



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PULVERIZADORA DE NEUMÁTICOS  
FUERA DE USO”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniería Electromecánica.

**AUTORES:**

Quintana Reyes Javier Alejandro

Rodríguez Sacón José Belarmino

**TUTOR:**

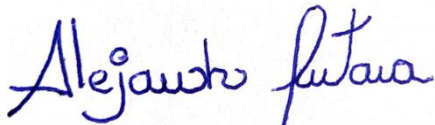
PhD. Yoandrys Morales Tamayo

**LA MANÁ-ECUADOR  
MARZO 2021**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Quintana Reyes Javier Alejandro, con C.I 1205997545 y Rodríguez Sacón José Belarmino, con C.I. 1205285180, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PULVERIZADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO”, siendo el PhD. Yoandrys Morales Tamayo. tutor del presente trabajo; y eximamos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Quintana Reyes Javier Alejandro  
C.I: 1205997545



Rodríguez Sacón José Belarmino  
C.I: 1205285180

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PULVERIZADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO” de Quintana Reyes Javier Alejandro, con C.I. 1205997545 y Rodríguez Sacón José Belarmino, con C.I. 1205285180, de la carrera Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, marzo 2021



PhD. Yoandrys Morales Tamayo  
C.I: 175695879-7  
**TUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, las postulantes: Quintana Reyes Javier Alejandro, con C.I: 1205997545 y Rodríguez Sacón José Belarmino, con C.I.:1205285180, con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PULVERIZADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, marzo 2021

Para constancia firman:



M.Sc. Marioxy Janeth Morales Torres

CI: 1757728926

**LECTOR 1(PRESIDENTE)**



M.Sc. Joao Lázaro Barzaga Quesada

CI: 1757025406

**LECTOR 2**



Firmado electrónicamente por:

**NELSON JHONATAN**

**VILLARROEL HERREA**

M.Sc. Nelson Jhonatan Villarroel Herrera

CI: 0502753254

**LECTOR 3 (SECRETARIO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, carrera Ing. Electromecánica, que nos permitieron formarnos como profesionales durante estos 5 años.*

*En primera instancia agradecer a nuestro Tutor de tesis por su valiosa orientación para la culminación de nuestro trabajo de investigación y demás docentes quienes formaron parte de nuestra preparación académica, quienes se han esmerado por impartir sus conocimientos.*

*A todas las personas quienes de alguna manera fueron participes de nuestra investigación con la cual se pudo concluir exitosamente.*

**Alejandro**

**José**

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar este trabajo de grado a Dios y a mis Abuelitos, Alejandro & Elena, que han sido base de mi formación que han aportado grandes cosas en mi vida, mis padres que me enseñaron a enfrentar la gran tarea de encarar en la sociedad. A mi novia por su apoyo y amor incondicional.*

*Les agradezco por todo, sin ustedes no fuera realidad este anhelo tan deseado.*

**Alejandro**

*En primer lugar, doy gracias a mi Dios y a mis padres por haberme dado la fuerza necesaria para poder cumplir cada meta y ser ese pilar fundamental que necesitaba para vencer cada obstáculo que se opuso en mi camino. Gracias a mis padres por sus consejos que de una u otra manera supieron guiarme por el camino del bien, dedico a mis hermanos, los cuales fueron ese ejemplo de lucha y constancia para seguir y forjar cada paso con total seguridad, brindándome ese apoyo incondicional, a mis amigos que siempre me dieron esa mano solidaria y aquellos consejos lleno de vida para no decaer ante cualquier adversidad....*

**José**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**Título:** “Implementación de una máquina pulverizadora de neumáticos fuera de uso”

**Autores:**

Quintana Reyes Javier Alejandro

Rodríguez Sacón José Belarmino

### RESUMEN

El presente proyecto de investigación se basa en la “Implementación de una máquina pulverizadora de neumáticos fuera de uso” empleando referencias científicas como antecedentes bibliográficos sobre pulverización de caucho, este proceso tiene diversas aplicabilidades en el campo industrial; adoquines de parques, suela de zapatos, pisos de gimnasios, cemento asfáltico, canchas sintéticas. La máquina pulverizadora se desarrolló a favor de los estudiantes de la Carrera Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, para la construcción de la máquina prototipo, se realizó el modelado del prototipo aplicando el Software SolidWorks Estudiantil el cual cumple con los parámetros de modelado y análisis y elementos finitos aplicado en los elementos de la máquina, en la construcción de las placas de impacto rotativas (Cuchillas) se utilizó acero 705 AISI 4340 que brindarán mejor calidad al momento de pulverizar el caucho triturado; 52 piezas molturadoras dentadas que estarán soldadas alrededor del cilindro pulverizador éstas ayudarán a pulverizar el caucho una vez que sea ingresado por la tolva.

**Palabras clave:** NFU (Neumáticos fuera de uso), caucho triturado, máquina, acero 705 AISI 4340, piezas molturadoras, cilindro pulverizador.

## ABSTRACT

The present research project is based on the "Implementation of a pulverizing machine for end-of-life tires" using scientific references as bibliographic background on rubber pulverization, this process has several applications in the industrial field; park pavers, shoe soles, gymnasium floors, asphalt cement, synthetic courts. The tire pulverizing machine was developed for the benefit of the students of the Electromechanical Engineering Career of the Technical University of Cotopaxi Extension La Maná, for the construction of the prototype machine, the prototype was modeled using SolidWorks software which meets the parameters of modeling and analysis of the elements, The construction of the rotary impact plates (blades) was made with 705 AISI 4340 steel, which will provide better quality at the moment of pulverizing the crushed rubber; 52 toothed grinding parts that will be welded around the pulverizing cylinder will help pulverize the rubber once it enters the hopper.

**Keywords:** ELT (end-of-life tires), shredded rubber, machine, steel 705 AISI 4340, grinding parts, pulverizing cylinder.



## **AVAL CENTRO DE IDIOMAS**

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al idioma Inglés presentado por los estudiantes Egresados de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. Carrera Ingeniería Electromecánica; Quintana Reyes Javier Alejandro y Rodríguez Sacón José Belarmino, con el título de proyecto de “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PULVERIZADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

La Maná, marzo del 2021

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sebastián Amores', written over a light blue grid background.

Mg. Sebastián Ramón Amores Mg.

