



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE  
NEUMÁTICOS FUERA DE USO PARA LA  
PRODUCCIÓN DE POLVO DE CAUCHO EN LA  
REENCAUCHADORA AMERICANA RELINO -  
CHICLAYO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor:**

**Bach. Mejia Vargas Jeynner Gleiser**  
<https://orcid.org/0000-0001-7706-5169>

**Asesor:**

**Mg. Ing. Alvarado Silva Carlos Alexis**  
<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

**Línea de Investigación:**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú  
2021**

**DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE  
USO PARA LA PRODUCCIÓN DE POLVO DE CAUCHO EN LA  
REENCAUCHADORA AMERICANA RELINO – CHICLAYO**

**Aprobación del Jurado**

---

Mg. Vives Garnique Juan Carlos  
**Presidente del Jurado**

---

Mg. Gastiaburú Morales Silvia Yvone  
**Secretario del Jurado**

---

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis  
**Vocal del Jurado**

## DEDICATORIA

A Dios por la bendición, protección y compañía en mi vida e impulso de mi desarrollo para hacer realidad cada objetivo que me propongo.

Esta investigación la dedico a mis padres Marcelo Mejia y Nelly Vargas por el gran apoyo, cariño, consideración, confianza, educación, que me han brindado a lo largo de mi educación profesional y humana; gracias a ellos soy una gran persona profesional en servicio de la sociedad.

Dedicado a mis hermanos Denis y Jacqueline M. V., por el apoyo y compañía armoniosa en mi vida; siendo esta Tesis como ejemplo, que con resiliencia constante se consigue lo que nos proyectamos.

Dedicado a todos los que me han apoyado e intervenido, familia, amigos, compañeros de cierta forma para mi crecimiento profesional, fortaleciéndome pilares de ejemplo, apoyo, consejo, guía que alimentan mi desarrollo propio.

Personalmente me dedico a mí mismo, por el constante esfuerzo, dedicación y estudio para conseguir una de mis grandes metas propuestas; siendo esta Tesis una muestra de resultado satisfactorio de mi carrera profesional.

*Atte. Jeyner Gleiser Mejia Vargas*

## AGRADECIMIENTO

Me siento muy agradecido con la bendición de Dios que siempre está junto a mí, fortaleciéndome y guiándome en el transcurso de mi vida con dirección a mis grandes objetivos profesionales y construcción humana sólida de ejemplo para la sociedad.

Infinitamente agradecido con mi Universidad Señor de Sipán, por tener grandes profesionales al servicio de la comunidad universitaria que contribuyen a la formación de profesionales de calidad.

Mi enorme agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, principalmente a toda la plana docente que intervinieron en mi formación profesional durante los 5 años de mi carrera universitaria, transmitiendo sus sólidos conocimientos, experiencias, consejos, estrategias para ser un gran profesional, gracias a ello me desarrollo eficazmente en el campo laboral de la ingeniería.

Agradecer inmensamente a mi asesor el Mg. Ing. Alvarado Silva Carlos Alexis, por su profesionalismo y labor servicial que me ha brindado resolviendo mis dudas, direccionándome, impulsando y brindando las mejores soluciones para hacer realidad esta investigación.

Agradecido con las grandes amistades y compañerismo que esta carrera me ha brindado, por las diversas experiencias, apoyo y grandes momentos vividos durante esta etapa. Estoy muy orgulloso que cada uno de nosotros hagamos realidad nuestros objetivos.

*Atte. Jeyner Gleiser Mejia Vargas*

# **DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO PARA LA PRODUCCIÓN DE POLVO DE CAUCHO EN LA REENCAUCHADORA AMERICANA RELINO – CHICLAYO**

## **DESIGN OF A TIRE PROCESSING PLANT OUT OF USE FOR THE PRODUCTION OF RUBBER POWDER IN THE AMERICAN REENCAUCHADORA RELINO – CHICLAYO**

**Jeynner Gleiser Mejia Vargas<sup>1</sup>**

### **Resumen**

*La presente investigación tiene un enfoque de solución de problema medioambiental para Lambayeque por sus altos números de residuos de “neumáticos fuera de uso”, por ello, surge la necesidad de investigación de la planta que aprovecha transformar residuos en recursos para diversas aplicaciones industriales.*

*El desarrollo tiene como base sólida las fuentes investigativas con diseños óptimos comprobadas para determinar la eficacia de diseño de las trituradoras y equipos de la planta para obtener polvo de caucho. Según evaluación el equipo con más importancia son los trituradores mecánicos, por ello, tienen el enfoque de diseño principal.*

*Para el diseño de las trituradoras se ha calculado las diversas fuerzas que intervienen en el proceso, multiplicando por factores preventivos de fallas mecánicas, obteniendo fuerzas distribuidas resultantes de carga sobre los ejes, se realiza análisis de elementos finitos mediante el software Solidworks 2018 para evaluar los diferentes comportamientos mecánicos y obtener resultados que cumpla con los estándares de diseño. Se realizó cálculos de resistencia a la fatiga a los ejes para determinar sus ciclos de vida.*

*Con la información cuantitativa de la materia y área de planta se ha diseñado y dimensionado dos trituradoras, equipos de transporte, separación magnética, sistemas de limpieza y filtro de mangas para absorber gases o polvos contaminantes.*

*El diseño y dimensionamiento de los diversos componentes de planta cumplen estrictamente los parámetros de diseños óptimos despejando fallas en los sistemas. Los costos se estipula que tienen concordancia al mercado y plan de mantenimiento se anexa para buenas prácticas de operación.*

**Palabras Clave:** *Diseño de ingeniería, neumáticos fuera de uso, máquina trituradora, polvo de caucho.*

---

<sup>1</sup> Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: [mvargasjeynnerg@crece.uss.edu.pe](mailto:mvargasjeynnerg@crece.uss.edu.pe) código ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7706-5169>

**Abstract.**

*The present research has an approach of solution of environmental problem for Lambayeque due to its high numbers of waste of "tires out of use", therefore, the need arises for research of the plant that takes advantage of transforming waste into resources for various industrial applications.*

*The development is solidly based on research sources with proven optimal designs to determine the design effectiveness of the crushers and equipment of the plant to obtain rubber powder. According to evaluation, the most important equipment is mechanical crushers, therefore, they have the main design approach.*

*For the design of the crushers, the various forces involved in the process have been calculated, multiplied by preventive factors of mechanical failures, obtaining distributed forces resulting from load on the axes, finite element analysis is carried out using Solidworks 2018 software to evaluate the different mechanical behaviors and obtain results that meet design standards. Fatigue resistance calculations were performed on the shafts to determine their life cycles.*

*With the quantitative information of the material and plant area, two crushers, transport equipment, magnetic separation, cleaning systems and bag filter to absorb polluting gases or dusts have been designed and sized.*

*The design and sizing of the various plant components strictly comply with the parameters of optimal designs, clearing system failures. The costs are stipulated to be in accordance with the market and maintenance plan is annexed for good operating practices.*

**Keywords:** *Engineering design, tires out of use, crushing machine, rubber powder.*

# ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA.....</b>	<b>20</b>
1.3.1 <i>Gestión de residuos en Perú .....</i>	<i>20</i>
1.3.2 <i>Clasificación de los Residuos Sólidos.....</i>	<i>21</i>
1.3.3 <i>Métodos de Recolección de NFU.....</i>	<i>24</i>
1.3.4 <i>Neumáticos/Neumáticos Fuera de Uso.....</i>	<i>25</i>
1.3.5 <i>Aplicaciones de los neumáticos fuera de uso (NFU).....</i>	<i>32</i>
1.3.6 <i>Que es una Planta Procesadora .....</i>	<i>36</i>
1.3.7 <i>Sistemas de Procesado de NFU.....</i>	<i>42</i>
<b>1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>48</b>
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>48</b>
1.5.1 <i>Justificación Técnica. ....</i>	<i>48</i>
1.5.2 <i>Justificación Económica. ....</i>	<i>48</i>
1.5.3 <i>Justificación Ambiental.....</i>	<i>48</i>
1.5.4 <i>Justificación Social.....</i>	<i>48</i>
<b>1.6 HIPÓTESIS.....</b>	<b>49</b>
<b>1.7 OBJETIVOS.....</b>	<b>49</b>
1.7.1 <i>Objetivo General .....</i>	<i>49</i>
1.7.2 <i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>49</i>
<b>II. MATERIAL Y MÉTODO .....</b>	<b>51</b>
<b>2.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>51</b>
2.1.1 <i>Tipo de Investigación.....</i>	<i>51</i>
2.1.2 <i>Diseño de Investigación.....</i>	<i>51</i>
<b>2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA. ....</b>	<b>51</b>
2.2.1 <i>Población.....</i>	<i>51</i>
2.2.2 <i>Muestra.....</i>	<i>51</i>
<b>2.3 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.....</b>	<b>51</b>
2.3.1 <i>Variables Independientes: .....</i>	<i>51</i>
2.3.2 <i>Variables Dependientes:.....</i>	<i>51</i>
2.3.3 <i>Operacionalización de Variables.....</i>	<i>52</i>
<b>2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....</b>	<b>52</b>
2.4.1 <i>Técnicas.....</i>	<i>52</i>
2.4.2 <i>Instrumentos de Recolección de Datos .....</i>	<i>53</i>
2.4.3 <i>Validez y Confiabilidad: .....</i>	<i>53</i>
<b>2.5 PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>53</b>
<b>2.6 CRITERIOS ÉTICOS.....</b>	<b>54</b>
2.6.1 <i>Código de ética del Colegio de Ingenieros de Perú.....</i>	<i>54</i>

2.6.2	<i>Código de ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS).</i>	55
<b>2.7</b>	<b>CRITERIOS DE RIGOR CIENTÍFICO.</b>	55
2.7.1	<i>Valor de la verdad.</i>	55
2.7.2	<i>Transferibilidad</i>	55
2.7.3	<i>Dependencia</i>	55
2.7.4	<i>Confiabilidad</i>	55
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>REQUERIMIENTO Y CAPACIDAD DE EMPRESA:</b>	57
3.1.1	<i>Neumáticos fuera de uso a procesar:</i>	57
3.1.2	<i>Área útil de instalación:</i>	57
<b>3.2</b>	<b>ESPECIFICACIONES DE DISEÑO:</b>	59
3.2.1	<i>Configuración de trituradora:</i>	59
3.2.2	<i>Configuración sistemas complementarios de planta:</i>	64
<b>3.3</b>	<b>ESTRUCTURA DE FUNCIONES:</b>	70
3.3.1	<i>Procesos técnicos:</i>	71
3.3.2	<i>Representación de estructura de funciones:</i>	72
<b>3.4</b>	<b>DISEÑO CONCEPTUAL:</b>	73
3.4.1	<i>Matriz morfológica de trituradora de caucho:</i>	74
3.4.2	<i>Detalle de configuración:</i>	75
<b>3.5</b>	<b>DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMA PRINCIPAL:</b>	75
3.5.1	<i>Cálculos mecánicos trituradora 01:</i>	75
3.5.2	<i>Diseño 3D de trituradora 01:</i>	90
3.5.3	<i>Cálculos mecánicos trituradora 02:</i>	94
3.5.4	<i>Diseño 3D de trituradora 02:</i>	100
3.5.5	<i>Diseño y disposición de planta:</i>	104
<b>3.6</b>	<b>PRESUPUESTO GENERAL DE PLANTA:</b>	107
<b>3.7</b>	<b>PLAN DE MANTENIMIENTO:</b>	110
<b>IV.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:</b>	<b>112</b>
<b>4.1</b>	<b>CONCLUSIONES:</b>	112
<b>4.2</b>	<b>RECOMENDACIONES:</b>	114
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>119</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Gestión de Residuos de Neumáticos Fuera de Uso.</i> .....	21
<b>Figura 2.</b> <i>Residuos Especiales Neumáticos Fuera de Uso</i> .....	23
<b>Figura 3.</b> <i>Proceso de Reencaucho de Neumáticos Fuera de Uso.</i> .....	24
<b>Figura 4.</b> <i>Recolección de Neumáticos Fuera de Uso Tradicional.</i> .....	25
<b>Figura 5.</b> <i>Desgaste de los Neumáticos.</i> .....	25
<b>Figura 6.</b> <i>Composición y Estructura de los Neumáticos.</i> .....	27
<b>Figura 7.</b> <i>Máquina Universal de Ensayo Instron 5566.</i> .....	29
<b>Figura 8.</b> <i>Mordazas de Autoapriete.</i> .....	30
<b>Figura 9.</b> <i>Ensayo de Resistencia al Desgarro.</i> .....	31
<b>Figura 10.</b> <i>Relación de Rigidez de Material vs Módulo de Pérdidas (Temperatura).</i> .....	31
<b>Figura 11.</b> <i>Abrasímetro para Caucho.</i> .....	32
<b>Figura 12.</b> <i>Aplicaciones de neumáticos fuera de uso.</i> .....	33
<b>Figura 13.</b> <i>Rompeolas Verticales a Partir de Neumáticos Fuera de Uso.</i> .....	34
<b>Figura 14.</b> <i>Aprovechamiento energético de los NFU.</i> .....	35
<b>Figura 15.</b> <i>Usos y Aplicaciones del Reciclaje de Neumáticos.</i> .....	36
<b>Figura 16.</b> <i>Planta Procesara de Trituración de Neumáticos Fuera de Uso.</i> .....	36
<b>Figura 17.</b> <i>Diseño de Trituradora mecánica.</i> .....	37
<b>Figura 18.</b> <i>Sistema de Trituración de un Eje.</i> .....	38
<b>Figura 19.</b> <i>Sistema de Trituración dos un Ejes.</i> .....	38
<b>Figura 20.</b> <i>Sistema de Trituración de Cuatro Ejes.</i> .....	39
<b>Figura 21.</b> <i>Faja Transportadora.</i> .....	40
<b>Figura 22.</b> <i>Elevador de Cangilones.</i> .....	40
<b>Figura 23.</b> <i>Separador Ciclónico.</i> .....	41
<b>Figura 24.</b> <i>Proceso de Filtración de Filtro de Mangas.</i> .....	42
<b>Figura 25.</b> <i>Proceso de Molienda Criogénica.</i> .....	43
<b>Figura 26.</b> <i>Fases de Tratamientos Térmicos.</i> .....	44
<b>Figura 27.</b> <i>Componentes que Intervienen en el Proceso de Gasificación.</i> .....	45
<b>Figura 28.</b> <i>Planta de Tratamiento Térmico por Pirólisis.</i> .....	46

<b>Figura 29.</b> <i>Sistema General de una Planta de Incineración.</i> .....	47
<b>Figura 30.</b> <i>Ubicación de Planta.</i> .....	58
<b>Figura 31.</b> <i>Designación de Área de Implementación de Planta.</i> .....	58
<b>Figura 32.</b> <i>Triturador de Mandíbulas.</i> .....	64
<b>Figura 33.</b> <i>Sistema de Absorción de Polvos.</i> .....	67
<b>Figura 34.</b> <i>Trituradora de 4 Ejes.</i> .....	68
<b>Figura 35.</b> <i>Modelado de Eje.</i> .....	81
<b>Figura 36.</b> <i>Identificación de Componentes.</i> .....	84
<b>Figura 37.</b> <i>Propiedades de Material.</i> .....	86
<b>Figura 38.</b> <i>Diagrama S-N.</i> .....	88
<b>Figura 39.</b> <i>Distribución de Planta.</i> .....	104
<b>Figura 40.</b> <i>Dimensiones de Área de Planta.</i> .....	105
<b>Figura 41.</b> <i>Distribución de Equipos de Planta.</i> .....	106
<b>Figura 42.</b> <i>Diagrama Unifilar de Planta.</i> .....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Composición y Características de los Neumáticos.</i> .....	26
<b>Tabla 2.</b> <i>Elementos Químicos de los Neumáticos.</i> .....	28
<b>Tabla 3.</b> <i>Operacionalización de Variables.</i> .....	52
<b>Tabla 4.</b> <i>Características de Neumáticos Fuera de Uso a Procesar.</i> .....	57
<b>Tabla 5.</b> <i>Sugerencias de Diseño de Trituradoras de Caucho.</i> .....	60
<b>Tabla 6.</b> <i>Esquematación de Sistemas Complementarios de Planta.</i> .....	69
<b>Tabla 7.</b> <i>Descripción de Diseño Conceptual.</i> .....	73
<b>Tabla 8.</b> <i>Características de Neumático de Mayor Diámetro.</i> .....	77
<b>Tabla 9.</b> <i>Material de Diseño.</i> .....	79
<b>Tabla 10.</b> <i>Configuración Geométrica.</i> .....	80
<b>Tabla 11.</b> <i>Fuerzas.</i> .....	83
<b>Tabla 12.</b> <i>Análisis de Elementos Finitos – Triturador 01.</i> .....	84
<b>Tabla 13.</b> <i>Factores Para Análisis de Fatiga.</i> .....	85
<b>Tabla 14.</b> <i>Análisis de Elementos finitos.</i> .....	89
<b>Tabla 15.</b> <i>Diseño de Componentes.</i> .....	90
<b>Tabla 16.</b> <i>Determinación de Torque.</i> .....	94
<b>Tabla 17.</b> <i>Determinación de Potencia de Motor.</i> .....	94
<b>Tabla 18.</b> <i>Configuración Geométrica.</i> .....	95
<b>Tabla 19.</b> <i>Determinación de Fuerzas.</i> .....	95
<b>Tabla 20.</b> <i>Análisis de Elementos Finitos – Triturador 02.</i> .....	96
<b>Tabla 21.</b> <i>Determinación de Ciclos de Vida.</i> .....	98
<b>Tabla 22.</b> <i>Análisis de Elementos Finitos.</i> .....	99
<b>Tabla 23.</b> <i>Componentes de Diseño.</i> .....	100
<b>Tabla 24.</b> <i>Señalización de Equipos de Planta.</i> .....	105
<b>Tabla 25.</b> <i>Presupuesto General de Planta.</i> .....	107
<b>Tabla 26.</b> <i>Plan de Mantenimiento.</i> .....	110

# **CAPÍTULO I**

# **INTRODUCCIÓN**

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Realidad Problemática

Debido al aumento automotriz a nivel Internacional, cada día tiende a subir la demanda cuantitativa de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) que se genera a nivel global en los diferentes países. Estos desperdicios son elementos muy contaminantes para el medio ambiente porque en su mayoría tienen destino final botaderos o llenaderos, donde no tienen fiscalización alguna para evitar plagas, enfermedades, daños en el entorno social que estas están presentes. (EcoGreen, 2018).

Las entidades como la Asociación de Fabricantes de cauchos, nos comentan que existe una extensa inadecuada gestión del desuso de los NFU, obteniendo resultados alarmantes. Los neumáticos son de vital importancia en las diversas industrias del parque automotor, estas están sometidas a trabajos continuos y forzados de acuerdo a uso tienen corto tiempo de vida, lo cual, al cumplir su función son sustituidos por otros. Se tiene datos estadísticos de países de gran demanda vehicular, como en los Estados Unidos en el año 2015 contaba con una cantidad de 460 mil toneladas de cauchos en desuso y almacenados en vertederos de basura. De igual modo, en España en el año 2016, se desecharon aproximadamente 200.000 mil toneladas de NFU. Por lo tanto, ante esta evaluación de desperdicios se concreta que existe una inmensa contaminación causada por estos elementos en desuso que concreta altos índices contaminantes; trayendo como consecuencia un aumento descontrolado en los porcentajes a nivel mundial de desperdicio de los Neumáticos Fuera de Uso. (Especialistas en la Fabricación de Trituradora de Llanta, 2018).

Los neumáticos fuera de uso tienen grandes impactos negativos convirtiéndose en problemas ambientales, económicos, técnicos y sociales a nivel mundial. En América Latina usualmente el procedimiento que se da a estos NFU es el almacenaje o botaderos en cualquier parte de las ciudades, principalmente en las partes externas abandonadas, cauces de arroyos y ríos. (Cantanhede & Monge, 2002).

En México, en la zona fronteriza con Estados Unidos tiene un impacto muy alto de desperdicios de neumáticos fuera de uso, en estas zonas se concentran como botaderos sin control alguno de las autoridades responsables. En su gran mayoría son procedentes de Estados Unidos donde se vierten aproximadamente 300 millones que tienen una equivalencia

a un neumático por habitante al año, afectando crucialmente a las ciudades de Ciudad Juárez y Tijuana. (Universidad estatal de San Diego).

Se estipula datos estadísticos de la frontera de México que cada año se comercializa aproximadamente 4.5 millones de llantas en desecho y almacenaje, vías públicas o centros de acopio existen 10 millones de NFU. (SEMARNAT, 2009).

Debido al auge a nivel Nacional, se tiene un índice del 80% de desechos tienen como destino final en botaderos a cielo abierto y el 13% es reciclado de manera informal sin respetar algún procedimiento. (La Cooperación Suiza en Perú y los Andes, 2019).

Con respecto a la disposición final en las ciudades del Perú, tienen un entorno no atendido en su gran mayoría, por ello, solamente en Lima y Cajamarca cuentan con un relleno sanitario que sirve como almacenamiento de residuos de manera sostenible. En su mayoría practican los botaderos a cielo abierto constituyendo factores críticos en los diversos sectores. (Ministerio del Ambiente, 2017).

La disposición residual de las llantas usadas, es un problema que el país tiene un gran porcentaje en contaminación y más aún en las ciudades con mayor número de movilidades automotrices, causando diversos factores problemáticos para la sociedad entera que aquejan usualmente a las municipalidades como responsables de no gestionar proyectos de eficacia ante estos elemento contaminantes. En la ciudad de Iquitos a lo largo del tiempo tiene un incremento descontrolado de forma constante del parque automotor, teniendo como resultado índices elevados de desechos de neumáticos fuera de uso día a día. Ante esta problemática por parte de las autoridades tienen un inmenso desconocimiento de fiscalizar o llevar a cabo procedimientos adecuados para realizar buenas prácticas de reciclaje y rehusar estos elementos problemáticos. (Piñheiro & Jhair, 2015).

Debido al auge a nivel Local, la región tiene un 30% más de crecimiento vehicular en estos últimos tiempos, circulando más de 300 mil unidades del servicio público y privado, produciendo dentro de ellos efectos negativos, donde se encuentra resaltado ante las demás la presencia de diversos contaminantes ambientales presentes en el día a día que actualmente es nombrado como problema dentro de una escala muy grave que afectan a las diversas ciudades como patrimonio y a los habitantes con relación a salud pública. (Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental, 2018).

La capital de la amistad Chiclayo es el foco principal ante este factor problemático, se han determinado según estudios ambientales de las diversas instituciones encargadas que Chiclayo sino tiene un control de contaminación se puede convertir en una ciudad con más contaminación a nivel nacional. Principalmente todos los días en cercado o alrededores de la ciudad se observa muchos botaderos de residuos contaminantes de diversa índole, constituyendo el 30% de ellos, son neumáticos residuales, lo cual, a lo largo de la exposición en el medio causa presencia de plagas, virus, gases tóxicos que afectan directamente al medio que lo rodea generando impactos medioambientales, visuales y salud. Los responsables de estos desechos y autoridades deben implementar procedimientos, proyectos y concientización de forma general para contrarrestar esta problemática. (Bustamante, 2017).

Chiclayo es una de las ciudades más contaminada por desechos residuales y por los desechos de neumáticos fuera de uso, teniendo en resultados estadísticos de 1055 ton/día por día la generación de residuos, de ellas el 25% son residuos de neumáticos inservibles dispersadas en diferentes puntos de la ciudad. (Ministerio del Ambiente, 2017).

Existe un gran número de vehículos automotores pesados o livianos que transitan día a día para cumplir labores de transporte público, privado, de carga, etc por diversos lugares de la ciudad. Por ende, existen bastantes desechos de neumáticos por las calles, en botaderos no autorizados, almacenes inadecuados que influyen a esta carga contaminante en la ciudad. El municipio no tiene un plan de gestión ambiental para dichos desechos contaminantes y por lo usual el reciclaje de los neumáticos se realiza en un almacén o reencauche.

Ante esta situación problemática que existe a nivel mundial, nacional y local de gran preocupación del inadecuado manejo de residuos contaminantes y principalmente los elementos de mayor abundancia y peligrosidad por sus diversas características negativas que contribuyen globalmente con porcentajes elevados a la contaminación ambiental, problemas sociales generando enfermedades y pobreza; en agrupación de estos factores negativos contribuyen con la pérdida de desarrollo sostenible en las sociedades.

Por tal motivo, la presente investigación busca mitigar a un elemento con estándares de contaminación muy altos en nuestro ecosistema; nos referimos a los neumáticos fuera de uso (NFU), para ello, investigamos alternativas de solución para transformar residuos en recursos obteniendo como resultado un bien de utilidad y colaborar con la reducción de impactos ambientales.

## 1.2 Antecedentes de Estudio

(Díaz Ávila, 2017) *“Diseño Paramétrico de una Trituradora de Caucho”*  
*Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.*

La investigación tuvo como enfoque el diseño de un banco de pruebas de un triturador de caucho para someter diversas pruebas experimentales y tener como resultados las variables que intervienen en el proceso de trituración de cauchos.

El autor en su desarrollo de su investigación realizó diversos análisis para determinar variables que tengan posibles afectaciones a los mecanismos de la trituradora. En su primera fase de investigación se centró en la investigación de los diversos tipos de trituradoras de caucho, para desglosar a la identificación de cada uno de sus sistemas mecánicos, subsistemas y elementos de acuerdo a su criticidad de fallas que determinan por rangos de mayor importancia de atención para el diseño. Ya concluido el enfoque primordial mencionado anteriormente tuvo criterio de determinar su diseño óptimo teniendo en cuenta posibles fallas, atascamientos y entre otras variables determinantes.

Como segunda faceta de la investigación tuvo como enfoque el material de proceso, que es el caucho, donde ha determinado sus análisis mecánicos fuerzas de corte y desgarro; también las diversas propiedades de composición y características según el tipo, tamaño de neumático. Esta información ha evaluado para tener principios de diseño que determinan potencia, fuerzas y factores mecánicos que intervienen en el proceso.

Con aquellas variables identificadas se realizará un modelo matemático y geométrico del diseño de los diversos componentes; donde consideran todos los resultados físicos mecánicos de potencia, fuerzas, resistencia para su previo análisis de cada uno de las partes del sistema.

Finalmente, la determinación del diseño tuvo un resultado aceptable por cumplir las diversas proyecciones que el autor había designado en su investigación. Todos los parámetros de diseño han cumplido con los estándares requeridos sometiéndoles a análisis efectivos para su respectiva evaluación.



**(Campaña, Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores, 2015) Ecuador.**

Como resultado de las diversas aplicaciones de los neumáticos fuera de uso sometidos al proceso de trituración se obtiene mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho que tienen una utilidad en los pavimentos para mejorar propiedades de durabilidad entre tiempos de mantenimiento y costo.

En la investigación se ha trabajado con dos procesos seco y húmedo para la obtención del asfaltado modificado con la adición de polvo de caucho que provienen de neumáticos usados por el parque automotor sometido a un proceso de triturado. Se ha presentado diversos propiedades Marshall y evidencias de grandes beneficios con esta mezcla asfáltica, lo cual, se obtuvieron tres porcentajes 10% – 15% - 20% del polvo de caucho en relación al bitumen de asfalto.

El investigador en las pruebas de la composición seca añadió 1% - 2% - 3% de polvo de caucho con proporción al adición asfáltico. Realizó diversas evaluaciones de composiciones asfálticas sometiéndolas a pruebas de gravedad específica máxima, densidad por el método RICE, densidad Bulk y proporciones de vacío de los agregados macizos o sueltos.

Como consecuencia se ha obtenido que la aplicación de polvo de caucho juega un papel muy importante en las mezclas asfálticas, determinando que tiene mejores resistencia a la fatiga por proceso húmedo con 20 wt% del polvo de caucho en relación al bitumen; también con mejores características de módulo de rigidez y deformación dinámica se obtuvo por proceso seco con 10wt% de polvo de caucho. Estos resultados tienden a dejar referencia de recomendaciones para seguir la línea de investigación más a detalle para obtener resultados eficaces para la aplicación de esta mezcla asfáltica en los diversos proyectos.

**(Ramos Quispe G. , 2018) “Diseño de una trituradora de neumáticos para reciclado y comercialización de migas de caucho” Arequipa.**

La investigación tiene como objetivo de contribuir a la reducción de los impactos ambientales por factores contaminantes obtenidos del parque automotor, dejando como residuo los neumáticos gastados. La materia contaminante tiene como fin transformarla a materia aprovechable mediante la intervención de equipos mecánicos que le dan un proceso

para cumplir con los dimensionamientos estipulados.

Para establecer el diseño de la máquina se obtuvo diversas fuentes de información de investigaciones probadas con resultados eficientes y normativa empleada en otros proyectos del mismo carácter investigativo. En la investigación se determinó varias disyuntivas, lo cual, cada una de ella tuvo una previa evaluación direccionándolo a optar por la mejor elección de diseño de la máquina.

La investigación tuvo como referencia base de información de empresas reencauchadoras, donde se determinó eficazmente el abastecimiento de elemento principal netamente requerido para el procesamiento con el apoyo de las trituradoras mecánicas y luego su venta en migas de caucho.

En el desarrollo se realizó cálculos mecánicos con teorías de diversas fuentes de diseño determinando el adecuado material de aplicación en función con sus concernientes dimensiones para evitar fallas por cualquier índole, también se realizó planos de detalle con software CAD.

En conclusión, según el análisis económico tiene como resultado una inversión eficaz para la construcción del sistema de la máquina trituradora de neumáticos, obteniendo como retorno de inversión la venta de migas de caucho.

**(Ramos Quispe G. , 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”. Universidad Continental, Arequipa, Perú.**

La investigación se enfocó en la problemática ambiental en el Perú con dirección a uno de los elementos con altos grados contaminantes en todo el territorio del país, que son los cauchos en desuso.

El reaprovechamiento de desechos de cauchos no tiene una estipulación de procedimiento legal que se cumpla en cotejo a otros países como Brasil, España y Ecuador, por ello, existen altos índices de desperdicios en cualquier punto de las diferentes ciudades.

Ante el discurso de estas problemáticas se proyectó como objetivo el diseño y construcción de una máquina trituradora, para tener como producto final caucho triturado con granulometría de 2.5 mm a 5 mm que consecutivamente será derivada a diversas industrias para darle un valor agregado. Este tipo de prácticas de reutilización contribuyen con la reducción del impacto ambiental en este sector.

En conclusión, la investigación llegó a su objetivo del diseño de la máquina trituradora, que se muestran resultados óptimos favorables que contribuyen con la reducción de problemas ambientales en el territorio, ante ello, como resultado se define el diseño de la máquina junto a sus concernientes detalles de fabricación y mantenimiento de los diversos sistemas.

**(Cajimilla Vasquez & Zuloeta Carrasco, 2012) “Diseño de una línea recicladora de neumáticos desde una medida r12 a r22.5 con capacidad de 9.5 tn/ día para la separación de sus componentes en el departamento de Lambayeque 2012”.**

Se analizó las problemáticas ambientales que afrontaba a lo largo del tiempo la región Lambayeque que cada día se torna más contaminante, considerando que es una de las ciudades más contaminadas en comparación a otras.

Su tránsito de vehículos tiene una gran afluencia contaminante por el desecho de sus neumáticos, teniendo como problemática grave que en la ciudad no cuenta con una cultura de reciclaje de neumáticos, principalmente lo desechan dejándolo en las calles o lugares inapropiados. Usualmente la forma de reciclaje que aplican es el almacenamiento o apilar los neumáticos fuera de uso (NFU) de una manera inapropiada empírica que en el transcurso del tiempo trae consecuencias negativas para la ciudad y sociedad, también, se tuvo un análisis de porcentajes del uso de prácticas comunes de reencauchar y como resultados a nivel regional se obtuvo un porcentaje muy bajo.

