrada de 55,673 toneladas de llantas, mientras que en 2018 esta cifra aumentó a 92,659 toneladas, las cuales posteriormente se convirtieron en Neumáticos Fuera de Uso (NFU) [8].

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) reveló que, en febrero de 2024, el Índice Nacional de Flujo Vehicular, que mide el tránsito de vehículos ligeros y pesados por las vías de peaje del país, experimentó un aumento del 3,9% en relación con el mismo periodo del año 2023. El reporte técnico sobre Flujo Vehicular por Unidades de Peaje indica que, en el resultado mensual, el movimiento predominante fue de vehículos ligeros (5,7%) y en menor grado el de vehículos pesados (1,2%). Es importante señalar que, durante los últimos doce meses (marzo 2023 - febrero 2024) se registró un crecimiento del 2,5% [9].

En Perú, el desarrollo del sector automotriz provocó niveles preocupantes de contaminación y generó residuos sólidos, como los neumáticos, que suelen carecer de un manejo apropiado para su reciclaje. Según la Asociación Automotriz del Perú, Lima y Callao representan cerca del 66% de los vehículos disponibles a nivel nacional. Anualmente, estos producen una considerable cantidad de neumáticos abandonados, que en su mayoría se dirigen a un vertedero debido a la escasez de sitios donde puedan ser reciclados de manera adecuada [10].

El parque automotor de las ciudades del sur va en extensión, por lo cual, el incremento del uso de neumáticos hace que se acumule la materia prima la cual posteriormente se puede transformar comercializar [11].

El problema vinculado a los desechos sólidos se ha intensificado desde la revolución industrial y el crecimiento poblacional del 1.8% en Arequipa. En los últimos diez años se registró un aumento de 180 000 personas, con Puno y Tacna que cuentan con aproximadamente 1 851 494. Por lo tanto, el incremento de vehículos motorizados se estima en aproximadamente 312 499 vehículos que circulan por las carreteras de Arequipa. Teniendo en cuenta que cada automóvil emplea al menos 4 neumáticos que al finalizar su ciclo de vida son desechados como basura [11].

Uno de los crecientes focos de residuos en el departamento de Lambayeque es el caucho de los neumáticos, ya que son vertidos sin control, generando constantemente problemas ambientales y perjudicando la salud de los habitantes [12].

En la Ciudad de Chiclayo, el parque automotor ha experimentado un aumento en los últimos años, principalmente por motivos socioeconómicos. Los ceses en los lugares de trabajo provocaron que una gran cantidad de esta población obtuviera vehículos para el transporte público, en especial taxis y combis. En cuanto a los vehículos, se cuenta con un parque automotor abundante y antiguo, con un alto porcentaje en el área urbana de taxis, mototaxis y camionetas rurales. El parque automotor menor constituye casi el 50% (14 945 motocarros y motos lineales), seguido por el automóvil con el 36,4% (10 883), la camioneta rural con el 11,4% (3 406) y el ómnibus con el 2,3% (673) del total del parque automotor de Chiclayo [13].

En la ciudad de Chiclayo cada día se desechan 264 unidades de neumáticos, sumando más de 1.91 toneladas cada año [14].

Esta es una problemática actual, especialmente en la ciudad de Chiclayo, donde el aumento de las necesidades de transporte de la mayoría de personas a diferentes

destinos ha llevado a un desgaste acelerado de los neumáticos y, por lo tanto, a un aumento en la cantidad de neumáticos desechados. Debido a la falta de leyes que exijan un tratamiento adecuado de los neumáticos fuera de uso.

Antecedentes

Ordoñez en el 2022 Realizo un diseño de una máquina para triturar elementos no vulcanizados de un neumático, con su implementación posterior. El objetivo es disponer de una máquina capaz de gestionar eficazmente el sistema de trituración del residuo conocido como BREAKER (cimas de alambre entrelazadas con caucho), que se considera el principal residuo dentro del conjunto de SCRAP-3 [15].

En el trabajo de grado realizado por Lalama y Navarrete en el 2016 presentan el diseño de una máquina trituradora de neumáticos con cuatro árboles, diseñada para triturar neumáticos a una granulometría del 20 mm. La trituradora proyectada tuvo una capacidad de 0.64 toneladas por hora, con una potencia instalada total de 140 HP y con 4 árboles con ejes de las mismas dimensiones, con un diámetro de 152.4 mm en su longitud. En este eje se encuentran 15 cuchillas de 440 mm de diámetro, 40 mm de ancho y un ángulo de corte de 20° [16].

En el trabajo de grado realizado por Méndez y Solano en 2010 presenta un diseño para un triturador de cuchillas rotativas, razón por sus características ideales para la trituración de neumáticos ya que al trabajar a bajas revoluciones no va a generar una temperatura que modifique las características del caucho vulcanizado, se tiene que considerar que la presencia de cuchillas rotativas va a generar un corte y desgarramiento del material de trituración para lo cual en este trabajo se optó por un triturador de cuchillas rotativas de 2 ejes el cual sería el ideal para la capacidad de 1 Ton/h, además, cuenta con 3 filos de corte los cuales son considerables para grandes esfuerzos teniendo en cuenta que el de fase de los discos es ideal a 21°, sin embargo este trabajo no se llevó a cabo la fase de construcción [17].

Vásconez en el 2020 este estudio en el que se presenta el diseño de una máquina trituradora para lograr granulometría fina a partir de neumáticos previamente troceados. Donde estableció que los principales requisitos de la máquina son 100 kg/h de trituración, la potencia necesaria para la máquina es de 190113,5 kW, sin embargo, con un ángulo de desfase de 9° entre cada cuchilla, dicha potencia se reduce a 12674 kW, lo que equivale a una disminución del 95% [18].

Una manera respetuosa con el medio ambiente de reciclar este tipo de material es a través de la desvulcanización, que implica la ruptura selectiva de los enlaces químicos azufre-azufre (S-S) y carbono-azufre (C-S) en la estructura tridimensional del caucho, sin degradar el material ni romper su red troncal. El caucho desvulcanizado resultante puede mezclarse con caucho virgen u otras matrices para crear nuevos compuestos sin una disminución significativa en sus propiedades mecánicas y físicas. Existen varios métodos de desvulcanización, como los químicos, por ultrasonidos, por microondas, termo mecánicos, entre otros. Sin embargo, la desvulcanización termo mecánica, especialmente la basada en extrusión, parece ser la más adecuada para su aplicación a escala industrial. Se ha propuesto el uso de CO₂ supercrítico como una alternativa respetuosa con el medio ambiente para mejorar este proceso de desvulcanización. En condiciones supercríticas, el CO₂ expande el caucho y debilita los enlaces de sulfuro, facilitando su ruptura [19].

Se ha llevado a cabo una revisión crítica de la recuperación de caucho molido de neumáticos (GTR) mediante procesos ambientales, criogénicos y otros métodos. Se ha encontrado que los agregados de caucho reciclado pueden ser utilizados directamente como rellenos y modificadores en la producción de asfalto y hormigón con caucho. Además, el GTR puede ser sometido a procesos adicionales como desvulcanización química, mecanoquímica, por microondas, por ultrasonido y microbiana para mejorar su usabilidad en los procesos mencionados anteriormente. Otro enfoque de reciclaje beneficioso es la recuperación de energía, aceites, sólidos

y productos gaseosos mediante la combustión o pirolisis de neumáticos fuera de uso (ELT, por sus siglas en inglés). Sin embargo, se sugiere que este enfoque no aprovecha completamente las propiedades útiles del caucho vulcanizado. Además, la viabilidad de tales métodos depende del mercado disponible y de la aceptación de los derivados del neumático, como combustibles alternativos [20].

1.2 Formulación del problema

¿De qué manera un modelo conceptual de trituradora de neumáticos puede aportar al reciclaje sostenible de neumáticos desechados en Lambayeque?

1.3 Hipótesis

La implementación de un modelo conceptual de trituradora de neumáticos podría mejorar el reciclaje de neumáticos en Lambayeque, fomentando la sostenibilidad del medio ambiente y produciendo ventajas económicas.

1.4 Objetivos

Objetivo general

- Plantear un Modelo conceptual de trituradora de caucho para el reciclaje sostenible de neumáticos en Lambayeque.

Objetivos específicos

- Analizar las tecnologías actuales de trituración de neumáticos.
- Desarrollar un modelo conceptual de trituradora de caucho enfocado en la sostenibilidad.
- Evaluar el impacto ambiental y social de la implementación del modelo propuesto en Lambayeque.

1.5 Teorías Relacionadas al tema

- **Caucho**

El caucho es un polímero elástico, resistente e impermeable que se obtiene a partir del látex, una sustancia lechosa que se encuentra en ciertas plantas, principalmente en el árbol de caucho (*Hevea brasiliensis*). se utiliza en la fabricación de una amplia variedad de productos, como neumáticos de automóviles, piezas de maquinaria, calzado, productos médicos, entre otros. Además del caucho natural, también existen cauchos sintéticos, que se fabrican a partir de derivados del petróleo y se utilizan en una variedad de aplicaciones similares.