C.I: 050301668-5

**DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS**

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	iv
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
AVAL CENTRO DE IDIOMAS .....	ix
ÍNDICE GENERAL .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
5.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
6. OBJETIVOS: .....	6
6.1. General.....	6
6.2. Específicos .....	6
7. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
7.1. ANTECEDENTES .....	7
7.2. CAUCHO.....	8
7.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELASTÓMEROS .....	9
7.3.1. Dureza.....	9
7.3.2. Compresión.....	9
7.3.3. Resiliencia elástica.....	9
7.3.4. Fluencia.....	10
7.3.5. Histéresis.....	10
7.3.6. Fatiga.....	10
7.3.7. Histéresis.....	10
7.4. NEUMÁTICO.....	10
7.5. MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS NFU .....	11
7.5.1. REUTILIZACIÓN .....	11
7.5.2. REENCAUCHE.....	11
7.5.3. RECICLAJE .....	11
7.5.4. TERMÓLISIS .....	11
7.6. VALORIZACIÓN MATERIAL Y ENERGÉTICA DE LOS NFU .....	12

7.6.1.	Valorización material.....	12
7.6.2.	Valorización energética.....	12
7.6.3.	Recauchutado.....	12
7.6.4.	Reciclaje directo de materiales .....	12
7.6.5.	El negro de carbono .....	13
7.6.6.	El polvo de neumático,.....	13
7.6.7.	Gránulo de neumático .....	13
7.7.	TRITURACIÓN MECÁNICA .....	13
7.8.	PARTES Y MATERIALES QUE COMPONEN LAS LLANTAS .....	15
7.9.	MATERIALES DE LAS LLANTAS .....	16
7.10.	NEGRO DE CARBONO .....	16
7.11.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL NEUMÁTICO .....	17
7.12.	GENERALIDADES DE LAS LLANTAS .....	17
7.13.	DESCRIPCIÓN DE LOS NEUMÁTICOS .....	18
7.14.	TIPOS DE NEUMÁTICOS .....	18
7.14.1.	POR SU CONSTRUCCIÓN.....	18
7.15.	EL PARQUE AUTOMOTOR .....	20
7.16.	PROBLEMÁTICA AMBIENTAL .....	20
7.17.	GENERACIÓN DE RESIDUOS DE LAS LLANTAS EN EL ECUADOR .....	21
7.18.	MÉTODOS DE PULVERIZACIÓN DE CAUCHO .....	21
7.19.	TIPOS DE MÁQUINAS PULVERIZADORA DE CAUCHO .....	22
7.19.1.	Máquinas pulverizadores de martillos .....	22
7.19.2.	Molinos pulverizadores de discos .....	22
7.19.3.	Molinos pulverizadores de bolas.....	22
7.19.4.	Molinos pulverizadores de cuchillas.....	23
7.19.5.	Molino de rodillo .....	23
7.20.	NORMATIVAS APLICADAS PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	24
8.	MARCO METODOLÓGICO.....	25
8.1.	Tipos de investigación .....	25
8.1.1.	Investigación Documental.....	25
8.1.2.	Investigación bibliográfica.....	25
8.2.	Métodos en la investigación.....	25
8.3.	Diseño experimental .....	26
8.4.	Metodología de diseño .....	26
8.5.	Proceso que interviene en la pulverizadora de caucho.....	27
8.6.	Definición de los factores de influencia del diseño .....	28
8.6.1.	Porta cuchillas (AISI 1045).....	29
8.6.2.	Placas rotativas (AISI 4340) .....	29

8.6.3.	Diseño del cilindro pulverizador.....	30
8.6.4.	Piezas molturadoras .....	30
8.6.5.	Tapa de la pulverizadora (AISI 1020).....	31
8.6.6.	Tolva de la pulverizadora (AISI 302) .....	31
8.6.7.	Lamina de protección de la pulverizadora (AISI 302).....	32
8.6.8.	Funcionamiento del prototipo. ....	32
8.6.9.	Análisis por el Método de Elementos Finitos .....	40
8.6.9.1.	Determinación del estado tensional del árbol .....	42
8.6.9.2.	Aplicación de las condiciones de contorno.....	42
8.6.9.3.	Cálculo del momento torsor actuante.....	43
8.6.9.10.	Análisis del resultado del Método de Elementos Finitos .....	45
8.7.	PRESUPUESTO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO:.....	48
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
9.1.	CONCLUSIONES .....	49
9.2.	RECOMENDACIONES.....	50
10.	Bibliografía .....	51
11.	ANEXOS .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Beneficiarios directos de la institución.....	4
<b>Tabla 2:</b> Beneficiarios directos del Cantón La Maná.....	4
<b>Tabla 3:</b> Beneficiarios del proyecto.....	5
<b>Tabla 4:</b> Composición típica de un neumático.....	19
<b>Tabla 5:</b> Especificaciones de materiales del pulverizador de caucho .....	41
<b>Tabla 6:</b> Componentes del árbol del molino de paleta.....	42
<b>Tabla 7:</b> Características del mallado .....	44
<b>Tabla 8:</b> Presupuesto del proyecto .....	48

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Ilustración 1:</b> Propiedad de deformación de los elastómeros. ....	8
<b>Ilustración 2:</b> Caucho triturado de granulometría 0,0 – 0,8 mm .....	14
<b>Ilustración 3:</b> Caucho triturado de granulometría 0,8 – 2,5 mm .....	14
<b>Ilustración 4:</b> Caucho triturado de granulometría 2,5 – 4,0 mm .....	15
<b>Ilustración 5:</b> Partes de un neumático .....	15
<b>Ilustración 6:</b> Composición Material/Porcentaje de neumáticos (CEOE, 2007) .....	16
<b>Ilustración 7:</b> Neumáticos diagonales y radiales .....	19
<b>Ilustración 8:</b> Neumáticos autoportantes .....	19
<b>Ilustración 9:</b> Molinos pulverizadores de martillos. ....	22
<b>Ilustración 10:</b> Molinos pulverizadores de discos. ....	22
<b>Ilustración 11:</b> Molinos pulverizadores de bolas.....	23
<b>Ilustración 12:</b> Molinos pulverizadores de cuchillas. ....	23
<b>Ilustración 13:</b> Molino de rodillo .....	24
<b>Ilustración 14:</b> Máquina pulverizadora de neumático fuera de uso.....	27
<b>Ilustración 15:</b> Máquina pulverizadora de neumáticos.....	28
<b>Ilustración 16:</b> Diseño de porta cuchillas en Solidworks. ....	29
<b>Ilustración 17:</b> Diseño de placas rotativas en Solidworks.....	29
<b>Ilustración 18:</b> Diseño del cilindro pulverizador Solidworks. ....	30
<b>Ilustración 19:</b> Diseño de piezas molturadoras en Solidworks.....	30
<b>Ilustración 20:</b> Diseño (Frontal) ensamblaje del pulverizador en Solidworks. ....	31
<b>Ilustración 21:</b> Diseño de la tapa del pulverizador en Solidworks. ....	31
<b>Ilustración 22:</b> Diseño de la tolva del pulverizador en Solidworks.....	32
<b>Ilustración 23:</b> Diseño de la lámina de protección de la pulverizadora en Solidworks.....	32
<b>Ilustración 24:</b> Representación Esquemática del árbol.....	38