El resultado final que se obtuvo de esta investigación, fue la reducción de los efectos contaminantes por parte de neumáticos fuera de uso NFU en la ciudad, implementando una solución con bases investigativas el diseño de una línea recicladora para mitigar contaminaciones ambientales.

### **1.3 Teorías Relacionadas al Tema**

#### ***1.3.1 Gestión de residuos en Perú***

La gestión ante el impacto ambiental está desentendida en el país en su gran mayoría, se tiene índices de residuos sólidos muy altos, tenemos en el 2013 según informe municipal en el ámbito urbano 18.533 ton/día de residuos sólidos de recolección y de ellos solo 7.656 ton/día han tenido como destino un relleno sanitario autorizado; mientras que 8.545 ton/día se derivó a botaderos municipales y 300.3 ton/día a destinos sin autorización o conocimiento alguno. (Ministerio del Ambiente, 2021).

De igual modo, cada vez que el tiempo transcurre diversas industrias implementan nuevas tecnologías, productos y con mayor abundancia para que las personas estén al alcance de cualquier utilidad requerida; pero estas por traen consigo un impacto ambiental cuando terminan su tiempo de vida, lo cual, genera diversos problemas en la sociedad. Los gobiernos y personas no toman las precauciones o educación necesarias para poner un alto a estas problemáticas.

Los neumáticos fuera de uso que se desechan por los millones de vehículos que existen en el país, es un punto muy alarmante para nuestra sociedad y medioambiente, ya que son contaminantes de alta peligrosidad que afectan ante nuestra sociedad. Ante ello se debe iniciar a implantar nuevas formas de aprovechamiento para generar productividad de ellas.

De esta manera, se tiene un problema de gran envergadura con la falta de interés de solución o planeamiento para implementar infraestructura, equipamiento y recursos humanos para la puesta en marcha de Sistemas de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos. También la sociedad es un problema directo por la falta de educación ambiental, ya que en amplios porcentajes no realizan prácticas de reducir, reciclar y reusar que son de vital importancia como sociedad. (Plan de Manejo de Residuos Sólidos - Reque, 2016).

**Figura 1.** *Gestión de Residuos de Neumáticos Fuera de Uso.*



**Fuente:** (La Comunidad del Taller, 2019).

### **1.3.2 Clasificación de los Residuos Sólidos**

La sistematización de los Residuos Sólidos esta constitucionalmente estipulada por la Ley N° 27314, 2000. Los residuos sólidos se toman según clasificación: Por origen y por características de tipo de manejo, según los procedimientos legales vigentes.

#### **1.3.2.1 Clasificación de Origen.**

##### **a. Residuo Domiciliario:**

Es de índole principalmente doméstico, los residuos de acopio son resultados del uso de las diversas tareas de casa o utilidades de equipos o elementos que diariamente estamos sacando provecho de ello.

##### **b. Residuos Industriales:**

Son elementos con mayor índice de contaminación, está va de acuerdo al tipo de industria o rubro que este direccionada. Los elementos residuales son desperdicios de diversas materias que intervienen en procesos industriales, puede ser: hierro, plásticos,

madera, hidrocarburos, etc.

***c. Residuos Comerciales:***

Su denominación está en función al tipo de actividad que se desempeñen, fundamentalmente materiales de oficina, contenedores, empaques, entre otros.

***d. Residuos de Limpieza de Espacios Públicos:***

Elementos contaminantes residuales generados por la sociedad, residuos de consumo usual.

***e. Residuos de las Actividades de Construcción:***

Residuos de desmonte o demoliciones de construcciones, que no llevan un plan de permisos de construcción.

***f. Residuos Agropecuarios:***

Elementos generados por diversos animales de crianza, principalmente están considerados sus excrementos y químicos de autoayuda para animales y plantas.

***g. Residuos de Establecimiento de atención de Salud:***

Elementos residuales de instituciones del sector salud.

**1.3.2.2 Clasificación por Características de Tipo de Manejo.**

***a. Residuo Sólido Especial:***

Son residuos que tienen características o composiciones que afectan al medio humano y naturaleza al momento que se degrada o al estar expuesto en el medio que nos rodea causando diversos problemas de salud. Se consideran a los elementos hospitalarios y productos de larga degradación en la tierra.

***b. Residuo Sólido Inerte:***

Son elementos que no tienen afectación directa en la salud, pero generan plagas u ocupaciones de espacio a lo largo del tiempo. En su mayoría producen un impacto de contaminación visual. Tenemos: plásticos, papel, vidrios, espumas, entre otros.

***c. Residuos Sólidos Orgánicos:***

Son elementos que tienden a descomponerse por los cambios climáticos

en el medio que les rodea. Tenemos: todos elementos que entran a estado de putrefacción, restos de jardinería, entre otros.

En esta clasificación, destacamos los residuos sólidos especiales, ya que nuestro elemento de investigación (NFU) se encuentra considerado dentro de esta caracterización, lo mencionamos a continuación:

### 1.3.2.3 Residuos Sólidos Especiales

(Martínez, 2005), advierte que las llantas usadas debe estar estipulado como residuos especiales, por tener una composición de impacto negativo y ocupación de gran volumen en las áreas. También son desechos se dan en forma masiva, donde no se practica un procedimiento normado para rehusar neumáticos. Su composición física tiene elementos que al estar presentes en el medio, trae grandes contaminantes a la sociedad y es de difícil descomposición en nuestro ecosistema.

(Martínez, 2005) Menciona que la vida útil de los neumáticos tiene en promedio de forma general 50 000 Km, pero el mantenimiento, uso, rutas, aplicaciones tienen una gran importancia de la disposición de la vida de estas, que en función a ellas están sus variaciones de duración.

**Figura 2.** *Residuos Especiales Neumáticos Fuera de Uso*



**Fuente:** (Cádenas Reyes, 2020).

### ***1.3.3 Métodos de Recolección de NFU.***

Los métodos de recolección en su mayoría se practican de forma empírica, ya que el gobierno del Perú no determina altos estándares de fiscalización que controlen masivamente los métodos para rehusar neumáticos fuera de uso.

Los recolectores mayoristas contratan servicios de recolección particular, el cual tienen zonas identificadas para recolectar y transportar hasta un almacén temporal, para posteriormente enviarlas a empresas que su materia de trabajo son los neumáticos fuera de uso en sus diversas clasificaciones. En su mayoría estas empresas son Reencauchadoras, que se dedican a rehusar con ciertos criterios de clasificación y estado de las llantas, aplicando prácticas de reencauchado para el uso en la industria vehicular. Los neumáticos reencauchados tienden a perder diversas características de resistencia y su trabajo es de forma limitada con relación a un neumático nuevo; para su uso de estos se tienen ciertas consideraciones restringidas que están estipuladas por los fabricantes.

**Figura 3.** *Proceso de Reencaucho de Neumáticos Fuera de Uso.*



**Fuente:** (Relino, s.f.)

Los recolectores de pequeña escala emplean el servicio de recolección pública de residuos, como medio de transporte hasta lugares de almacén, tiraderos en aires libres o sitios clandestinos, lo cual, se hace utilidad de prácticas inapropiada que generan más contaminación. Estas acciones de práctica que por lo general se realizan en el país, traen muchas consecuencias a dos factores primordiales de forma general: al medio ambiente y a las personas que diariamente están expuestas.



**Figura 4.** *Recolección de Neumáticos Fuera de Uso Tradicional.*



**Fuente:** (El Comercio, 2018).

### **1.3.4** *Neumáticos/Neumáticos Fuera de Uso*

#### **1.3.4.1** *Que es un Neumático.*

Es un elemento de vital importancia en el parque automotor, gracias a ello los diversos vehículos pueden trasladarse sobre ellos de un lugar a otro. También es nombrado cubierta, goma o llanta en América, la principal materia de fabricación es el caucho por tener características de adherencia, estabilidad y confort. (Camós, 2015).

Los neumáticos fuera de uso, se interpreta con su abreviatura “NFU”, son llamados neumáticos desgastados o consumidos, es decir, estos son los que ya cumplieron su tiempo de uso o tiempo de vida conforme estipulaciones de los fabricantes.

**Figura 5.** *Desgaste de los Neumáticos.*



**Fuente:** (PrevenConsejos, Seguridad Vial, 2021).

El caucho tiene como característica principal la elasticidad, que es la responsable de soportar diversas cargas a lo largo de su vida útil. También se caracteriza por su durabilidad, garantizando que cumpla con los requerimientos de vida según fabricantes. (Camós, 2015).

#### 1.3.4.2 Origen y Composición del Neumático.

El norteamericano Charles Goodyear tuvo la idea de inventar el neumático, accidentalmente en 1880, también el proceso de vulcanización, que cumpla con la resistencia y solidez de este elemento en la fabricación.

(Ver **tabla 01**). Donde se muestra su composición y características de los neumáticos según tipos y gama de vehículos.

**Tabla 1.** *Composición y Características de los Neumáticos.*

<b>COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS</b>		
	<b>Automóviles y camionetas</b>	<b>Camiones y microbuses</b>
<b>Caucho natural</b>	14 %	27 %
<b>Caucho sintético</b>	27%	14%
<b>Negro de humo</b>	28%	28%
<b>Acero</b>	14 - 15%	14 - 15%
<b>Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.</b>	16 - 17%	16 - 17%
<b>Peso promedio:</b>	8,6 Kg	45,4 Kg.
<b>Volumen</b>	0.06 m3	0.36 m3

Fuente: (Rubber Manufacturers Association, 2016).

Su composición de los neumáticos principalmente son tres productos: caucho (natural y sintético), acero y fibra textil. Cada uno de estos elementos contiene diversas composiciones únicas que se tiene como resultado elementos ya compuestos para fabricar los neumáticos para el mundo vehicular. (Holderbank, 1997).

También en su fabricación de los neumáticos intervienen elementos químicos secundarios que apoyan a dar una mejor consistencia, calidad y lapsos de vida más extensas; para obtener un producto final listo para su eficiente utilidad. (Holderbank, 1997).

(Ver figura 06). Donde se muestra el neumático descrito con sus características de composición y estructura principales:

**Figura 6.** *Composición y Estructura de los Neumáticos.*



**Fuente:** (Cátedra de Cultura Científica, 2017).

Los elementos químicos que intervienen en la fabricación de un neumático suelen variar según el tipo y el país de fabricación.

En la (Tabla 02) se muestra los elementos químicos respectivamente con sus porcentajes respectivos:

**Tabla 2.** Elementos Químicos de los Neumáticos.

<b>Elemento</b>	<b>Porcentaje</b>
Carbono (C)	70
Hidrogeno (H)	7
Azufre (S)	1..3
Cloro (Cl)	0,2...0,6
Fierro (Fe)	15
Óxido de Zinc (ZnO)	2
Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	5
Cromo (Cr)	97-ppm
Níquel (Ni)	77-ppm
Plomo (Pb)	60-760ppm
Cadmio	5-10ppm
Talio	0,2-0,3ppm

Fuente: (Holderbank, 1997).

#### **1.3.4.3 Propiedades Mecánicas de los Neumáticos.**

Se determina las propiedades mecánicas de los neumáticos que más se resalta gracias a los ensayos físicos mecánicos que se ponen a prueba para determinar las propiedades que limitan o cumplen en función al contacto de las diversas fuerzas o propiedades del medio que accionan en las llantas en general.

Como propiedades más relevantes, se encuentran:

- Resistencia a Tracción.
- Resistencia al Desgarro.
- Resiliencia.
- Abrasión.

##### **a. Resistencia a Tracción**

La resistencia a tracción por general mide el límite máximo de fallo de un material. En nuestro caso el neumático se somete a pruebas para determinar la máxima resistencia mecánica de tracción que es un excelente indicador de la calidad de la goma.

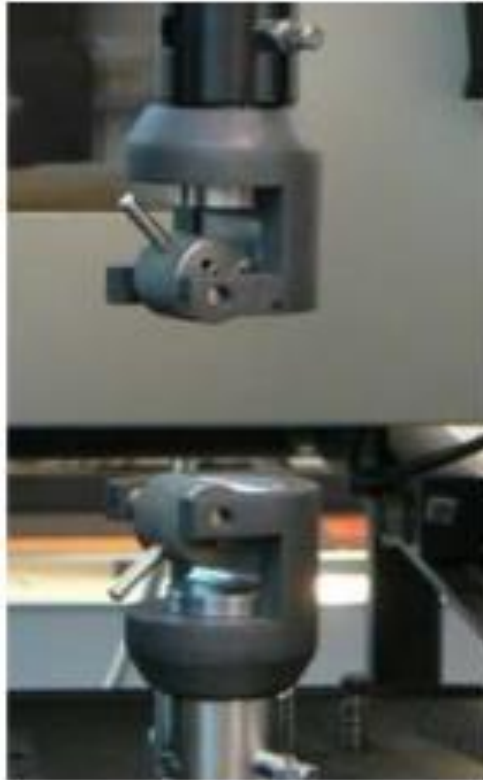
En su mayoría estos elementos por la presión que están sometidas usualmente se emplean más en compresión, lo cual, tiene ventaja porque se desprecia roturas que pueden generar fuerzas por extensión. Estas cumplen con una curva grafica con relación a esfuerzo-deformación de un elastómero que son sometidas para determinar diversas variables de rotura en función a resultados físicos. Según análisis registran un valor de esfuerzo al 100% o 300% de deformación, que se denominan M100 y M300, respectivamente. (*Ver figura 07*). Para estas pruebas se ha empleado una máquina universal de ensayo Instron 5566 equipada con extensómetro. (Bellas García, 2012).

**Figura 7.** *Máquina Universal de Ensayo Instron 5566.*



**Fuente:** (Bellas García, 2012).

**Figura 8.** *Mordazas de Autoapriete.*



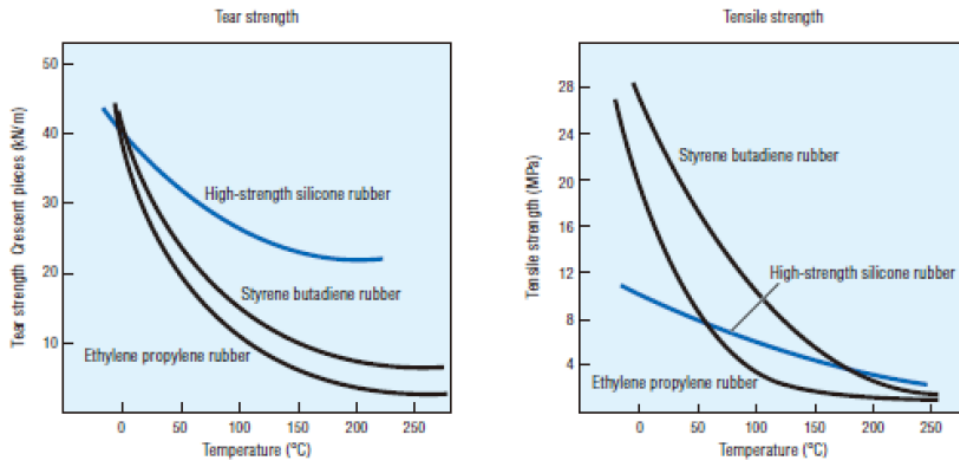
**Fuente:** (Bellas García, 2012).

***b. Resistencia al Desgarro.***

La resistencia al desgarro del caucho es la fuerza limitante del material puesto en prueba para evitar una laceración o grieta. Esta se realiza mediante probetas con la finalidad de determinar la resistencia máxima de desgarro aplicando una fuerza constante de prueba. (Bellas García, 2012).

Obteniendo los resultados de la resistencia al desgarro del caucho se designa valores cercanos a los 9,8 kN/m y los cauchos con más resistencia por su diseño están dentro de los rangos de resistencia de 29,4 kN/m a 49,0 kN/m. (Brown, 2006).

**Figura 9.** *Ensayo de Resistencia al Desgarro.*

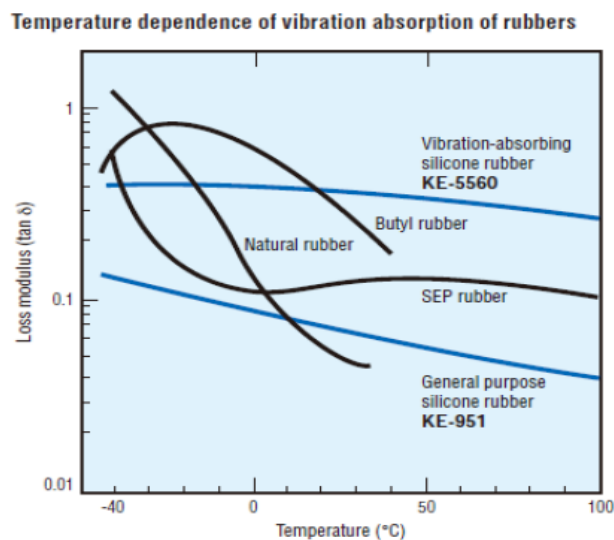


**Fuente:** (Brown, 2006).

**c. Resiliencia.**

Esta caracterización de los neumáticos se define como la relación de la energía restaurada después de una deformación y la energía total que produce la deformación. Esta energía que no es equivalente a la total se designa como energía perdida disipada como calor al exterior. El caucho es un elastómero con buenas propiedades de resiliencia que tiene una consideración importante para la reducción de vibraciones. (Bellas García, 2012).

**Figura 10.** *Relación de Rigidez de Material vs Módulo de Pérdidas (Temperatura).*



**Fuente:** (Brown, 2006).

#### ***d. Abrasión.***

La Abrasión o desgaste es la pérdida de material del neumático producida por el rozamiento constante en la superficie (fricción).

Para realizar estas pruebas se determinan diversas variables de uso, propiedades de los suelos y tipos de cauchos. Para los ensayos existen abrasímetros que cumple con la norma ISO 4649 (Método A - sin rotación y método B - con rotación), ASTM D 5963 y DIN53516. Este instrumento permite conocer mediante probetas el desgaste de los cauchos. La resistencia al desgaste se determina por la diferencia entre el peso de la probeta antes y el que tiene después del ensayo. (Neurtek, 2021).

**Figura 11.** *Abrasímetro para Caucho.*



**Fuente:** (Neurtek, 2021).

#### ***1.3.5 Aplicaciones de los neumáticos fuera de uso (NFU).***

Los neumáticos tienen grandes composiciones químicas que contribuyen con altos porcentajes a la contaminación ambiental, de igual modo, se investiga para poder reducir los extensivos índices contaminantes convirtiéndolo en atribuciones de ingresos económicos gracias a la implementación de fuentes de reutilización.

La gestión que se debe implantar para obtener buenos resultados aprovechables de NFU, es que las empresas públicas y privadas deben agrandar sus proyectos con enfoque de reciclar y rehusar los neumáticos fuera de uso. Las posibilidades de reciclaje - rehusar los NFU por ser un derecho solido tiene un enfoque en los últimos tiempos con un importante crecimiento de buenas proyecciones con miras al futuro, los resultados obtenidos de diversos estudios mencionan que se pueden emplear en muchas variedades de utilidades que dan beneficio económico mitigando la contaminación ambiental y mejorando la salud pública.



**Figura 12.** *Aplicaciones de neumáticos fuera de uso.*



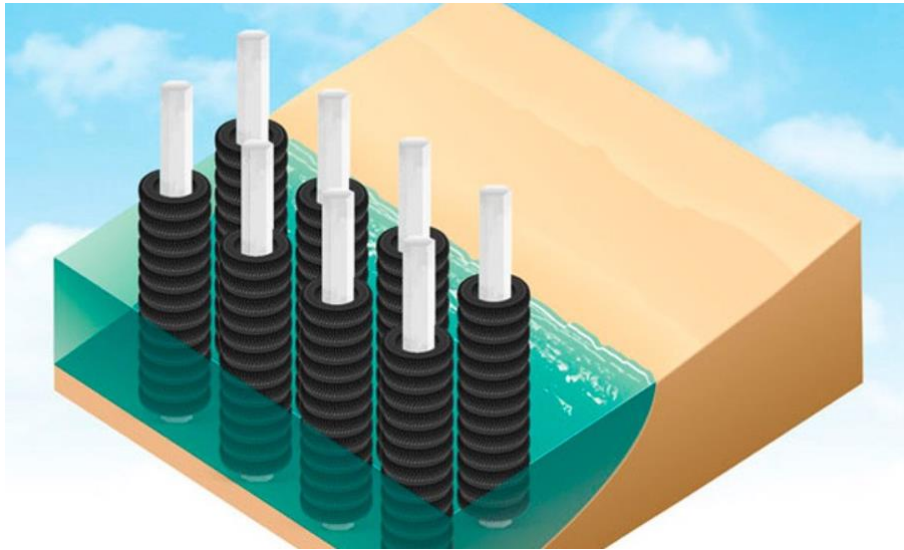
**Fuente:** (Delgado, 2019).

La aplicación de los neumáticos fuera de uso, tienen una subdivisión en tres apartados muy generales que principalmente se trabajan en nuestro entorno. Los neumáticos fuera de uso: enteros, como combustible y valorizados (polvo de caucho).

### **1.3.5.1 NFU Enteros**

La acción de la reutilización busca darle utilidad práctica a los neumáticos fuera de uso (NFU), con un procedimiento estipulado y encaminado por las entidades de las diversas zonas del país que se puede beneficiar de este elemento, estos neumáticos se pueden aprovechar totalmente enteros o con cambios simples de acuerdo aplicaciones. Se muestra ejemplos de aplicación: parques infantiles, protección de muelles o embarcaciones, rompeolas, construcción de barreras anti-ruídos, pistas de carreras, aplicaciones agrícolas, entre otros. (Swaneck, 2011).

**Figura 13.** Rompeolas Verticales a Partir de Neumáticos Fuera de Uso.



**Fuente:** (Iresiduo, 2020).

#### **1.3.5.2 NFU como Combustible**

Los neumáticos fuera de uso tienen unas características muy potenciales como combustible, que estas pueden ser aprovechadas de diversas maneras o tratamientos muy eficientes que cada vez las investigaciones lo desarrollan de una manera más optimizada y evitando daños colaterales a otros medios.

Para conocer los grandes potenciales energéticos de los NFU, a estos se tienen que aplicar un proceso de extracción de los refuerzos metálicos para obtener una materia netamente de caucho, que mejora sus características térmicas para sus aplicaciones en los diversos procesos. Los neumáticos fuera de uso tienen un poder calorífico que fluctúa entre los 7,800 a 8,600 [*kcal/cal*] que es un equivalente a 32 *MJ/kg*. Las propiedades energéticas de los NFU, tienen una comparación similar al uso del carbón, que contiene típicamente entre 5,500 a 7,200 [*kcal/cal*]. Su temperatura de auto-ignición bordea los 400 °C, lo cual, se debe mantener durante varios minutos; la temperatura del neumático de fundición es de 400 °C. (Tirel, 2017).

**Figura 14.** *Aprovechamiento energético de los NFU.*



**Fuente:** (Maria Jose, 2021).

### **1.3.5.3 NFU como Polvo de caucho**

Para obtener polvo de caucho se tiene que hacer un proceso de reciclaje fisicoquímico o mecánico permitiendo que la materia o producto ya utilizado que haya cumplido su vida útil para transformarlo en materia de utilidad para aplicaciones en diversas industrias. (Hernández, 2013).

Un neumático reciclado tiene una infinidad de usos que ayudan no solo a mantener el equilibrio medioambiental, sino también a promover la economía, ya que hay muchos productos moldeados al 99.9% basados en neumáticos reciclados. La materia prima que resulta de un trabajo responsable del reciclaje de los neumáticos fuera de uso se utiliza para diversos usos, desde la construcción de pisos decorativos y parques infantiles, jardinería, establos, canchas deportivas, asfalto ecológico, que ofrece un mejor rendimiento que el asfaltado tradicional. Todos estos usos generan mayor comodidad que cuando están contruidos con materiales convencionales, ya que el acolchado del caucho o de la goma ofrece un soporte perfecto para la absorción de impactos, reducción de desgaste, confortable, entre muchos otros beneficios. (ECO Green, 2021).

**Figura 15.** Usos y Aplicaciones del Reciclaje de Neumáticos.



**Fuente:** (ECO Green, 2021).

### **1.3.6** *Que es una Planta Procesadora*

Una planta procesadora es llamado a un lugar donde se desarrollan diversas operaciones industriales, estas están compuestas de diferentes equipos y maquinaria con el fin de transformar, adecuar o tratar alguna materia prima para obtener productos de mayor valor agregado.

Los autores principales que intervienen en una planta son la maquinaria, equipos, fuente de alimentación energética y la mano de obra capacitada, gracias a ello darán un proceso eficiente con el fin de invertir menor esfuerzo, disminuir los costos y el tiempo de proceso. (Diaz, Jarufe, & Noriega, 2014).

**Figura 16.** *Planta Procesadora de Trituración de Neumáticos Fuera de Uso.*



**Fuente:** (ECO Green, 2021).

### 1.3.6.1 Equipos Principales de la Planta Procesadora de NFU.

#### a. Trituradora Mecánica

Las trituradoras son máquinas mecánicas que tienen como componente principal cuchillas, estas son diseñadas con materiales de alta resistencia, que su función es reducir tamaños de diferentes escala de materia que ingresen a un producto final con una granulometría según el diseño para la cual está fabricada.

**Figura 17.** *Diseño de Trituradora mecánica.*



**Fuente:** Elaboración propia.

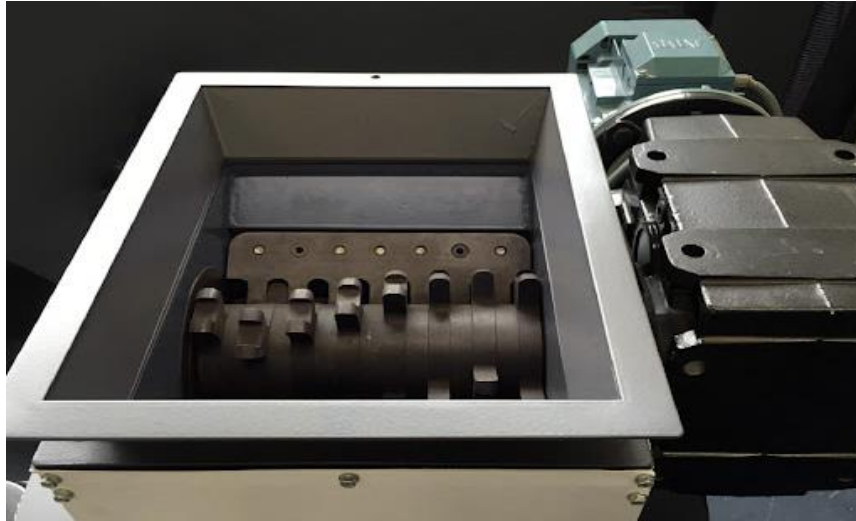
#### ❖ *Tipos de Trituradoras Mecánicas*

Con respecto a los tipos de trituradoras existen diversos diseños que estas están en función al uso que se sometan. Entre las características principales que presentan: es el número de ejes que depende mucho para el dimensionamiento y funcionalidad.

#### ✚ *Trituradoras de un Eje*

Estas trituradoras tienen un sistema sencillo ya que su movimiento se transmite a través de un eje que contiene diversas cuchillas de corte, cuando esta se acciona al girar empieza su trabajo de trituración del material. La granulometría está delimitada por el espacio de separación entre las cuchillas y para evitar que el material se regrese cuenta con unas contra cuchillas, que facilita un triturado completo de la materia. Por lo general, estas son máquinas para usos de menor escala. (Vásconez, 2020).

**Figura 18.** *Sistema de Trituración de un Eje.*



**Fuente:** (Cometel, 2021).

#### **Trituradoras de dos Ejes**

Su caracterización de estas trituradoras es que cuentan con dos ejes de trabajo que rotan uno contra el otro, acoplado a sus cuchillas de corte que permiten un mejor agarre de los elementos de ingreso teniendo como resultado final una mejor trituración precisa evitando que el material salga del sistema. Estas trituradoras tienen mayor número de uso, porque sus diseños cumplen con un buen desempeño en relación a las especificaciones técnicas de los neumáticos de mayor uso en la industria vehicular. (Vásconez, 2020).

**Figura 19.** *Sistema de Trituración dos un Ejes.*



**Fuente:** (Crsta, 2021).

### **✚ Trituradoras de dos Ejes a Más.**

Estas trituradoras permiten un proceso de buena calidad al producto final por su caracterización de varios ejes y gran cantidad de cuchillas de corte en su sistema, que permite recibir neumáticos de diferente escala y lo procesa sin ningún problema. Estas trituradoras son empleadas en su mayoría para realizar procesos muy eficientes cumpliendo el producto final con la granulometría de material de alta calidad. La desventaja en el mercado tradicional es por su alto costo de diseño y fabricación de sus diversos componentes que lo integran, ya que principalmente se hacen diseños específicos para industrias que directamente se dedican a esos procesos. (Vásconez, 2020).

**Figura 20.** *Sistema de Trituración de Cuatro Ejes.*



**Fuente:** (Jaguar Equipamentos, 2021).

#### ***b. Faja transportadora / Separador magnético.***

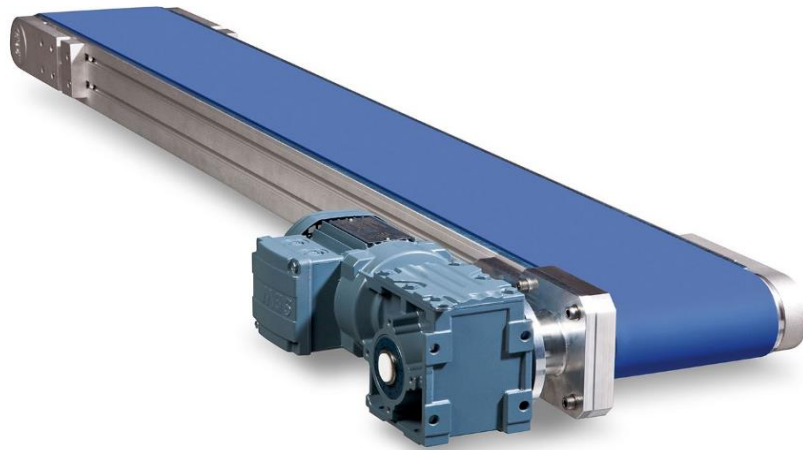
Las fajas transportadoras son sistemas mecánicos que se utilizan para realizar el transporte de materia de un punto a otro. La faja de transporte puede variar de acuerdo al uso o materia que se va a transportar, en función a esta característica están diseñadas.

En el mercado hay diversas variedades de fajas transportadoras, para esta investigación se requiere dos tipos de fajas: para transporte normal, uso de faja con material

antideslizante y para separación de partículas de metal, faja con separador magnético.

Los separadores magnéticos para fajas transportadoras cumplen un rol muy importante como depuradores de limpieza de residuos metálicos evitando problemas en el proceso, que pueden ocasionar desgaste en las maquinas siguientes y también causa afectaciones en la materia de proceso. (Xinhai, 2021).