Existen 2 tipos de caucho:

- **Caucho natural**

es un material que se obtiene del látex producido por ciertas especies vegetales como una defensa contra heridas en la corteza de su tronco. Este látex es una mezcla de grasas, proteínas, hidrocarburos y azúcares de origen vegetal. La proporción de caucho en el látex varía según la especie vegetal, oscilando entre un 80% y un 95%, siendo principalmente un polímero de isopreno [21].

- **Caucho sintético:**

El caucho sintético es un material fabricado artificialmente, generalmente a partir de derivados del petróleo, que posee propiedades similares a las del caucho natural. Es capaz de experimentar una deformación elástica significativa y luego recuperar su forma original sin deformación permanente. Este material se produce mediante la polimerización de varios monómeros, incluyendo el isopreno y el isobutileno. Al agregar aditivos

controlados, es posible modificar diversas propiedades físicas, mecánicas y químicas del caucho sintético. [21]

- **Neumático**

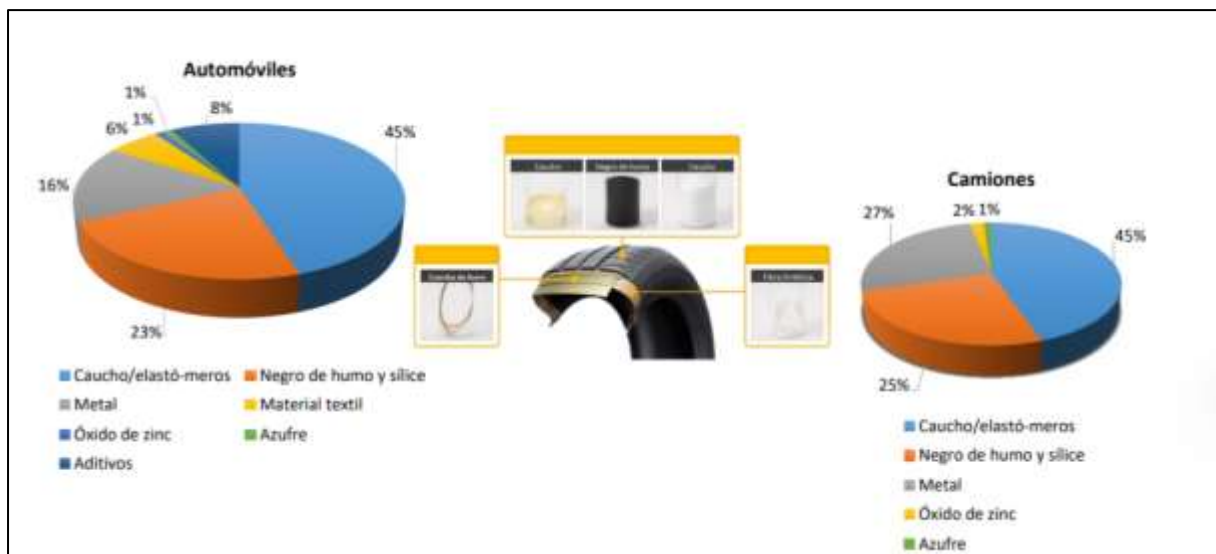
Los neumáticos son componentes que facilitan el movimiento de vehículos en una superficie. Su función se basa en la presión producida por el aire en la cámara y soporta el peso para el que se fabricó. Además, tienen la responsabilidad de resistir todos los esfuerzos durante su uso, la fuerza de frenado y la tracción, además proporcionan seguridad y estabilidad al usuario [18].

- **Composición de un neumático**

Hoy en día, los materiales de los neumáticos varían considerablemente según cada productor, por lo que se ha utilizado como referencia a los componentes esenciales que constituyen los neumáticos [18].

En la siguiente figura se muestra la composición de un neumático dependiendo si es un automóvil o un camión.

Figura: 1



Fuente: [22].

La figura 1 muestra el porcentaje de los materiales. El caucho es el componente principal ya que proporciona la elasticidad y estabilidad térmica del neumático al ser utilizado. Además, se añade el negro de humo que contribuye a la resistencia de los cauchos frente a la oxidación. Además, se utilizan el acero y fibras textiles en la banda de rodadura para reforzar la resistencia y soporte del automóvil; también, a través del proceso de vulcanización, se adhieren sustancias químicas con elevadas concentraciones de óxido de zinc.

- **Neumáticos fuera de uso**

Los neumáticos fuera de uso (NFU) son componentes desechados de automóviles, autobuses, camiones, bicicletas y vehículos agrícolas, que a menudo se acumulan en vertederos para su posterior reciclaje. Un neumático está compuesto por más de 100 sustancias diferentes, siendo el caucho la principal de ellas. [23]

- **Recuperación de productos de caucho**

la recuperación de desechos de caucho es la solución más deseable para el problema de la eliminación de residuos. La recuperación de productos de desecho de caucho, como neumáticos y cámaras de automóviles usados, mangueras, cintas transportadoras, etc., consiste en convertir un polímero termoestable fuerte, insoluble e infusible, con una estructura tridimensional, en un plástico bidimensional, blando, más pegajoso, de bajo módulo y procesable, y en un producto esencialmente termoplástico vulcanizable que imita muchas de las propiedades del caucho virgen. Por lo tanto, la recuperación y el reciclaje del caucho a partir de productos de caucho usados y desechados pueden ahorrar valiosos recursos petrolíferos y resolver los problemas de eliminación de residuos de caucho. [24]

- **Negro de Carbono**

El negro de carbono es un compuesto originado por la combustión parcial de los productos derivados del petróleo. Se utiliza como relleno para el caucho de las ruedas, a mayor tamaño de la partícula de negro de carbono, más robusta será la resistencia a la tracción. Este material se incorpora para incrementar la resistencia tanto a la abrasión como a la rasgadura del caucho [25].

II. METODO DE INVESTIGACION

El enfoque de investigación utilizado para este estudio es descriptivo y documental, lo que resulta apropiado teniendo en cuenta que no se llevarán a cabo experimentos prácticos. Este método posibilita examinar y describir las tecnologías actuales de reciclaje de neumáticos, además de elaborar un modelo conceptual ajustado a las demandas de la región de Lambayeque. Al basarse en fuentes secundarias fiables y un exhaustivo análisis teórico, se pretende establecer los cimientos para futuros estudios que contemplen pruebas prácticas.

Se llevó a cabo una revisión sistemática de bibliografía pertinente. Para lograrlo, se recurrió a bases de datos científicas como (Scopus, SpringerLink y ScienceDirect), sumado a reportes técnicos y proyectos a nivel mundial relacionados con el reciclaje de neumáticos. Las palabras clave empleadas comprendieron "reciclaje de neumáticos", "trituration de neumáticos" y "modelos sustentables". Esta evaluación posibilitó la identificación de tecnologías factibles, tales como la pirolisis, la devulcanización en microondas y el moldeado sustentable. La elección de documentos se restringió a publicaciones de la última década para asegurar que los datos estudiados fueran recientes y pertinentes para los propósitos de la investigación.

Análisis Comparativo de Tecnologías se llevó a cabo un estudio comparativo de tecnologías, empleando criterios establecidos previamente como los costos operativos, el impacto ambiental y la facilidad de implementación en entornos locales. Este estudio posibilitó establecer los puntos fuertes y débiles de cada tecnología, además de su concordancia con los principios de sostenibilidad. Por ejemplo, la pirolisis resulta efectiva para transformar neumáticos en subproductos de gran valor, aunque su elevado costo inicial la hace menos asequible para Lambayeque. En contraposición, el moldeado sostenible se distingue por su impacto ambiental reducido y su factibilidad económica.

El diseño del modelo conceptual se llevó a cabo teniendo en cuenta las necesidades particulares de Lambayeque. Este diseño comprende un método de trituración primaria para disminuir al inicio el tamaño de los neumáticos y una trituración secundaria para adquirir partículas más pequeñas de goma. Se dio prioridad a la eficiencia energética y la sostenibilidad al seleccionar los elementos del modelo, garantizando que la propuesta sea flexible y posible de realizar dentro de las restricciones económicas y logísticas de la región.

Aunque el método utilizado tiene fortalezas notables, también posee restricciones. La ausencia de ensayos experimentales sugiere que el modelo teórico no puede ser comprobado en un contexto real durante este periodo. No obstante, esta restricción se minimiza a través de la utilización de fuentes fiables y un enfoque crítico en el estudio de los datos. Además, la investigación ofrece una base firme para futuras investigaciones que aspiren a llevar el modelo a un nivel experimental.

RESULTADOS

Análisis de las tecnologías de trituración y reutilización de neumáticos usados.

La trituración de neumáticos representa una de las fases fundamentales en su proceso de reciclaje. Este procedimiento posibilita disminuir el tamaño de los neumáticos para simplificar su reutilización o transformación en productos de uso efectivo. Hay varias tecnologías que se han creado y ajustado a las demandas industriales y ambientales, cada una con sus respectivos beneficios, restricciones y gastos relacionados.