<b>Ilustración 25:</b> Valores de las reacciones en los apoyos.....	38
<b>Ilustración 26:</b> Diagrama de fuerzas cortantes .....	38
<b>Ilustración 27:</b> Diagrama de momento flector.....	39
<b>Ilustración 28:</b> Componentes fundamentales del pulverizador de caucho .....	40
<b>Ilustración 29:</b> Modelo 3D del árbol y Componentes .....	42
<b>Ilustración 30:</b> Condiciones de contorno.....	43
<b>Ilustración 31:</b> Cargas Externas actuantes.....	44
<b>Ilustración 32:</b> Mallado del árbol .....	45
<b>Ilustración 33:</b> Zona de máxima tensión .....	45
<b>Ilustración 34:</b> Localización de los desplazamiento.....	46
<b>Ilustración 35:</b> Comportamiento dinámico.....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Componentes de la pulverizadora.....	53
<b>Anexo 2.</b> Cilindro Pulverizador.....	53
<b>Anexo 3.</b> Piezas molturadoras.....	53
<b>Anexo 4.</b> Placas de impacto rotativas (Cuchillas).....	53
<b>Anexo 5.</b> Ubicación de las 52 piezas molturadoras.....	54
<b>Anexo 6.</b> Soldadura de las 52 piezas del cilindro.....	54
<b>Anexo 7.</b> Cilindro con las piezas molturadoras instaladas.....	54
<b>Anexo 8.</b> Motor trifásico de 5hp en el eje.....	54
<b>Anexo 9.</b> Ensamble de la pulverizadora de neumáticos.....	55
<b>Anexo 10.</b> Placas de impacto rotativas (Cuchillas).....	55
<b>Anexo 11.</b> Características del material empleado en el eje.....	55
<b>Anexo 12.</b> Características del cilindro.....	55
<b>Anexo 13.</b> Características del tratamiento térmico de las cuchillas.....	56
<b>Anexo 14.</b> Certificado de Urkund.....	57



## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del Proyecto**

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PULVERIZADORA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO”

**Fecha de Inicio:** 04 de noviembre del 2020

**Fecha de Finalización:** Marzo del 2021

**Lugar de ejecución:** Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

**Unidad Académica que Auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Equipo de trabajo:** PhD. Yoandrys Morales Tamayo

Quintana Reyes Javier Alejandro

Rodríguez Sacón José Belarmino

**Área de Conocimiento:** Ingeniería

Industria

Construcción

**Línea de Investigación:** Procesos Industriales

**Sub líneas de investigación:**

Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Los neumáticos son utilizados por el parque automotor mundial, pero el problema es la disposición final luego que son utilizados ya que los mismos representan un desecho sólido de dimensiones significativas, ocupando un espacio importante y reflejando una fea imagen donde se encuentren; ya que los neumáticos fuera de usos (NFU) carecen generalmente de un sitio adecuado para su disposición final.

El cantón La Maná de la provincia de Cotopaxi, es una de las ciudades con mayor población y extensión geográfica de la provincia, dedicada a la actividad ganadera, agrícola y comercial. La ciudad está dividida en parroquias, urbanas (El Carmen, Pucayacu y Guasaganda) Y rurales La Esmeraldas, San Jacinto de chipe Hamburgo, y La Tercera. Consta del Rio San Pablo que divide a la ciudad de la parroquia el Carmen donde se es visible los índices de contaminación del recurso hídrico de la afluyente del mismo con desechos sólidos como los NFU que son acumulados en pendientes, zonas aledañas de la ciudad provocando un alto impacto en el ecosistema y estimulando el crecimiento de la contaminación ambiental.

Por lo antes mencionado, es necesario resolver esta situación y la Universidad Técnica de Cotopaxi está desarrollando un proyecto el cual pretende establecer una planta recicladora de NFU; siendo necesario el diseño y construcción de las máquinas prototipos que constituirán partes del proceso mecánico para el reciclado de NFU.

La presente investigación consiste en el bosquejo, construcción e implementación de un artefacto para la pulverización de neumáticos fuera de uso triturado. La máquina se fabricará con materiales que se adapten al proyecto además de elementos eléctricos y mecánicos. Los criterios del diseño a seguir en este proyecto, en su primera instancia parten de la revisión sistemática de fuentes de información, investigaciones previas, libros, revistas, páginas web; que aporten información documental y bibliográfica al desarrollo del proyecto.

Para el diseño de la estructura y los elementos que conforma la máquina, se utiliza el Software SolidWorks Estudiantil, que permite diseñar y simular el comportamiento de los componentes de la máquina. Y finalmente se realizarán pruebas correspondientes al

correcto funcionamiento del equipo para la pulverización de los neumáticos triturados, de tal manera de darle otros usos.

Con este proyecto se pretende reducir considerablemente la cantidad de neumáticos fuera de uso, impactando positivamente en el medio ambiente, generando fuentes de empleo en el reciclado de los neumáticos y emprendimientos basados en los pequeños cauchos pulverizados cuyo uso será en canchas bajo cubierta para el empotrado del césped sintético, rodapiés, horma de zapato entre otros usos y aplicaciones en las diferentes industrias. Los beneficiarios de este proyecto son los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica y los habitantes del cantón La Maná.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El parque automotor a nivel nacional ha estado en constante crecimiento durante los últimos 20 años; incrementándose el número de producción neumáticos fuera de uso; existiendo gran dificultad para darles una disposición adecuada como desecho sólido y/o un proceso adecuado de reciclaje, convirtiéndose en un grave problema ambiental.

Las montañas de neumáticos almacenadas en los vertederos, rellenos sanitarios y hasta en terrenos baldíos, se convierten en vectores contaminantes. Este problema es más crítico en la región Costa y la región Oriental, donde se reproducen insectos portadores de enfermedades que afectan el sistema inmunitario.

La reutilización de neumáticos representa una alternativa para la creación de nuevas tecnologías que busca el desarrollo de las localidades siendo sostenibles, sustentables y amigables con el ambiente de tal manera que a su vez genere plazas de empleo para la ciudadanía mejorando así su calidad de vida.

Debido a esta situación, surgió la idea de implementar una máquina para el pulverizado de neumáticos triturados, brindando una solución al medio ambiente, abriendo la posibilidad de desarrollar tecnologías de reciclaje a partir del pulverizado de los neumáticos, logrando incursionar en este nuevo mercado con un producto reciclado para las diversas aplicaciones, y contribuir con el cambio y mejoramiento del sector productivo mediante el desarrollo de tecnologías (máquinas) realizada con mano de obra y materiales existentes en el país.