**Figura 21.** *Faja Transportadora.*

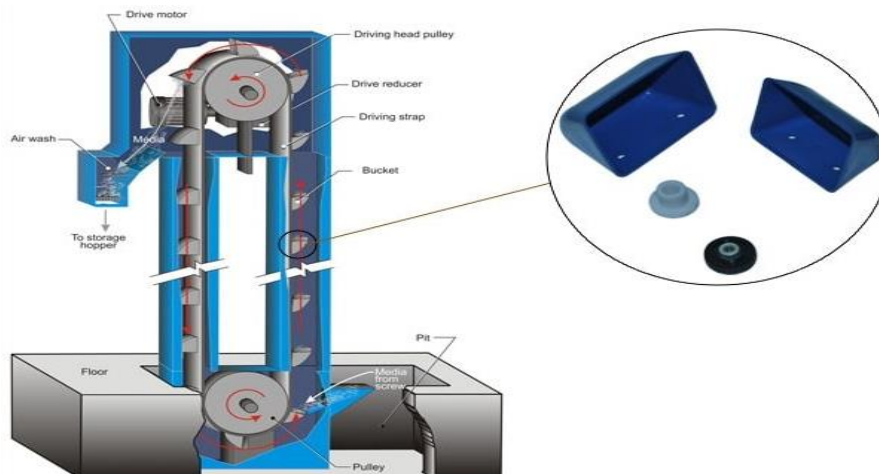


**Fuente:** (ECO Green, 2021).

**c. Elevador de cangilones.**

Un elevador de cangilones es un componente mecánico que combina el transporte vertical y horizontal que se emplea para el transporte o manejo de materiales granulados (pedazos de caucho, polvo de caucho, partículas de metales, etc.). (Ryson, 2021).

**Figura 22.** *Elevador de Cangilones.*



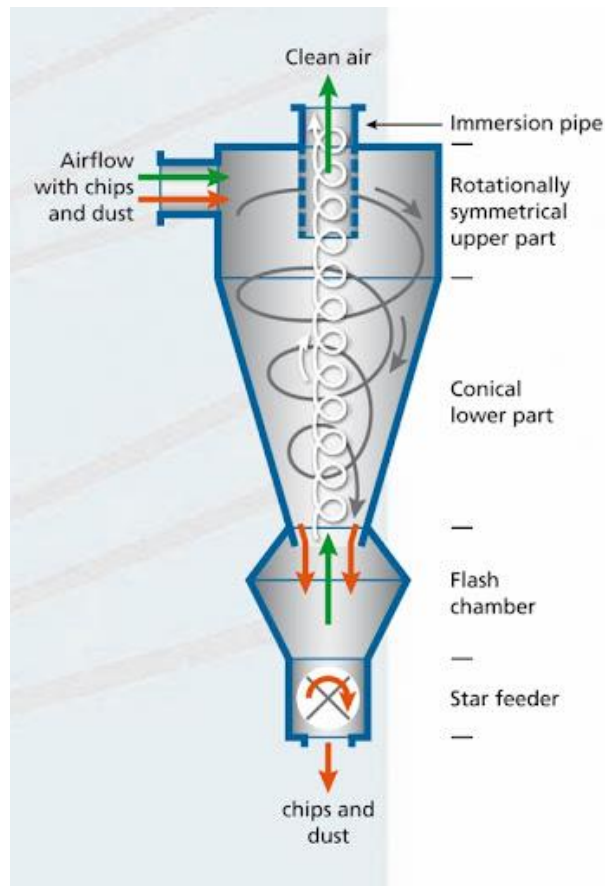
**Fuente:** (Meprosa, 2021).



**d. Separador ciclónico.**

Este equipo es muy usado en las diversas industrias para la recolección de polvo, se caracteriza como una cámara de sedimentación que reemplaza la aceleración gravitacional por la aceleración centrífuga, esta hace que las partículas mayores en movimiento se impulsen a las paredes del ciclón. Los separadores ciclónicos son equipos que tienen una buena utilidad en las industrias, considerados como unos de los medios de recolección de polvo menos costoso, mirando de los diferentes puntos de enfoque operativo e inversión. Se considera rentable porque su fabricación se puede hacer con diversos materiales y es un diseño que no cuenta con partes móviles que facilita su mantenimiento. Los ciclones están perfilados para apartar partículas con diámetros mayores de 5  $\mu\text{m}$ ; aunque en algunos casos cumple su trabajo con partículas muchos más pequeñas. (Echeverri Londoño, 2006).

**Figura 23.** Separador Ciclónico.



**Fuente:** (IBERmaq, 2021).

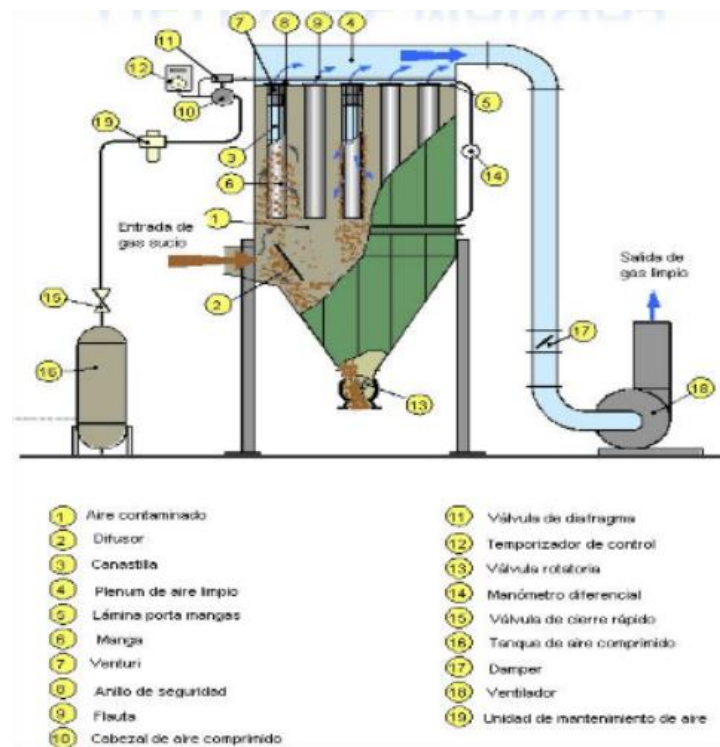
**e. Filtro de mangas.**

En el proceso de trabajo de los diversos mecanismos de una planta

procesadora de caucho emite partículas que generan emisiones a la atmosfera, lo cual, este sistema de polvo de gas de descarga es muy importante en este tipo de industrias para evitar problemas de polución.

Los filtros de mangas son componentes de gran utilidad para las industrias de diversa escalas de procesamiento, como: industrias cementeras y derivados, químicas, petroquímica, metales, minería, granos, etc. Estos equipos, trabajan como reductores de gases o partículas contaminantes filtradas por mangas que sirven como retenedoras. (Filtro de mangas, 2021).

**Figura 24.** *Proceso de Filtración de Filtro de Mangas.*



**Fuente:** (Turmero Astros, 2021).

### 1.3.7 Sistemas de Procesado de NFU.

#### 1.3.7.1 Trituración Mecánica<sup>1</sup>

Este proceso ya está enunciado aguas arriba, toma referencial de subtítulo para mencionar que conforma este apartado.

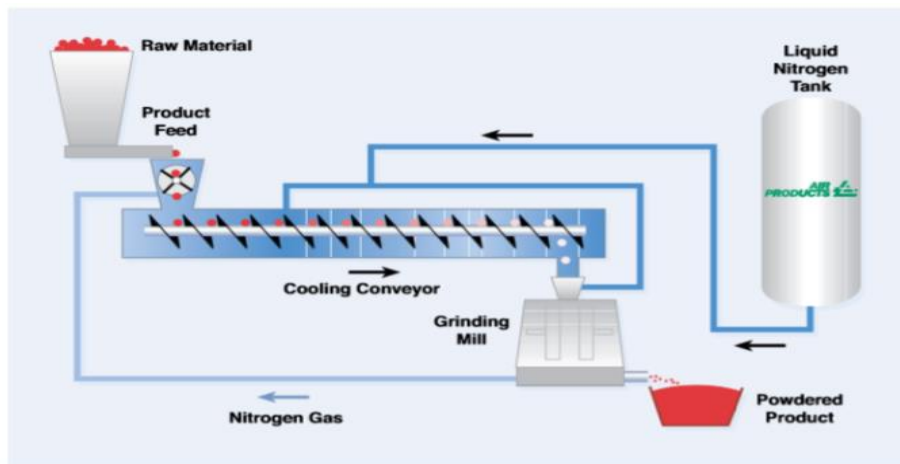
#### 1.3.7.2 Trituración criogénica

El proceso de trituración criogénica se basa en la participación de diversos

equipos mecánicos y criogénicos para obtener el resultado que se requiere. El proceso criogénico tiene 4 fases: reducción del tamaño original, refrigeración, separación y molienda. Para comenzar el caucho debe estar molido hasta dos pulgadas menos de su estado inicial o producir una molienda fina de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, todo este procedimiento se puede realizar a través de trituradoras mecánicas a temperatura ambiente. Para el siguiente método, se usa nitrógeno líquido para congelar el caucho, que luego se “rompe” al pasar por un molino de martillos. La caracterización de este tipo de trituración es que a temperaturas por debajo del punto de congelación (entre  $-80$  y  $200$  °C), el caucho se rompe a lo largo de líneas suaves que emiten un resultado final superficies con una textura mucho más uniforme. (Molienda de caucho ambiental frente a criogénica, 2020).

La trituración criogénica es un método que necesita unas instalaciones muy complejas lo que hace que estas no sean rentables económicamente en comparación a otras por su mantenimiento de la maquinaria y costos de elementos que intervienen en el proceso: el nitrógeno y el secado, que son los dos factores que tienen más demanda de gastos. Ante ello, las industrias optan por el proceso de trituración mecánica a temperatura ambiente. (Herrero del Cura, 2016).

**Figura 25.** *Proceso de Molienda Criogénica.*



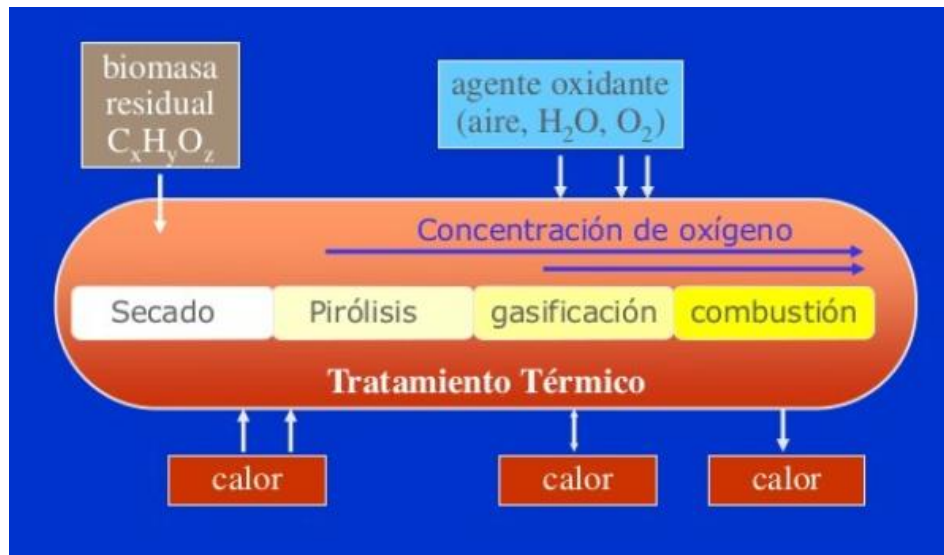
**Fuente:** (Trembley, 2010).

### 1.3.7.3 Tratamiento Térmico

Los procesos de tratamiento térmico tienen grandes prácticas principalmente en las industrias de alto consumo energético, donde inician evaluaciones de optimización de energía en función al aprovechamiento de otra fuente que pueda alimentar esta necesidad.

En este apartado, se desarrollan tres tratamientos térmicos de diferente índole, de acuerdo a la diversas necesidades que se presentan son aplicadas.

**Figura 26.** *Fases de Tratamientos Térmicos.*

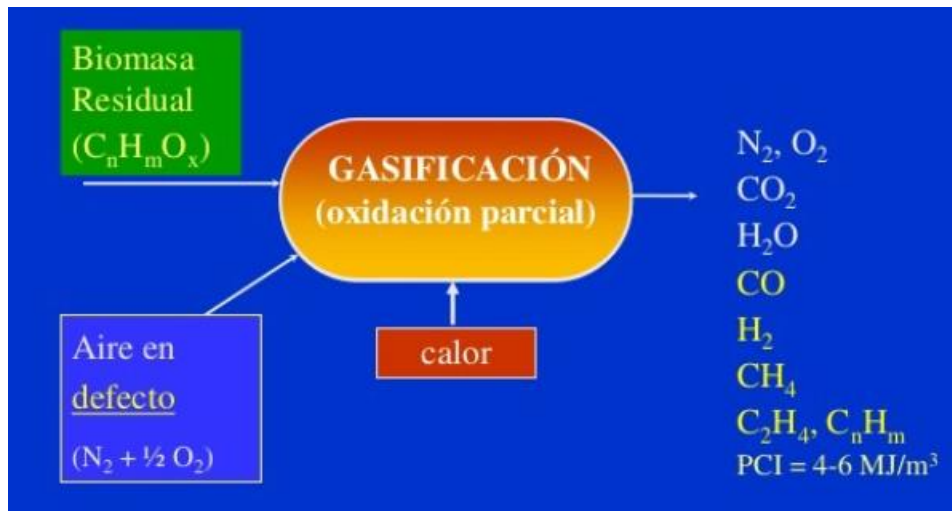


**Fuente:** (Orío Hernández, 2015).

**a. Tratamiento térmico por Gasificación.**

Esta tecnología de tratamiento por gasificación, es un proceso de oxidación parcial, que el objetivo para que ocurra esta oxidación tiene que operar en condiciones entre la completa ausencia de oxígeno y la relación estequiometría, que involucra: el secado de la materia prima, la pirólisis de esta y la oxidación del residuo sólido para calentar la reacción y proveer CO al gas. En la mayoría de casos siempre se confunde a dos tecnológicas de tratamiento pero la diferencia entre pirólisis y gasificación se puede obtener sus diferenciad por sus objetivos que cada una de ellas cumplen: la pirólisis pretende principalmente la obtención de un sólido carbonoso y a veces líquidos, en el caso de la gasificación se busca un alto rendimiento en gases, fundamentalmente CO y  $H_2$ . Esta diferencia principal de objetivos determina las condiciones de operación, ya que la gasificación se lleva a cabo a temperaturas superiores y en presencia de agentes gasificantes como el aire, oxígeno,  $CO_2$  o vapor de agua para aumentar la producción de  $H_2$  y CO. (Céspedes, 2014).

**Figura 27.** Componentes que Intervienen en el Proceso de Gasificación.



**Fuente:** (Orío Hernández, 2015).

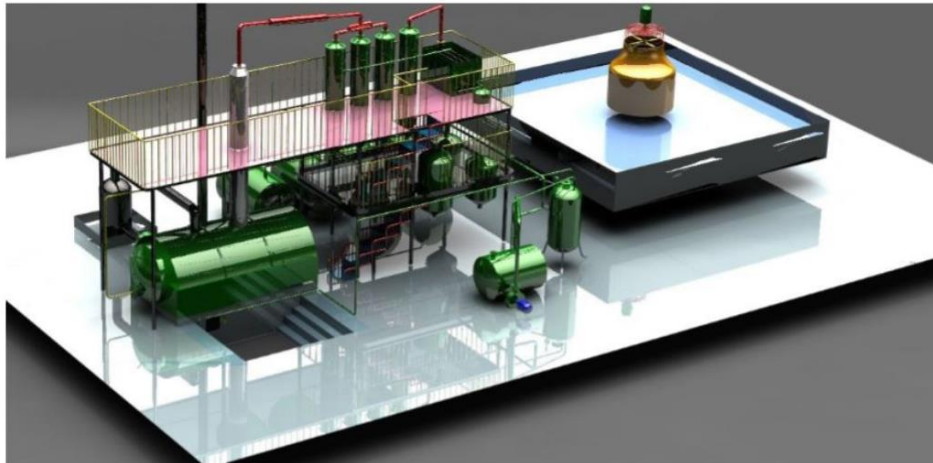
### ***b. Tratamiento térmico por Pirólisis.***

CANO, (2007) menciona que este proceso de pirólisis es el calentamiento de trozos de neumático (1- 3 cm) a temperatura moderada (400-800°C) en deserción o limitación de oxígeno. Los productos finales obtenidos en la pirólisis son el residuo carbonoso, aceite y gas. En la actualidad en el proceso de pirólisis de neumáticos, para que las operaciones tengan buenos beneficios económicos es necesario valorar las diversas corrientes extractivas, tanto la corriente gaseosa como la corriente de aceites condensables, sin embargo, mayor importancia le dan valorización al negro de carbono pirolítico.

CASTRO (2007) nos menciona que existe una fábrica piloto en operación en Taiwán desde 2002 con un sistema de 4 líneas de pirólisis permitiendo rehusar 9000 ton/año. Actualmente sus procedimientos han sido mejorados y su capacidad de procesamiento es de 28 000 ton. de neumáticos usados/año, empleando netamente una sola línea. La obtención de elementos adyacentes por el proceso térmico de pirólisis, principalmente son:

- Gas, similar al propano que se puede emplear para uso industrial.
- Aceite industrial líquido que se puede refinar en Diésel.
- Coke y acero.

**Figura 28.** *Planta de Tratamiento Térmico por Pirólisis.*



**Fuente:** (Pirólisis de neumáticos fuera de uso, 2021)

**c. Tratamiento térmico por Incineración.**

Este es uno de los procesos que las industrias practican aprovechando como materia los neumáticos fuera de uso y sea un elemento o fuente de energía para otros procesos.

CANO, (2007) según referencia de informe técnico, nos menciona que la combustión a temperaturas superiores a los 1200 °C, la atmósfera oxidante y con estabilidad entre 2 y 6 segundos elimina efectivamente componentes orgánicos existentes en los residuos, que evita la nocividad y generación de cenizas susceptibles de tratamiento.

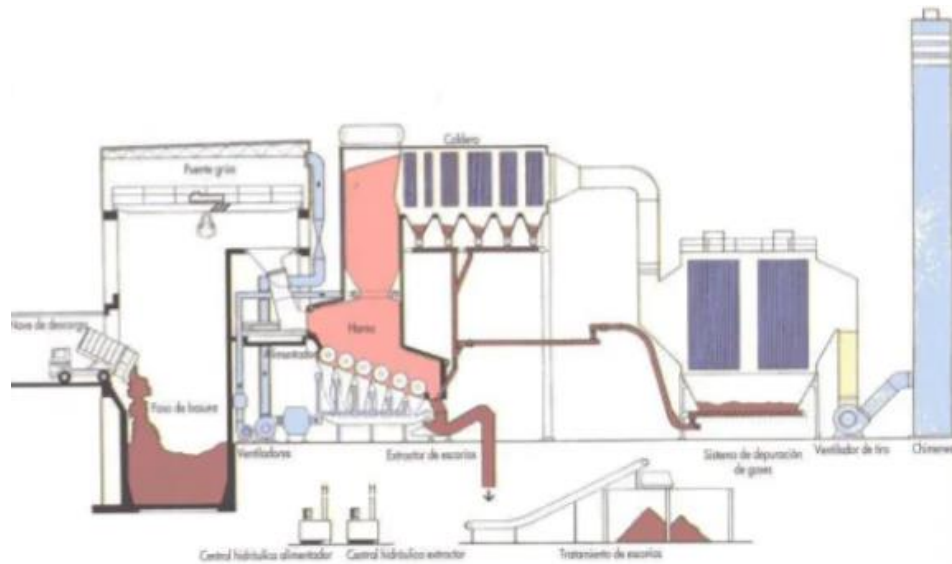
EPA (1997) menciona que el combustible que se obtiene de los neumáticos fuera de uso como tratamiento de incineración tiene una aplicación de amplia gama como fuente de energía en la industria cementera y generación de vapor enlazado a turbinas para producir electricidad, y otros procesos industriales. En las diversas investigaciones los reportes resultantes inclinan primordialmente como práctica con mayor uso masivo a los NFU como combustible de incineración son:

- Hornos cementeros
- Molinos de pulpa y papel.
- Centrales térmicas (inclusive las dedicadas a la quema de llantas)
- Calderas industriales en general.

Además, menciona que el uso de estos procesos sus costos son elevados y tienen factores que de riesgo en la contaminación ambiental, por lo tanto, sugiere que se hagan prácticas de tratamientos mecánicos ya que evitan las consecuencias potenciales de la

combustión al aire libre y del dispersado de cenizas.

**Figura 29.** *Sistema General de una Planta de Incineración.*



**Fuente:** (Orío Hernández, 2015).

## **1.4 Formulación del Problema**

¿Cuál será el diseño óptimo de la planta procesadora de neumáticos fuera de uso para la producción de polvo de caucho en la Reencauchadora Americana Relino – Chiclayo?

## **1.5 Justificación e Importancia del Estudio**

### ***1.5.1 Justificación Técnica.***

El diseño de la planta de procesado para obtener polvo de caucho a partir de neumáticos fuera de uso, es una investigación de ingeniería muy importante, porque ayuda a la mitigación de problemas ambientales, sociales que estamos expuestos cada ciudadano. La implementación de este sistema de procesado tiene como fin reducir contaminación y generar altos ingresos económicos gracias su extensiva utilidad del producto final.

### ***1.5.2 Justificación Económica.***

El punto económico juega un papel muy importante en esta investigación, porque el enfoque es rehusar un elemento contaminante, transformándolo como resultado un producto de valor económico de gran utilidad en diversos campos industriales, lo cual genera, oportunidades económicas en diferentes sectores.

### ***1.5.3 Justificación Ambiental***

La investigación que se realiza es acorde al medio ambiente que día a día nos quejamos de los problemas existentes y aterradoras que los especialistas en el área nos informan de estos temas delicados para el mundo entero. Ante todas estas circunstancias se hace un análisis medioambiental y se obtiene resultados desfavorables, por ello, se impulsa el desarrollo de esta investigación, teniendo como direccionamiento mitigar los contaminantes exhaustivos producidos por los neumáticos que se desechan de millones de automóviles que existen, para obtener un gran beneficio de utilidad en las diferentes áreas.

### ***1.5.4 Justificación Social***

Si hablamos del medio ambiente y el producto final a recibir, es muy favorable, directamente estamos enfocados a promover una investigación de desarrollo para la sociedad, mitigando residuos muy contaminantes que tienen un tiempo de vida de desecho extremadamente extensa, teniendo como resultado la causa de enfermedades, existencia de nuevas plagas, malos olores, contaminación visual.



## **1.6 Hipótesis**

No aplica.

## **1.7 Objetivos**

### ***1.7.1 Objetivo General***

Diseñar una planta procesadora de neumáticos fuera de uso para la producción de polvo de caucho en la reencauchadora Americana Relino – Chiclayo.

### ***1.7.2 Objetivos Específicos***

- a.** Evaluar de manera cuantitativa la cantidad de neumáticos fuera de uso a procesar por la reencauchadora y definir el área útil de instalación de la planta procesadora.
- b.** Evaluar variedad y posibles configuraciones de trituradoras de caucho y definir configuración óptima de sistemas complementarios de la planta.
- c.** Realizar cálculos analíticos basados en teorías de diseño mecánico a los elementos más críticos de la trituradora de caucho para su correcto dimensionamiento.
- d.** Modelado 3D de trituradora de caucho y simulación por elementos finitos de componentes críticos.
- e.** Elaborar planos a detalle de sistema principal.
- f.** Elaborar estudio económico de proyecto y manual de mantenimiento.

# **CAPÍTULO II**

## **MATERIAL Y MÉTODO**

## II. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1 Tipo y Diseño de Investigación

#### 2.1.1 Tipo de Investigación

La investigación presenta un enfoque cuantitativo; debido al uso de estadística, cálculos, análisis, y mediciones de ingeniería de los diversos comportamientos de los fenómenos físicos. Se direcciona una investigación a una realidad objetiva que como resultado vamos a tener beneficios.

#### 2.1.2 Diseño de Investigación

Cuasi experimental, por tener como finalidad el diseño de una planta de proceso para obtener polvo de caucho a partir de neumáticos fuera de uso, a base de una investigación que promueve grandes beneficios al medio ambiente mitigando los riesgos producidos por ello y las grandes causas desfavorables en la sociedad que está expuesta; para ello implantamos nuevas investigaciones y tecnologías innovadoras.

### 2.2 Población y Muestra.

#### 2.2.1 Población

Será el grupo poblacional de la empresa que está dirigida la investigación Reencauchadora Americana Relino.

#### 2.2.2 Muestra

Nuestra muestra de investigación será los valores cuantitativos de los neumáticos fuera de uso que se emplean en planta. Los detalles de información requerida han sido brindados por parte de los responsables de la empresa.

### 2.3 Variables y Operacionalización

#### 2.3.1 Variables Independientes:

Diseño de la planta de proceso.

#### 2.3.2 Variables Dependientes:

Obtención de polvo de caucho.

### 2.3.3 Operacionalización de Variables

**Tabla 3.** Operacionalización de Variables.

<b>Tipos de Variables</b>	<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnica e instrumento</b>
Independiente	Diseño de la planta de proceso	Flujo másico	Kg/s	Cálculos aplicados
		Potencia eléctrica total	kW	Cálculos aplicados
		Sistemas de transporte	m/s	Cálculos aplicados
		Eficiencia total de la línea	unidimensional	Cálculos aplicados
Dependiente	Obtención de polvo de caucho	Calidad de producto final	-	Análisis de calidad
		Tamaño de grano	mm	Análisis de calidad
		Cantidad volumétrica final	m <sup>3</sup>	Cálculos aplicados

**Fuente:** Elaboración Propia.

## 2.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad

Esta investigación sigue como referencia el proceso de diseño planteado por el método de diseño normalizado VDI – 222; este método es una guía muy práctica para diseñadores principiantes. El método comprende cuatro apartados que va desde el planeamiento, la elaboración del concepto, del proyecto y la elaboración de detalles.

### 2.4.1 Técnicas

#### 2.4.1.1 Observación.

La técnica que se destaca, es el abordaje de investigación acorde a la realidad que cada día vivimos, donde evaluamos los problemas medioambientales que estamos expuestos, para tamizarlo y plantear soluciones.

Para tener más relación y proyección de implementación del tema investigativo, nos direccionamos a una empresa Reencauchadora, para obtener información de la materia prima y área de planta, que son datos claves para el planteamiento de los resultados investigativos.

#### 2.4.1.2 Entrevista.

Este método se ha realizado por medio de internet (correo electrónico) y

llamadas telefónicas por temas de bioseguridad de la pandemia Covid-19, donde se coordinó con los responsables de la Reencauchadora Americana Relino; la comunicación mediante llamada telefónica con el asistente de ventas se coordinó y evaluó el pedido de aceptación del jefe de planta para la aceptación de manejo de información, luego se procedió realizar los pedidos de información mediante correo electrónico tocando interrogantes de cantidad de neumáticos, cantidad de neumáticos descartados, tipos de neumáticos, tamaños de neumáticos, área de distribución de planta e información general de los diversos procesos que realizan.

#### **2.4.1.3 Información bibliográfica**

Esta investigación tiene como referencia la guía de investigaciones con resultados de diseños óptimos, tablas y normativas establecidas para diseño mecánico, referencias de expertos en diseños, artículos de procesos y maquinaria para la obtención de polvo de caucho, también de forma general la recopilación de información se ha obtenido de artículos, sitios web, entre otros; con el fin de consolidar sólidamente la investigación.

#### **2.4.2 Instrumentos de Recolección de Datos**

Se ha utilizado como medio de comunicación el correo electrónico, internet, laptop y softwares de ingeniería.

#### **2.4.3 Validez y Confiabilidad:**

La validez de los resultados de esta investigación está respaldados por el método normalizado de diseño VDI – 222, y su confiabilidad a través de la aplicación de softwares diseñados para uso de ingeniería.

### **2.5 Procedimientos de Análisis de Datos.**

La información brindada de datos recolectados gracias a los responsables de la empresa se ha evaluado detenidamente cada uno de ellos para iniciar las respectivas investigaciones acorde a ello. Siguiendo con el procedimiento de la investigación con bases sólidas investigativas se plantean alternativas de diseños hasta llegar a nuestro diseño óptimo.

Teniendo bases de investigación del diseño, material y acondicionamiento, estas se trabajaran sus modelados, análisis e interpretación a través del software SOLIDWORKS 2018, gracias a ello, tendremos resultados óptimos que cumplan con los estándares de

diseño.

## **2.6 Criterios Éticos.**

Esta investigación se basa en los criterios éticos profesionales del Colegio de Ingeniero del Perú (CIP,1999), y del código de ética de la Universidad Señor de Sipán (USS,2017).

### **2.6.1 Código de ética del Colegio de Ingenieros de Perú.**

Aprobada en la ciudad de Tacna en abril de 1999, define conceptos y principios para guiar la conducta profesional de los ingenieros a razón de los elevados fines de la profesión que ejerce. (**Ver Anexo 01**). Aquí algunos de sus artículos:

**Art. 14** – Los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente, tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales.

Los ingenieros deben reconocer y hacer suyos los principios que el Colegio de Ingenieros del Perú desarrolla en su Estatuto en aplicación al ejercicio profesional.

**Art. 15** – Los ingenieros deben promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de su profesión contribuyendo con su conducta a que el consejo público se forme y mantenga un cabal sentido de respeto hacia ella y sus miembros, basado en la honestidad e integridad con que la misma se desempeña.

Por consiguiente, deben ser honestos e imparciales. Sirviendo con fidelidad al público, a sus empleadores y a sus clientes, deben esforzarse por incrementar el prestigio, la calidad y la idoneidad de la ingeniería y deben apoyar a sus instituciones profesionales y académicas. Los principios que guiarán su conducta serán:

- ✓ La lealtad profesional.
- ✓ La honestidad.
- ✓ El honor profesional.
- ✓ La responsabilidad.
- ✓ La solidaridad.
- ✓ Respeto.
- ✓ Justicia.
- ✓ Inclusión Social.

## **2.6.2 Código de ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS).**

Ratificado por el consejo universitario con resolución rectoral N° 0851- 2017. A continuación, lo más importante de las primeras páginas anexo.

**Art. 1** – Finalidad: Proteger el derecho a la vida, la salud, la intimidad, la dignidad, y el bienestar de las personas que participan en una actividad de investigación científica, ciñéndose a los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.

**Art. 2** – Objetivo: definir los principios éticos que orientan la actividad investigativa y su gestión, por las autoridades, investigadores, docentes, estudiantes y egresados de la USS.

**Art. 3** – Alcance: es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes y egresados y administrativo de la Universidad Señor de Sipán.

## **2.7 Criterios de Rigor Científico.**

Esta investigación está regida a los siguientes criterios de rigor científico.

### **2.7.1 Valor de la verdad.**

Llamada también credibilidad, implica en que la investigación tiene que ser creíble, a través de argumentación confiable y demostrable en los resultados del estudio en sincronía con el proceso de investigación.

### **2.7.2 Transferibilidad**

Los resultados del presente estudio no pueden ser utilizados, transferidos, ni aplicados para otros contextos o ámbitos de acción.

### **2.7.3 Dependencia**

Este criterio hace referencia al nivel de consistencia de los resultados y hallazgos en el estudio.

### **2.7.4 Confiabilidad**

La investigación tiene que tener una extensión de la garantía, donde se compruebe que todos los datos usados en el proceso de desarrollo no fueron manipulados.