A continuación, se analizará los diferentes tipos de tecnologías de trituración de neumáticos

La desvulcanización del caucho es un efectivo procedimiento de reciclaje que tiene un gran potencial para la generación de materias primas de alta calidad a partir de residuos de los vehículos. El material obtenido puede convertirse en productos valiosos que podrían funcionar como reemplazo del caucho ecológico. [26].

En el proceso de desvulcanización se siguen dos pasos: la reducción de tamaño del caucho y la rotura de los enlaces químicos, los cuales pueden lograrse por medio de estos procesos:

Proceso de Micro Ondas. La aplicación natural del proceso de vulcanización del caucho es el calentamiento en microondas. Dado que el caucho es un ineficiente transmisor de calor, cualquier procedimiento que calienta el caucho en base a su conductividad resulta ineficaz. El calor volumétrico generado por microondas penetra uniformemente en la goma y calienta el material desde el interior hasta la superficie al mismo tiempo. El microondas facilita el calentamiento de la goma a la temperatura necesaria en tan solo unos segundos, mientras que un flujo de aire caliente a 240°C preserva las condiciones durante todo el proceso de vulcanización.

Proceso Químico. La desvulcanización química es un procedimiento por lotes donde las partículas de tamaño reducido (de malla 10 a malla 30) se combinan con sustancias reactivas en un reactor a cerca de 180 °C y una presión de 15 bar.

Proceso Ultrasónico. Los residuos de caucho de los neumáticos son un material tóxico y no biodegradable, lo que conlleva a su eliminación como un desafío ecológico y económico. Con el uso de ultrasonidos para desvulcanizar los neumáticos, los enlaces químicos de azufre-azufre y azufre-carbono se descruzan, generando una masa fundida de caucho suave. Esta masa de caucho fundida producida por ultrasonidos tiene la capacidad de ser reprocesada y moldeada para generar nuevos productos de caucho [27].

El proceso de reciclaje de caucho de neumáticos mediante ultrasonidos es bastante sencillo y ha demostrado su eficacia. El proceso lineal de reciclaje de neumáticos por ultrasonidos es escalable, lo que posibilita el manejo de grandes cantidades a nivel industrial con costos reducidos.

La termólisis. La termólisis es un proceso térmico en ausencia de oxígeno que se emplea generalmente para la recuperación de los compuestos que forman los neumáticos [28].

De hecho, es un sistema donde los desechos de neumáticos son sometidos a un calentamiento en un ambiente donde no hay oxígeno. Las elevadas temperaturas y la falta de oxígeno provocan la destrucción de los vínculos químicos, surgiendo así cadenas de hidrocarburos. Es el método para recuperar nuevamente los compuestos originales del neumático, por lo que es el procedimiento que logra la recuperación completa de los componentes del neumático [29].

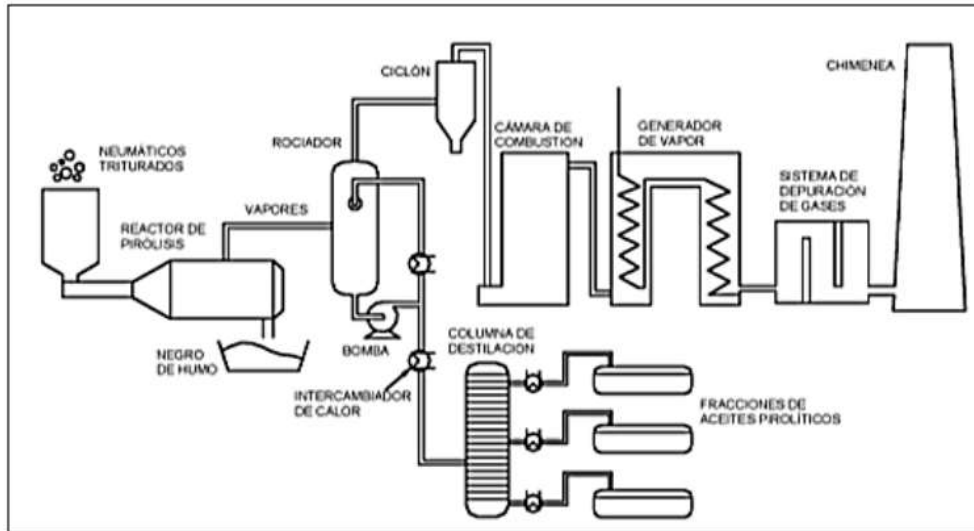
Pirolisis. Similar a la termólisis, este procedimiento implica la descomposición térmica del material en la falta de oxígeno en hornos con temperaturas que oscilan entre 600 y 800 grados Celsius. Algunos productos producidos durante este procedimiento incluyen oleofinas (alquenos), cera y hollin [25].

La pirólisis es un procedimiento de reciclaje químico, levemente endotérmico, que tiene la capacidad de descomponer una gran cantidad de los componentes del neumático, resultando en compuestos más reducidos, simples y adaptables para su integración en nuevos procesos [30].

Por lo general, la pirólisis de neumáticos no utilizados (NFU) genera tres fracciones fundamentales: una corriente gaseosa abundante en hidrocarburos ligeros, incluyendo el hidrógeno, que puede ser empleada para proporcionar la energía necesaria para el proceso de pirólisis mismo; una corriente líquida de hidrocarburos con propiedades parecidas a un tipo de gasoil intermedio, que incluye una cantidad considerable de compuestos aromáticos de un solo anillo y dependiendo de la manera en que se lleve a cabo el proceso de limpieza, todos estos compuestos resultan de gran interés para aplicaciones industriales

El pirólisis de los NFU se establece como uno de los métodos más prometedores desde el punto de vista de la economía circular, dado que posibilita la recuperación del CB contenido en los NFU, junto con otros productos de gran valor añadido en forma de líquidos y gases [30].

Proceso de la pirolisis



Fuente: [31]

Aunque el proceso de pirólisis sea sofisticado y a la vez una excelente alternativa para la producción de combustibles y la generación de energía y elementos empleados en otros procesos, necesita de una considerable inversión. En ciertos casos, se pueden mencionar posibles problemas de emisiones atmosféricas y complejidad al realizar la separación de la amplia gama de compuestos producidos en cantidades mínimas, de manera que su recuperación y traslado hasta los lugares de consumo no son económicamente viables [31].

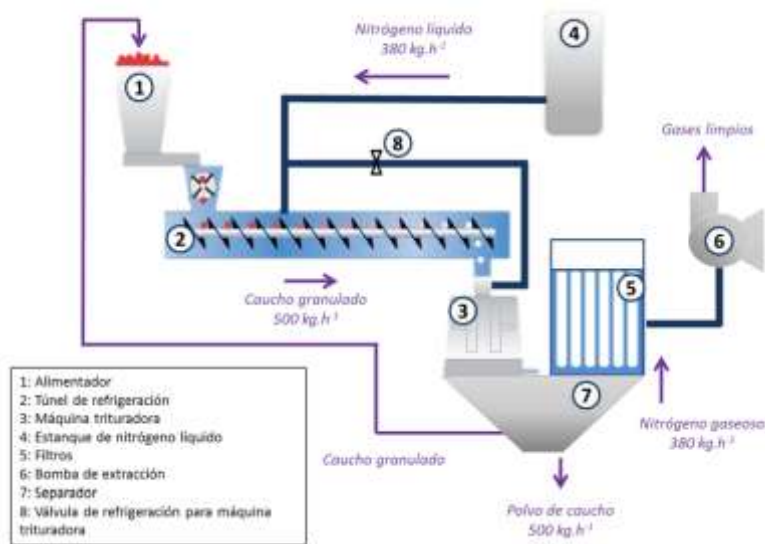
Trituración mecánica. Se trata de transformar los neumáticos abandonados en fragmentos de menor tamaño, este procedimiento generalmente se utiliza como paso intermedio para otros métodos de reciclaje e incluye tres fases. En la primera se fragmentan los neumáticos en tiras. En la segunda fase, las bandas de material son

introducidas en un triturador que continúa fragmentando el material para facilitar la separación del acero que conforma los neumáticos a través de la utilización de imanes. Finalmente, después de eliminar el acero, se coloca el material sobrante en otro triturador para conseguir la granulometría requerida. Según la forma y la granulometría, se llevará a cabo una trituración (tamaño del producto final amplio) o una granulación (tamaño del producto final pequeño) [28]. La trituración mecánica es un procedimiento económico, es importante resaltar que se realiza a temperatura ambiente y facilita la separación de los componentes del neumático. Por esta razón, se aconseja como un paso previo, sin importar el producto de reciclaje que se requiera [31].

Trituración criogénica. Este proceso se conoce como "criogénico", ya que los neumáticos o sus astillas se refrigeran a una temperatura que no supera los -80°C , empleando nitrógeno líquido. Bajo esta temperatura, el caucho se torna quebradizo como el vidrio y se puede reducir su tamaño a través de prensado y molido. Este método de reducción de tamaño permite el molido y la liberación de acero y fibra, lo que conlleva a un producto final más limpio [15].

El sistema requiere de áreas complejas, lo que provoca que sus gastos sean altos, tanto en el mantenimiento de los equipos, como en la complejidad de su procedimiento, lo que resulta en poco rentables al momento de obtener beneficios de la trituración. El procedimiento provoca que la calidad del producto final sea de baja calidad, además de presentar un nivel de complicaciones en la separación del caucho y acero, entre otros elementos [15].