El impacto y relevancia que se puede dar con el bosquejo y construcción de este artefacto, desarrolla una nueva proyección enfocada a la protección y conservación del ecosistema, la utilidad que brinda este proyecto es aprovechar los neumáticos en desuso como componente principal para la obtención de microgramos de caucho, entre (0,01 mm a 0,05 mm) para sus posibles aplicaciones en diferentes campos.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios inmediatos de este proyecto son los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, contamos con 368 estudiantes, entre ellos 356 hombres y 12 mujeres, quienes lograrán explicar sus conocimientos obtenidos en la formación académica a través de estudios, y métodos de construcción. La población indirecta la constituyen los pobladores del Cantón La Maná, con una población total de 42.216, de los cuales 21.420 son hombres y 20.796 son mujeres, pues esto generará oportunidades de empleo, una de las cuales es la recolección de llantas, además también parte de la empresa. Especialmente utilizado para triturar neumáticos al final de su vida útil (NFU).

**Tabla 1:** Beneficiarios directos de la institución

<b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO INDIRECTOS</b>		
<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total de habitantes</b>
<b>356</b>	12	368

**Elaborado por:** Quintana & Rodríguez (2021).

**Tabla 2:** Beneficiarios directos del Cantón La Maná

<b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO INDIRECTOS</b>		
<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total de habitantes</b>
<b>21,420</b>	20,796	42,216

**Fuente:** Quintana & Rodríguez (2021).

**Tabla 3:** Beneficiarios del proyecto.

<b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO</b>		
<b>Institucionales</b>	Cantoniales	Total de habitantes
<b>368</b>	42.216	42.584

**Fuente:** Quintana & Rodríguez (2021).

## **5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, las llantas usadas tienen un gran impacto en el medio ambiente, debido a que el lugar donde está programada la recepción de las llantas no cumple con la normativa sanitaria que rige el medio ambiente. Una vez desechados tras su uso, se convierten en uno de los problemas medioambientales más graves. Por lo tanto, no es fácil quitar completamente los neumáticos viejos. Estos neumáticos se almacenan en vertederos por su forma, por lo que pueden criar insectos transmisores de enfermedades como: Aedes, clones y roedores que causan enfermedades como: malaria, maña y fiebre amarilla.

El problema se expande en los países tropicales; México, Panamá, Colombia, Venezuela, Ecuador, República Dominicana entre otros y subtropicales; São Paulo, Durban, Buenos Aires, Asunción, Porto Alegre etc. Donde proliferan insectos transmisores de enfermedades asociadas al estancamiento de aguas. Por motivos climáticos se ubica en una zona subtropical en donde se encuentra gran cantidad de neumáticos en desuso, donde estos son desechados a los botes de basura, ríos, quebradas, terrenos vacíos, donde no existe un adecuado control de la clasificación de diferentes tipos de basuras por motivo que el transporte de neumáticos no es una prioridad para el GAD. Municipal del cantón La Maná; carecen de un proceso de reciclado de neumático, por lo cual los neumáticos que se recolecta son desechados a lugares donde son quemados. Razón por la cual, como futuros Ingenieros Electromecánicos surgió la idea de construir una máquina que permita pulverizar caucho triturado obtenido de los neumáticos fuera de uso para producir un tipo de caucho molido, y este sea aprovechado para elaboración de nuevos productos.

## **5.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿La implementación de una máquina pulverizadora de neumáticos fuera de uso permitirá darle una nueva aplicación al caucho en la cotidianidad, reduciendo la contaminación ambiental?

## **6. OBJETIVOS:**

### **6.1. General**

- Implementar el prototipo de una máquina pulverizadora de neumáticos fuera de uso para su reutilización en aplicaciones industriales.

### **6.2. Específicos**

- Caracterizar las distintas máquinas pulverizadoras de NFU referidas en la bibliografía.
- Diseñar los mecanismos que conforman los elementos de la máquina pulverizadora de NFU usando el Software SolidWorks Estudiantil.
- Construir el prototipo de la máquina pulverizadora de NFU usando los materiales adecuados para su uso.

## **7. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **7.1. ANTECEDENTES**

(Peñarroya M, 2013) Hizo un estudio del efecto del tratamiento superficial mecánico del polvo de neumáticos fuera de uso NFU en las propiedades de los materiales de base de cemento. En el cual incorporo el polvo de neumáticos en materiales implantados en construcción en este caso morteros y hormigones, con el fin de reducir el porcentaje de neumáticos existentes en dicha ciudad y a su vez darle otro uso. El polvo de los neumáticos se obtuvo sometiendo los neumáticos a altas presiones de fuerza modificando sus características dándole una forma milimétrica al descomponerse mediante este tratamiento. En primera instancia se hizo una mezcla de arena caliza, cemento y partículas de caucho de 0,6 mm a 0,8 mm. Luego se fabricaron probetas prismáticas con medidas de 4 x 4 x 16 cm. De lo cual se hicieron 7 tratamientos, con dosis de 5, 10 y 15% del polvo del neumático. Como resultado del ensayo se verifico que las partículas de caucho disminuyen la resistencia del hormigo y aumenta la flexibilidad y resistencia al impacto y aislamiento térmico.

La investigación “Implementación de una máquina prototipo para separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados” aplicando el software SolidWorks donde se elaboró el prototipo, tambor magnético usando tuberías de 8 pulgadas brindando mayor calidad para la conductividad magnética para facilitar las separación del caucho triturado lo cual sea uso en pisos sintéticos e impermeables con el propósito de incluirlos en las grandes industrias de la metalúrgica, logrando un alto impacto social (Martinez&Paccha, 2020).

En la actualidad día a día se está hablando sobre las llantas fuera de uso, se ha transformado en un grave problema para el medio ambiente. Ecuador desecha cada año millones de neumáticos, solo un mínimo porcentaje es reciclado para transformarlo en otro producto, pero la gran totalidad es incinerada o acumulada en basureros al aire libre. A nivel mundial diversos países como México tiene una planta recicladora de neumáticos usados, en inicio existe una etapa de trituración que reduce el volumen de las llantas enteras a partículas más pequeñas. Colombia es otro de los países que se suma al aprovechamiento de neumáticos en desuso.

Guayaquil una de las ciudades más grandes de Ecuador hizo un estudio de factibilidad para la creación de una empresa para reciclar neumáticos para la producción de caucho modificador de asfalto en la universidad de Guayaquil. (Castro & Vera, 2015).