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS**



### III. RESULTADOS

#### 3.1 Requerimiento y capacidad de empresa:

Cumpliendo con los procesos administrativos correspondientes se entablo comunicación formal vía correo electrónico y se aprobaron los permisos correspondientes para hacer uso de información clasificada de la empresa REENCAUCHADORA AMERICANA RELINO – CHICLAYO, a continuación, se presentará dichos datos, considerando su correspondiente confidencialidad y haciendo uso de ellos para fines de investigación sin exponer datos de importancia comercial.

##### 3.1.1 Neumáticos fuera de uso a procesar:

Mediante el uso de un cuestionario se recolecto la siguiente información (**Ver tabla 04**):

**Tabla 4.** Características de Neumáticos Fuera de Uso a Procesar.

Cantidad de neumáticos procesados (Promedio):	400 mes
Neumáticos descartados (Mes):	60 a 50
Tipos de neumáticos procesados:	Pequeños: 750-16, 825-16 Grandes: 10-20, 12-20, 12R20, 12R24, 11R22.5, 295/80R22.5, 315/80R22.5, 425/65R22.5, 445/65R22.5
Área de planta procesadora:	902m <sup>2</sup> , almacén y otras áreas 1200m <sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia.

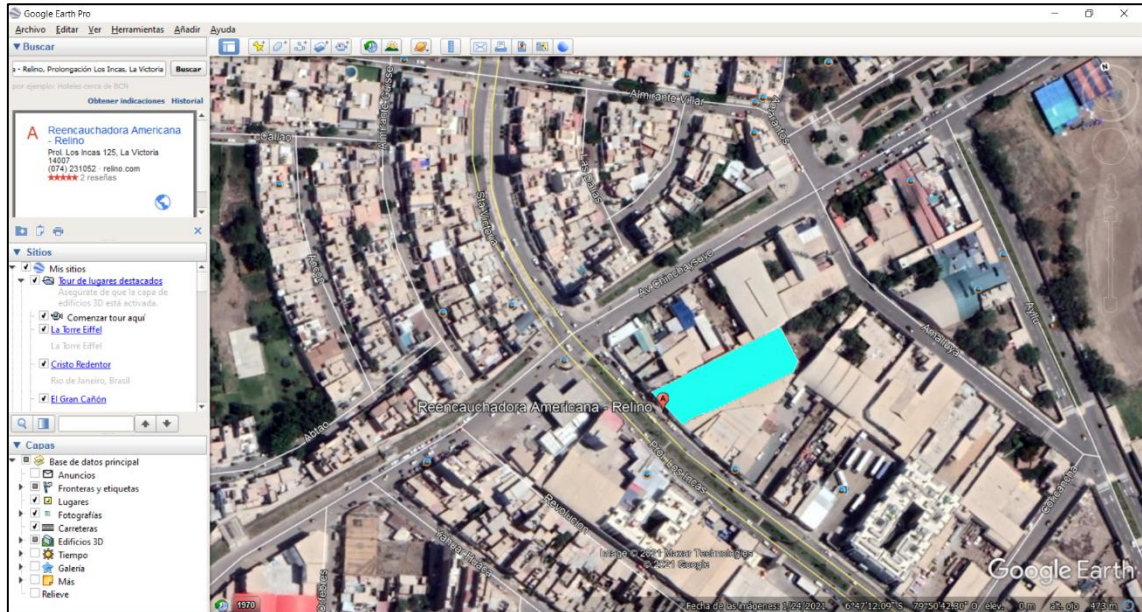
Detalle de cuestionario en (*anexo 04*).

Dicha información permitirá estimar el cálculo de producción de polvo de caucho y el dimensionamiento óptimo de los equipos.

##### 3.1.2 Área útil de instalación:

La empresa Reencauchadora Americana Relino sede Chiclayo, se ubica en la prolongación Los Incas 125, La Victoria 14007, contando con un área de planta de 902m<sup>2</sup>, en donde se realiza el proceso de reencauche, y un área conformada por almacén, recepción entre otras con un espacio de 1200m<sup>2</sup>, contando así con un total de 2102m<sup>2</sup> (**Ver figura 30**).

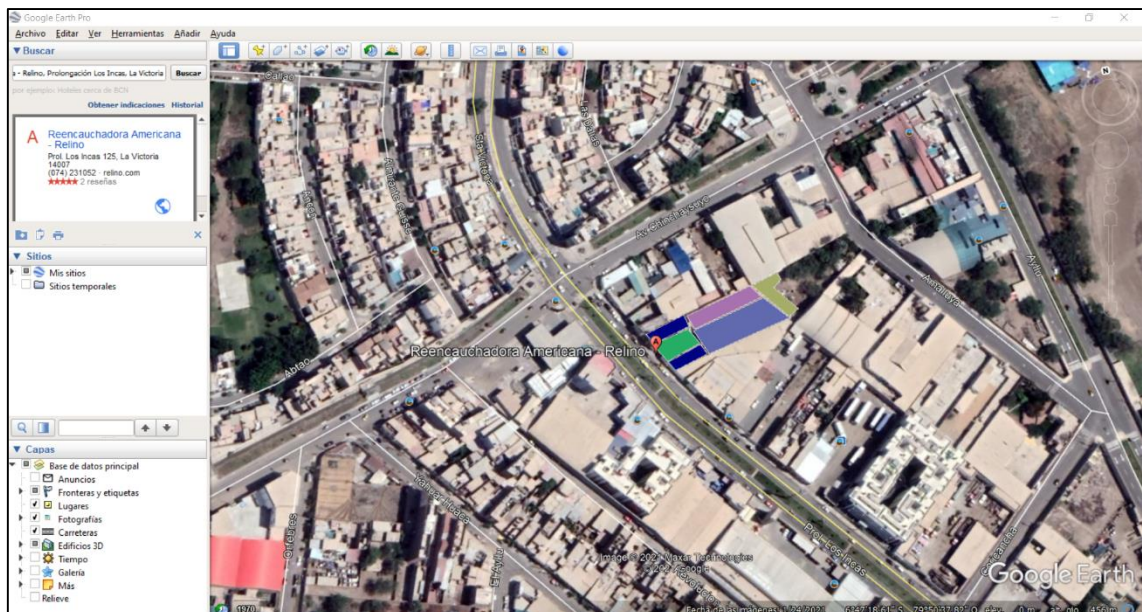
**Figura 30.** Ubicación de Planta.



**Fuente:** Google Earth.

El área correspondiente a la planta procesadora de 902m<sup>2</sup>, en color azul tenue (*Ver figura 31*), es donde se posicionará la planta procesadora de polvo de caucho proyectada, con lo cual se buscará optimizar espacio sin afectar la línea de proceso actual.

**Figura 31.** Designación de Área de Implementación de Planta.



**Fuente:** Google Earth.

### **3.2 Especificaciones de diseño:**

Partiendo del requerimiento de transformar la materia sólida, Neumáticos Fuera de Uso (NFU), en polvo de caucho, es claro contar con sistemas capaces de generar su descomposición, reducción o fragmentación hasta los niveles deseados de partículas con tamaños específicos.

Para este caso de estudio, se busca la reducción de los NFU, hasta conseguir polvo de caucho, para lo cual se tomará el mínimo tamaño aceptable, siendo según el estándar americano en su clasificación de malla 10, equivalente a 2000 micras (2mm).

Existiendo infinidad de sistemas para la trituración de materiales con características diferentes, es conveniente en los siguientes apartados definir qué sistema cumple con las características necesarias para llevar a cabo el proceso de transformación de los NFU en polvo de caucho.

#### ***3.2.1 Configuración de trituradora:***

Realizada una búsqueda minuciosa de diferentes normativas se rescata que la norma ASTM D 4-22 (*Anexo 05*) enmarca lo necesario para el tema de tamizaje de partículas y la calibración de las mismas en diferentes estándares Americanos (Mallas), pero en lo relacionado con el tratamiento de NFU para fines de reciclaje, se verificó la escasa información detallada de la misma, con lo cual se procedió a trabajar, partiendo de recomendaciones de diseño y de la información brindada por empresas especializadas en el rubro, las cuales de manera empírica determinan situaciones óptimas de diseño, es así tenemos que:

### 3.2.1.1 Sugerencia de diseño de trituradoras de caucho:

Sugerencia de diseño:

**Tabla 5.** *Sugerencias de Diseño de Trituradoras de Caucho.*

<b>Característica de diseño:</b>	<b>Fuente de referencia:</b>	<b>Sugerencia de diseño:</b>
	(Díaz Ávila B. M., Diseño paramétrico de una trituradora de caucho, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sugiere la implementación de un triturador de mandíbulas rotatorias debidas principalmente a su versatilidad, facilidad de mantenimiento y su alta resistencia en caso de atascamiento por materiales duros.</li> </ul>
<b>Tipo de sistema de trituración</b>	(Ramos Quispe G. R., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La investigación propuesta para su caso de estudio en particular arroja que la característica de diseño más óptima para sistemas de trituración de baja producción (&lt; 200kg/h) pero elevada calidad de trituración corresponde a una trituradora de un solo eje con 5 cuchillas soldadas.</li> </ul>
	(Stalin Fabricio, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En función a la velocidad de procesamiento, fuerza de desgarramiento de materia, y beneficios en la calidad de la granulométrica, se optó por un sistema de 4 ejes de mandíbulas rotativas, contemplando también un pre-suavizado del material a triturar.</li> </ul>

<b>Numero de RPM</b>	<p>(Palacios Villa, 2014)  El cliente de este proyecto es una empresa dedicada al diseño, fabricación y venta de máquinas destinadas al reciclaje y al tratamiento de residuos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De los dos ejes de giro con los que cuenta su máquina, sólo uno tiene una parte externa a la caja para la conexión con un reductor de velocidad. La velocidad de giro requerida en este eje es de entre 20 y 25 rpm, según pruebas en laboratorio de la misma empresa.</li> </ul>
	<p>(Veintimilla Vera, 2015)  QUINDAO JUDONG INDUSTRY</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propone un esquema de 300 neumáticos/h a 31.94 rpm, 2000kg/h a 15 rpm y 1000kg/h a 16 rpm, esto influenciado por el tamaño de cada máquina y la longitud de cada eje, pero con parámetros de variación leves respecto a las RPM.</li> </ul>
<b>Material</b>	<p>(Díaz Ávila B. M., Diseño paramétrico de una trituradora de caucho, 2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debido a las velocidades bajas de corte, y el material a triturar (NFU), las posibles fallas a presentar son: abrasión, deformación del filo por contenido de carbón de los neumáticos, aumento de temperatura; con lo cual se sugiere usar carburo de tungsteno por sus propiedades de corte y resistencia a la abrasión.</li> </ul>

	(Ramos Quispe G. R., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El material a usarse es el acero AISI 4340, de baja aleación al cromo, níquel, molibdeno. Que tiene alta resistencia a la tracción y torsión, el maquinado es regular y fácilmente soldable además es recomendado por fabricantes de ejes y máquinas trituradoras.</li> </ul>
	(Mendez Peñaloza & Solano Arias, 2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencia instalada para 1Tn/h de procesamiento, es de 68.24hp, diámetro cuchillas de 300mm, largo de eje de 1000 mm, amplitud de garganta de tolva 650mm.</li> </ul>
<b>Dimensionamiento</b>	(Castillo Magaña, Cercado Gómez, & Martínez Chew, 2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen de cuchilla sugerido, diámetro interior 3.25in, diámetro exterior de 12in y espesor de cuchilla de 1.5in.</li> <li>- Volumen de espaciador de cuchillas, Diámetro interior de 3.25in, diámetro exterior de 7.25in y un espesor de 1.5in.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.2.1.2 Definición de trituradora:

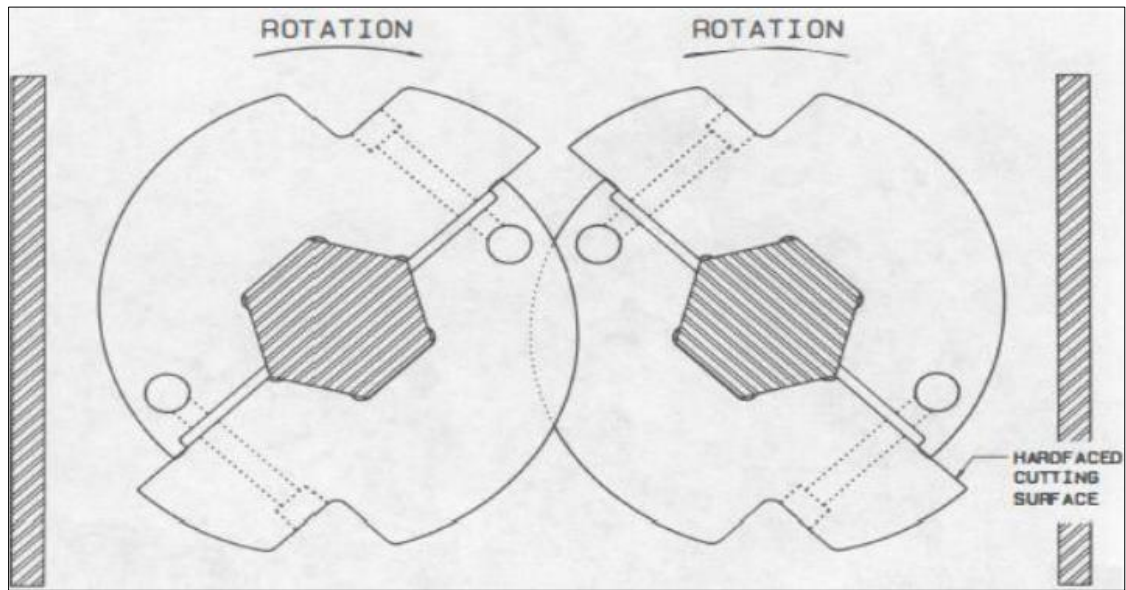
Partiendo de las sugerencias del apartado anterior, contamos con que un triturador de mandíbulas (*Ver figura 32*) es la mejor opción, para el procesamiento de neumáticos fuera de uso, debido a su gran versatilidad de trituración tanto con material duro y corte de material blando, sabiendo que los neumáticos están comprendidos dentro del grupo de materiales compuestos, conteniendo en su interior acero y material textil aparte del caucho mismo, así mismo el caucho en comparación con elementos minerales o cerámicos tiende a deformarse antes de fracturarse teniendo que su esfuerzo ultimo varia de 1 a 3 veces más que los minerales sólidos (Díaz Ávila B. M., Diseño paramétrico de una trituradora de caucho, 2017).

Como segunda sugerencia de diseño, se analizó la velocidad de trabajo de muchas plantas de trituración en general, funcionando principalmente con sistemas de cajas reductoras, aumentando la potencia y reduciendo las RPM en un rango de trabajo de entre 15 y 25 revoluciones por minuto, esto garantiza una potencia controlada de trituración y a su vez permite mayor duración del filo de las cuchillas, con el beneficio adicional de que en caso de atascamiento por material sumamente duro, realizar una parada de máquina antes de generar daños a su estructura.

Para el material de las hojas de corte, se parte del hecho de que se trabajará a bajas rpm con lo cual, el principal problema de las cuchillas es el desgaste por abrasión del material y la potencia misma de la máquina con lo cual se sugiere utilizar aceros tratados a fin de aumentar su dureza y mantener su filo, los carburos son los más implementados por este tipo de máquinas trituradoras.

Finalmente el dimensionamiento general de la trituradora está en función de la cantidad de neumáticos a procesar, con lo cual para una capacidad de una tonelada hora de procesamiento de NFU, se estima cuchillas de 300mm de diámetros con una amplitud de garganta de 1m \* 0.65m, esto garantizando el ingreso de un tamaño específico de neumáticos, sin embargo teniendo en cuenta que la velocidad de rotación de las cuchillas no puede ser elevado, la única variable a modificar para aumentar la capacidad de trituración es sobredimensionar las características físicas de la trituradora misma. El espesor general de las cuchillas con 12” de diámetro exterior y 3.25” de diámetro interior es de aproximadamente 1.5”, con esto se garantiza la rigidez estructural del sistema mismo.

**Figura 32.** Triturador de Mandíbulas.



**Fuente:** (Hill, 1986).

### **3.2.2 Configuración sistemas complementarios de planta:**

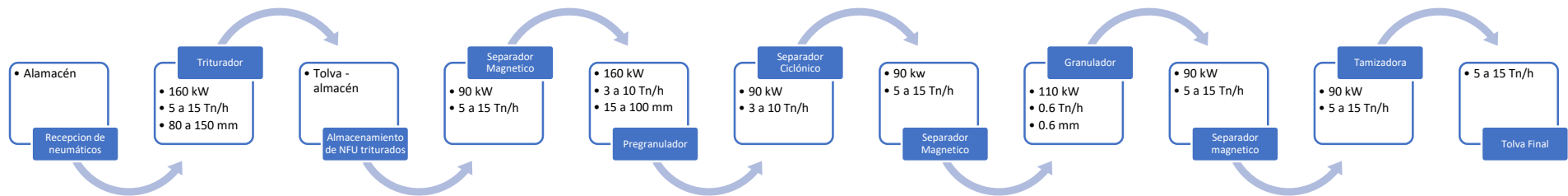
Caracterizado el tipo de trituradora a utilizar corresponde seleccionar los sistemas complementarios, a fin de que la planta funcione sinérgicamente con la finalidad de producir polvo de caucho siguiendo los estándares de la normativa ASTM D 4-22.

Es así que se toma como referencia trabajos y sistemas funcionales de reciclado de neumáticos, proporcionándonos para esta investigación los siguientes esquemas:



### 3.2.2.1 Esquema 1:

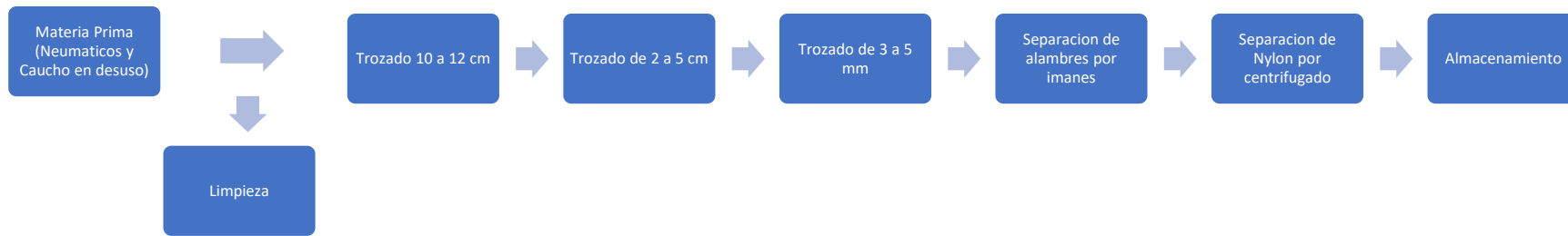
Propuesta de estudio de una Planta de Reciclado de Neumáticos en el término municipal de Lobón (Badajoz-España) (Arenas, Maya, Caballero, Domínguez, & Píriz, 2007).



Esta propuesta de planta está pensada para una capacidad de 12.000Tn de neumáticos reciclado al año para obtener aproximadamente unas 8.400Tn de polvo de neumático reciclado, 3.000Tn de acero para reciclar y 600Tn de fibras textiles, cuenta con 3 sistemas de triturado en las diferentes etapas de la planta a fin de alcanzar un tamaño máximo de 0.6mm (Polvo de caucho), el resto del sistema lo comprenden tolva de almacenamiento, separador por banda magnética, separador ciclónico de material textil y un sistema de tamizado para clasificación granular del caucho.

### 3.2.2.2 Esquema 2:

Propuesta de diseño de sistema de trituración de caucho para la obtención de granulometría de 2 a 5 mm, (Ramos Quispe G. R., 2019).



Comprende un sistema de trozado de 3 etapas consecutivas, seguido de un separador magnético, separador de material textil y almacenamiento final de producto terminado.

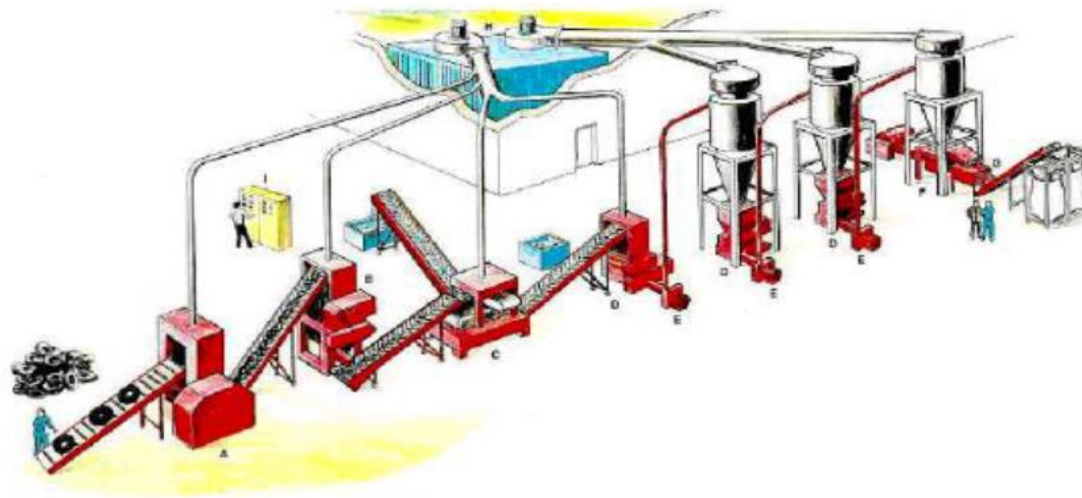
### 3.2.2.3 Esquema 3:

Sistema de trituración a temperatura ambiente (Castillo Magaña, Cercado Gómez, & Martínez Chew, 2015).



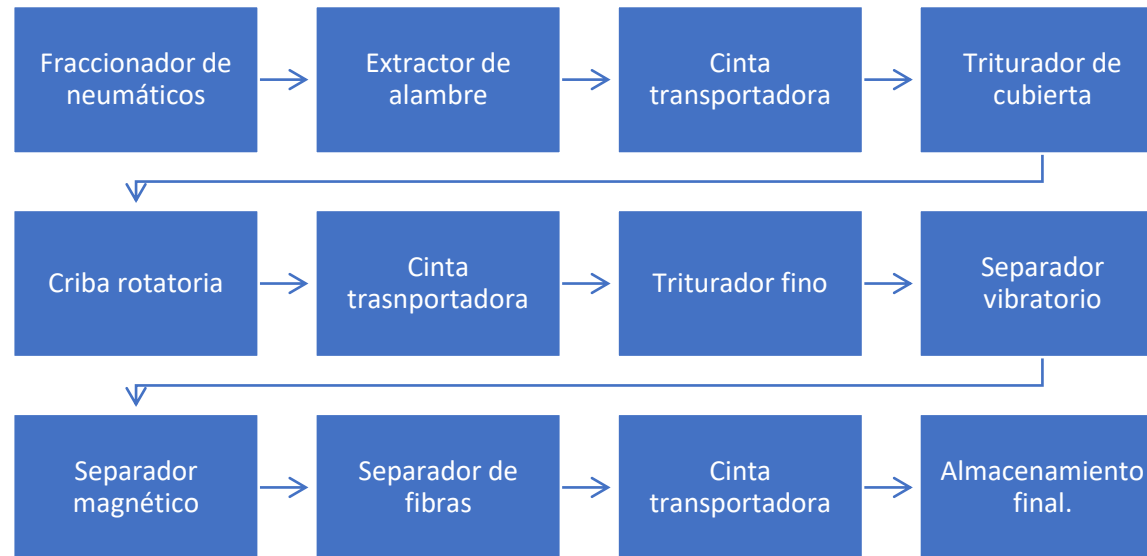
Planta complementada con un sistema de absorción general de polvos para evitar la contaminación al interior de la industria (*Ver figura 33*).

**Figura 33.** Sistema de Absorción de Polvos.



#### 3.2.2.4 Esquema 4:

Presenta la propuesta de implementación de plantas tratadora de neumáticos en pequeños y medianos municipios en argentina. (Baus, 2020).



Propone una línea con dos sistemas de triturados enfocados a trozar y granular respectivamente, el primer triturador consta con 2 ejes, con cuchillas tipo mandíbulas, el triturador encargado de granular conformado por 4 ejes y una criba que solo permite el paso de partículas menores a 2mm respectivamente (*Ver figura 34*).

**Figura 34.** Trituradora de 4 Ejes.



Fuente: (Castillo Magaña, Cercado Gómez, & Martínez Chew, 2015)

La determinación de maquinarias complementarias que van a acompañar el sistema de trituración son parte fundamental del funcionamiento sinérgico de la línea de procesado de neumáticos fuera de uso (NFU), con lo cual utilizando como ejemplo las diferentes disposiciones encontradas en datos bibliográficos debidamente referenciados, se rescata lo siguiente (*Ver tabla 06*):

**Tabla 6.** *Esquematización de Sistemas Complementarios de Planta.*

<b>Sistema:</b>	<b>Función</b>	<b>Detalle:</b>
<b>Transporte desde almacenamiento inicial.</b>	Banda transportadora	La empresa correspondiente a esta investigación, cuenta con un ambiente de almacenamiento de NFU, con lo cual el sistema dará inicio con la colocación de los neumáticos en la banda transportadora (a través de fuerza humana) dándose inicio al proceso.
<b>Sistema de triturado.</b>	Triturado 01	Rescatando la información obtenida, se toma en consideración la importancia del tamaño de partículas al ingreso y a la salida del triturador, acordando lo siguiente, un solo

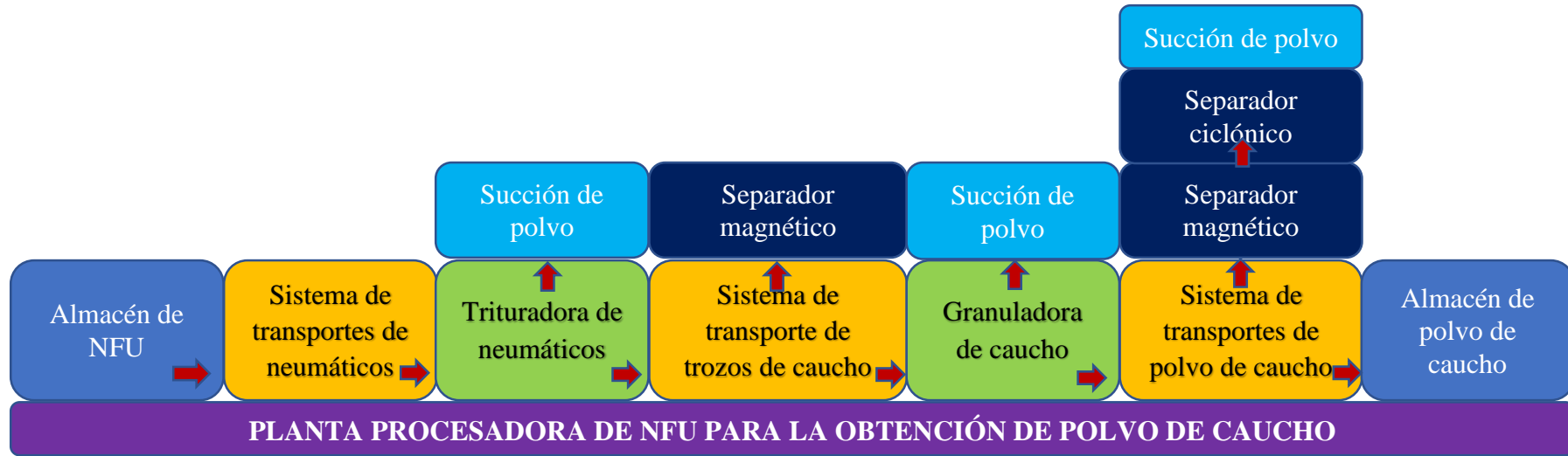
		<p>tritador no puede fragmentar los neumáticos hasta llegar al tamaño solicitado, viendo así la necesidad de contar con dos etapas.</p> <p>Primera etapa encargado de trozar los neumáticos enteros en tamaños más digeribles para las máquinas siguientes (Trituradora de 2 ejes).</p>
<b>Limpieza.</b>	Separador magnético 01	Debido al contenido de fibras metálicas al interior del neumático, este apartado no se puede dejar de lado, siendo necesario quitar restos grandes de metal para evitar la obstrucción de la máquina adjunta.
<b>Sistema de triturado.</b>	Triturado 02 (Granulador)	Esta segunda etapa de trituración, contará con un sistema de cribado específico para solo permitir un tamaño determinado de partícula (2mm), para lograr esto, se hará uso de las recomendaciones de diseño y se optará por una trituradora de 4 ejes a fin de cumplir con la calidad solicitada para la obtención de polvo de caucho.
<b>Limpieza.</b>	Separador magnético 02	Con la finalidad de obtener un producto con baja cantidad de impurezas se contempla el uso de un segundo sistema magnético separador de partículas metálicas
	Separador ciclónico de fibras	Por el alto contenido de materia textil (Nylon) de los neumáticos no se debe obviar este apartado, que hará uso de un ventilador y un sistema ciclónico de separación.
<b>Almacenamiento y empacado</b>	Tolva contenedora	Dispuesto en función a la capacidad de la planta.

**Fuente:** Propia.

### 3.3 Estructura de funciones:

Esta etapa preconiza el concepto base de la línea de procesamiento de NFU, teniendo como estándar asociado, los principios técnicos y secuencia de operaciones detallados con anterioridad a fin de tener una secuencia estructurada de operación global de la planta industrial.