Diagrama de flujo de procesos de la trituración criogénica



Fuente: [32]

No obstante, debido a sus características particularmente costosas en comparación con otras opciones como la trituración mecánica convencional, el uso de este procedimiento no es muy común ya que el aumento de este gasto no compensa la optimización en el rendimiento del proceso [28].

Ventajas y desventajas de cada uno de los procesos

En la tabla se muestran las diferentes ventajas y desventajas de cada una de las técnicas.

Técnica	Ventajas	Desventajas
Devulcanización	<ul style="list-style-type: none"> Permite recuperar el caucho vulcanizado, devolviéndole propiedades similares al caucho virgen. Genera un material reciclado de alta calidad para aplicaciones avanzadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso técnicamente complejo y costoso, con alta dependencia de equipos especializados y productos químicos. Baja capacidad de producción, lo que limita su escalabilidad en proyectos de reciclaje pequeños.

	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuye a la economía circular al reducir la necesidad de caucho virgen en nuevos productos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un control estricto de las condiciones de operación para garantizar la calidad del material reciclado.
Termólisis	<ul style="list-style-type: none"> • Convierte los neumáticos en materiales reutilizables como carbón negro y gas, con aplicaciones comerciales. • Reduce significativamente el volumen de residuos de caucho en los vertederos. • Subproductos con alto valor comercial, como gas y carbón negro, que pueden diversificar los ingresos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera emisiones que requieren sistemas de depuración avanzados para cumplir con normativas ambientales. • Elevados costos operativos y de inversión inicial debido a la complejidad del proceso. • No es rentable para proyectos de pequeña escala debido a su complejidad técnica.
Pirolisis	<ul style="list-style-type: none"> • Produce aceites combustibles y carbón negro, lo que la convierte en una tecnología sostenible. • Ofrece una alternativa más limpia a la incineración de neumáticos al evitar la liberación directa de gases tóxicos. • Reduce la acumulación de residuos al convertir los neumáticos en subproductos valiosos. 	<ul style="list-style-type: none"> • consumo energético elevado durante el proceso de descomposición de los neumáticos. • Requiere una inversión inicial significativa en equipos especializados y sistemas de control de emisiones. • Complejidad técnica que la hace poco viable para proyectos con limitaciones tecnológicas y financieras.
Trituración mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Es el método más accesible económicamente y fácil de implementar en proyectos de pequeña escala. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera polvo de caucho, que puede representar riesgos para la salud si no se controla adecuadamente.

	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona gránulos de caucho o partículas reutilizables en aplicaciones como asfalto modificado o suelos deportivos. • Adecuada para proyectos comunitarios o plantas de reciclaje pequeñas, dada su simplicidad técnica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las cuchillas requieren mantenimiento frecuente debido al desgaste constante. • Menor capacidad para transformar residuos en subproductos de alto valor en comparación con técnicas avanzadas.
Trituración criogénica	<ul style="list-style-type: none"> • Produce partículas uniformes y de alta calidad al congelar los neumáticos con nitrógeno líquido. • Genera menos polvo y emisiones en comparación con otros métodos. • Ideal para aplicaciones especializadas que exigen partículas muy finas de caucho. 	<ul style="list-style-type: none"> • El uso de nitrógeno líquido aumenta significativamente los costos operativos, limitando su viabilidad económica. • Requiere infraestructura avanzada, lo que dificulta su implementación en áreas con recursos limitados. • Alto costo de los insumos y mantenimiento técnico especializado.

elaboración propia 1

Tras analizar las cinco técnicas de trituración, la trituración mecánica se selecciona como la más adecuada para el modelo conceptual de la máquina. Esta decisión se fundamenta en los siguientes puntos:

Se ha elegido la trituración mecánica como el procedimiento más apropiado para el modelo conceptual de la máquina trituradora de caucho que se propone en este estudio. Esta técnica se distingue por su sencillez técnica y su coste reducido, lo que la convierte en factible en situaciones con recursos escasos, como la situación de Lambayeque.

En contraposición a técnicas avanzadas como la pirolisis o la trituración criogénica, la trituración mecánica no demanda una infraestructura sofisticada ni una considerable inversión inicial, elementos esenciales para proyectos de pequeña escala.

Adicionalmente, este método tiene la capacidad de producir materiales reciclados polivalentes, como gránulos de caucho y polvo, que poseen una gran variedad de usos comerciales, entre ellos la producción de asfalto modificado, baldosas y suelos deportivos.

Aunque puede producir polvo durante el proceso, este problema puede ser reducido mediante la aplicación de sistemas de filtrado, garantizando el acatamiento de las regulaciones medioambientales. La trituración mecánica, debido a su balance entre accesibilidad económica, eficacia en las operaciones y adaptabilidad local, se alinea perfectamente con las metas de sostenibilidad y practicidad del modelo conceptual sugerido.

Modelo conceptual de trituradora de caucho enfocado en la sostenibilidad.

Lista de parámetros de trabajo de la máquina trituradora de neumáticos

Capacidad de procesamiento. La máquina estará diseñada para procesar hasta 316.8 kilogramos de neumáticos al día, debido a su tamaño reducido y su orientación hacia usos locales. Esta capacidad posibilitará gestionar un volumen adecuado de neumáticos para cubrir las demandas de reciclaje de pequeñas plantas en Lambayeque, garantizando un flujo ininterrumpido de materiales reciclados.

Producción. La máquina funcionará de manera constante, logrando un 80% de tiempo eficaz durante su operación cotidiana. Este desempeño será suficiente para asegurar una producción constante, reduciendo las interrupciones y potenciando la eficiencia en las operaciones, incluso en un equipo de menor tamaño.

Abastecimiento del caucho. Se desarrollará un sistema de abastecimiento manual para permitir la entrada de neumáticos de un diámetro, que sean compatibles con los neumáticos de vehículos y motocicletas, que son los más habituales en la zona. Este sistema de suministro será sencillo pero eficaz, apropiado para una máquina de tamaño reducido que no necesita automatización sofisticada.

Control. La máquina dispondrá de un sistema de control manual, junto con indicadores fundamentales de funcionamiento como medidas de temperatura, velocidad de trituración y uso de energía. Este sistema facilitará a los trabajadores la modificación de los parámetros según se requiera, garantizando una gestión sencilla y accesible para pequeñas instalaciones o proyectos de la comunidad.

Seguridad. Se implementarán sistemas fundamentales de protección, tales como protecciones en las zonas de corte y sensores que interrumpirán automáticamente el funcionamiento en situaciones de bloqueos o sobrecargas. Estos atributos asegurarán la protección de los trabajadores y respetarán las regulaciones fundamentales de seguridad industrial, ajustándose a las demandas de una máquina de tamaño reducido.

Fabricación. La máquina se construirá con materiales reciclables, como el acero reutilizado, con el objetivo de disminuir su huella ambiental y mantener los gastos de producción reducidos. Su diseño modular y compacto facilitará su montaje y traslado, lo que resultará perfecto para proyectos en zonas rurales o espacios de tamaño reducido.

Mantenimiento. Se programará el mantenimiento de la máquina cada 500 horas de funcionamiento, debido a su sencillez y reducido tamaño. Se diseñará de manera que sea sencillo acceder a los elementos esenciales, como las cuchillas y los motores, permitiendo a los usuarios efectuar revisiones y reparaciones rápidas sin requerir de utensilios especializados.

Transporte. La máquina contará con un diseño compacto y desmontable, lo que simplificará su transporte a distintos lugares en vehículos de tamaño reducido o camionetas. Este diseño facilitará su aplicación en proyectos de movilidad o en comunidades que necesiten compartir el equipo entre distintos lugares de reciclaje.

Ergonomía. La máquina contará con controles de fácil acceso y estaciones de energía diseñadas para reducir la carga física de los trabajadores. Además, su diseño compacto incorporará interfaces simples que simplificarán su uso, disminuyendo el cansancio y optimizando las condiciones de trabajo en jornadas extensas.

Tipo de trituración. El equipo empleará un sistema de trituración que se realizará en dos fases. La primera fase disolverá los neumáticos en fragmentos de gran tamaño, mientras que la segunda fase generará partículas pequeñas, idóneas para productos reciclados elementales como gránulos de goma o componentes de tamaño medio. Este diseño balanceado potenciará la adaptabilidad de la máquina en su capacidad restringida.

Consumo energético. La máquina utilizará alrededor de 15 kilovatios hora de energía por cada tonelada procesada, lo que es ideal para su tamaño reducido. Además, se facilitará la conexión a fuentes de energía renovable, como los paneles solares, con el objetivo de disminuir aún más el impacto ecológico y los gastos operacionales en áreas con acceso restringido a la red eléctrica.