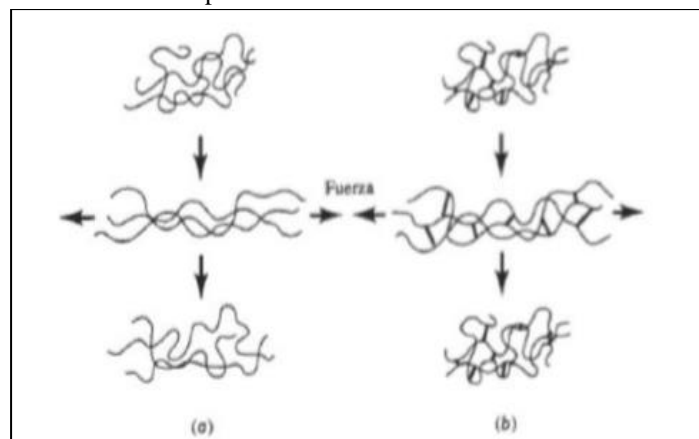
## 7.2. CAUCHO

El caucho es uno de los principales componentes de las llantas es un elastómero constituido por hidrocarburos que surgen de una sustancia lechosa segregada de la sabia de algunas plantas del género euforbiae (Cardona & Sánchez 2011).

Según (Drunker 2010) los elastómeros son un tipo de compuestos no metálicos que son provenientes de la planta *Hevea brasiliensis* que muestran un comportamiento elástico, son polímeros indefinidos que se encuentran sobre su temperatura de conversión vítrea ( $T_g$ ), de ahí esa considerable capacidad de transformación.

Los elastómeros tienen propiedades que lo caracterizan como la deformación y elasticidad tal.

**Ilustración 1:** Propiedad de deformación de los elastómeros.



**Fuente:** (Drunker. A 2010)



Según Castro el “Caucho es el látex segregado por las euforbiáceas intertropicales, entre las que se destaca la *Hevea Brasiliensis*” (Castro, 2008).

El caucho es un líquido lechoso llamado látex, que se extrae de la corteza de los árboles. Por ejemplo, la *Hevea Brasiliensis* de la familia Euphorbiaceae, originaria del Amazonas, se denomina sustancia natural o sintética, que presenta varias características como: flexibilidad, impenetrabilidad y tenacidad eléctrica.

Se pueden soldar entre sí simplemente apretando entre sí para volver a unir el caucho crudo no vulcanizado. Después de la vulcanización, pierde esta característica, pero gana mayor elasticidad y puede extenderse hasta seis veces su longitud original (Castro, 2008).

### **7.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELASTÓMEROS**

Según los autores Cardona y Sánchez (2011), las principales características de los elastómeros son las siguientes:

#### **7.3.1. Dureza**

Con la ayuda de un penetrador de resorte, la dureza de la goma blanda se mide en cualquier proporción utilizando un durómetro. Para el caucho blando, la lectura del IRHD suele ser de 30 a 50 grados; para el caucho rígido, la lectura del IRD suele ser de 60 a 80; para el caucho duro, la lectura es de 85 a 95 y para el caucho duro inflexible, la lectura es más de 98.

#### **7.3.2. Compresión**

La propiedad más importante del caucho bajo carga de compresión es el módulo de elasticidad. “Para caucho blando, el rango es de 1 a 10 MPa, y para el caucho duro, el rango es 1000 MPa. El modelo de flexibilidad depende de la calentura del elastómero, el tiempo que el caucho está a la calentura de prueba, el grado de aberración y la contextura y curado del caucho”.

#### **7.3.3. Resiliencia elástica**

Definida como la capacidad del cuerpo elástico para absorber energía elásticamente, es la energía acumulada hasta el límite elástico. La buena elasticidad del elastómero permite

que se utilice para absorber cargas de impacto. La resiliencia de los elastómeros se aproxima tres veces mayor que la del acero de alta resistencia.

#### **7.3.4. Fluencia**

La fluencia extiende al aumentar la temperatura. La carga de vibración produce más fluencia que la carga estática, y cuanto mayor es la vibración, mayor es el efecto.

#### **7.3.5. Histéresis**

Esto también se denomina fricción interna del elastómero, lo que significa que la energía mecánica se convierte en calor durante la carga y descarga. Cuanto más relajado es el polímero, menos eficaz es para absorber energía mecánica y convertirla en calor. A temperaturas elevadas, la conversión de energía mecánica en calor es menos eficiente”

#### **7.3.6. Fatiga**

Cuanto más tiempo se aplica el elastómero, se requiere menos carga estática para que el elastómero se rompa. La vida dinámica de fatiga se acorta apreciablemente por las temperaturas mayores a 40°C o menores a -7°C.

#### **7.3.7. Histéresis**

Esto también se denomina fricción interna del elastómero, lo que significa que la energía mecánica se convierte en calor durante la carga y descarga. Mientras más suave es el elastómero, falta de eficiencia para absorber energía mecánica convirtiéndola en calor. A temperaturas elevadas, la conversión de energía mecánica en calor es menos eficiente”.

### **7.4. NEUMÁTICO**

Un neumático o llanta es una parte anular compuesta principalmente de caucho. Su función principal es frotar el suelo con la fuerza necesaria para que se mueva y se detenga. Con el avance de la ciencia, también se ha mejorado el rendimiento de los neumáticos, a fin de realizar mejor estas funciones y extender su vida útil.

## **7.5. MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS NFU**

### **7.5.1. REUTILIZACIÓN**

Existen varios ejemplos en los que se puede presenciar los neumáticos fuera de uso siendo reutilizados, ya sean totalmente enteros o sus flancos y bandas, algunos de ellos son: parques infantiles, agricultura urbana, defensa de muelles o embarcaciones, elaboración de muebles para decorar jardines, rompeolas, etc., o más directamente para la elaboración de techos de casa en forma de tejado, césped artificial en canchas de uso deportivo, sistema de amortiguación de vía, RARX para generar asfalto. (Castro, 2007).

Los neumáticos usados pero enteros se pueden encontrar en pistas y arenas de alta velocidad, así como en muelles y vertederos, y se utilizan como barreras de aislamiento y amortiguadores, respectivamente.

### **7.5.2. REENCAUCHE**

Es un método que implica reemplazar la banda de rodadura de un neumático viejo mediante un proceso de raspado. Posteriormente, se coloca una nueva banda de rodadura con el aspecto original del neumático; este procedimiento permite recauchutar neumáticos de autobús y camión dos veces al año (Garzón, 2013).

### **7.5.3. RECICLAJE**

Existen diferentes técnicas que permiten eliminar las particularidades elásticas de los residuos de caucho y dotarles de propiedades plásticas como las del caucho no vulcanizado. Algunos de ellos se mencionarán a continuación:

### **7.5.4. TERMÓLISIS**

Este proceso se refiere a un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de llantas a un calor en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos, así es como aparecen las cadenas de hidrocarburos (CEOE, 2007).