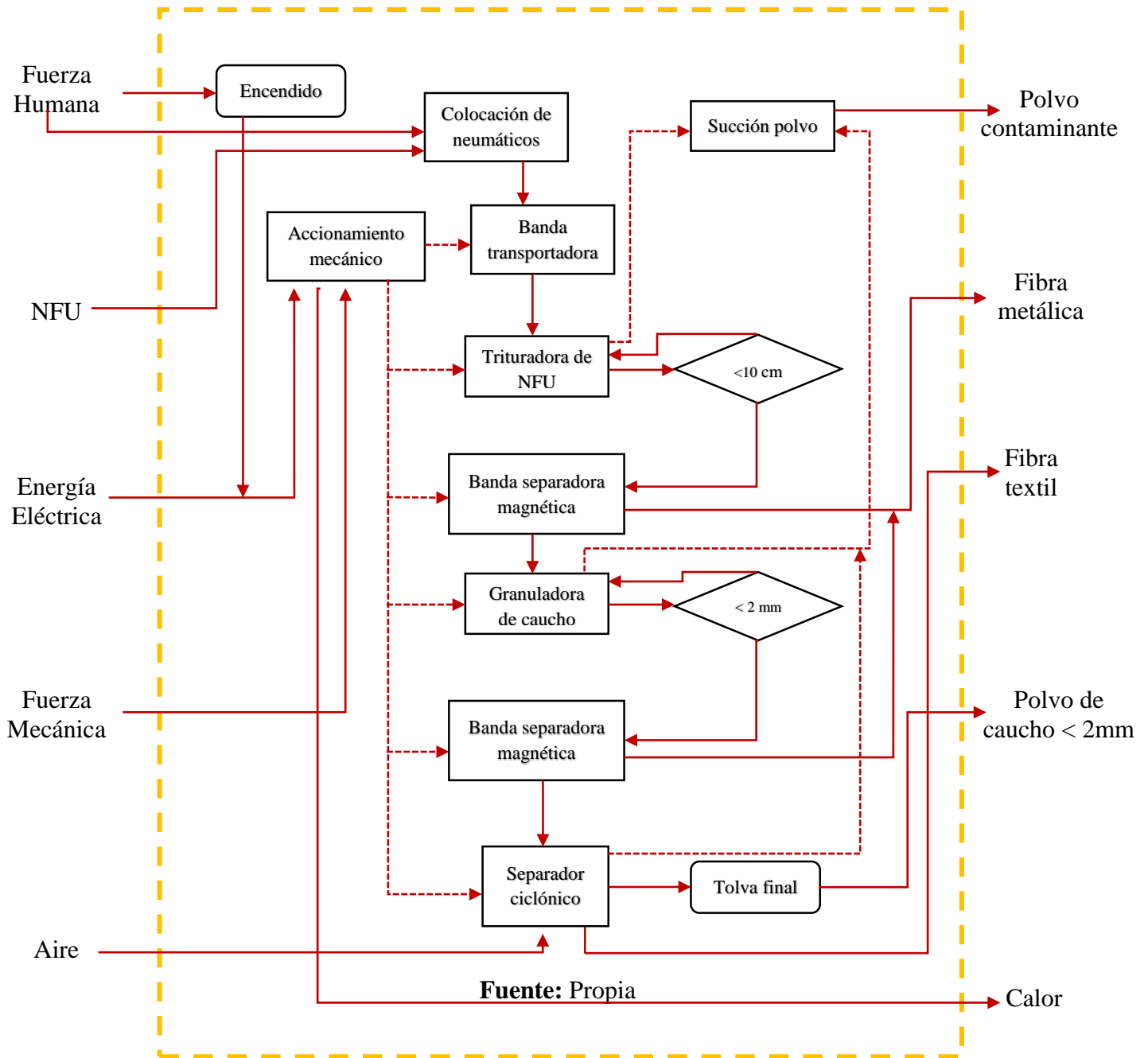
### 3.3.1 Procesos técnicos:



#### 3.3.1.1 Detalle de procesos:

- Almacén NFU: Parte estructural de la empresa.
- Sistema de transporte de neumáticos: Banda transportadora industrial de neumáticos.
- Trituradora de neumáticos: Trozar neumáticos hasta tamaños mínimos de 5-10cm
- Transporte y separador magnético: Banda magnética de separación de metales.
- Granuladora de caucho: granular caucho hasta llegar a un máximo de 2mm (Polvo de Caucho).
- Transporte, separador magnético y separador ciclónico: Banda magnética de separación de metales llevados a ciclón separador de fibras.
- Alancen de polvo de caucho: tolva final para posterior ensacado.

### 3.3.2 Representación de estructura de funciones:





### 3.4 Diseño conceptual:

Se tomará las sugerencias de diseño aplicado a trituradoras para neumáticos fuera de uso, de igual forma, se contemplará los requerimientos técnicos para el funcionamiento sinérgico de la planta procesadora.



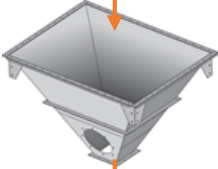
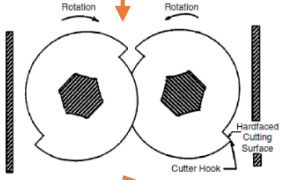
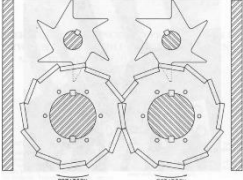




Para lograr un óptimo funcionamiento de planta se debe considerar dos trituradoras dentro de la línea de procesamiento, con ciertas características distintivas, una de otra, destacando la calidad del producto final a la salida de cada trituradora (Tamaño de partícula de caucho).

Para definir los apartados de cada uno se tomará en cuenta el siguiente listado (Ver tabla 07):

**Tabla 7.** Descripción de Diseño Conceptual.

<b>Proceso:</b>	<b>Descripción:</b>
Tipo de Materia:	Se considera el tamaño del material a triturar en la entrada, muy importante para lograr calcular el tamaño final a la salida del triturador.
Ingreso de Producto:	A fin de canalizar el producto al inicio del proceso de trituración. Ya se preseleccionó el modelo, siendo sugerencia de diseño de apartados anteriores, con lo cual en este Ítem busca determinar pequeñas variantes, del mismo principio de trituración.
Tipo de Triturado:	Se opta por seleccionar en función a las necesidades de trituración.
Cantidad de ejes:	Se estima que un solo paso por la trituradora, no cumplirá con los objetivos de trituración (Tamaños máximos de caucho), con lo cual se implementará sistemas de filtrado por tamaño.
Recirculado de salida de material:	Se seleccionará teniendo en cuenta la secuencia de máquinas de recepción de producto en la línea procesadora de caucho.
Descarga Final:	

**3.4.1 Matriz morfológica de trituradora de caucho:**

Tipo de Materia			
Ingreso de Producto			
Tipo de Triturado			
Ejes	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
Recirculado			
Descarga Final			

**Diseño óptimo de trituradora 01**

**Diseño óptimo de trituradora 02**

### **3.4.2 Detalle de configuración:**

A continuación, se describe detalladamente el diseño óptimo seleccionado para el sistema de trituración correspondiente a fin de lograr la obtención de polvo de caucho.

#### **3.4.2.1 Diseño óptimo de trituradora 01:**

Corresponde al primer paso de trituración donde llegaran neumáticos rechazados de la línea de reencauche, su principal función es trozar los neumáticos para hacer más manipulable dicho recurso, lo conforma inicialmente una tolva de recepción, con medidas adaptadas al tamaño de neumático más grande que recibe la planta reencauchadora, el mecanismo de trituración lo realizaran mediante un triturador de mandíbulas de 2 ejes, según recomendación de diseño, cuya función es la reducción física del neumático, para corroborar que el tamaño a la salida del triturador es el correcto, se optará por un sistema de tambor rotatorio perforado, a fin de recircular los trozos de caucho con dimensiones mayores a los esperados, finalmente el producto que cumple con las dimensiones correctas se descargará por una rampa y continuará su recorrido por la línea de procesamiento.

#### **3.4.2.2 Diseño óptimo de trituradora 02:**

Parte con la materia prima obtenida del primer triturador, la función de este segundo paso es generar una granulometría fina (Polvo de caucho); al igual que el primer triturador, se recibe la materia mediante una tolva, seguido de un sistema de trituración de 4 ejes, cuya función es atrapar los trozos pequeños de caucho y llevarlos a triturarse por el segundo par de ejes que reducirá aún más su tamaño, el sistema de clasificación y filtrado de partículas de caucho se realiza aprovechando una criba perforada, que solo dará paso a aquellas granulometrías finas que salgan de los ejes de trituración, de lo contrario el sistema recirculara el producto hasta lograrlo, finalmente se descargará el polvo de caucho usando una rampa colocada a su salida.

### **3.5 Diseño y cálculo de sistema principal:**

#### **3.5.1 Cálculos mecánicos trituradora 01:**

##### **3.5.1.1 Determinación del Torque:**

Para el cálculo del torque correspondiente a una cuchilla del sistema de trituración se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$T = F \times d \text{ [N.m]}$$

Aplicado a este caso en particular tenemos:

$$T = \frac{F_{cizalla}}{A_{cuch}} \times V_{neumático}$$

Donde:

$F_{cizalla}$  = Fuerza de corte por cizalladura [N]

$A_{cuch}$  = Area de la cuchilla [ $m^2$ ]

$V_{neumático}$  = Volumen que ocupa el neumático al ingreso [ $m^3$ ]

La fuerza de corte por cizalla para el caucho ( $F_{cizalla}$ ) lo tomaremos de una prueba de laboratorio hallada durante la revisión de documentación bibliográfica (**Ver anexo 06**).

$$F_{cizalla} = 558.91[N]$$

El volumen que ocupa el neumático ( $V_{neumático}$ ) al ingreso se halla usando la siguiente ecuación:

$$V_{neumático} = \frac{m_{neumático}}{\rho_{neumático}}$$

Donde:

$m_{neumático}$  = Masa del neumático [kg]

$\rho_{neumático}$  = Densidad del neumático [ $kg/m^3$ ]

$\rho_{neumático} = 930[kg/m^3]$

Según información brindada por la empresa reencauchadora REENCAUCHADORA AMERICANA RELINO – CHICLAYO, el neumático de mayor dimensión con el que trabajan corresponde a “445/65R22.5”, que cuenta con las siguientes

características (*Ver tabla 08*):

**Tabla 8.** Características de Neumático de Mayor Diámetro.

<b>Anchura:</b>	472 mm
<b>Diámetro:</b>	1174 mm
<b>Radio bajo carga:</b>	529 mm
<b>Circunferencia de rodadura:</b>	3485 mm
<b>Profundidad del dibujo:</b>	19 mm
<b>Peso:</b>	101,32 kg

Teniendo entonces que  $m_{neumático}$  corresponde a 101.32 kg;

$$V_{neumático} = \frac{101.32 [kg]}{930 [kg/m^3]}$$

$$V_{neumático} = 0.1089355 [m^3]$$

Para determinar el área de cuchilla ( $A_{cuch}$ ) se usarán los datos de la tabla 00, donde se proporcionaron las sugerencias de diseño de cuchillas según fabricantes de trituradoras.

$$\varnothing_{ext} = 12" = 304.8 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{int} = 3.25" = 82.55 \text{ mm}$$

Entonces:

$$T = \frac{F_{cizalla}}{A_{cuch}} \times V_{neumático}$$

$$T = \frac{558.91}{\frac{\pi}{4} [(0.3048)^2 - (0.08255)^2]} \times 0.1089355$$

$$T = 900.5 [N.m]$$

El valor calculado con anterioridad representa el torque de una sola cuchilla, con lo cual el torque máximo a soportar la trituradora ( $T_{max}$ ) está en función al número de cuchillas ( $N^{\circ}_{cuch}$ ):

$$T_{max} = T \times N^{\circ}_{cuch}$$

La siguiente ecuación define el número de cuchillas para este caso de estudio:

$$N^{\circ}_{cuch} = Longitud\ eje \times e_{cuch}$$

Donde:

*Longitud eje = amplitud del neumático a triturar 1174 mm ≈ 1250 mm*

*e<sub>cuch</sub> = según recomendación de fabricantes 1.5" ≈ 38.1 mm*

Entonces:

$$N^{\circ}_{cuch} = 1250 \times 38.1$$

$$N^{\circ}_{cuch} \approx 32$$

Teniendo así:

$$T_{max} = 900.5 \times 32$$

$$T_{max} = 28\ 816[N.m]$$

### 3.5.1.2 Determinación de la potencia del motor:

La potencia máxima del motor corresponde a la siguiente ecuación:

$$P_{max} = T_{max} \times w [Watts]$$

Donde:

*P<sub>max</sub> = Potencia máxima [Watts]*

*w = Velocidad angular [rad/seg]*

La velocidad angular se halla partiendo de las RPM a las que funcionará la trituradora, siendo estas según la tabla 00 de ( $n = 25\ rev/min$ ):

$$w = \frac{2\pi n}{60} [rad/seg]$$

$$w = \frac{2\pi(25)}{60} [rad/seg]$$

$$w = 2.62 [rad/seg]$$

Entonces:

$$P_{max} = T_{max} \times w \text{ [Watts]}$$

$$P_{max} = 28\,816 \times 2.62 \text{ [Watts]}$$

$$P_{max} = 75\,497.92 \text{ [Watts]}$$

$$P_{max} = 75\,497.92 \times \frac{1}{745.7} \text{ [HP]}$$

$$P_{max} = 101.24 \text{ [HP]}$$

### 3.5.1.3 Cálculo de sistema de corte:

Para el cálculo del eje dentro del sistema de corte se tomarán en consideración los siguientes apartados:

#### 3.5.1.3.1 Selección del material:

Por recomendación de diseño los expertos sostienen que, los materiales a utilizar para el eje de la trituradora, deben cumplir con ciertas características de resistencia y flexibilidad, recomendando los siguientes (*Ver tabla 09*).

**Tabla 9. Material de Diseño.**

<b>Acero al carbono SAE 1020 – SAE 1050</b>
<b>Acero aleado SAE 3140 – 4140 – AISI 4340</b>

Seleccionando para este trabajo de investigación el acero aleado AISI 4340, donde para diámetros en un rango de 100 a 160 mm, su límite a la fluencia (N/mm<sup>2</sup>) es de 700 y su resistencia última a la tracción (N/mm<sup>2</sup>) está entre 900 y 1100, según (ACEROS ESPECIALES BÖHLER, 2017).

#### 3.5.1.3.2 Configuración geométrica:

Partiendo de los datos de recomendación de diseño para las cuchillas y espaciadores tenemos que:

**Tabla 10. Configuración Geométrica.**

<b>Dimensiones de cuchilla:</b>	
$\varnothing_{exterior} \rightarrow$	12" = 304.8mm
$\varnothing_{interior} \rightarrow$	3.25" = 82.55mm
$e_{cuch} \rightarrow$	1.5" = 38.1mm
<b>Dimensiones de espaciador:</b>	
$\varnothing_{exterior} \rightarrow$	7.25" = 184.15mm
$\varnothing_{interior} \rightarrow$	3.25" = 82.55mm
$e_{espa} \rightarrow$	1.5" = 38.1mm

Así podemos determinar el peso de las cuchillas usando la siguiente ecuación:

$$m_{cuch} = \delta_{acero} \times V_{cuch} [kg]$$

Donde:

$m_{cuch}$  = Masa de la cuchilla.

$\delta_{acero}$  = Densidad del acero = 7860 [kg/m<sup>3</sup>]

$V_{cuch}$  = Volumen de la cuchilla =  $A_{cuch} \times e_{cuch}$  [m<sup>3</sup>]

Entonces:

$$m_{cuch} = \delta_{acero} \times V_{cuch} [kg]$$

$$m_{cuch} = 7860 \times \left( \frac{\pi(\varnothing_{ext}^2 - \varnothing_{int}^2)}{4} \right) \times e_{cuch} [kg]$$

$$m_{cuch} = 7860 \times \left( \frac{\pi(0.3048^2 - 0.08255^2)}{4} \right) \times 0.0381 [kg]$$

$$m_{cuch} = 20.25 [kg]$$

Con la masa de la cuchilla calculada, se procede determinar la masa total sobre el eje en función al número de cuchillas (32/2 - Ver **(figura 35)**), teniendo lo siguiente:

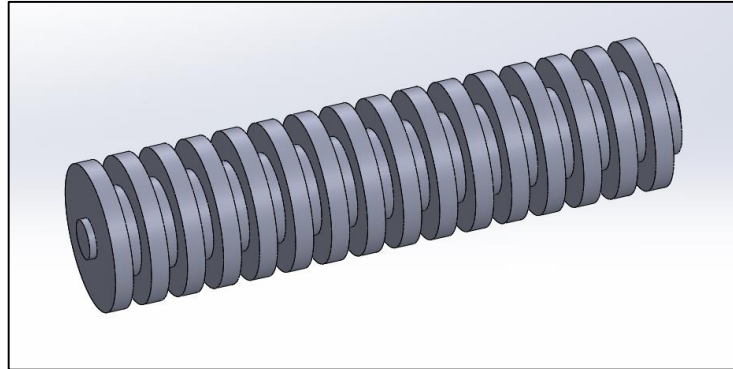


$$m_{tc} = m_{cuch} \times 16 \text{ [kg]}$$

$$m_{tc} = 20.25 \times 16 \text{ [kg]}$$

$$m_{tc} = 324 \text{ [kg]}$$

**Figura 35.** Modelado de Eje.



**Fuente:** Propia

De igual forma se calcula la masa de los espaciadores:

$$m_{espa} = \delta_{acero} \times V_{espa} \text{ [kg]}$$

$$m_{espa} = 6.37 \text{ [kg]}$$

Calculamos la masa total de los espaciadores:

$$m_{te} = m_{espa} \times 16 \text{ [kg]}$$

$$m_{te} = 6.37 \times 16 \text{ [kg]}$$

$$m_{te} = 101.92 \text{ [kg]}$$

Con esos datos procederemos a calcular el peso total ejercido por las cuchillas y espaciadores:

$$m_t = m_{tc} + m_{te} \text{ [kg]}$$

$$m_t = 324 + 101.92 \text{ [kg]}$$

$$m_t = 425.92 \text{ [kg]}$$

Entonces el peso queda representado por:

$$W_t = m_t \times 9.81 \frac{m}{s^2} \text{ [N]}$$

$$W_t = 425.92 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \text{ [N]}$$

$$W_t = 4178.28 [N]$$

Permitiendo así obtener la carga distribuida sobre el eje de soporte de las cuchillas:

$$q = \frac{W_t}{L_c} \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Donde:

$L_c =$  Longitud del eje de corte [m]

Teniendo que:

$$q = \frac{4178.28}{1.250} \left[ \frac{N}{m} \right]$$

$$q = 3342.624 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

### 3.5.1.3.3 Cálculo de avance de trituradora:

Se estima un corte de cuchilla de  $6in^3$  de material, entonces:

a.- volumen de corte por revolución:

$$a. = 6in^3 \times 32_{cuchillas}$$

$$a. = 192in^3$$

b.- volumen de corte en un minuto:

$$b. = 192in^3 \times 25_{revoluciones/min}$$

$$b. = 4800in^3/min$$

$$b. = 0.07865791m^3/min$$

c.- avance de trituradora por hora:

$$c. = \text{densidad del caucho} \times 0.07865791m^3/min$$

$$c. = 930 kg/m^3 \times 0.07865791m^3/min$$

$$c. = 73.15kg/min$$

$$c. = 4389kg/h$$

#### 3.5.1.3.4 Evaluación de fuerza cortante y momento flector:

Con el objetivo de determinar el diámetro óptimo con el que contará el eje que sostenga todo el sistema de cortes por cuchillas, es necesario determinar la máxima fuerza cortante y momento flector al que estará sometido para fines de selección.

Las fuerzas que actuaran, son las siguientes (*Ver tabla 11*):

**Tabla 11.** Fuerzas.

$T = 900.5 [N.m]$
$T_{max} = 28\ 816 [N.m]$
$q = 3342.624 \left[ \frac{N}{m} \right]$
$F_c = \frac{T}{r} [N] \rightarrow r = \phi_{cuch}/2$

Entonces:

$$F_c = \frac{T}{r} [N]$$

$$F_c = \frac{900.5}{0.1524} [N]$$

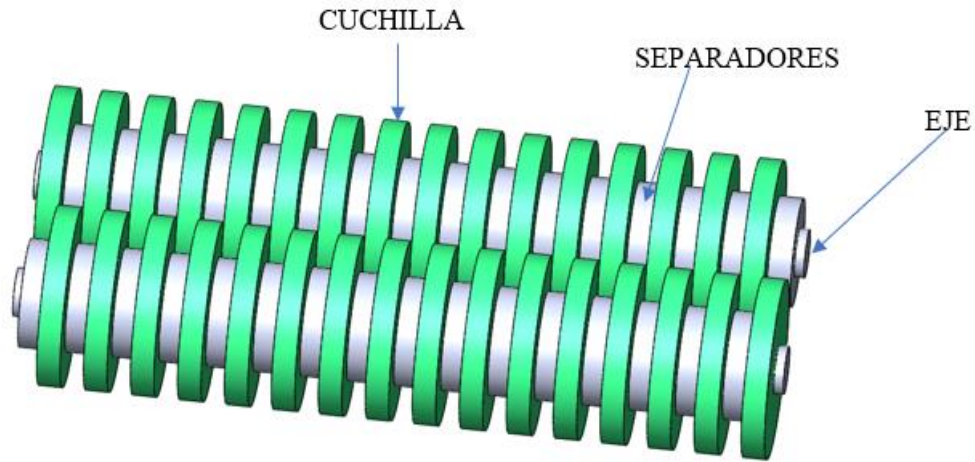
$$F_c = 5\ 908.8 [N]$$

Siendo  $F_c$  la fuerza de corte de una sola cuchilla, de esta manera suponiendo una situación crítica, en donde todas las cuchillas generen corte al mismo tiempo se tendrá que (ver figura 00):

$$F_{CT} = 5\ 908.8 \times 16 [N]$$

$$F_{CT} = 94\ 540.8 [N]$$

**Figura 36. Identificación de Componentes.**

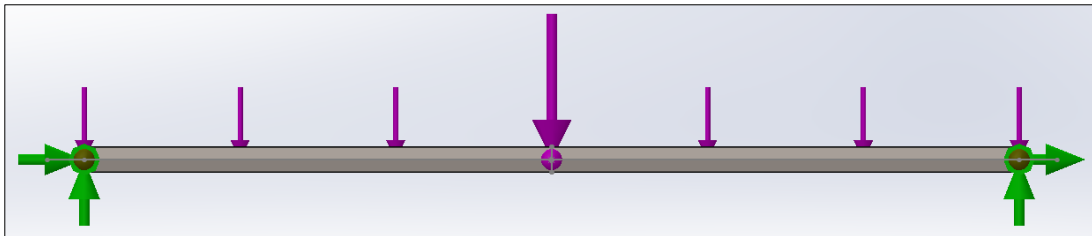


**Fuente:** Propia.

Implementado el software de ingeniería Solidworks en su versión 2018, nos valemos para hallar las respectivas fuerzas de reacción, así como los diagramas de fuerzas cortantes y momento flector máximo de la siguiente manera (*Ver tabla 12*).

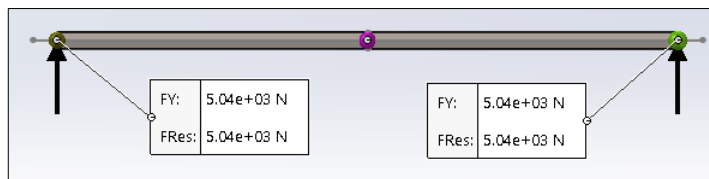
**Tabla 12. Análisis de Elementos Finitos – Triturador 01.**

**Posicionamiento de cargas y sujeciones**



Se procedió a colocar sujeciones inamovibles en ambos extremos y la correspondiente carga distribuida, generada por el peso de las cuchillas y los espaciadores, de manera adicional se posicionó en el centro del eje la carga puntual, haciendo referencia a la fuerza de corte generada por las cuchillas en simultaneo.

**Resultados**



Fuerzas resultantes:

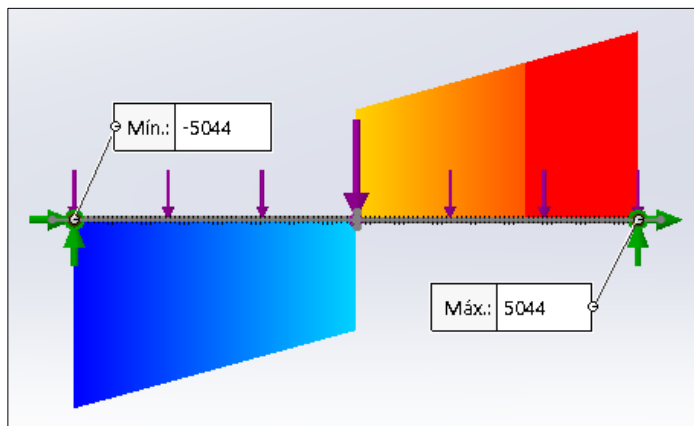


Diagrama de fuerza cortante:

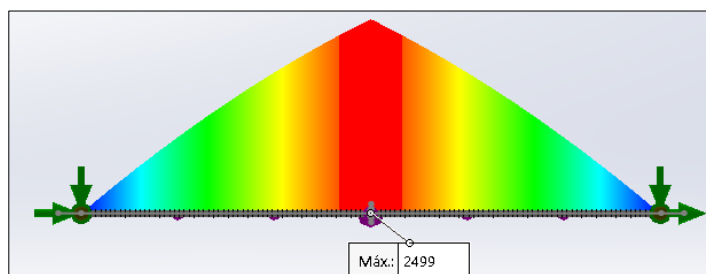


Diagrama de momento flector:

### 3.5.1.3.5 Verificación por resistencia a la fatiga:

Consideraciones:

- Las chuchillas trituran en simultáneo.
- Se considerarán cargas repetidas en una sola dirección, debido a la forma de ingreso de material a triturar.

Factores que afectan la resistencia a la fatiga (*Ver tabla 13*):

**Tabla 13.** Factores Para Análisis de Fatiga.

Factor de Superficie (Ka):	0.42 teniendo en cuenta un límite a la tracción de 1110 MPa y laminado en caliente.
Factor de Tamaño (Kb):	0.77 para un diámetro de 82.55 mm
Factor de Confiabilidad (Kc):	Asumiendo un 99.9% de confiabilidad tenemos 0.753
Factor de temperatura (Kd):	1 por no superar los 500°C en trabajo.
Factor de carga (Kcarg):	Se asume 1
Concentradores de esfuerzos (Kf):	1.6 debido a la fuerza de cortadura por torsión.

Teniendo así la ecuación que representa la resistencia a la fatiga (Vida

infinita  $10^6$  ciclos):

$$S_e = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times K_f \times S_e'$$

Donde:

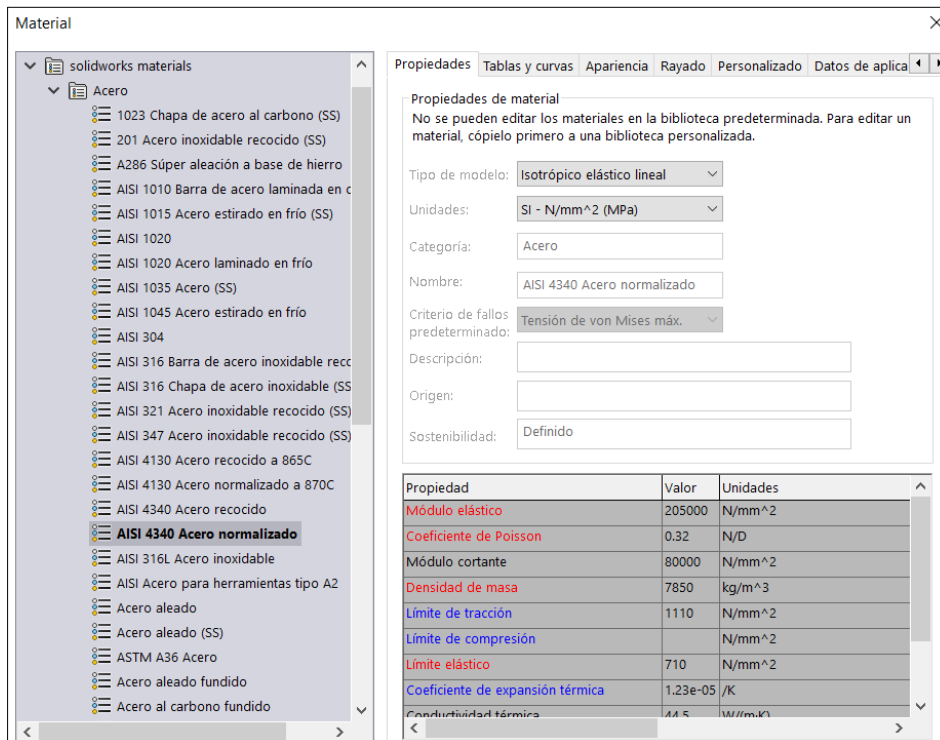
$$S_e' = 0.5S_{ut}$$

Siendo  $S_{ut}$  la resistencia última a la tracción del acero AISI 4340 de 1110 MPa (Ver figura 37):

Por lo tanto, se tiene que:

$$S_e' = 0.5S_{ut}$$

**Figura 37. Propiedades de Material.**



$$S_e' = 0.5 \times 1110 \text{ [MPa]}$$

$$S_e' = 555 \text{ [MPa]}$$

Con lo cual:

$$S_e = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times K_f \times S_e'$$

$$S_e = 0.42 \times 0.77 \times 0.753 \times 1 \times 1 \times 1.6 \times 555 \text{ [MPa]}$$

$$S_e = 216.25 \text{ [MPa]}$$

Partiendo de ese dato es posible calcular el número de ciclos que soportar el sistema antes de su falla:

$$n = \left(\frac{\sigma_c}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

Donde:

$n = N^\circ$  de ciclos del sistema

$\sigma_c =$  Esfuerzo cortante [MPa]

$$a = \frac{(0.9 \times S_{ut})^2}{S_e} = \frac{(0.9 \times 1110)^2}{216.25} = 4615.03 \text{ [MPa]}$$

$$b = -\frac{1}{3} \times \log\left(\frac{0.9 \times S_{ut}}{S_e}\right) = -\frac{1}{3} \times \log\left(\frac{0.9 \times 1110}{216.25}\right) = -0.2215$$

Por lo tanto, tenemos que:

$$\sigma_c = \frac{T \times r}{j} \text{ [Pa]}$$

Donde:

$$T = T_{max}/2 = 14\,408 \text{ [N.m]}$$

$r =$  Radio (Distancia del centro del eje al extremo más distante)

$$j = \text{Momento polar de inercia} = \frac{\pi \times d^4}{32}$$

Reemplazando:

$$\sigma_c = \frac{14\,408 \text{ [N.m]} \times 0.041275 \text{ [m]}}{\frac{\pi \times 0.08255^4}{32}} \text{ [Pa]}$$

$$\sigma_c = 130\,443\,540.2 \text{ [Pa]}$$

$$\sigma_c = 130.4 \text{ [MPa]}$$

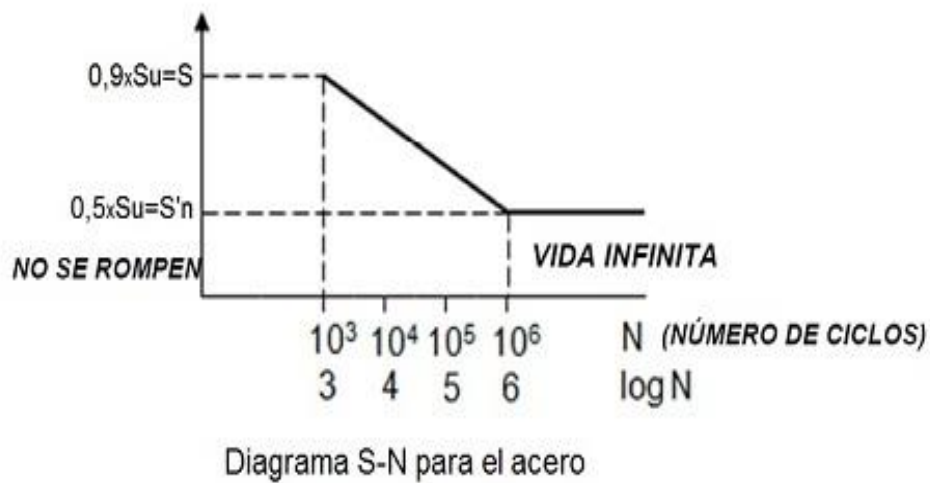
Entonces:

$$n = \left(\frac{\sigma_c}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

$$n = \left(\frac{130.4 \text{ [MPa]}}{4\,615.03 \text{ [MPa]}}\right)^{-\frac{1}{0.2215}}$$

$$n = 9 \times 10^6 \text{ ciclos de vida}$$

**Figura 38.** Diagrama S-N.



Teniendo el resultado mostrado, el diámetro de eje seleccionado cuenta con vida infinita.

### 3.5.1.3.6 Resultados de simulación:

Los resultados de simulación en el software de ingeniería SOLIDWORKS v.2018 se presentan en la *tabla 14*.