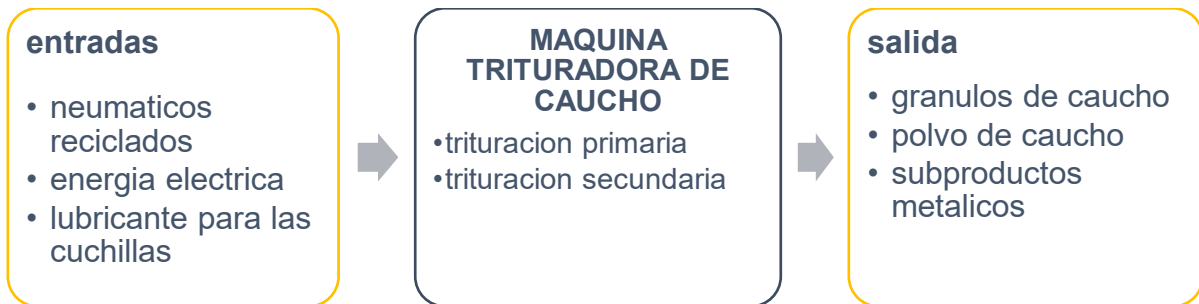
Emisiones de polvo y partículas.

La máquina estará equipada con un sistema básico de filtrado de partículas, que garantizará que las emisiones de polvo se mantengan por debajo de 5 miligramos por metro cúbico. Este enfoque asegurará que el equipo sea adecuado para operar en entornos cercanos a comunidades sin comprometer la salud de los trabajadores o los residentes locales.

Análisis del sistema: caja negra

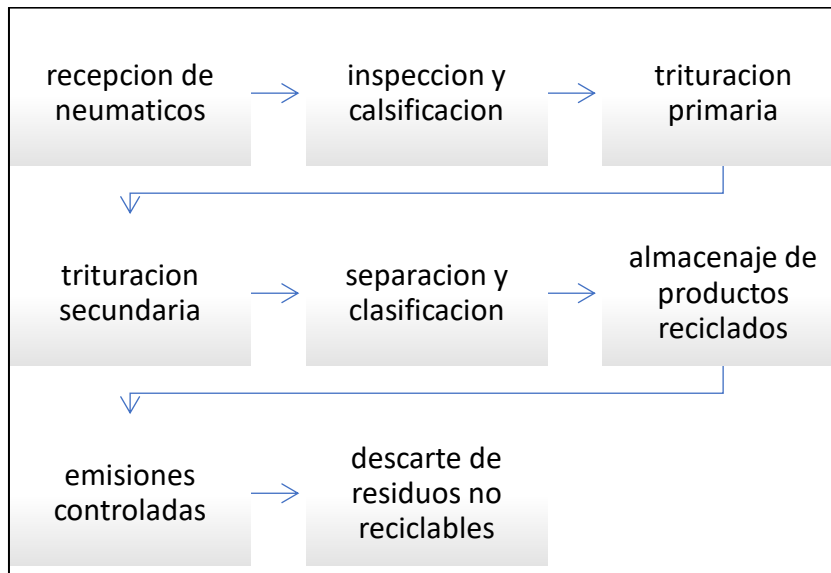
El sistema diseñado será autónomo en cuanto a su forma de operar, lo cual significa que el operador se encargará de introducir la materia prima en la tolva, controlar las condiciones de trabajo para luego obtener el caucho triturado. El diseño tiene como

finalidad optimizar el proceso de reciclaje de los neumáticos y asegurar que la producción sea eficiente minimizando los desperdicios.



Fuente: Elaboración Propia

El proceso para la trituración del caucho reciclado consta de diferentes etapas desde la entrada de los neumáticos hasta la obtención del producto final.



Fuente: Elaboración Propia

Recepción de Neumáticos. En esta fase inicial, se suministran los neumáticos no utilizados (NFU). Las fuentes de los neumáticos incluyen talleres de reparación de automóviles, lugares de recogida de desechos, compañías de transporte, entre otras.

Inspección y Clasificación (Separación de Materiales No Reciclables). Previo al inicio del proceso de trituración, se efectúa una revisión para confirmar que los neumáticos se encuentren en condiciones adecuadas para su tratamiento. Este procedimiento consiste en la separación de los materiales que no pueden reciclarse, tales como elementos metálicos, residuos de vidrio, plástico u otros agentes contaminantes.

Trituración Primaria (Reducción Inicial). En esta fase, se introducen los neumáticos en la trituradora primaria, un aparato de corte que disminuye el tamaño de los neumáticos a componentes de gran tamaño. Este procedimiento prepara los neumáticos para la trituración secundaria, garantizando que los componentes sean de tamaño adecuado para un tratamiento posterior eficaz.

Trituración Secundaria (Obtención de Partículas Finas). Tras la trituración primaria, los pedazos de neumáticos de gran tamaño son transportados a la trituradora secundaria, que efectúa un corte más preciso. En esta fase se extrae el caucho en pedazos más pequeños o en polvo de caucho, en función del ajuste de la máquina y el producto final que se quiere obtener.

Separación y Clasificación (Gránulos y Polvo). Después de haber triturado los neumáticos en fragmentos más pequeños, se lleva a cabo la separación y categorización del material adquirido. En este punto, se distinguen los gránulos de goma de mayor tamaño del polvo de goma más pequeño. Además, es posible llevar a cabo una separación de los metales y otras impurezas, como los residuos de textiles o acero.

Almacenaje de Productos Reciclados (Gránulos de Caucho, Polvo). En este punto, los productos reciclados, tales como los gránulos de caucho y el polvo de caucho, se almacenan de manera apropiada para su distribución o venta. Los productos pueden comercializarse a compañías de edificación, productores de asfalto o empresas que fabrican productos de caucho reciclado.

Emisiones Controladas (Filtros de Partículas). En el proceso de trituración, particularmente en la trituración secundaria, se produce polvo de goma que necesita ser regulado para prevenir la polución atmosférica. Se establecen sistemas de filtración que atraviesan las partículas minúsculas y otros compuestos liberados durante el procedimiento de trituración.

Descarte de Residuos No Reciclables

En este paso final, se entregan a disposición final los desechos no reciclables que se han clasificado en las fases previas (tales como metales no idóneos para el reciclaje, piezas de plástico o restos de otros contaminantes).

Matriz morfológica

Características	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Tipo de Trituración	Primaria + secundaria	Solo Primaria	Trituración secundaria
Tipo de Motor	Diesel	Eléctrico	Híbrido (Eléctrico + Gas)
Sistema de Emisiones	Filtro de Aire	Sistema de Agua	Combinación de Filtro + Agua
Capacidad de Procesamiento	100 a 500 kg/día	1.000 kg/día	2.000 kg/día
Sistema de Separación	Separación Magnética	Separación Manual	Separación Automática

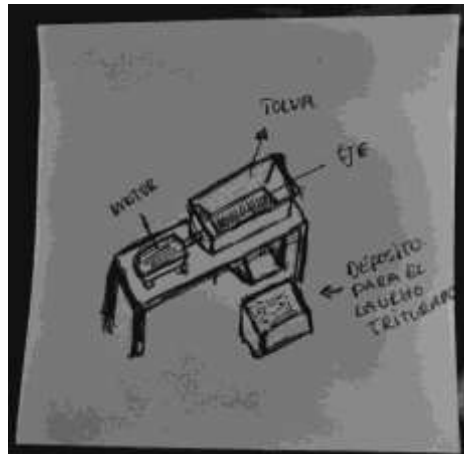
Tipo de Producto Final	Gránulos de Caucho	Polvo de Caucho	Gránulos + Polvo de Caucho
Material de Construcción	Acero Inoxidable	Acero Reciclado	Aluminio
Sistema de Control	Manual	Automático	Híbrido

La **matriz morfológica** presentada ofrece diversas configuraciones de diseño para la máquina trituradora de neumáticos, lo que permitirá elegir la opción más adecuada según las condiciones operativas, la disponibilidad de recursos y los objetivos de sostenibilidad. La selección final dependerá de factores como el costo inicial, la capacidad de procesamiento, la disponibilidad de energía y las normativas ambientales locales. Este enfoque flexible facilita el diseño de una trituradora que optimice la eficiencia y minimice el impacto ambiental, adaptándose a las necesidades de Lambayeque.

Análisis de Factibilidad. Luego de realizar la matriz morfológica y la búsqueda de patentes se seleccionó el método de lluvia de ideas, donde se generarán y plasmarán, a través de dibujos, ideas que contribuyan al diseño y desarrollo de la máquina trituradora. Esta metodología permite explorar diversas propuestas y visualizar opciones antes de definir la mejor alternativa.