## **7.6. VALORIZACIÓN MATERIAL Y ENERGÉTICA DE LOS NFU**

Para dar valor agregado a dicho producto este será reutilizado permitiendo reciclarlo y usarlo de manera adecuado sin que afecte a los ecosistemas por medio de las siguientes.

### **7.6.1. Valorización material**

Pueden destacarse las concentraciones en arrecifes de los neumáticos enteros, como aislador térmico y acústico de los neumáticos triturados, o las aplicaciones en materiales bituminosos. Los neumáticos molidos, triturados y enteros se pueden reutilizar y reciclar darles diversas aplicaciones. Mediante la aplicación de asfalto modificado en la red de carreteras, la gestión del polvo de llantas de desecho puede seguir otros posibles trayectos:

- Vía húmeda, mediante la cual se produce un ligante betún-caucho de neumático reciclado.
- Vía seca, el pulverizado de neumático usado se emplea como sustituto de una fracción de los áridos utilizados para la fabricación del asfalto.
- Vía compuesta, todavía en estudio, unifica las dos vías citadas. (Cano, Cerezo, & Urbina, 2006)

### **7.6.2. Valorización energética**

Los neumáticos se pueden utilizar enteros o pulverizados como combustible de sustitución en las concreteiras, siempre que se respeten las destrezas para la protección ambiental. También se pueden reutilizar en otros incineradores, calderas industriales y centrales térmicas. A continuación, se mencionan otros métodos de recuperación:

### **7.6.3. Recauchutado**

Si los neumáticos aún están en buenas condiciones, pueden cubrirse con una nueva superficie de rodadura.

### **7.6.4. Reciclaje directo de materiales**

Evaluar productos resultantes de llantas desechadas.

### **7.6.5. El negro de carbono**

Utilizado en la producción de caucho, pintura y carbón activado.

### **7.6.6. El polvo de neumático,**

Se utiliza en la fabricación de neumáticos nuevos, pero además en adherentes a base de líquido y recubrimientos "silenciosos".

### **7.6.7. Gránulo de neumático**

Puede usarse en la construcción de ferrocarriles y también puede reducir las emisiones de ruido. (Cano, Cerezo, & Urbina, 2006).

## **7.7. TRITURACIÓN MECÁNICA**

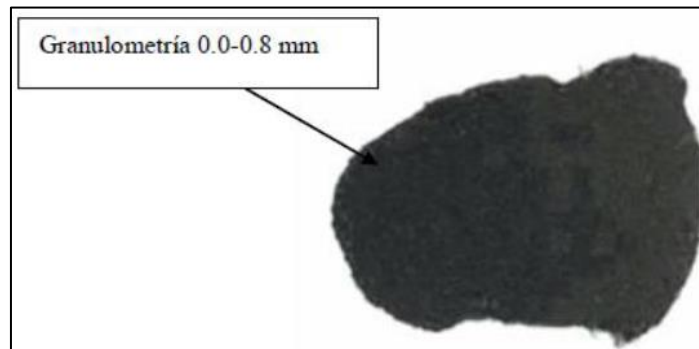
Es un proceso mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad y limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos.

El concepto incluye romper el neumático en gránulos (GCR, gránulos de caucho reciclado) y separar los componentes (acero y fibra). Algunas aplicaciones son: materiales de relleno en productos de caucho, mezclas asfálticas modificadas, superficies de atletismo y deportes, y productos moldeados. El objetivo es incrementar la calidad y consistencia del GCR, para llegar a un reciclado del material mucho más extenso.

Entre las distintas granulometrías obtenidas de este proceso de reciclaje se pueden mencionar:

El más fino va de 0.0 – 0,8 mm que se utiliza para la fabricación de mezclas asfálticas, se mezcla con el betún y se coloca en la carretera.

**Ilustración 2:** Caucho triturado de granulometría 0,0 – 0,8 mm



**Fuente:** Cuzco (2015)

También existe el grano de caucho que va de 0,8 mm a 2,5 mm se lo utiliza para el relleno de las canchas de fútbol en el césped artificial.

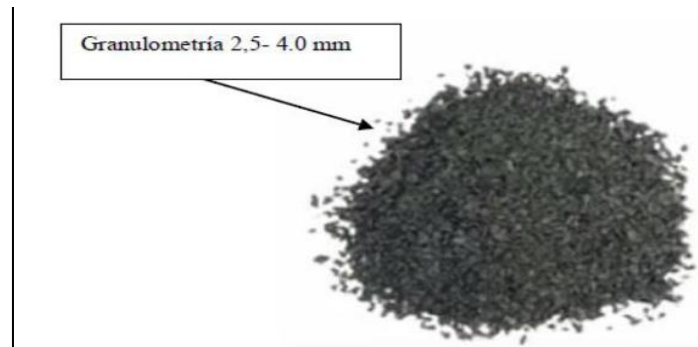
**Ilustración 3:** Caucho triturado de granulometría 0,8 – 2,5 mm



**Fuente:** Cuzco (2015)

Para finales de la pulverización, una tercera división es el grano grueso de caucho, que va de 2,5 mm a 4 mm y se puede decir que es muy importante porque se vende en Europa y España para la construcción de banquetas para parques infantiles o en lugares donde se necesite superficies que protejan de los golpes de las personas.

**Ilustración 4:** Caucho triturado de granulometría 2,5 – 4,0 mm



**Fuente:** Cuzco (2015)

## 7.8. PARTES Y MATERIALES QUE COMPONEN LAS LLANTAS

Independientemente del tipo característico del neumático, se trata de un conjunto de unidades fabricadas y ensambladas para asegurar su correcto funcionamiento. Cada componente tiene una función específica y está compuesto por una mezcla de materias primas específica. (Cardona & Sánchez, 2011).