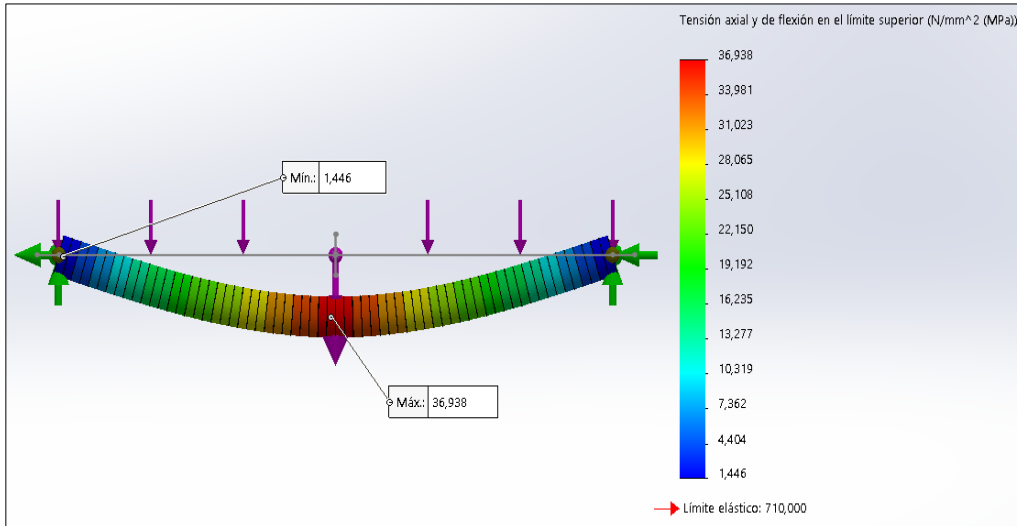


Tabla 14. Análisis de Elementos finitos.

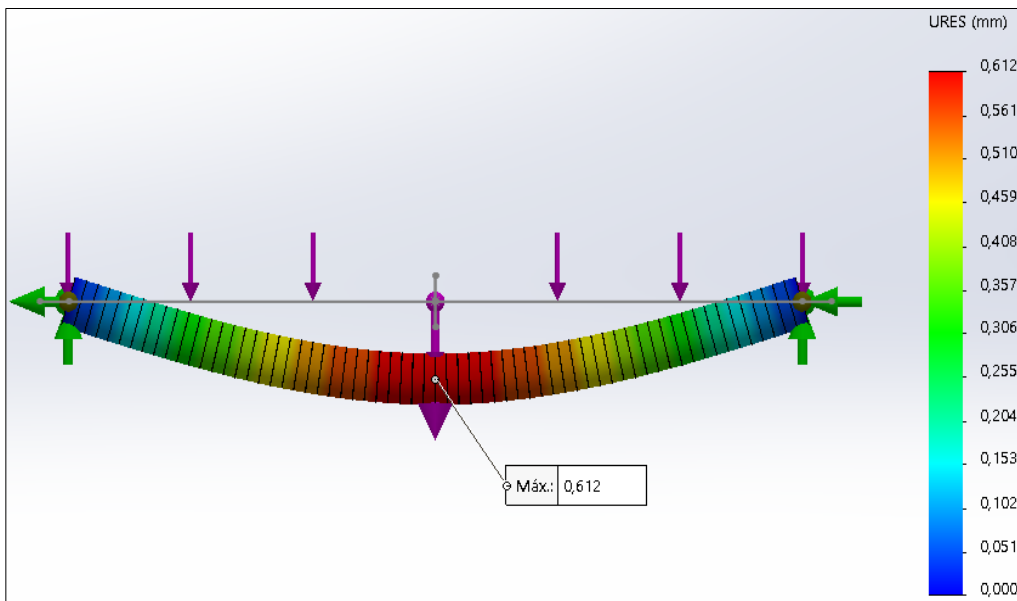
---

**Esfuerzos máximos en MPa**

---

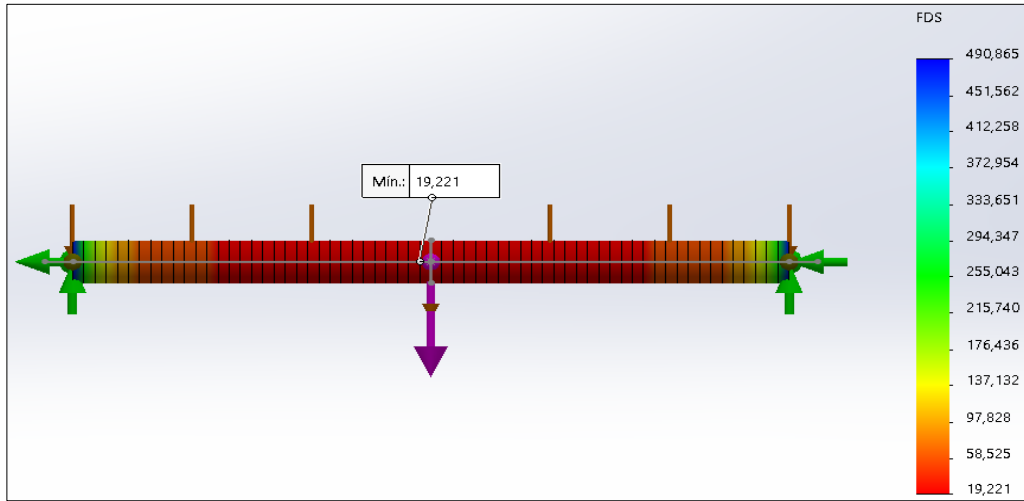


**Desplazamiento máximo en mm**



---

### Factor de Seguridad



Fuente: Propia.

### 3.5.2 Diseño 3D de trituradora 01:

El procedimiento de diseño se detalla a continuación (*Ver tabla 15*):

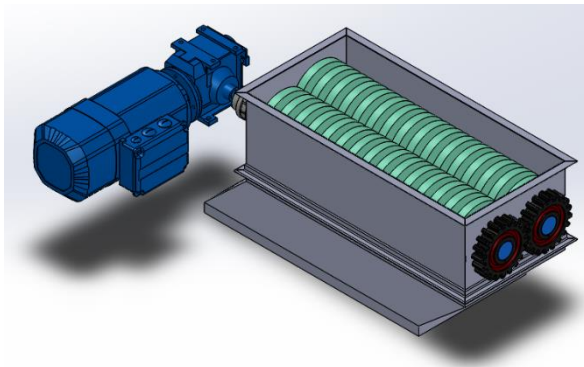
**Tabla 15.** *Diseño de Componentes.*

---

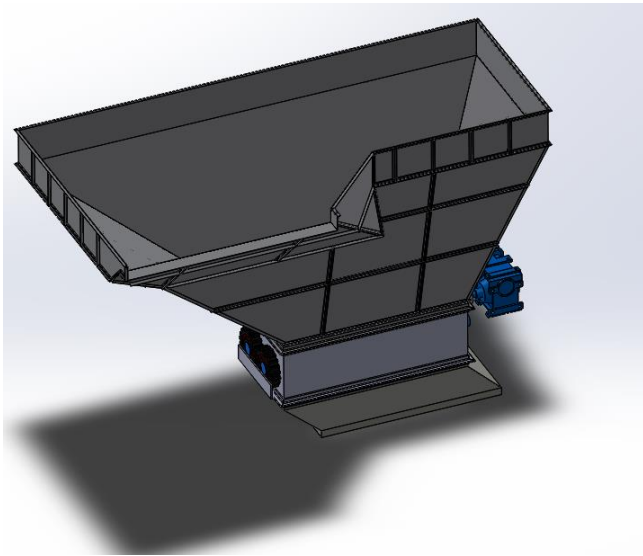
### COMPONENTES DISEÑADOS

**Diseño:**

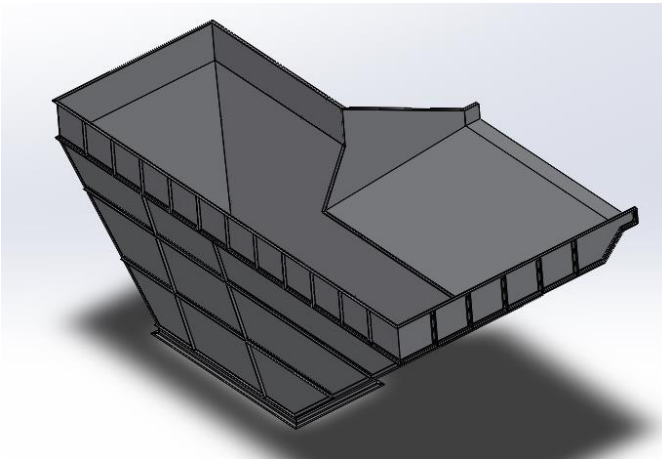
**Detalle:**



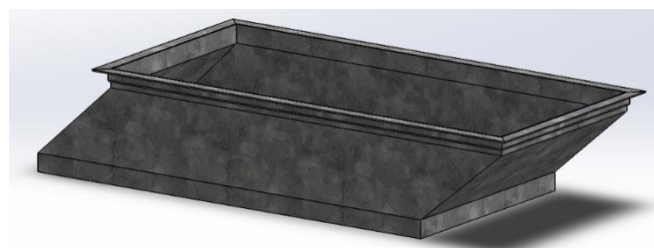
Sistema de triturado, consta de motorreductor, sistema de cuchillas y engranajes de transmisión.



Tolva de carga y descarga, diseñada en función al trabajo a realizar.



Tolva de carga, con una extensión que permite el ingreso de los neumáticos, del tamaño seleccionado en apartados anteriores.

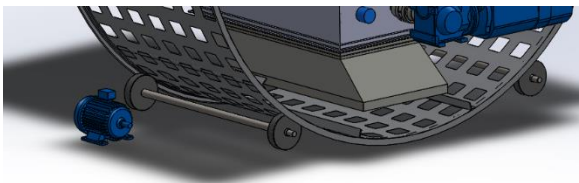


Tolva de descarga, con un ángulo de inclinación, que facilite la dirección del producto a la criba rotatoria.

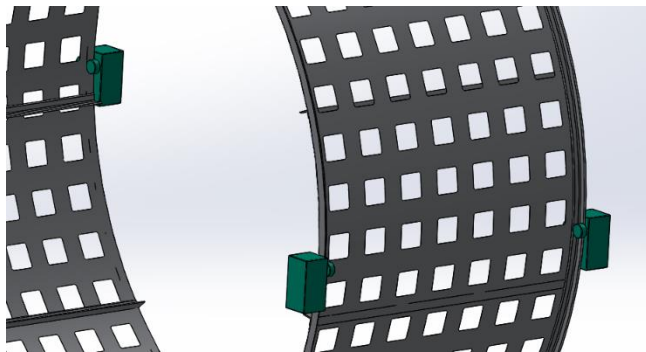
---



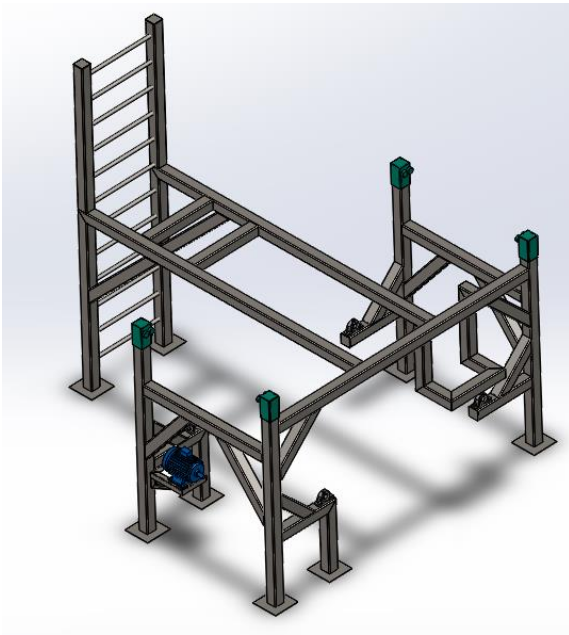
Criba rotatoria, permite la recirculación del producto, que no logre llegar a las dimensiones correctas de trituración. (10 cm).



Sistema de movimiento para criba rotatoria.

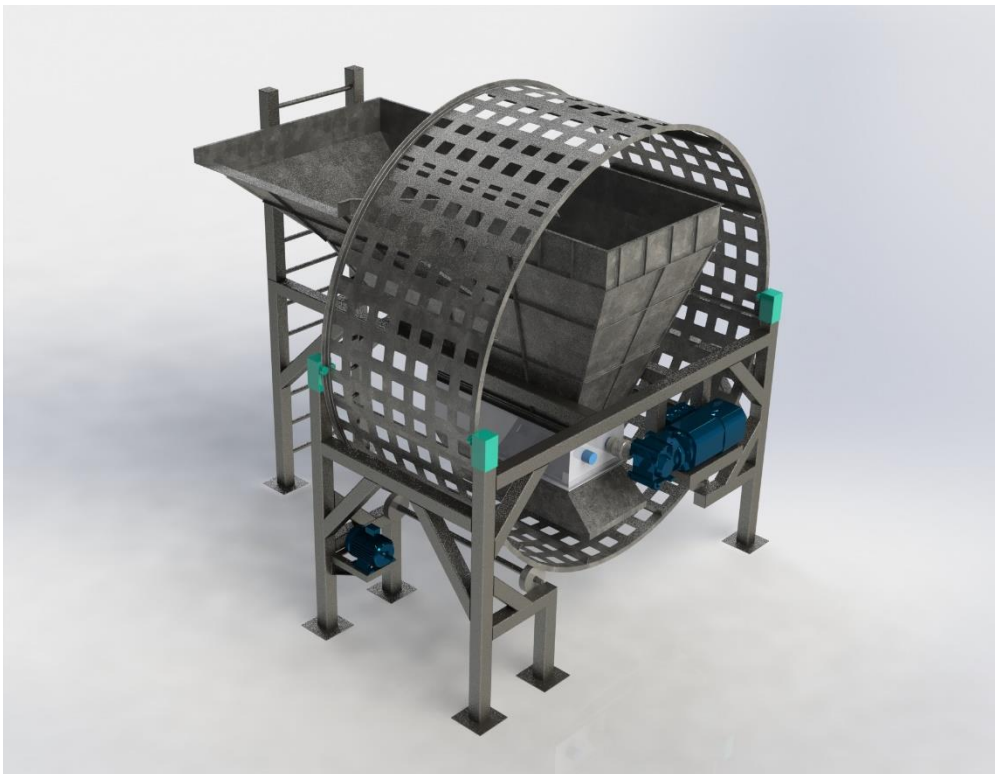


Soporte de criba rotatoria, brinda consistencia estructural y sirve de guía para la correcta rotación.



Estructura de soporte de sistema de trituración, brinda rigidez a la criba rotatoria, tolva, ejes de trituración y motores.

### Diseño Final



---

Fuente: Propia.

### 3.5.3 Cálculos mecánicos trituradora 02:

#### 3.5.3.1 Determinación del Torque:

Se procede según fórmulas del aparato anterior (*Ver tabla 16*):

**Tabla 16.** *Determinación de Torque.*

---

$$T = \frac{F_{cizalla}}{A_{cuch}} \times V_{caucho}$$

---

$$F_{cizalla} = 558.91[N]$$
$$A_{cuch} = \frac{\pi}{4} [(0.190)^2 - (0.060)^2]$$
$$A_{cuch} = [m^2]$$
$$V_{caucho} = 0.001 [m^3]$$
$$T = 21.896[N.m]$$
$$T_{max} = T \times N^{\circ}_{cuch}$$
$$T_{max} = 21.896 * 7$$
$$T_{max} = 153.27[N.m]$$

---

#### 3.5.3.2 Determinación de la potencia del motor:

**Tabla 17.** *Determinación de Potencia de Motor.*

---

$$P_{max} = T_{max} \times w [Watts]$$

---

$$w = \frac{2\pi n}{60} [rad/seg]$$
$$n = 30 rev/min$$
$$P_{max} = 481.522 [Watts]$$
$$P_{max} = 0.645 [HP]$$

---

#### 3.5.3.3 Cálculo de sistema de corte:

##### 3.5.3.3.1 Selección del material:

Seleccionando el acero aleado AISI 4340 como en el apartado anterior, donde para diámetros en un rango de 40 a 100 mm, su límite a la fluencia ( $N/mm^2$ ) es de 800 y su resistencia última a la tracción ( $N/mm^2$ ) está entre 900 y 1100, según

### 3.5.3.3.2 Configuración geométrica:

Datos (Ver tabla 18):

**Tabla 18.** Configuración Geométrica.

<b>Dimensiones de cuchilla:</b>	
$\emptyset_{exterior} \rightarrow$	190 mm
$\emptyset_{interior} \rightarrow$	60 mm
$e_{cuch} \rightarrow$	15 mm
<b>Dimensiones de espaciador:</b>	
$\emptyset_{exterior} \rightarrow$	125 mm
$\emptyset_{interior} \rightarrow$	60 mm
$e_{espa} \rightarrow$	15 mm

Tenemos:

**Tabla 19.** Determinación de Fuerzas.

$$m_{cuch} = \delta_{acero} \times V_{cuch} [kg]$$

$$\delta_{acero} = 7860 [kg/m^3]$$

$$m_{cuch} = 3 [kg]$$

$$m_{tc} = 3 \times 7 [kg]$$

$$m_{tc} = 21 [kg]$$

$$m_{te} = m_{espa}(1.11) \times 7 [kg]$$

$$m_{te} = 7.79 [kg]$$

$$m_t = m_{tc} + m_{te} [kg]$$

$$m_t = 21 + 7.79 = 28.79 [kg]$$

$$W_t = m_t \times 9.81 \frac{m}{s^2} [N]$$

$$W_t = 28.79 \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 282.47 [N]$$

$$q = \frac{W_t}{L_c} \left[ \frac{N}{m} \right]$$

$$q = \frac{282.47}{0.4275} = 660.76 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

### 3.5.3.3.3 Evaluación de fuerza cortante y momento flector:

$$F_c = \frac{T}{r} [N]$$

$$F_c = \frac{21.896}{0.095} [N]$$

$$F_c = 230.48 [N]$$

$$F_{CT} = F_c \times 7 [N]$$

$$F_{CT} = 230.48 \times 7 [N]$$

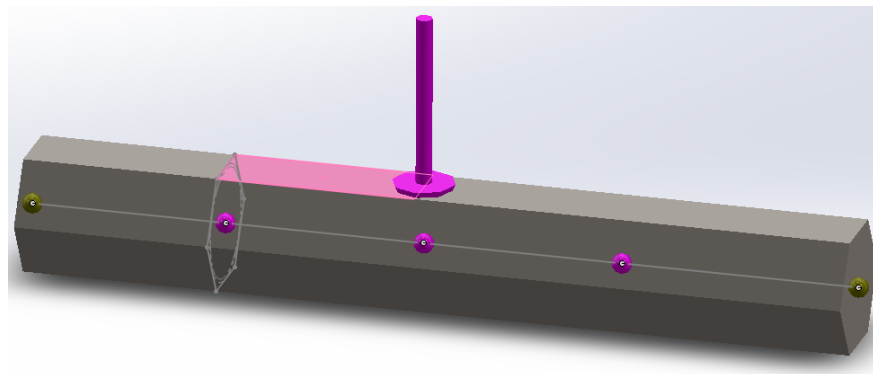
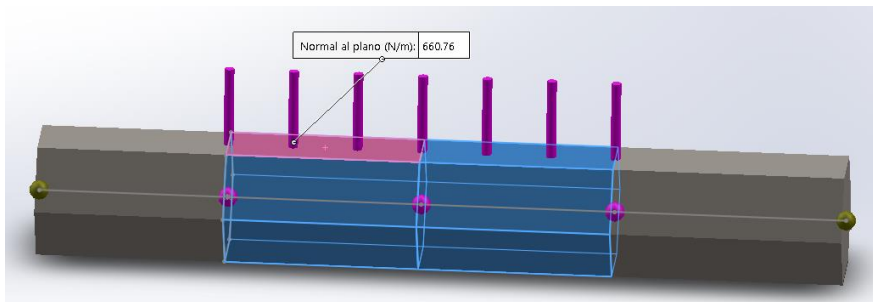
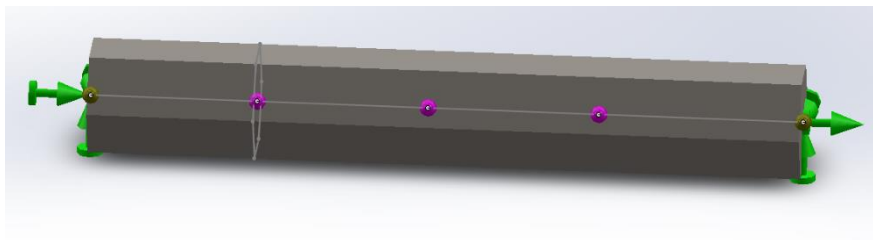
$$F_{CT} = 1613.39 [N]$$

**Tabla 20.** Análisis de Elementos Finitos – Triturador 02.

---

#### Posicionamiento de cargas y sujeciones

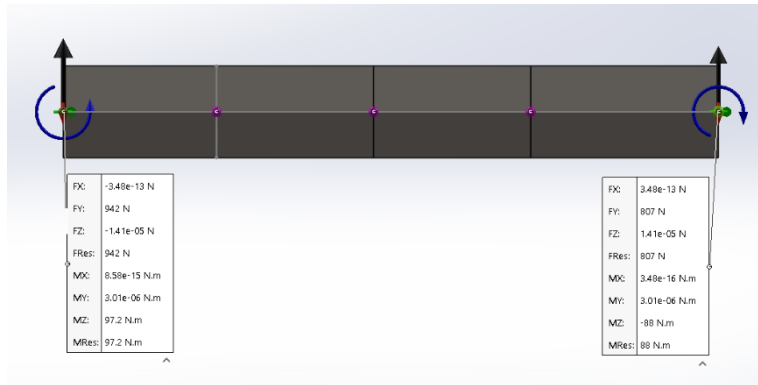
---





---

## Resultados



Fuerzas resultantes:

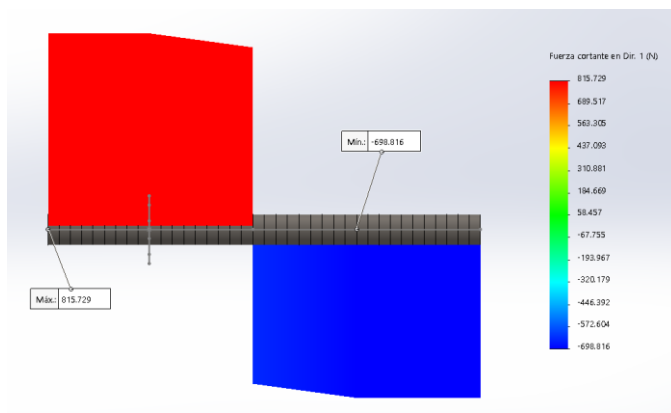


Diagrama de fuerza cortante:

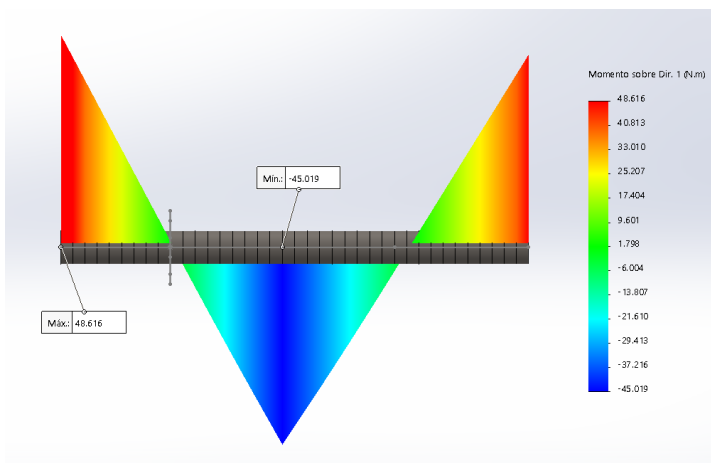


Diagrama de momento flector:

---

Fuente: Propia.

### 3.5.3.3.4 Verificación por resistencia a la fatiga:

**Tabla 21.** Determinación de Ciclos de Vida.

---


$$\sigma_c = \frac{T \times r}{j} \text{ [Pa]}$$


---


$$T = T_{max}/2 = 76.635 \text{ [N.m]}$$

$$r = \text{Radio} = 0.095 \text{ [m]}$$

$$j = \frac{\pi \times d^4}{32}$$

$$\sigma_c = 0.0569 \text{ [MPa]}$$

$$n = \left(\frac{\sigma_c}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

$$a = \frac{(0.9 \times S_{ut})^2}{S_e} = \frac{(0.9 \times 1110)^2}{216.25} = 4615.03 \text{ [MPa]}$$

$$b = -\frac{1}{3} \times \log\left(\frac{0.9 \times S_{ut}}{S_e}\right) = -\frac{1}{3} \times \log\left(\frac{0.9 \times 1110}{216.25}\right) = -0.2215$$

$$\mathbf{n = 1.45 \times 10^{22}}$$


---

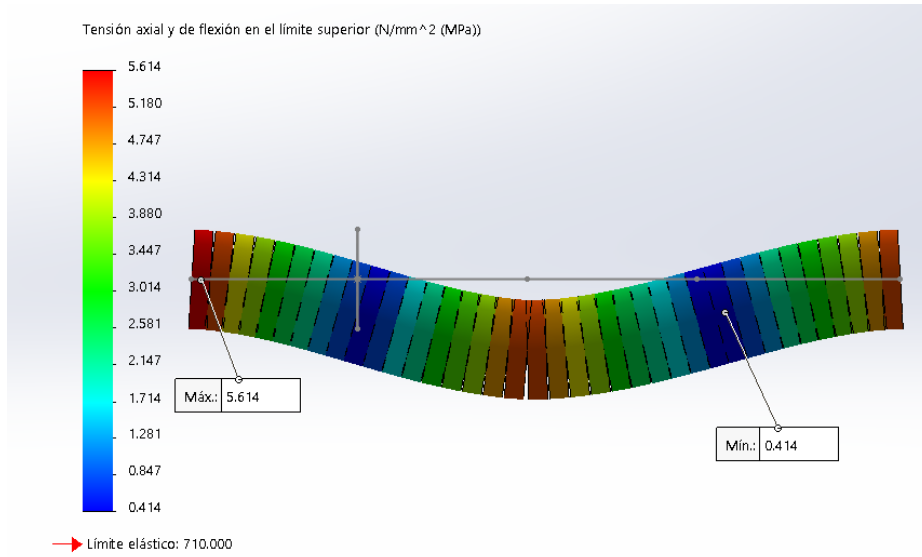
### 3.5.3.3.5 Resultados de simulación:

Tabla 22. Análisis de Elementos Finitos.

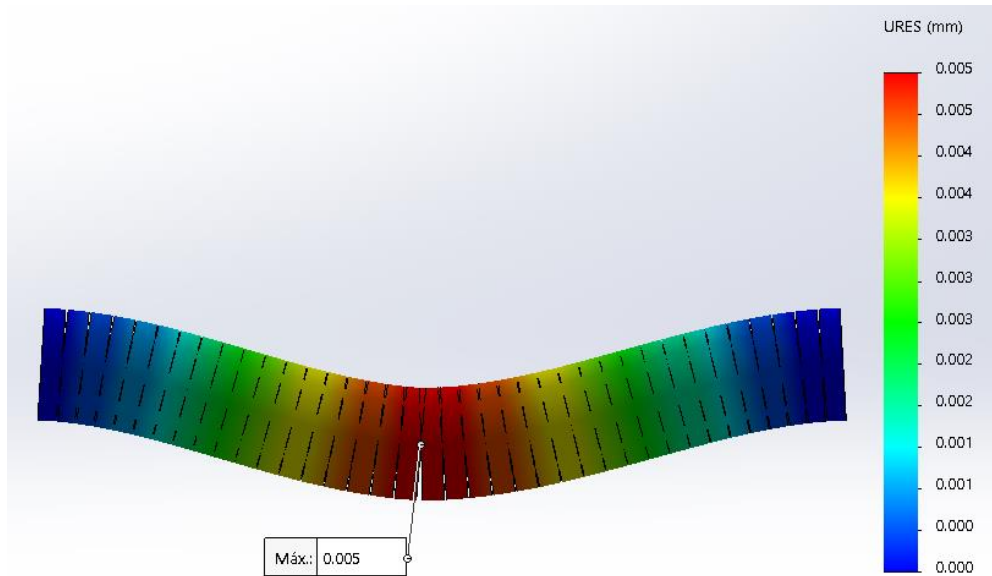
---

#### Esfuerzos máximos en MPa

---



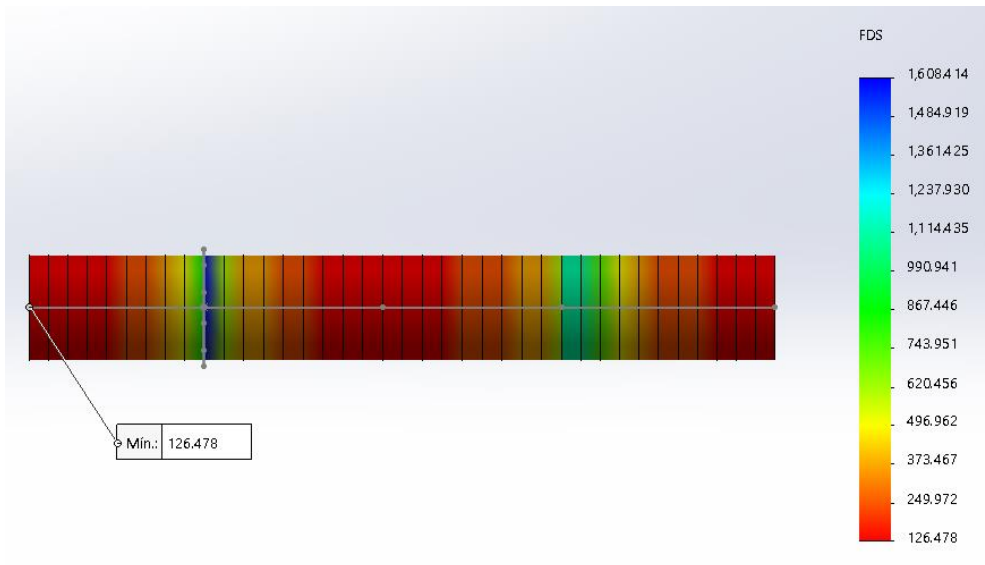
#### Desplazamiento máximo en mm



---

#### Factor de Seguridad

---



Fuente: Propia.

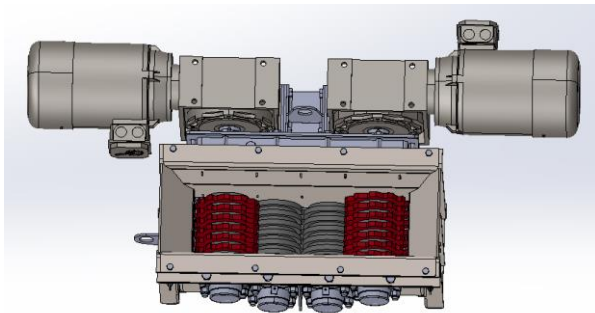
### 3.5.4 Diseño 3D de trituradora 02:

Tabla 23. Componentes de Diseño.