ALTERNATIVA 1:

Figura: 1

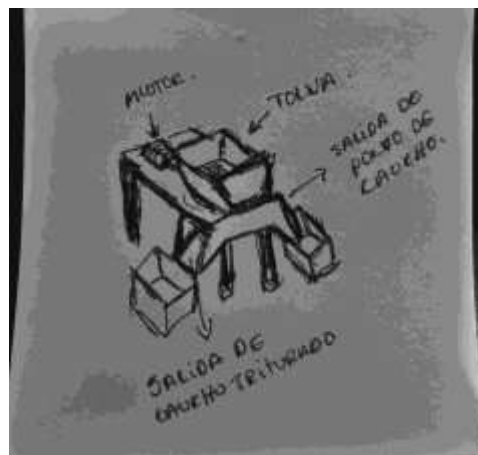


Fuente: Elaboración Propia

En esta alternativa se plantea un diseño donde la maquina cuenta con un motor eléctrico y el sistema de trituración es de un solo eje

ALTERNATIVA 2:

Figura: 2

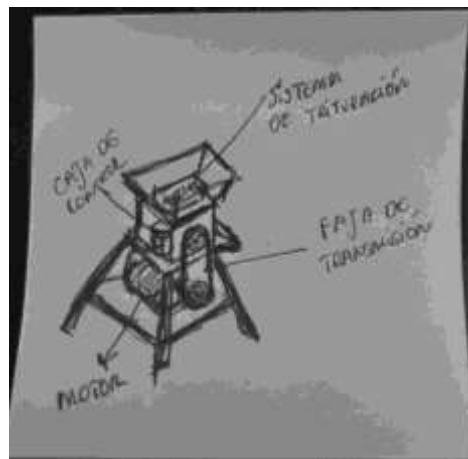


Fuente: Elaboración Propia

En esta alternativa se propone un diseño donde el material triturado (caucho triturado y polvo de caucho) serán separados al momento de salir de la máquina.

ALTERNATIVA 3:

Figura: 3

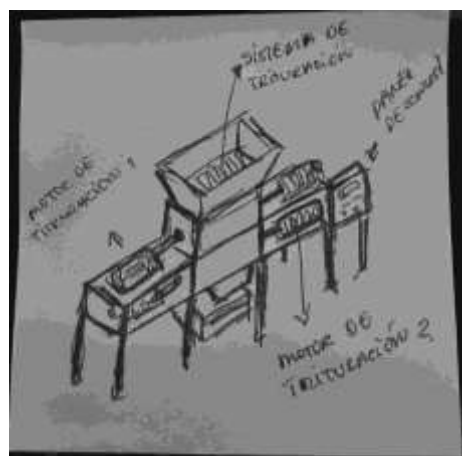


Fuente: Elaboración Propia 1

En esta alternativa se plantea un diseño donde la transmisión del motor hacia el eje se dará mediante una faja además contará con una caja de control automatizado.

ALTERNATIVA 4:

Figura: 4

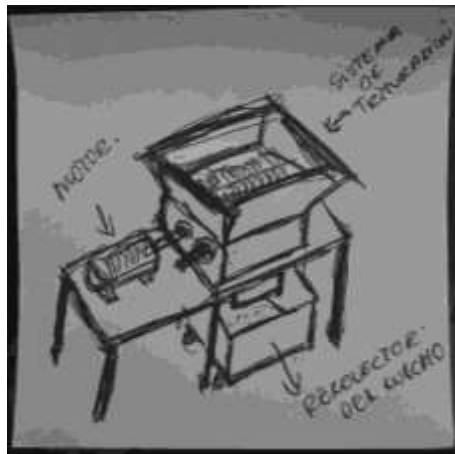


Fuente: Elaboración Propia

En esta alternativa se propone un diseño con cuatro motores los cuales 2 se usarán para la trituración primaria y 2 para la trituración secundaria, y también contara con un panel de control automatizado.

ALTERNATIVA 5:

Figura: 5

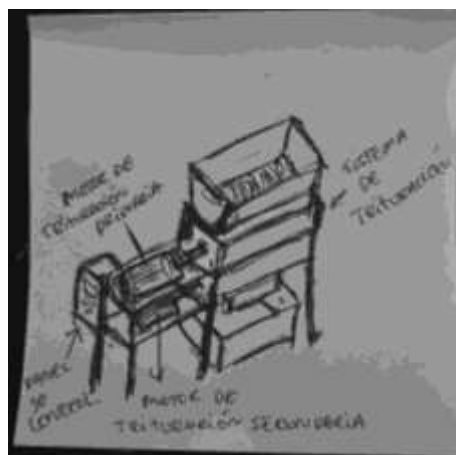


Fuente: Elaboración Propia

En esta alternativa se propone un diseño con 2 motores eléctricos 1 para la trituración primaria y el otro para la trituración secundaria

ALTERNATIVA 6:

Figura: 6



Fuente: Elaboración Propia

En esta alternativa se propone un diseño con un solo motor eléctrico, pero con 2 ejes para la trituración del material.

MATRIZ DE DECISIÓN

Parámetros a evaluar en la matriz de decisión: cero, 0, es muy bajo la calidad y 10 es muy alto

P1: Eficiencia del proceso.

P2: Costo de fabricación.

P3: Mantenimiento.

P4: flexibilidad.

P5: Usabilidad y seguridad.

P6: Durabilidad y resistencia.

P7: Ergonomía y estética.

P8: producción por hora.

Parámetros de diseño									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Total
	0.15	0.2	0.1	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	1
A1	5	7	7	4	6	6	5	4	5.65
A2	6	7	6	6	7	6	6	5	6.25
A3	6	6	6	5	6	7	6	5	5.9
A4	8	5	7	5	6	6	7	9	6.5
A5	8	7	7	6	7	6	7	8	7.05
A6	7	7	6	5	6	6	7	6	6.35

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la matriz morfológica se evaluó diferentes combinaciones opciones para para cada característica de la máquina de acuerdo a la necesidad de producción que se quiere, llegando a la conclusión que la alternativa 5 es la más factible ya que este diseño propone una estructura ergonómica y compacta con soportes rectos que permiten una mejor estabilidad y resistencia al momento de la trituración.

Cálculo de parámetros. En Lambayeque se desechan 264 neumáticos al día [14].

El peso de la llanta puede variar ya sea por el tipo de fabricante, el tiempo de uso, el material y el diseño de la llanta:

Para ello se utilizará un peso promedio de 12 kilos que corresponden a vehículos pequeños y combis los cuales son los que más circulan en nuestra región.

Peso total de neumáticos desechados diariamente

$$\text{peso diario (kg)} = \text{cantidad diaria de neumatico} * \text{peso de neumatico}$$

$$\text{peso diario (kg)} = 264 \text{ neumaticos/dia} * 12 \text{ kg/neumatico}$$

$$\text{peso diario (kg)} = 3168 \text{ kg/dia}$$

La máquina será diseñada para reciclar el 10% del peso total de los neumáticos desechados diariamente en Lambayeque, procesando:

Cálculo del 10% de los neumáticos desechados

$$\text{peso procesado (kg)} = \text{peso diario (kg)} * 0.10$$

$$\text{peso procesado (kg)} = 3168 \text{ kg/dia} * 0.10$$

$$\text{peso procesado (kg)} = 316.8 \text{ kg/dia}$$

Número de neumáticos procesados por día:

$$\text{Neumaticos procesados/dia} = \frac{\text{peso procesado (kg)}}{\text{peso de neumatico(kg)}}$$

$$\text{Neumaticos procesados/dia} = \frac{316.8}{12} = 26.4 \text{ neumaticos/dia}$$

Capacidad anual de procesamiento

La capacidad anual se calculará considerando 300 días de operación al año:

$$\text{Capacidad anual (kg)} = \text{capacidad diaria (kg)} * \text{dias de operacion}$$

$$\text{Capacidad anual (kg)} = 316.8 \text{ kg/dia} * 300 \text{ dias}$$

$$\text{Capacidad anual (kg)} = 95040 \text{ kg/año}$$

Neumáticos procesados al año:

$$\text{Neumaticos procesados/año} = \frac{\text{Capacidad anual (kg)}}{\text{peso de neumatico(kg)}}$$

$$\text{Neumaticos procesados/año} = \frac{95040 \text{ kg}}{12 \text{ kg}} = 7920 \text{ neumaticos/año}$$

Evaluación del impacto ambiental y social de la implementación del modelo propuesto en Lambayeque.

La administración de neumáticos desgastados (NFU) ha representado una de las inquietudes medioambientales más relevantes a escala mundial. En numerosos países, la acumulación de estos desechos provoca serios problemas tanto para el entorno natural como para la salud pública. Como región en expansión, Lambayeque se enfrenta a desafíos vinculados con la gestión de estos residuos, lo que ha provocado la necesidad de aplicar soluciones sustentables. En este escenario, la puesta en marcha de un modelo de trituradora de neumáticos puede disminuir el efecto ambiental de los desechos de caucho, a la vez que puede producir significativas ventajas sociales.

El propósito de esta labor es analizar los efectos sociales y ambientales de la puesta en marcha del modelo de trituradora de neumáticos sugerido en Lambayeque. Para

ello, se tomarán en cuenta los impactos en la disminución de desechos, el incremento en la calidad del aire y el agua, la generación de puestos de trabajo y la mejora en las condiciones de vida de los habitantes de la zona.

Impacto Ambiental. Reducción de Residuos Sólidos

La máquina procesará 7920 neumáticos al año, evitando su acumulación en vertederos y espacios abiertos, lo que equivale a 95,040 kg de NFU reciclados anualmente.

Uno de los efectos más rápidos de la puesta en marcha de la máquina para reciclar neumáticos será una disminución considerable los neumáticos desechados que constituyen una de las principales fuentes de contaminación por desechos, debido a su tamaño, complejidad para desintegrarse y el espacio que ocupan en los vertederos. Este modelo una opción efectiva para prevenir que los neumáticos solo sean desechados o incinerados.