Según el fabricante de llantas Bridgestone (s.f), la llanta está compuesta por diferentes elementos, tales como: banda de rodadura, pared (lateral), hombro, talón, tejido corporal (cuerpo), tejido estabilizador (cinturón de estabilidad), talón (neumático) Paño de bucle)

**Ilustración 5:** Partes de un neumático

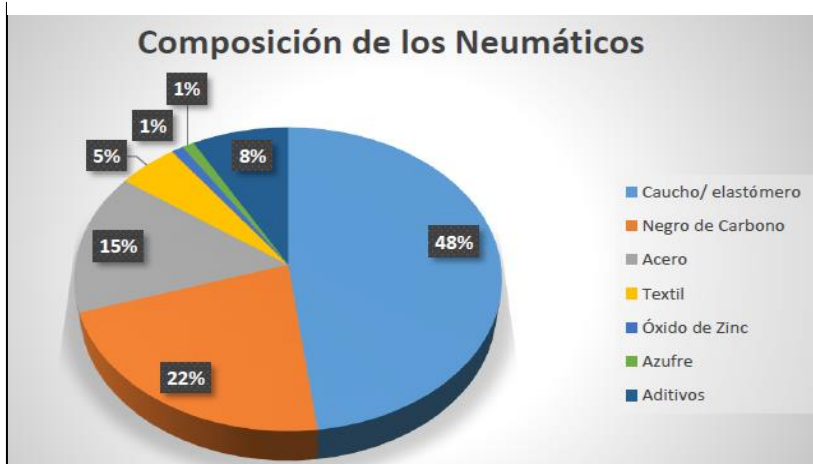


**Fuente:** Bridgestone (s.f)

Según Carlos Mejía, director comercial de RESOL Ltda., empresa ubicada en Medellín y dedicada al reciclaje de caucho, las partes de los neumáticos que contiene caucho para reciclarlo son: la banda de rodamiento, la carpa de rodado, la base de rodado, la goma de amarre de estabilizadores, la pared y el talón. La carcasa o cuerpo de telas está compuesta por Nylon, para el cual no existe una aplicación conocida.

Según Cano et al. (2007), en su estudio Valorización Material y energética de Neumáticos Fuera de Uso, las llantas están compuestas principalmente de caucho sintético o natural, negro de carbono, óxido de zinc, azufre, acero, material textil y otros aditivos. La siguiente Figura indica los porcentajes de cada componente de los neumáticos.

**Ilustración 6:** Composición Material/Porcentaje de neumáticos (CEOE, 2007)



Fuente: Montalvo (2016)

## 7.9. MATERIALES DE LAS LLANTAS

El caucho es el componente principal de la llanta, seguido del negro de carbón, que en conjunto representan el 70% de la llanta. (Cardona & Sánchez, 2011). Se detallan estos dos componentes a continuación:

## 7.10. NEGRO DE CARBONO

El quemado de carbón es la derivación de la combustión incompleta de productos derivados del petróleo. Usado como relleno para el caucho en las llantas, a menor tamaño de partícula de negro de carbono, mayor será la tenacidad a la tracción. El agregado de



este material aumenta la resistencia a la fricción y a la rasgadura del caucho (Cardona & Sánchez, 2011).

### **7.11. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL NEUMÁTICO**

Los neumáticos de automóvil proporcionan fijeza y tracción para el automóvil, así como direccionalidad, fuerza de frenado, etc. La tecnología de fabricación de neumáticos para la industria del automóvil ha experimentado un gran desarrollo, lo que ha dado como resultado una variedad de marcas y modelos de neumáticos para automóviles. La forma de elegir el neumático más adecuado para el vehículo es siguiendo las recomendaciones del fabricante, en lo que se refiere a sus características básicas, las características deben coincidir con las características aprobadas del neumático.

Generalmente, los neumáticos pueden considerarse como sistemas no lineales de gran complejidad. Expresando las siguientes características:

- Deben tener un alto agarre en carreteras secas y mojadas tanto verticales como horizontales.
- Disminución de firmeza a la rodadura.
- Capacidad para resistir el estrés dinámico externo.
- Resistencia a la fatiga, al desgaste, a la deformación por fisuras, etc.
- Bajo nivel de generación de ruido y vibraciones.
- Suficiente flexibilidad radial, circunferencial y lateral.

### **7.12. GENERALIDADES DE LAS LLANTAS**

Para profundizar en la elaboración de adoquines de caucho en neumáticos usados, es importante comprender las materias primas y sus principales características, por lo que esta sección cubre todo lo relacionado con el ciclo de vida del neumático, desde los materiales hasta la disposición final y sus efectos en los neumáticos. Para comprender mejor los neumáticos usados, los cuales serán utilizados como entrada principal para los adoquines.

### **7.13. DESCRIPCIÓN DE LOS NEUMÁTICOS**

Los neumáticos son piezas constitutivas de todos vehículos, conformadas por caucho, fibras textiles y acero. Según la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONAE) de Argentina, las llantas tienen dentro de sus principales funciones:

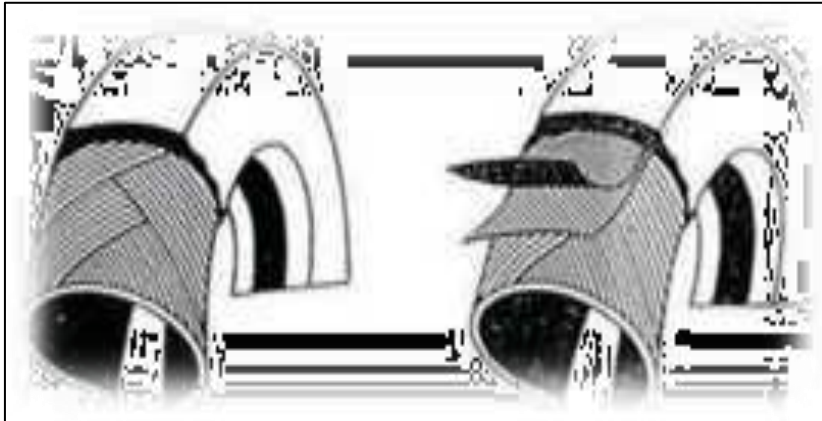
- Proveer tracción
- Asegurar el frenado seguro del vehículo
- Cargar el peso total del vehículo
- Absorber los impactos del camino (sobresaltos, huecos, etc.)
- Representan el paso final en la conversión de la energía del combustible en movimiento del vehículo.

### **7.14. TIPOS DE NEUMÁTICOS**

#### **7.14.1. POR SU CONSTRUCCIÓN:**

El proceso de fabricación de los neumáticos es diferente, dependiendo del tipo de función que deba realizar el neumático, cada industria determina el proceso utilizado, la calidad, el precio y otros factores. Los neumáticos se dividen en neumáticos diagonales, neumáticos radiales y neumáticos autoportantes.

- Los neumáticos diagonales, son neumáticos cuyos mecanismos internos están colocados de forma oblicua, lo que hace que se enclaven aumentando la rigidez.
- Neumáticos radiales son aquellos cuyos mecanismos internos se instalan en línea recta sin inclinarse, lo que les confiere mayor permanencia y resistencia en el techo, mientras que los componentes de los autoportantes se colocan diagonal incluyendo los laterales, en la Figuras 7 y 8 se muestra su clasificación (Espinosa, 2016).