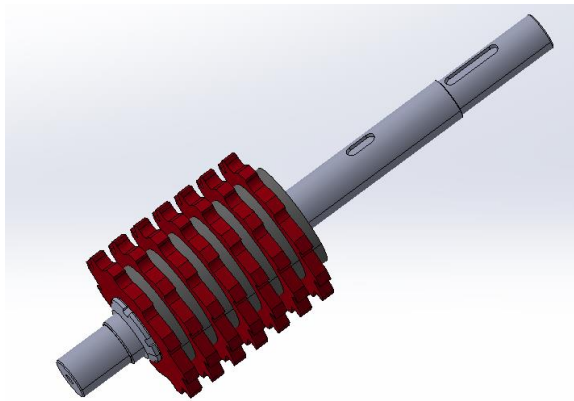
#### COMPONENTES DISEÑADOS

Diseño:

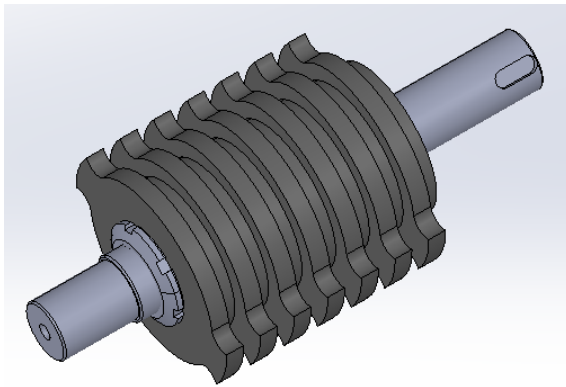
Detalle:



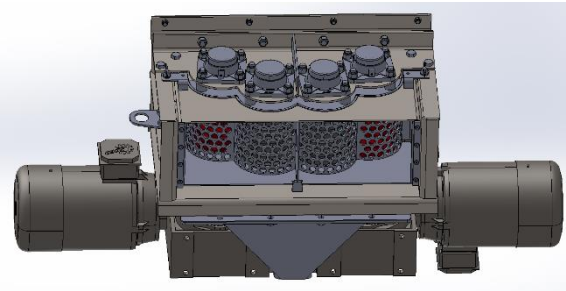
Sistema de trituración de 4 ejes, el par superior se encarga de atrapar a los trozos de caucho y direccionarlos a la zona de central de trabajo, el par inferior de cuchillas cumple la función de trituración con ayuda de la criba perforada.



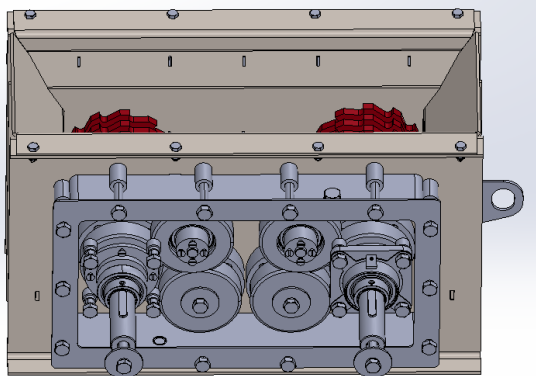
Eje superior de aprisionamiento de caucho para trituración.



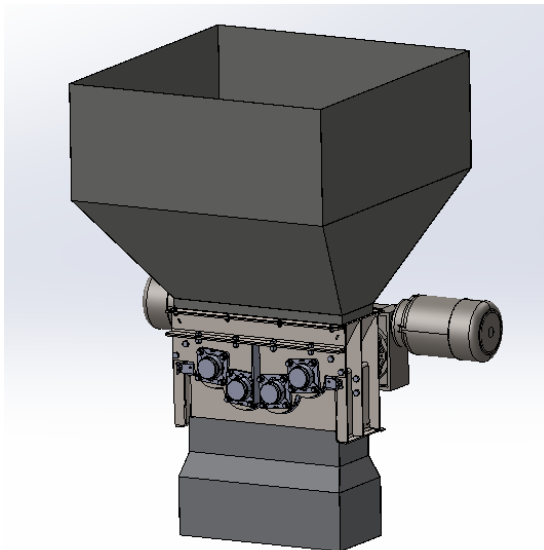
Eje de soporte para cuchillas de corte de la parte central del sistema.



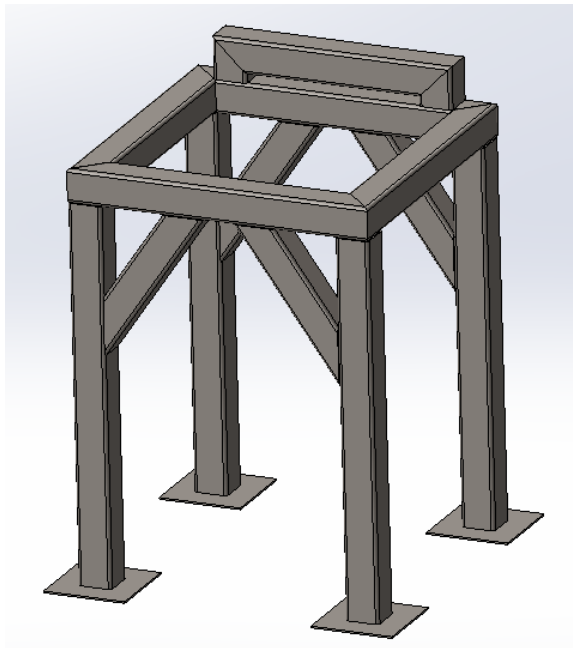
Criba perforada en la parte inferior de la máquina, solo permitirá el pase de las partículas inferiores a 2mm, de lo contrario continuara con el proceso de trituración.



Caja de transmisión de movimiento, consta de 6 engranajes.



Tolva de carga y descarga, dimensionados en función al volumen de ingreso del producto.



Soporte estructural del sistema,  
diseñado en acero estructural ASTM  
A36 de 4"x4"x3mm.

### Diseño Final



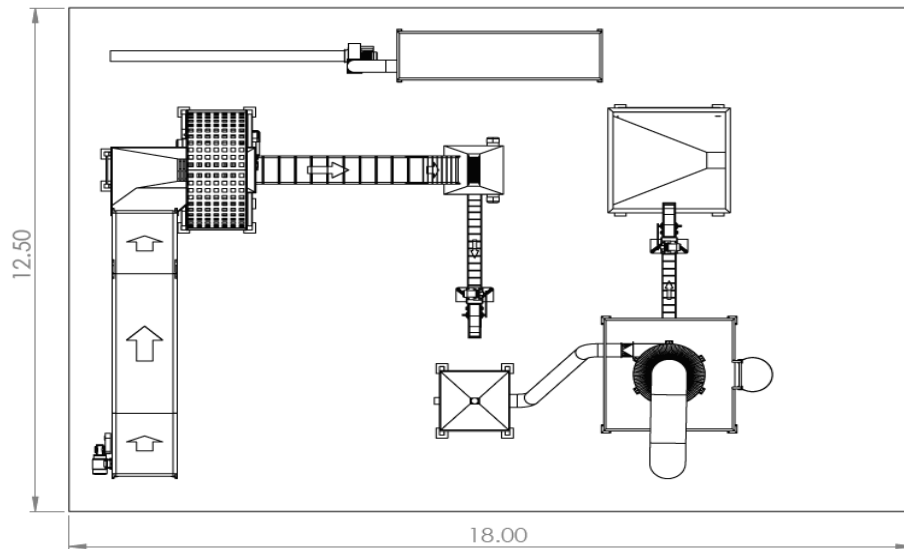
---

**Fuente:** Propia.

### 3.5.5 Diseño y disposición de planta:

Detalladas las partes principales que componen la planta procesadora de caucho, es factible dimensionar de manera precisa el área necesaria para la instalación (*Ver figura 39*):

**Figura 39.** *Distribución de Planta.*



**VISTA DE PLANTA**

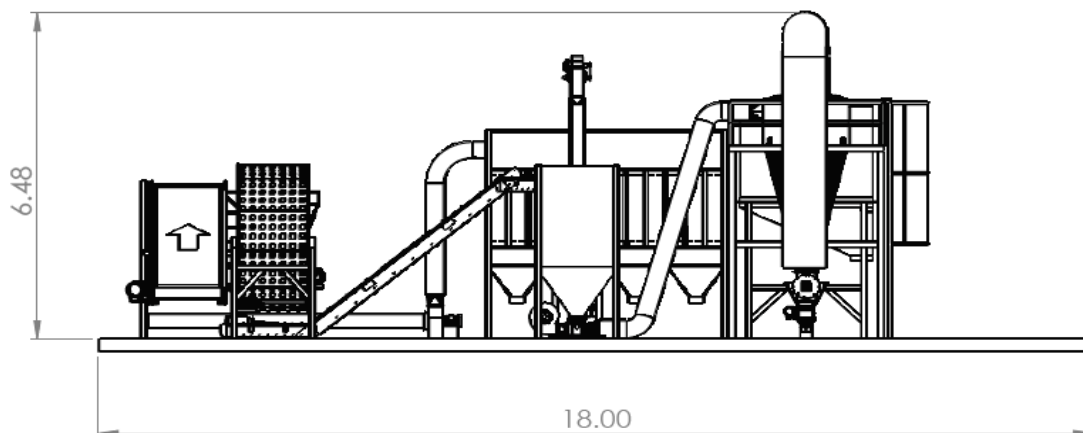
**Fuente:** Propia.

Se requiere entonces un área de 12.5m x 18m aproximadamente, la maquinaria tiene como característica una distribución modular con lo cual el área de instalación no es fija y se puede adaptar a la empresa y sus espacios.

La altura necesaria para un correcto funcionamiento de la planta es de 6.5m, siendo el separador ciclónico el que ocupa el mayor espacio vertical (*Ver figura 40*).



**Figura 40.** Dimensiones de Área de Planta.



**VISTA FRONTAL**

**Fuente:** Propia.

**3.5.5.1 Señalización de equipos:**

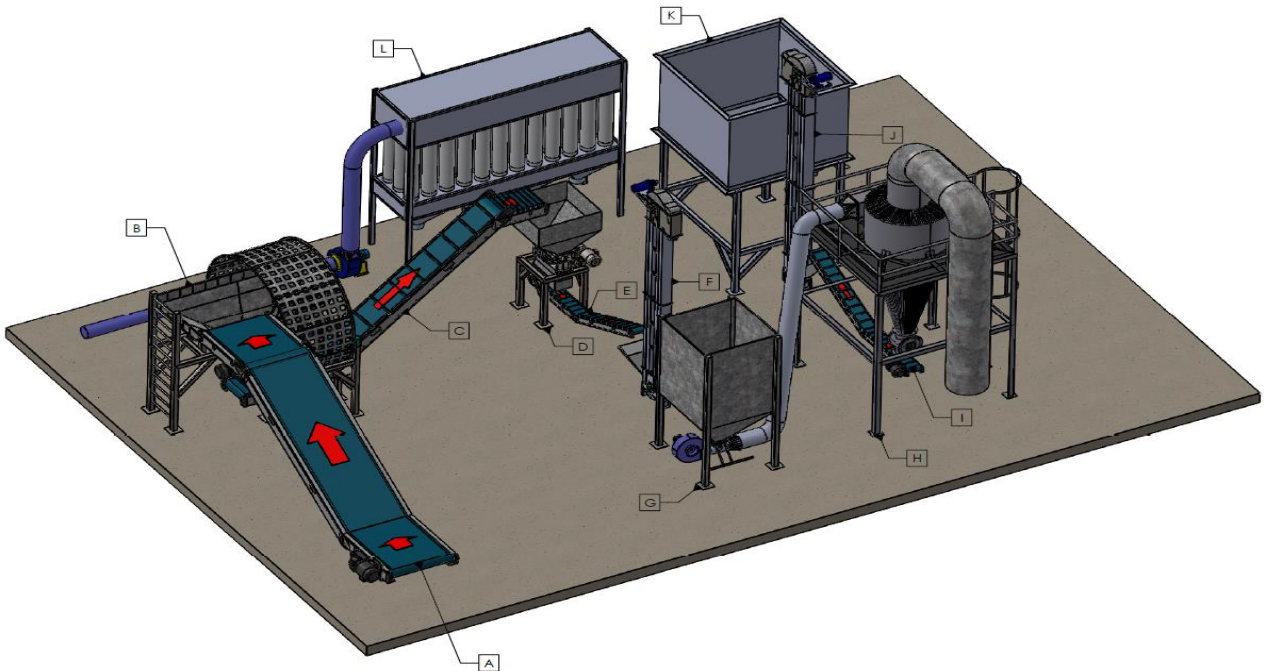
(Ver tabla 24) y (figura 41):

**Tabla 24.** Señalización de Equipos de Planta.

<b>PLANTA PRODUCTORA DE POLVO DE CAUCHO</b>		
<b>DESIGANCIÓN:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>POTENCIA (Kw)</b>
A	FAJA TRANSPORTADORA INICIAL (NFU)	1.2
B	TRITURADORA N°1 <10cm	75
C	SISTEMA TRANSPORTADOR Y SEPARADOR MAGNÉTICO 01	1.5
D	TRITURADORA N°2 <2mm	1.5
E	SISTEMA TRANSPORTADOR Y SEPARADOR MAGNÉTICO 02	1.5
F	ELEVADOR DE CANGILONES 01	1.1
G	AVENTADOR DE PARTICULAS	0.4
H	SEPARADOR CICLÓNICO	0.5
I	FAJA TRANSPORTADORA	0.8
J	ELEVADOR DE CANGILONES 02	1.1
K	TOLVA DE PRODUCTO FINAL	
L	FILTRO DE MANGAS	2.2
	<b>MAXIMA DEMANDA:</b>	<b>86.8 kW</b>

**Fuente:** Propia.

**Figura 41. Distribución de Equipos de Planta.**

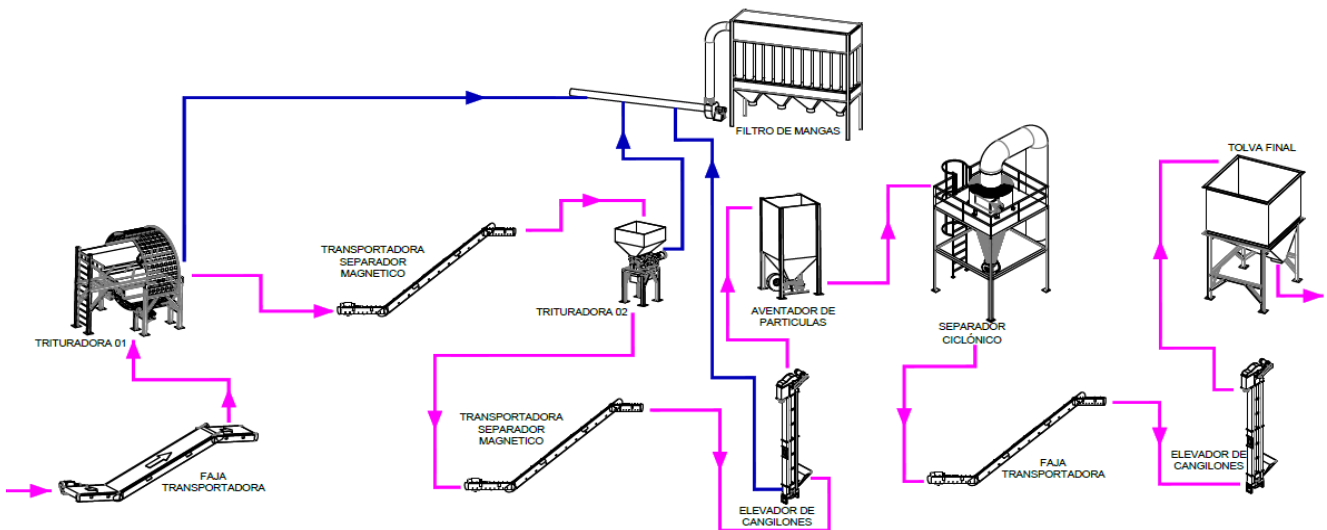


**Fuente:** Propia.

**3.5.5.2 Diagrama unifilar de planta:**

*(Ver figura 42):*

**Figura 42. Diagrama Unifilar de Planta.**



**Fuente:** Propia.

Para demás detalles de sistemas principales ver anexos.

### 3.6 Presupuesto general de planta:

A continuación, se detallan costos de fabricación y materiales en dólares (*Ver tabla 25*), materiales cotizados vía telefónica por técnicos comerciales expertos en proyectos de metalmecánica:

**Tabla 25. Presupuesto General de Planta.**

<b>PLANTA PRODUCTORA DE POLVO DE CAUCHO</b>				
<b>EQUIPO:</b>	<b>DETALLES:</b>	<b>CANTIDAD:</b>	<b>PRECIO UNITARIO:</b>	
<b>FAJA TRANSPORTADORA INICIAL (NFU)</b>			\$ 4,940.00	
	Longitud(m):	7.6	\$ 650.00	
	Ancho(m):	1.4		
	Elevación(m):	2		
<b>TRITURADORA N°1 &lt;10cm</b>			\$ 24,888.48	
	Perfil Cuadrado de 4" x 3mm x 6m	8	\$ 41.00	\$ 328.00
	Perfil Circular de 1"x 2mm x 6m	2	\$ 9.58	\$ 19.16
	Plancha Galv. 2.4m x 1.2m x 2mm	6	\$ 37.80	\$ 226.80
	Sistema de engranajes	/		\$ 111.52
	Motor de 100HP	1	\$ 12,000.00	\$ 12,000.00
	Fabricación de cuchillas y ejes			\$ 10,000.00
	Motor de 0.5HP	1	\$ 250.00	\$ 250.00
	Fabricación de criba rotatoria	1	\$ 1,953.00	\$ 1,953.00
<b>SISTEMA TRANSPORTADOR Y SEPARADOR MAGNÉTICO 01</b>			\$ 8,400.00	
	Longitud(m):	8	\$ 1,050.00	
	Ancho(m):	0.7		
	Elevación(m):	2.9		
<b>TRITURADORA N°2 &lt;2mm</b>			\$ 14,160.40	
	Perfil Cuadrado de 4" x 3mm x	3	\$ 41.00	\$ 123.00

6m				
Plancha Galv. 2.4m x 1.2m x 2mm	3	\$ 37.80	\$	113.40
Motores de 1HP	2	\$ 420.00	\$	840.00
Sistema de corte y transmisión	1	\$ 13,000.00	\$	13,000.00
Malla perforada de 2mm	1	\$ 84.00	\$	84.00
<b>SISTEMA TRANSPORTADOR Y SEPARADOR MAGNÉTICO 02</b>				\$ 3,990.00
Longitud(m):	3.8	\$ 1,050.00	\$	3,990.00
Ancho(m):	0.3			
Elevación(m):	0.9			
<b>ELEVADOR DE CANGILONES 01</b>				\$ 1,880.00
Elevación(m):	5.6			
<b>AVENTADOR DE PARTICULAS</b>				\$ 1,202.20
Perfil Cuadrado de 4" x 3mm x 6m	3	\$ 41.00	\$	123.00
Plancha Galv. 2.4m x 1.2m x 2mm	14	\$ 37.80	\$	529.20
Motor 0.5HP	1	\$ 250.00	\$	250.00
Ventilador centrifugo	1	\$ 300.00	\$	300.00
<b>SEPARADOR CICLÓNICO</b>				\$ 1,922.80
Perfil Cuadrado de 4" x 3mm x 6m	6	\$ 41.00	\$	246.00
Plancha Galv. 2.4m x 1.2m x 2mm	8	\$ 37.80	\$	302.40
Plancha Estriada 2.4m x 1.2m x 3mm	4	\$ 43.60	\$	174.40
Exclusa 12L	1	\$ 1,200.00	\$	1,200.00
<b>FAJA TRANSPORTADORA</b>				\$ 1,824.00
Longitud(m):	3.8	\$ 480.00		
Ancho(m):	0.3			
Elevación(m):	0.9			
<b>ELEVADOR DE CANGILONES 02</b>				\$ 1,930.00

Elevación(m):		6.1		
<b>TOLVA DE PRODUCTO FINAL</b>				\$ 583.00
	Perfil Cuadrado de 4" x 3mm x 6m	5	\$ 41.00	\$ 205.00
	Plancha Galv. 2.4m x 1.2m x 2mm	10	\$ 37.80	\$ 378.00
<b>FILTRO DE MANGAS</b>				\$ 7,320.00
Total, materiales				\$ 73,040.88
Mano de obra (0.75)				\$ 54,780.66
Extras (0.3)				\$ 21,912.26
<b>TOTAL, APROXIMADO</b>				<b>\$ 149,733.80</b>

### 3.7 Plan de Mantenimiento:

El plan de mantenimiento está basado en mantener en óptimas condiciones todos los componentes de la planta procesadora de caucho, sin embargo, la mayoría de partes solo implican limpieza por aire a presión y/o agua, es por ello que nos enfocamos en generar un plan específico al componente más importante que son los motores. A continuación, se detalla el plan a seguir.

**Tabla 26.** *Plan de Mantenimiento.*

<b>Plan de mantenimiento</b>	<b>Semanal</b>	<b>Mensual</b>	<b>De 3 a 6 meses</b>	<b>Anual</b>
<b>MOTORES</b>				
<b>Verificación de terminales de conexión</b>			X	X
<b>Evaluación de resistencia de los motores</b>			X	
<b>CORTE</b>				
<b>Control de impurezas en cuchillas</b>	X			
<b>ACCESORIOS</b>				
<b>Chequeo de estado de ejes y accesorios de corte</b>		X		
<b>Revisión de cribas</b>	X			
<b>ESTRUCTURAS</b>				
<b>Pruebas de vibraciones y ruido</b>				X
<b>Ajuste de tornillos fijadores</b>		X		
<b>Aseo del área de Trituración</b>	X			

**CAPÍTULO IV**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

### 4.1 Conclusiones:

**a.-** La empresa reencauchadora AMERICANA RELINO, dentro de su línea de trabajo, recibe un aproximado de 400 neumáticos de los cuales, por variedad de razones, un aproximado de 50 a 60 neumáticos son descartados del proceso de reencauche, siendo así que el 15% son considerados como Neumáticos Fuera de Uso y son apilados en un almacén hasta ser desechados por la empresa.

**b.-** Tras la entrevista telefónica y la documentación emitida por correo electrónico, se constató que el neumático con mayores dimensiones que se procesa en la planta corresponde al neumático con la siguiente nomenclatura “445/65R22.5” tomando como datos de relevancia el ancho de 472mm, el diámetro de 1174mm y el peso de 101.32kg.

**c.-** Posterior a la revisión bibliográfica, guiado por recomendaciones de expertos y fabricantes de trituradoras, se procedió con el cálculo mecánico y modelado 3D de componentes principales y sistemas funcionales para la concepción de la planta procesadora de NFU, partiendo de la toma de velocidades de rotación de cuchillas de la primera trituradora de 25rev/min, y de 30rev/min para la segunda, siendo la primera condicionada para permitir el paso de trozos de caucho que no superen los 10cm y la segunda con un sistema de criba de 2mm de perforación, obteniendo como producto final polvo de caucho. El proceso de cálculo nos lleva a la conclusión de que las medidas tomadas superar por mucho las expectativas de diseño, contando en ambos casos con ejes de vida infinita para la fatiga a la que serán sometida ( $>10^6$  ciclos), y factores de seguridad de 19.22 y 126.4 respectivamente, constatando así que se trabaja con sistemas sobredimensionados puesto que en el proceso de trituración la diferencia de los materiales que se procesan juegan un rol determinante y se justifica la sobredimensión a fin de evitar fallos súbitos por atascamiento del equipo. El resultado final de planta, teniendo en cuenta sistemas de transporte de material, separación de fibras metálicas y textiles ocupa un área de 18m x 12.5m para una planta con una capacidad de procesamiento de 4Tn/h y una potencia instalada de 86.8 kW.

**d.-** El modelado 3D de los sistemas principales se llevó a cabo con el software de ingeniería SolidWorks en su versión 2018, permitiendo así dimensionar cada equipo de trituración y demás sistemas complementarios de la planta, siendo antecedido en primera



instancia por la simulación de los elementos más críticos como son los ejes de cuchillas, generado datos de esfuerzos resultantes, desplazamientos, detalle de fuerzas cortantes y momento flector.

**e.-** Posicionada la planta en el software de ingeniería y modelando los sistemas principales, se resolvió la elaboración de planos a detalle, que permite dar un vistazo de instalación y dimensiones óptimas para la colocación de la planta, concluyendo con la generación de un metrado eficiente de materiales para la fabricación y selección de equipos industriales.

**f.-** Es así que se elaboró con ayuda del metrado estructural de los equipos en SolidWorks, un aproximado de coste de la planta, llegando al monto de \$149733.80 (dólares americanos), siendo estos precios rescatados de expertos en fabricación de proyectos de metalmecánica y valores referenciales ubicados en páginas comercializadoras.

## **4.2 Recomendaciones:**

**a.-** Pensando en una futura instalación se recomienda realizar una visita con mayor formalidad a la empresa beneficiaria con la finalidad de determinar áreas óptimas y capacidad energética disponible para la instalación de la planta procesadora de caucho.

**b.-** La presente investigación por limitantes temporales toma los apartados principales de la planta como objeto de estudio (trituradoras), dejando de lado los sistemas complementarios, es así que se recomienda profundizar en dichos sistemas en futuras investigaciones relacionadas.

**c.-** Se recomienda el diseño de un tablero de control principal, utilizando sistemas de PLC, contando también con medidas de contingencia ante atascamientos, revolución invertida de cuchillas para limpieza y paradas de emergencia de la planta.

## REFERENCIAS

- ACEROS ESPECIALES BÖHLER. (2017). *MANUAL DE ACEROS ESPECIALES BÖHLER*. Buenos Aires: Centro industrial Garín.
- Arenas, A., Maya, A., Caballero, I., Domínguez, J. M., & Píriz, V. (2007). *PLANTA DE RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)*. Badajoz: IV Edición.
- Baus, D. E. (2020). *Neumáticos fuera de uso en pequeños y medianos municipios*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- Bellas García, R. (Mayo de 2012). *Formulación y Caracterización de Materiales Compuestos Integrados por una Matriz de Caucho*. Coruña.
- Brown. (2006). *Ensayo de Resistencia al Desgarro de Neumáticos*.
- Bustamante. (2017).
- Cádenas Reyes, K. (2020). *Llantas en desuso, enemigas del planeta*.
- Cajimilla. (2012).
- Cajimilla Vasquez, V., & Zuloeta Carrasco, E. (2012). *Diseño de una línea recicladora de neumáticos desde una medida r12 a r22.5 con capacidad de 9.5 tn/ día para la separación de sus componentes en el departamento de Lambayeque 2012*. Lambayeque, Perú.
- Camós, J. (Septiembre de 2015). *Circula Seguro*.
- Campaña, C. (2015). *Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores*. Ecuador.
- Cantanhede, & Monge. (2002).
- Castillo Magaña, J. A., Cercado Gómez, E. G., & Martínez Chew, J. (2015). *Diseño del eje del cortador y selección de los componentes de la trituradora de caucho*. Azcapotzalco: Instituto Politécnico Nacional.
- Cátedra de Cultura Científica*. (2017).
- Céspedes, J. (Junio de 2014). *Investigación experimental de la Combustión y Gasificación de Neumáticos Fuera de Uso*. Chile.
- Cometel*. (2021).
- Crsta*. (2021).
- Dassault System. (01 de Mayo de 2021). *SolidWorks*. Obtenido de <https://www.solidworks.com/es>

- Delgado, A. (19 de Mayo de 2019). *Ministerio del Interior España*.
- Díaz Ávila. (2017). *Diseño Paramétrico de una Trituradora de Caucho*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
- Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M. T. (2014). *Disposición de Planta*. Lima: Universidad de Lima.
- Echeverri Londoño, C. A. (2006). *Diseño óptimo de ciclones*. Medellín, Colombia: Revistas Ingeniería.
- ECO Green. (2021).
- ECO Green. (2021). Obtenido de <https://ecogreenequipment.com/>
- El Comercio. (2018).
- EQUIPMENT, E. G. (s.f.). *ESPECIALISTAS EN LA FABRICCIÓN DE LA TRITURADORA DE LLANTA*.
- Especialistas en la Fabricación de Trituradora de Llanta. (2018). *ECO Green Equipment*.
- (2021). *Filtro de mangas*. Emison.
- Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental. (2018).
- Guerrero Esparza, M. (2017). *Gestores de Residuos*.
- Hernández. (2013).
- Herrero del Cura, S. (2016). *Influencia de la dosificación y granulometría del caucho de neumáticos fuera de uso*. Madrid.
- Hill. (1986). *Cuchillas desmontables de ejes rotativos*.
- Holderbank. (1997). *Combustibles Alternativos*.
- IBERmaq. (2021). Obtenido de <http://www.ibermaq.es/producto/separadores-ciclonicos/>
- Iresiduo. (09 de Enero de 2020). Obtenido de <https://iresiduo.com/noticias/espana/tnu/20/01/09/es-posible-construir-rompeolas-verticales-partir-neumaticos-usados>
- Jaguar Equipamentos. (2021).
- La Comunidad del Taller. (5 de Junio de 2019). Obtenido de *Tratamiento Neumáticos Usados*.
- La Cooperación Suiza en Perú y los Andes. (2019).
- López, F. (s.f.). *Laboratorio de Innovación y Reciclado de materiales del centro nacional de investigaciones metalúrgicas*.

- Maria Jose. (2021). *Reciclado de neumaticos*.
- Martínez. (2005).
- Mendez Peñaloza, C. V., & Solano Arias, F. V. (2010). *Diseño de triturador de neumaticos usados; capacidad 1Tn/h*. Cuenca: Univeridad Politécnica Salesiana.
- Meprosa*. (2021).
- Ministerio del Ambiente. (2017).
- Ministerio del Ambiente*. (2021).
- (2020). *Molienda de caucho ambiental frente a criogénica*. Eco Green.
- Neurtek*. (2021).
- Orío Hernández, A. (2015). *Introducción Tratamientos Térmicos Pir Gas*.
- Palacios Villa, F. M. (2014). : *Diseño de un reductor de velocidad para una trituradora de neumáticos de 15 CV*. Jaén: Universidad de Jaén.
- Piñheiro, & Jhair. (2015).
- (2021). *Pirólisis de neumáticos fuera de uso*. Colombia: Silkymia Colombia s.a.s - Patentes y vigilancia Tecnológica III.
- Plan de Manejo de Residuos Sólidos - Reque*. (2016).
- PrevenConsejos, Seguridad Vial*. (Mayo de 2021).
- Ramos Quispe, G. (2018). *Diseño de una trituradora de neumáticos para reciclado y comercialización de migas de caucho*. Arequipa, Perú: Universidad Continental.
- Ramos Quispe, G. R. (2019). *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: Universidad Continental.
- Relino*. (s.f.). Obtenido de <http://www.relino.com/>
- Rodriguez Alloza, A. M. (2016). *Fabricación a menor temperatura de mezclas asfálticas que contienen polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso*. Madrid, España: UPM.
- Rubber Manufacturers Association*. (2016).
- Ryson*. (2021).
- SEMARNAT. (2009). *Secretaria de medio ambiente*.
- Stalin Fabricio, M. F. (2021). *MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA LA OBTENCIÓN DE GRANULOMETRÍA FINA*. Mueses: Universidad Técnica del

Norte.

Swaneck. (2011).

Tirel, K. (2017). Ingeniería de perfil de modernas plantas para reciclaje de neumáticos fuera de uso. Chile.

Trembley, J. (2010). *Proceso de molienda criogénica*. Bogotá, Colombia.

Turmero Astros, I. J. (2021). *Evaluación técnica de filtro de mangas*.

Ubidia Pinedo, L. E. (2019). Diseño de pavimento flexible con la utilización de polvo de caucho reciclado para minimizar la generación de fiduras del JR. Jorge Chavez CDRA. 01-09 ciudad de Tarapoto San Martin. Perú.

*Universidad estatal de San Diego*. (s.f.). 2009.

Vásconez, V. (2020). Diseño de una máquina trituradora para la obtención de partículas de caucho a partir de NFU pre cortados. Ecuador.