Disminución en el almacenamiento de neumáticos:

La máquina facilitará el traslado reciclaje de neumáticos de los depósitos locales. Al ser triturados, estos neumáticos se convertirán en artículos reutilizables como granulados de caucho, polvo de caucho o incluso en materiales de construcción como baldosas o pavimentos deportivos. Este procedimiento aportará de manera notable a disminuir la cantidad de desechos sólidos y optimizará la eficacia en la administración de residuos en la zona.

De acuerdo con el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Lambayeque es la zona con más áreas afectadas por vertederos, con 438 hectáreas deterioradas por desechos sólidos [33].

Sabemos que la maquina procesara 7920 neumáticos al año. calculamos:

Volumen ocupado por neumáticos en vertederos. Un neumático estándar ocupa aproximadamente 0.1 m^3 . Por lo tanto:

$$\text{volumen total reciclado anual (m}^3\text{)} = \text{neumaticos reciclados} * \text{volumen}$$

$$\text{volumen total reciclado anual (m}^3\text{)} = 7920 * 0.1 = 792 \text{ m}^3/\text{año}$$

Hectáreas liberadas:

Se calcula el espacio degradado por desechos basándose en la densidad media de almacenaje en vertederos, que es de $5000 \text{ m}^3/\text{ha}$ (de acuerdo con los estándares ambientales para vertederos).

$$\text{Area recuperada (ha)} = \frac{\text{volumen total reciclado anual (m}^3\text{)}}{\text{densidad de almacenamiento (m}^3\text{/ha)}}$$

$$\text{Area recuperada (ha)} = \frac{792}{5000} = 0.1584 \text{ ha/año}$$

Impacto en la contaminación del suelo y agua:

Los neumáticos desechados pueden emitir sustancias tóxicas al desintegrarse gradualmente en vertederos o al ser incinerados sin supervisión. Estos elementos, tales como metales pesados y sustancias químicas derivadas del caucho, se infiltran en el terreno y las aguas subterráneas, impactando la biodiversidad local y la salud de las personas. Al reciclar correctamente los neumáticos, se previenen estos impactos adversos y se salvaguardarán los ecosistemas locales, optimizando la calidad del agua y del terreno.

A pesar de que no hay un estudio específico que indique la cantidad precisa de lixiviados por neumático, al reciclar 7.920 neumáticos anualmente, se disminuye considerablemente la contaminación potencial del suelo y el agua.

Disminución de las Emisiones Contaminantes

La quema de neumáticos es una práctica habitual en numerosas zonas debido a la escasez de alternativas para su correcta disposición. No obstante, este acto provoca la liberación de gases contaminantes, tales como dioxinas y furanos, que resultan sumamente dañinos para la salud de las personas y el entorno natural.

Cada neumático de tipo medio que se logra reciclar evita la emisión de 32,8 kg de CO₂ y el consumo de 10,5 litros de petróleo [34].

Al procesar 7920 neumáticos al año implica:

$$\text{Emisiones evitadas anuales (kg CO}_2) = 7920 * 32.8 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Emisiones evitadas anuales (kg CO}_2) = 259,776 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{año}} \approx 259.8 \text{ Ton.}$$

Reducción de la quema de neumáticos: Al proporcionar una opción de reciclaje, el modelo sugerido suprimirá la necesidad de incinerar neumáticos, lo que disminuirá significativamente la liberación de sustancias tóxicas al aire. Esto será particularmente significativo para Lambayeque, donde la incineración de neumáticos en vertederos no regulados es una costumbre habitual y supone un peligro para la salud pública.

Ahorro de recursos naturales

Cada neumático reciclado ahorra 10.5 litros de petróleo lo cual implica:

$$\text{Ahorro anual de petroleo (litros)} = 7920 * 10.5 \text{ litros}$$

$$\text{Ahorro anual de petroleo (litros)} = 83,160 \text{ litros/año}$$

Este volumen de ahorro se equipará al consumo medio anual de 50 vehículos ligeros, teniendo en cuenta un rendimiento de 10 km/l y 20,000 km/año por vehículo.

Mejora de la calidad del aire: Al prevenir la incineración de neumáticos, la maquina aportará a la mejora de la calidad del aire en Lambayeque, reduciendo así los casos de afecciones respiratorias en la población local. La implementación de

sistemas de depuración y filtros también ayudará a disminuir la emisión de partículas minúsculas y gases dañinos durante el proceso de trituración.

Eficiencia Energética y Sostenibilidad

La viabilidad del proyecto no solo se basa en una administración eficaz de los desechos, sino también en la maximización del uso de recursos. La máquina proyectada incluirá tecnologías que promueven la eficiencia energética y la utilización de recursos renovables.

Uso de energías renovables: Se analizará la opción de incorporar fuentes de energía renovable, como los paneles solares, para respaldar una porción del proceso de trituración. Esto ayudará a disminuir la huella de carbono y potenciará la sostenibilidad a largo plazo del modelo.

Reciclaje de subproductos: Los residuos producidos durante el proceso de trituración, tales como el polvo de caucho y los granos, tienen la capacidad de ser reutilizados en múltiples usos, fortaleciendo así la idea de economía circular. Al disminuir la demanda de recursos naturales para la elaboración de nuevos productos, se reduce el efecto en el medio ambiente y se promueve el reaprovechamiento de materiales.

Impacto Social. Mejora en la Calidad de Vida

maquina propuesta generará un efecto económico beneficioso, sino que también favorecerá el bienestar de la comunidad local. Al optimizar la administración de desechos y disminuir la polución, se minimizarán los peligros para la salud pública, en particular los vinculados con la calidad del aire y el agua.

Salud pública: Al disminuir la combustión de neumáticos y la emisión de sustancias venenosas, se reducirán los peligros para la salud respiratoria y cardiovascular de los habitantes de la zona. Esto promoverá una mejora en la calidad de vida de los residentes de Lambayeque.

Conciencia ambiental: a puesta en marcha de la maquina actuará como un ejemplo de sostenibilidad y fomentará la sensibilización ecológica entre los habitantes de la zona. Este proyecto tiene como objetivo motivar a otras comunidades a implementar prácticas de reciclaje y administración correcta de desechos.

Desarrollo Económico Local. La máquina también generará un efecto beneficioso en la economía de las personas. La venta de productos reciclados, tales como el caucho en trozos y el polvo de caucho, puede producir ingresos extra para la zona. Adicionalmente, la industria del reciclaje puede convertirse en un motor de innovación y crecimiento para nuevas compañías locales que utilicen estos productos en otras aplicaciones industriales.

Cadenas de suministro locales: Se establecerán vínculos comerciales con compañías que empleen materiales reciclados, tales como las industrias de la edificación, pavimentación y producción de artículos de caucho, lo cual potenciará la economía local.

III. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión.

El estudio trata un asunto ambiental significativo, ofreciendo una solución económica y sustentable para el reciclaje de neumáticos en Lambayeque. La elección de la trituración mecánica como tecnología principal se basa en su coste reducido, sencillez técnica y adaptabilidad, aspectos cruciales para proyectos en situaciones con recursos escasos. Pese a que otras técnicas como la pirolisis o la trituración criogénica brindan beneficios en cuanto a la calidad del producto final, su gran complejidad técnica y elevados costos las hacen inviables para el modelo conceptual sugerido.

El estudio de los parámetros operativos de la máquina facilitó la optimización de elementos fundamentales como la capacidad de procesamiento, el uso de energía y la administración de emisiones. Además, la ilustración en caja negra y el esquema de flujo simplificaron el entendimiento del funcionamiento del sistema, subrayando la relevancia de incluir sistemas de regulación del polvo para asegurar el acatamiento de las regulaciones medioambientales. Por otro lado, la matriz morfológica facilitó la exploración de combinaciones de diseño que incrementan la eficacia y la capacidad de adaptación del modelo.

Un aspecto crucial detectado es la importancia de instruir y formar a las comunidades locales en el manejo y conservación de la máquina, además de las ventajas del reciclaje de neumáticos. Será esencial la implicación proactiva de las comunidades y las autoridades locales para asegurar el triunfo del proyecto y fomentar la economía circular en la zona.

Finalmente, las repercusiones sociales y medioambientales analizadas evidencian que la puesta en marcha del modelo podría producir ventajas considerables, tales como la disminución de desechos, la mejora de la calidad del aire y la creación de puestos de

trabajo locales. No obstante, será imprescindible llevar a cabo investigaciones a gran escala para confirmar la factibilidad económica y operacional del modelo bajo circunstancias reales.

Conclusiones

- La elección de la trituración mecánica como tecnología esencial se basó en su coste reducido, facilidad de aplicación y habilidad para producir materiales reciclados adaptables. Esta tecnología no solo satisface las necesidades técnicas y financieras del proyecto, sino que también concuerda con los principios de sostenibilidad requeridos para proyectos en entornos con recursos escasos como Lambayeque.
- La implementación de la trituradora de neumáticos en Lambayeque representa una solución integral que aborda tanto los problemas ambientales como sociales derivados de la acumulación de neumáticos fuera de uso. Este modelo no solo reducirá significativamente los residuos sólidos, las emisiones contaminantes y los riesgos ambientales, sino que también creará empleo y mejorará la calidad de vida de la población local. Al integrar tecnologías sostenibles y promover la economía circular, el proyecto contribuye al desarrollo económico y ambiental de Lambayeque, ofreciendo una solución a largo plazo que beneficiará tanto al medio ambiente como a la comunidad.
- A pesar de que el diseño inicial muestra ser factible, es esencial llevar a cabo investigaciones adicionales que verifiquen su rendimiento en situaciones reales. Estas investigaciones deben contemplar valoraciones de su rentabilidad financiera a largo plazo, además de análisis operativos más exhaustivos para asegurar su éxito en contextos prácticos.

IV. REFERENCIAS

- [1] C. G. Lalama Ochoa y A. L. Navarrete Mosquera , *Diseño de una máquina trituradora de neumáticos*, Guayaquil, 2016.
- [2] «Statista,» El Departamento de Investigación de Statista, 13 Noviembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.statista.com/statistics/618804/total-global-natural-and-synthetic-rubber-production/#statisticContainer>.
- [3] L. Asaro, M. Gratton, S. Seghar y N. Aït Hocine, «Reciclaje de residuos de caucho por desvulcanización,» *ScienceDirect*, Junio 2018.
- [4] Z. Xiao , A. Pramanik, A. Basak, C. Prakash y S. Shankar, «Recuperación de materiales y reciclaje de neumáticos de desecho: una revisión,» *ScienceDirect*, Septiembre 2022.
- [5] E. Rodríguez Galeano , *Propuesta para el aprovechamiento de llantas usadas. Caso de estudio: Fabricación de baldosas de caucho de uso general y aplicación de gránulo para pavimentación de pistas deportivas en Bogotá.*, Bogota, 2020.
- [6] G. J. Peláez Arroyave, S. M. Velásquez Restrepo y D. H. Giraldo Vásquez, «Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Febrero 2017.
- [7] A. Mauricci Ortega, «Reducción del impacto al medio ambiente ocasionado por los neumáticos de camión minero mediante el reencauche,» *Revista Minería*, Agosto 2021.
- [8] Ministerio del Ambiente, «gob.pe,» 30 Octubre 2024. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2452205-regimen-especial-de-neumaticos-fuera-de-uso-nfu>.
- [9] «INEI,» 22 Abril 2024. [En línea]. Available: <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/movimiento-de-vehiculos-a-nivel-nacional-aumento-39-en-febrero-de-2024-15125/>.
- [10] N. C. Alvarez Benites y J. A. Gutierrez Gallegos, *Estudio experimental del efecto en el comportamiento mecánico al adicionar caucho triturado en un suelo arcilloso de baja plasticidad proveniente del caserío de Callampampa - Llama-Cajamarca*, Lima, 2020.
- [11] G. R. Ramos Quispe, *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 2019*, Arequipa, 2020.
- [12] A. M. Chicoma Mauro y . R. M. Quiroz Coronado, *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto con sustitución parcial de polvo de caucho y humo de sílice*, Pimentel, 2023.


- [13] GESTA zonal de Chiclayo , *Plan “A Limpiar el Aire” de la cuenca atmosférica de Chiclayo*, Chiclayo .
- [14] P. A. Nejero Tuesta, *PROPUESTA DE UNA PLANTA RECICLADORA DE NEUMÁTICOS USADOS PARA MINIMIZAR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL QUE SE GENERAN EN LA CIUDAD DE CHICLAYO*, 2019, Chiclayo, 2019.
- [15] R. S. Ordóñez Quito, *Diseño de una máquina trituradora de elementos no vulcanizados de un neumático para la fábrica OQ Cauchos Reciclaje Industrial*, Cuenca, 2022.
- [16] A. L. Navarrete Mosquera y C. G. Lalama Ochoa, *Diseño de una máquina trituradora de neumáticos*, Guayaquil, 2016.
- [17] C. V. Méndez Peñaloza y F. V. Solano Arias, *Diseño de triturador de neumáticos usados; capacidad de 1TON/h, para la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC)*, Cuenca, 2010.
- [18] V. J. A. Virginia, *Diseño de máquina trituradora para la obtención de partículas de caucho a partir de neumáticos pre-cortados*, Ibarra, 2020.
- [19] L. Asaro, M. Gratton, . S. Seghar y N. Aït Hocine, «Reciclaje de residuos de caucho mediante desvulcanización.,» *sciencedirect*, p. 250, junio 2018.
- [20] Z. Xiao, A. P. A. Basak, C. P. y S. S. , «Recuperación de materiales y reciclaje de neumáticos de desecho: una revisión,» *sciencedirect*, p. 1, septiembre 2022.
- [21] Á. M. GONZÁLEZ, «Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica,» valencia, 2015.
- [22] Ministerio del ambiente, *Régimen Especial de Gestión y Manejo de los Neumáticos Fuera de Uso - NFU*, 2021.
- [23] A. Nazer, A. Honores, P. Chulak y O. Pavez, «HORMIGÓN SUSTENTABLE BASADO EN FIBRAS DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO,» *SCIELO*, agosto 2019.
- [24] . A. B, . D. D y . M. S, «Recuperación y reciclaje de residuos de caucho.,» 2000.
- [25] L. Cardona Gómez y L. M. Sánchez Montoya, *Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos*, Medellín, 2011.
- [26] lifegreenvulcan, *Masterbatches desvulcanizados de alto rendimiento para la reutilización de neumáticos al final de su vida útil en aplicaciones de compuestos técnicos de gran volumen*, 2024.
- [27] Hielscher Ultrasonics, *Reciclaje de caucho de neumáticos con ultrasonidos de alto rendimiento*.
- [28] S. Santiago Rodríguez, *Reutilización De Neumáticos Fuera De Uso*, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica., 2017.

- [29] J. L. Guevara Sáenz De Viteri, *Optimización de la tecnología para el aprovechamiento de neumáticos fuera de uso (NFU) en la provincia del Guayas enfocado en la reducción de huella de carbono*, Lima, 2023.
- [30] A. Sanchís, A. Veses Roda, J. D. Martínez Ángel, T. García Martínez y . R. Murillo Villuendas, *Hacia la economía circular del negro de carbono por medio de la pirólisis de neumáticos fuera de uso*, Zaragoza, 2022.
- [31] M. V. Vega Dueñas, *Iniciativas nacionales para el reciclaje de llantas usadas en Colombia*, Bogota, 2020.
- [32] K. TIREL, *Ingeniería de perfil de modernas plantas para reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU)*, Santiago de Chile, 2017.
- [33] «RPP Noticias,» 6 Diciembre 2018. [En línea]. Available: https://rpp.pe/peru/lambayeque/lambayeque-es-la-region-con-mas-areas-degradadas-por-residuos-solidos-noticia-1167903?utm_source=chatgpt.com.
- [34] A. Delgado, «Cinco razones para reciclar neumáticos,» *Revista Digital de la Dirección General de Tráfico*, 5 Junio 2020.
- [35] Z. Xiao, A. Pramanik, A. Basak, . C. Prakash y S. Shankar, «Recuperación de materiales y reciclaje de neumáticos de desecho: una revisión,» *ScienceDirect*, Septiembre 2022.
- [36] L. Asaro, M. Gratton, S. Seghar y N. Aït Hocine, «Reciclaje de residuos de caucho mediante desvulcanización.,» *ScienceDirect*, pp. 250-262, 2018.

ANEXOS

ROIMER GABRIEL LOZADA SILVA

MODELO CONCEPTUAL DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA EL RECICLAJE SOSTENIBLE DE NEUMÁTICOS ...

 Universidad Señor de Sipan

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::26396:428686731

Fecha de entrega

10 feb 2025, 2:40 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

10 feb 2025, 2:42 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TRABAJOINVESTIGACION_LOZADA_SILVA_ROIMER_TURNITIN.docx

Tamaño de archivo

33.0 MB

41 Páginas

9,093 Palabras

50,929 Caracteres




16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



**ACTA DE CONTROL DE REVISIÓN DE
SIMILITUD DE LA INVESTIGACIÓN**

Código:	F3.PP2-PR.02
Versión:	02
Fecha:	18/04/2024
Hoja:	1 de 1

Yo, **Silvia Yvone Gastiaború Morales**, Coordinadora de Investigación del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica, he realizado el control de originalidad de la investigación, el mismo que está dentro de los porcentajes establecidos para el nivel de Pregrado, según la Directiva de similitud vigente en USS; además certifico que la versión que hace entrega es la versión final del Trabajo de Investigación titulado: **MODELO CONCEPTUAL DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA EL RECICLAJE SOSTENIBLE DE NEUMÁTICOS EN LAMBAYEQUE** elaborado por el (lo) egresado(s):

LOZADA SILVA ROIMER GABRIEL

Se deja constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **16%**, verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN.

Por lo que se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva sobre índice de similitud de los productos académicos y de investigación vigente.

Pimentel, 10 de febrero de 2025

Dra. Gastiaború Morales Silvia Yvone

Coordinador de Investigación

DNI N° 16481433