Veintimilla Vera, A. G. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE UN DISEÑO MECÁNICO PARA TRITURAR NEUMÁTICOS RECICLABLES*. GUAYAQUIL: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

*Xinhai*. (2021).

## ANEXOS

*Anexo 1. Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú.*



### **CÓDIGO DE ETICA DEL CIP**

APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS  
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999  
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999

**Fuente:** (cip-trujillo.org, 1999).


*Anexo 2. Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán.*



**Fuente:** (Código de ética de investigación USS, 2019).



Anexo 3. Autorización de Recojo de Información.




**AUTORIZACIÓN PARA EL RECOJO DE INFORMACIÓN**

Chiclayo 18 de mayo de 2021


Quien suscribe:  
**CARLOS EDUARDO RUBINA IGLESIAS**  
JEFE DE PLANTA  
Reencauchadora Americana S.A.C

**AUTORIZA:** Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado: **DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO PARA LA PRODUCCIÓN DE POLVO DE CAUCHO EN LA REENCAUCHADORA AMERICANA RELINO – CHICLAYO.**

Por el presente, el que suscribe, **Carlos Eduardo Rubina Iglesias, jefe de planta de Reencauchadora Americana S.A.C.,** autorizo al alumno **Jeynner Gleiser Mejia Vargas,** identificado con DNI: 72918187, estudiante de la escuela profesional de **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** y autor del trabajo de investigación denominado: **DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO PARA LA PRODUCCIÓN DE POLVO DE CAUCHO EN LA REENCAUCHADORA AMERICANA RELINO – CHICLAYO,** al uso de dicha información que conforma el expediente técnico, así como hojas de memorias, cálculos, entre otros como planos para efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis de **DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO PARA LA PRODUCCIÓN DE POLVO DE CAUCHO EN LA REENCAUCHADORA AMERICANA RELINO – CHICLAYO,** enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.






Av. Los Incas 125 - La Victoria  
E-mail: [ventaschiclayo@relino.com](mailto:ventaschiclayo@relino.com) / [www.relino.com.pe](http://www.relino.com.pe)  
Telf.: (074) 231052 Fax: (074) 231134 Nextel: 826\*3224 RPM: #555047



**Fuente:** Empresa Reencauchadora Americana Relino.

Anexo 4. Encuesta vía Correo Electrónico.

 **Carlos E. Rubina Igle...** 11:02 a. m.    
para mí, ventaschiclayo ▾

\*¿Cantidad de neumáticos que procesan (por día, semana, mes) en promedio?  
400 llantas al mes en promedio

\*¿Cantidad de neumáticos descartados que no entran al proceso de reencauchamiento, cantidad y porcentaje?  
60 llantas rechazadas, alrededor de 50 son devueltas los clientes

\*¿Tipos y tamaños de neumáticos que procesan?  
Llantas pequeñas mas comunes: 750-16, 825-16  
Llantas grandes mas comunes: 10-20, 12-20, 12R20, 12R24, 11R22.5, 12R22.5, 295/80R22.5, 315/80R22.5, 425/60R22.5 y 445/60R22.5

\*¿Área de planta total, área libre que cuentan? (Información básica para proyectar dimensionamiento de equipos  
Area de planta: 902 m<sup>2</sup>, almacen y otras areas 1200 m<sup>2</sup>

**Fuente:** Empresa Reencauchadora Americana Relino.

## Anexo 5. Normativa ASTM D 4-22.



Designación: D 422 - 63 (revisada en 2002)

### Método de prueba estándar para el análisis de tamaño de partículas de Suelos

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija D 422, el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. A espaldas superíndice (m) indica un cambio editorial desde la última revisión o re-aprobación.

#### 1 Alcance

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas en los suelos. La distribución de tamaños de partícula mayor que 75  $\mu$ m (retenido en el tamiz No. 200) se determina por tamizado, mientras que la distribución de tamaños de partícula menor que 75  $\mu$ m es determinada por un procedimiento de sedimentación, utilizando un hidrómetro para asegurar los datos necesarios (Nota 1 y Nota 2). **Nota:** Los métodos según el método 1-La separación puede hacerse sobre la No. 4 (4,75 mm), No. 40 (425  $\mu$ m), No. 200 (75  $\mu$ m) tamiz en lugar de la No. 10. Para cualquier tamiz utilizado, el tamaño se indica en el informe. **Nota:** Los métodos según el método 2 de dos tipos de dispositivos de dispersión: (

f) un alto-velocidad de agitación mecánica, y (g) 2) de dispersión de aire. Investigaciones extensas indican que los dispositivos de aire de dispersión producen una dispersión más positiva de suelos de plástico por debajo del tamaño 20- $\mu$ m y apreciablemente menos degradación en todos los tamaños cuando se utiliza con suelos arenosos. Debido a las ventajas fritas de que favorecen la dispersión del aire, se recomienda su uso. Los resultados de los dos tipos de dispositivos difieren en magnitud, dependiendo del tipo de suelo, dando lugar a marcadas diferencias en la distribución de tamaño de partícula, especialmente para los tamaños más finos que 20  $\mu$ m.

#### 2. Documentos de referencia

##### 2.1 Normas ASTM:

D 421 Práctica para la preparación en seco de muestras de suelo para el análisis de tamaño de partícula y determinación de las constantes de suelos

E 11 Especificación de tela metálica tamices para propósitos de prueba

E 100 Especificación para ASTM Densímetros

#### 3. Aparato

##### 3.1 Balanzas - A equilibrar sensible a 0,01 g para el pesaje

el material que pasa un No. 10 (2,00 mm) de tamiz, y un equilibrio sensible a 0,1% de la masa de la muestra a ser pesado para pesar el material retenido en un tamiz No. 10.

<sup>1</sup> Este método de ensayo se encuentra bajo la jurisdicción del Comité ASTM D-18 de Suelos y Rocas y es responsabilidad directa del Subcomité D18.03 sobre la textura, plasticidad y características de densidad de los suelos.

Edición actual aprobada el 10 de noviembre de 2002. Publicado en marzo 2003 Originalmente publicado en 1935. Última edición anterior aprobada en 1998 como D 422-63 (1998).

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards

, Vol. 04.08.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards

, Vol. 14.02.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards

, Vol. 14.03.

##### 3.2 Aparato de agitación aparato A o B pueden ser usado.

3.2.1 Aparato A se compondrá de un accionamiento mecánico dispositivo en el que un motor eléctrico montado adecuadamente hace girar un eje vertical a una velocidad de no menos de 10 000 rpm sin carga se agita. El eje debe estar equipado con una paleta de agitación reemplazable hecha de metal, plástico o caucho duro, como se muestra en la Fig. 1.

1. El eje deberá ser de una longitud tal que la paleta de agitación operará no menos de 1  $\frac{1}{8}$  in. (19,0 mm) ni mayor de 1  $\frac{1}{2}$  in. (38,1 mm) por encima del fondo de la taza de dispersión. Una taza de dispersión especial que cumple cualquiera de los diseños que se muestran en la Fig. 2 se facilitará a contener la muestra mientras se está dispersa.

##### 3.2.2 Aparato B consistirá en una taza de dispersión de chorro de aire

(Nota 3) conforme a los detalles generales que se muestran en la Fig. 3 (Nota 4 y Nota 5). **Nota:** La cantidad de aire requerido por una taza de dispersión de chorro de aire es del orden de 2 pies

<sup>5</sup> min; algunos compresores de aire pequeños no son capaces de

el suministro de aire suficiente para operar una taza. **Nota:** Otro dispositivo de dispersión de tipo de aire, conocido como un tubo de dispersión, desarrollada por Chu y Davidson en el Iowa State College, ha demostrado dar resultados equivalentes a los asegurados por las copas de dispersión de chorro de aire. Cuando se utiliza, el remojado de la muestra se puede hacer en el cilindro de sedimentación, eliminando así la necesidad de transferencia de la suspensión. Cuando se utiliza el tubo de aire-dispersión, ésta se así se indica en el informe. **Nota:** Agua se puede condensar en las líneas de aire cuando no está en uso. Esta agua debe ser eliminado, ya sea mediante el uso de una trampa de agua en la línea de aire, o soplando el agua fuera de la línea antes de usar cualquier del aire para los propósitos de dispersión.

##### 3.3 Hidrómetro

- Un hidrómetro ASTM, se graduó para leer en cualquiera especificación de gravedad específica de la suspensión o gramos por litro de suspensión, conforme a los requisitos para hidrómetros 151h o 152H en Especificaciones E 100. Las dimensiones de ambos hidrómetros están siendo la misma, la escala el único elemento de la diferencia.



##### 3.4 Cilindro de sedimentación

- cilindro de vidrio esencialmente 18 pulg. (457 mm) de altura y 2  $\frac{1}{8}$  in. (63,5 mm) de diámetro, y

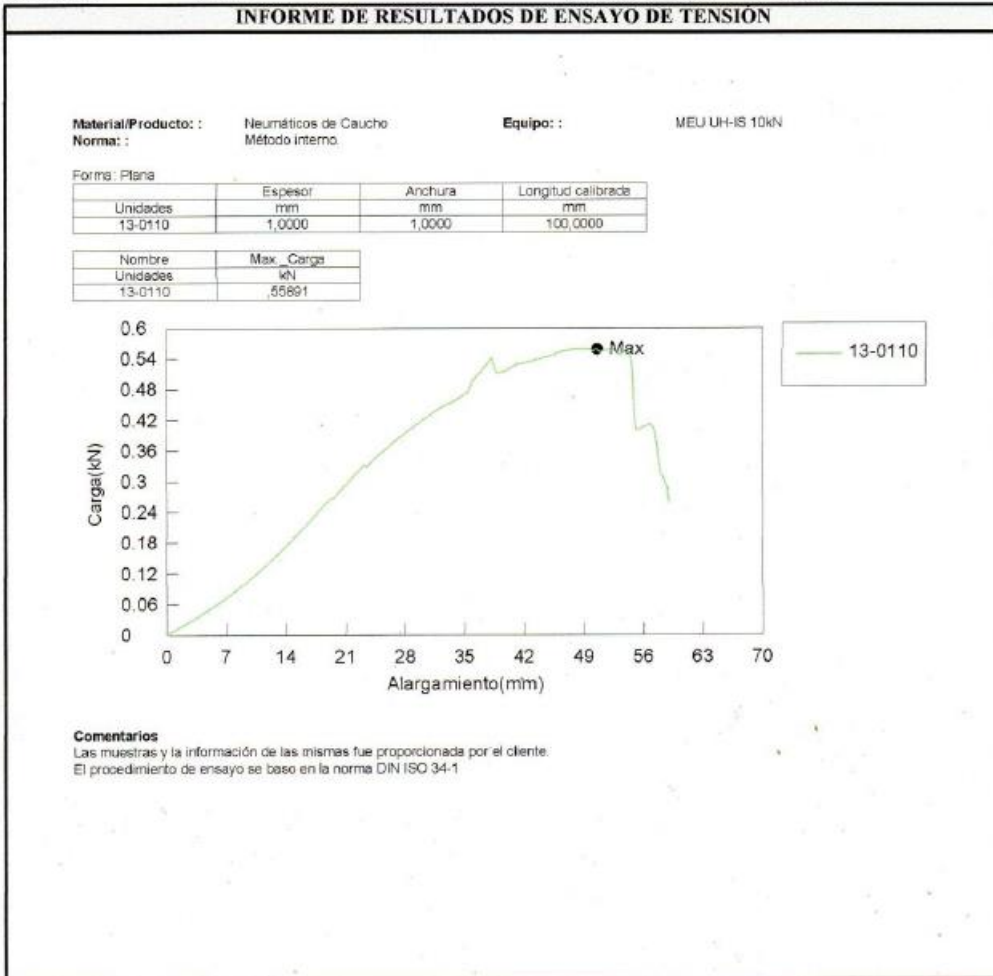
<sup>6</sup> dibujos detallados de trabajo para esta copa están disponibles a un costo nominal de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. Solicitar adjunto N° ADJ0422.

Fuentes: Estándares Americanos.

Anexo 6. Ensayo de Tensión de Neumáticos de Caucho.

Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales <b>LEMAT</b>		<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b>	 Edición: 4
---	---	---	---

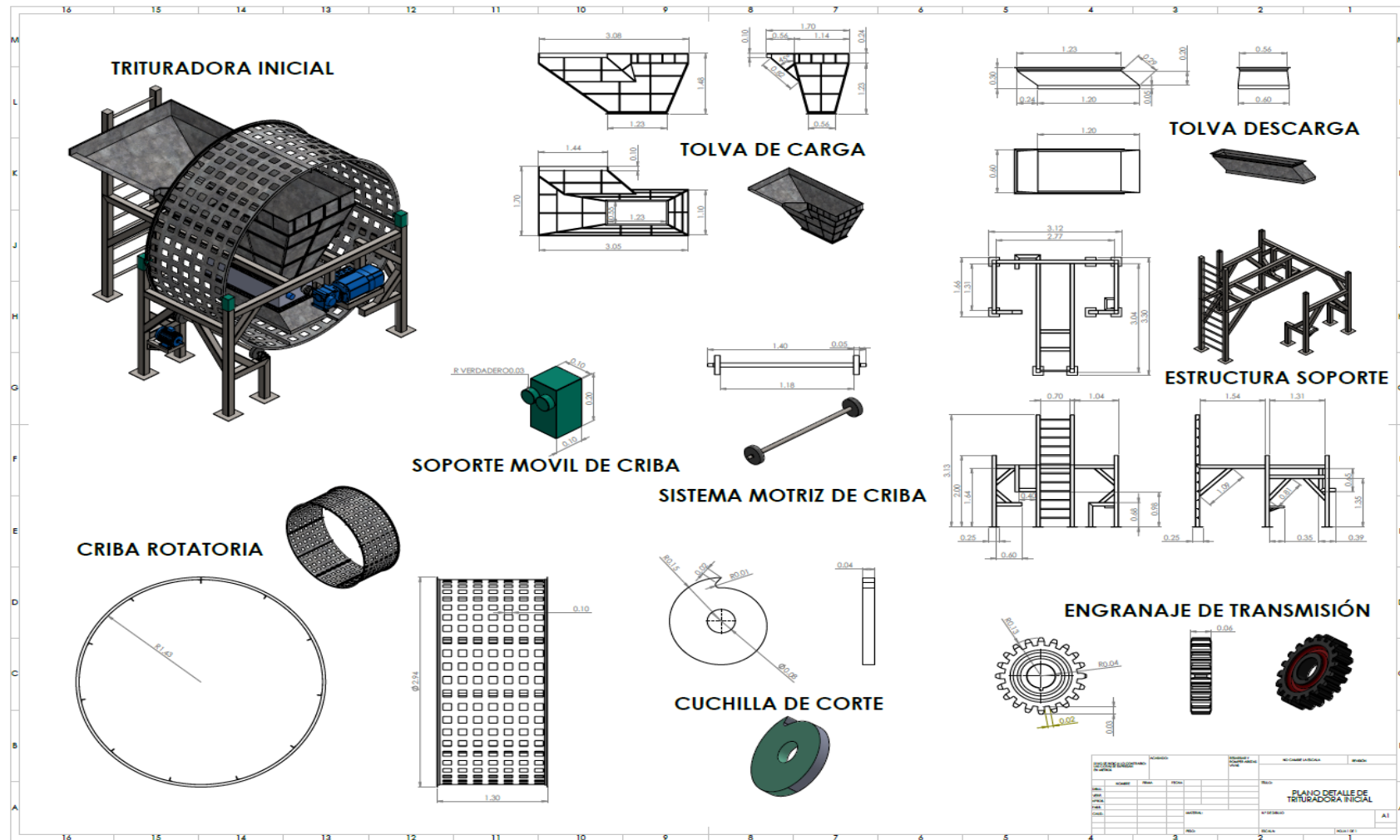
Hoja: 4 de 4      Fecha de emisión: 15/02/2013  
 Nº Informe: 13-061      Número de Orden: OT-031-13



 Ing. Carlos Parra M. Director Técnico		 Ing. Rodrigo Peruchachi B. Director del Laboratorio
<b>LEMAT</b> Laboratorio de Ensayos Metrologicos y de Materiales		

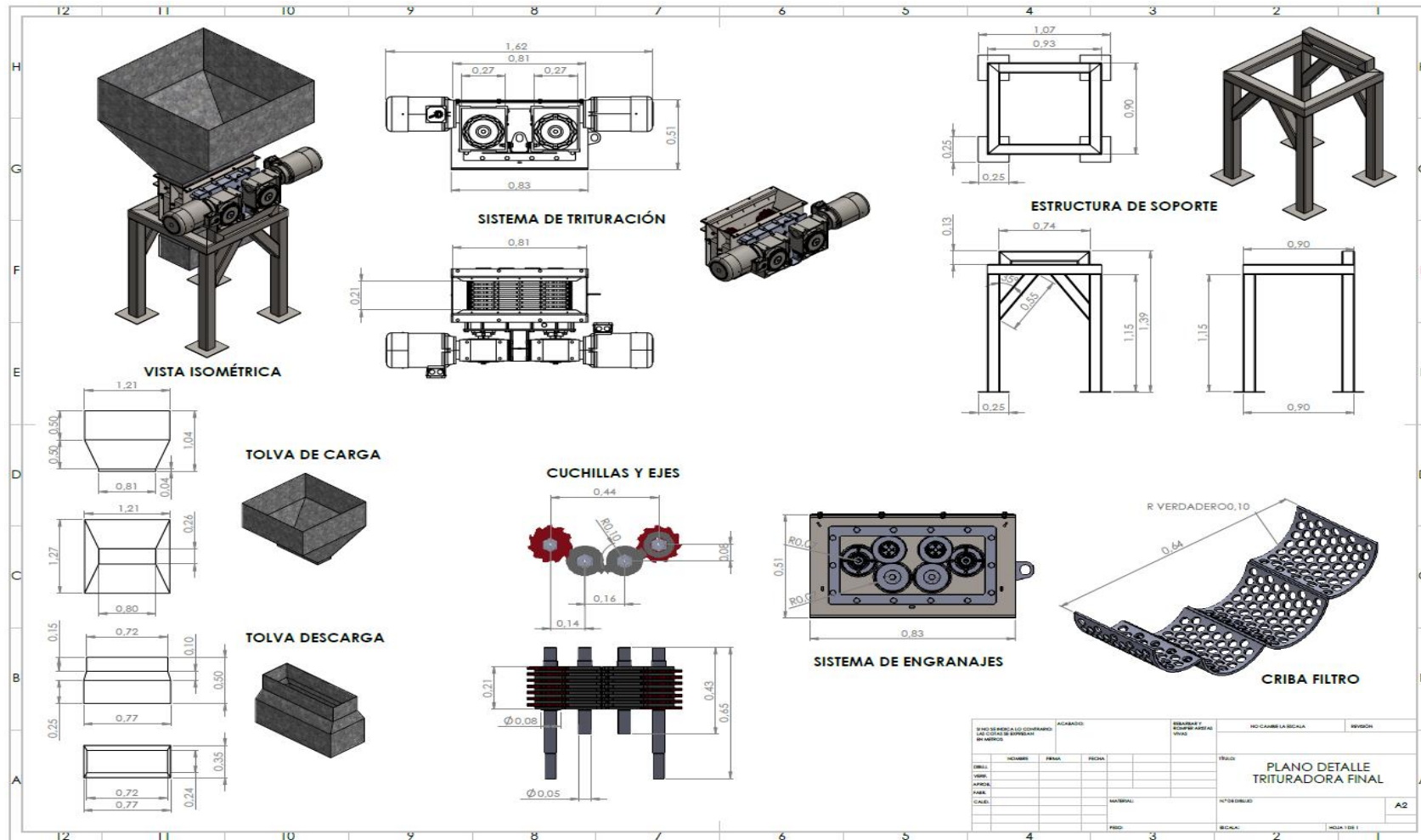
**Fuente:** Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales – LEMAT.

**Anexo 7. Planos de Detalle Trituradora 01.**



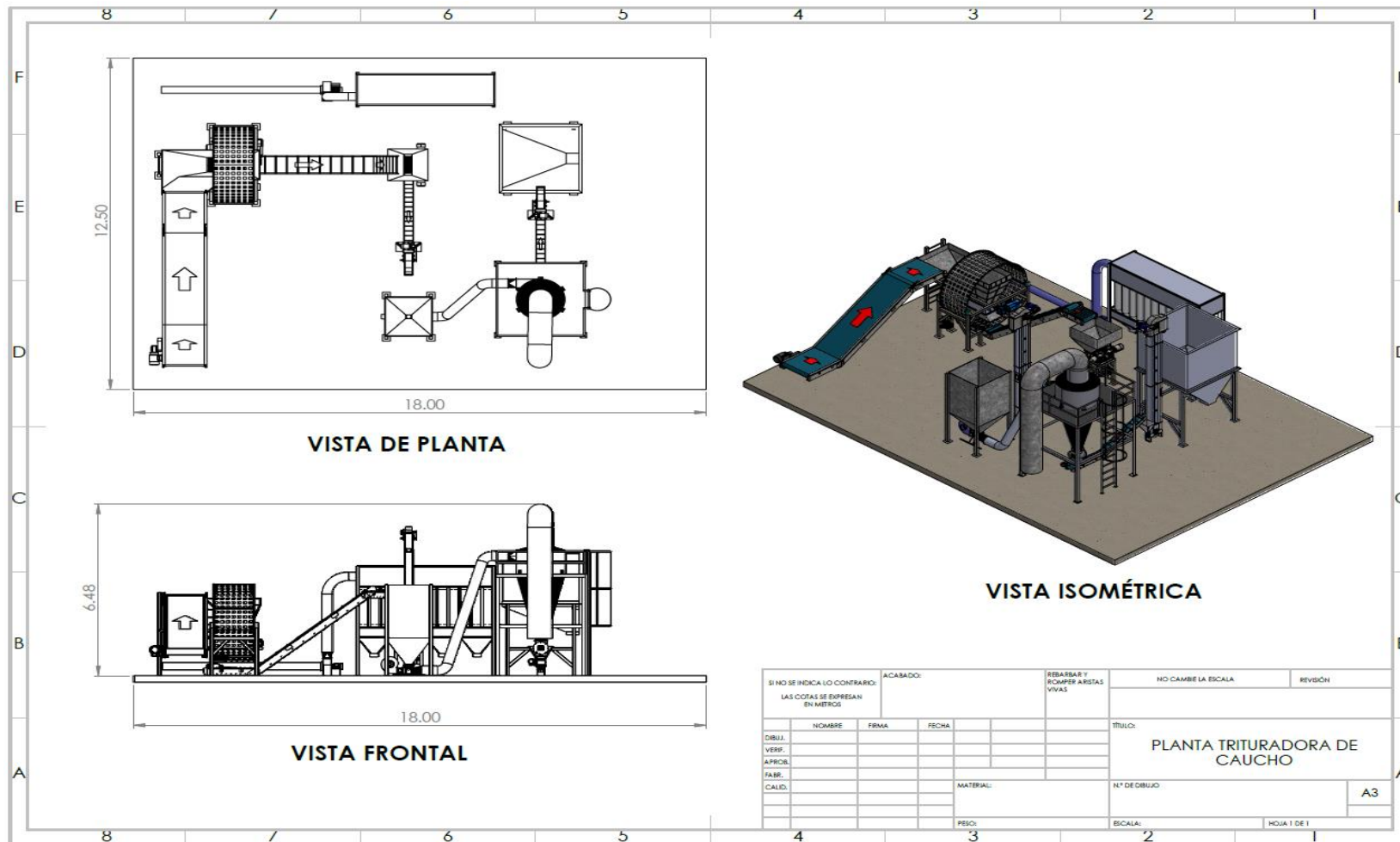
**Fuente:** Elaboración Propia.

**Anexo 8. Planos de Detalle Trituradora 02.**



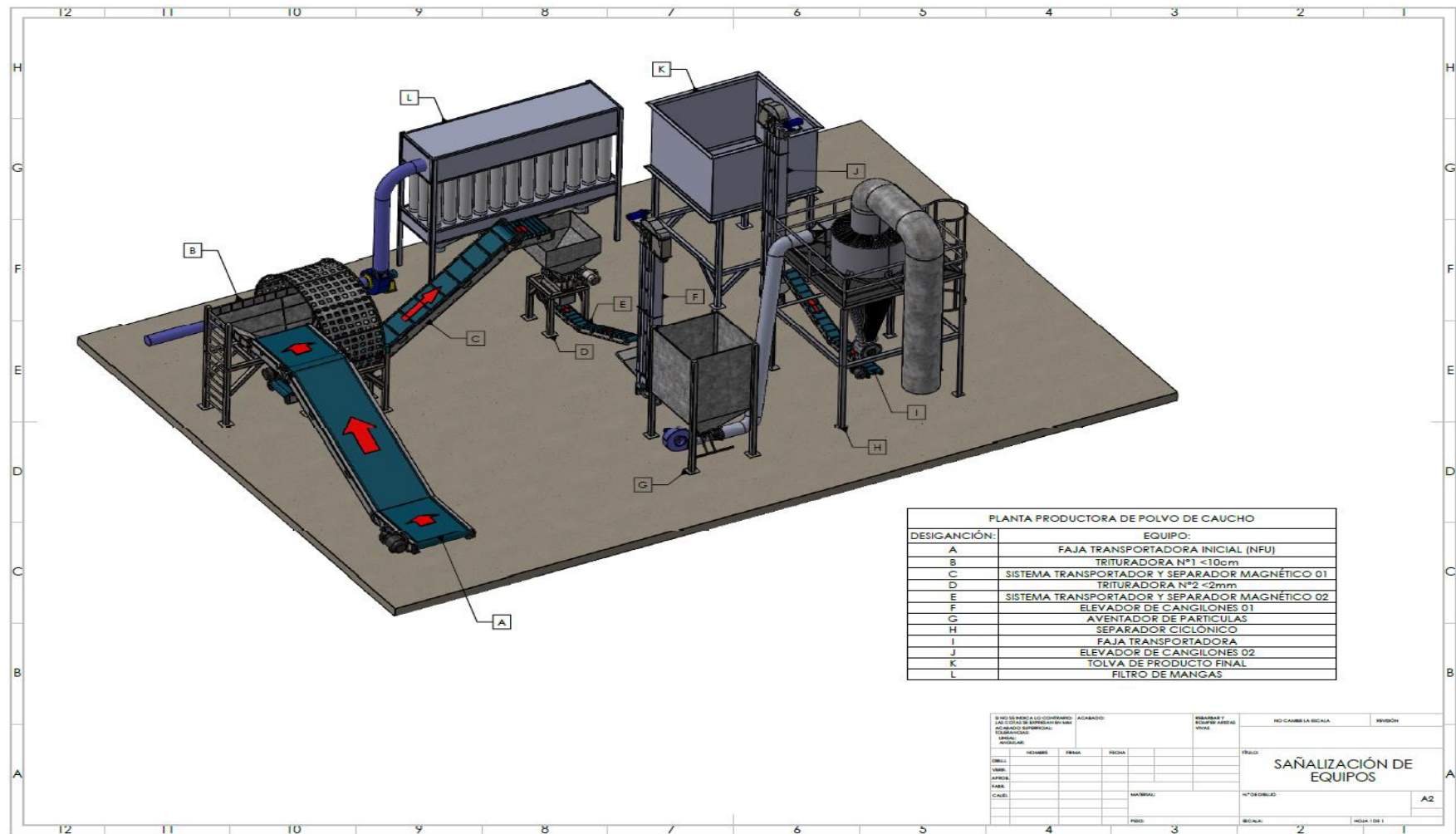
**Fuente:** Elaboración Propia.

**Anexo 9. Plano de Distribución de Planta.**



**Fuente:** Elaboración Propia.

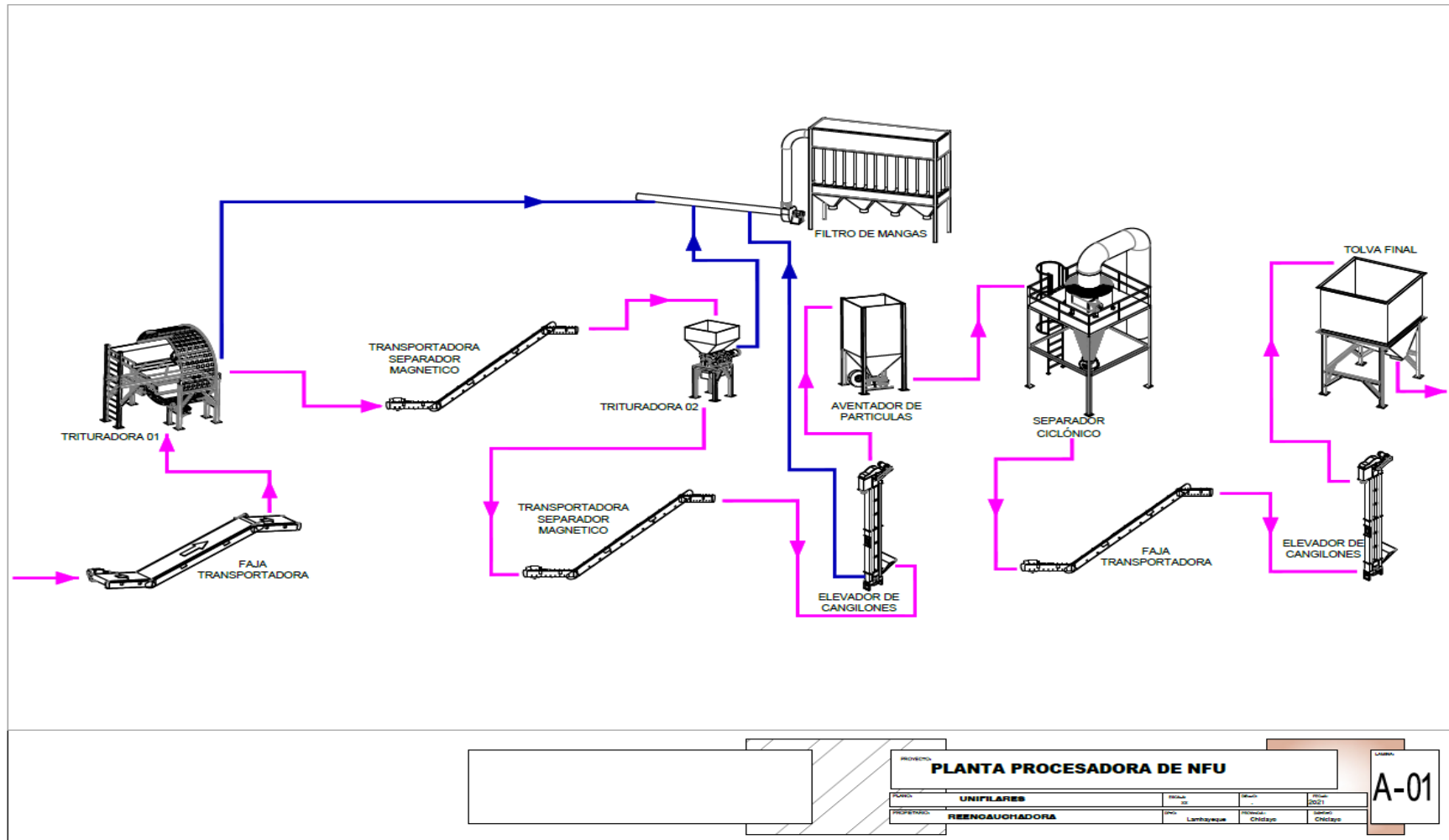
**Anexo 10. Plano de Planta 3D.**



**Fuente:** Elaboración Propia.



**Anexo 11. Diagrama Unifilar de Planta.**



Fuente: Elaboración Propia.