**Ilustración 7:** Neumáticos diagonales y radiales

Fuente: Tomado de (Espinosa, 2016) por autores del proyecto (2020).

**Ilustración 8:** Neumáticos autoportantes

Fuente: Tomado de (Espinosa, 2016) por autores del proyecto (2020)

**Tabla 4:** Composición típica de un neumático

MATERIAL	COMPOSICIÓN (%)		FUNCIÓN
	Automóvil	Camiones y Microbuses	
Caucho natural	14	27	Estructural-Deformación
Caucho sintético	27	14	Estructural - Deformación
Negro de humo	28	28	Maneja oxidación
Acero	14	15	Esqueleto - Estructural
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	17	16	Esqueleto - Estructural

Fuente: Tomado de (Castro, 2008) por autores del proyecto (2020)

### **7.15. EL PARQUE AUTOMOTOR**

El parque automotriz inscrito en Ecuador creció en más de 1,4 millones de coches en un período, lo que situó la cifra por sobre los 2,4 millones de unidades a 2018, informó este viernes 1 de noviembre de 2019 el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

Se estima que la permanencia media de una llanta para autos está en los 40.000 kilómetros, hemos supuesto que los autos recorren esa cantidad de kilometraje en un año obtendríamos 2972.284 neumáticos fuera de uso a nivel nacional, cantidad suficiente como para empezar nuestro proyecto.

### **7.16. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL**

Desde la producción hasta el final de su período de uso, los automóviles se han considerado contaminantes. De ahí la idea de optimizar su uso y minimizar su impacto en el medio ambiente. Uno de los elementos que componen este grupo (automóviles) son los neumáticos, que se atribuyen a reacciones químicas irreversibles durante el proceso de vulcanización (fabricación). Una vez finalizado su periodo de servicio no se pueden reciclar.

Muchos neumáticos son almacenados en: talleres automotrices, botaderos, vulcanizadoras, vertederos, etc. En el caso de los botaderos no aporta en el proceso de descomposición de la basura orgánica por ser éste un compuesto no degradable (Cedón & Mosquera, 2004).

Este tipo de residuos se ha convertido en uno de los problemas a nivel mundial, ya que no es fácil de reciclar debido a su gran tamaño y se convierte en un residuo inútil. Algunas personas no consideran la contaminación ambiental causada por la liberación de gases y vapores inorgánicos al quemar neumáticos. Estos contaminantes pueden causar cáncer, cambiar el sistema nervioso central y causar enfermedades pulmonares.

Según datos del Ministerio de Industria y Productividad (MIPRO), Ecuador importa alrededor de 450.000 neumáticos cada año, pero solo se recauchutan 150.000 neumáticos y el resto se recauchutan y las demás llegan a los vertederos (Cardona & Sánchez, 2011).

### **7.17. GENERACIÓN DE RESIDUOS DE LAS LLANTAS EN EL ECUADOR**

El Ministerio del Ambiente del Ecuador En el Ecuador, ante la falta de la aplicación de una medida política, que indique qué hacer con los neumáticos que dejan de ser útiles para circular, puso en marcha el Plan de Gestión Integral de los Neumáticos Usados, con el fin de reducir la contaminación ambiental que el producto causa (MAE, 2011).

Un gran porcentaje de las llantas usadas son un problema en el Ecuador debido a que se depositan en vertederos controlados sin tratar, otro porcentaje se deposita después de ser triturado y el resto no está controlado.

Según la empresa Eco Caucho (2016), existen algunas razones por las que se da este problema en el país. El primer inconveniente es que las llantas usadas ocupan mucho espacio y por lo general son desechadas por las personas sin ningún control; otra razón es el constante aumento del parque automotor; el mercado abierto con disponibilidad de neumáticos de diversos orígenes, calidades y precios; solamente un 30% de los municipios tienen rellenos sanitarios, de los cuales no muchos tienen un lugar adecuado para la disposición de dichos residuos y no se conoce cómo se puede tratar los mismos. Finalmente, el Ministerio del Ambiente, no tiene un protocolo establecido para que los municipios realicen el manejo de llantas en los rellenos.

### **7.18. MÉTODOS DE PULVERIZACIÓN DE CAUCHO**

Existen algunas metodologías para la trituración de los neumáticos fuera de uso, que conlleva a una selección de la molienda como elemento prima para nuevos métodos en la industria, estos métodos son conocidos como la tecnología de descenso de volumen. Los métodos más empleados para producir polvo de caucho son la pulverización mecánica a temperatura ambiente, la molienda criogénica y la húmeda.

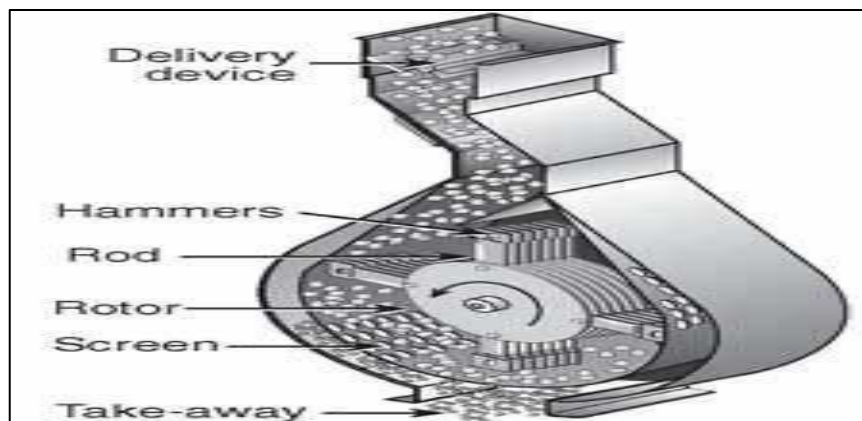
En la colectividad de los países, incluso en Argentina, se utiliza la molienda a temperatura ambiente que generalmente empieza por la separación del metal, separación de la fibra, luego empieza con la disminución a polvo grueso, después con la reducción a polvo ultra selecto, y por último, embalado y pesado, luego del apartamiento del metal y la fibra, la desintegración se produce en un máquina de dos rollos que contienen ranuras con bordes afilados que rompen el caucho. Son máquinas clásicas formadas por un rotor y el estator que lo rodea. (Pelizzoni, Fumagalli, Quarleri, & Blanco, 2016).

## 7.19. TIPOS DE MÁQUINAS PULVERIZADORA DE CAUCHO

### 7.19.1. Máquinas pulverizadores de martillos

Estos equipos se complementan de embolo hidráulico, constituidos por el acero, de manera rápida pulverizan la materia en cuestión.

**Ilustración 9:** Molinos pulverizadores de martillos.

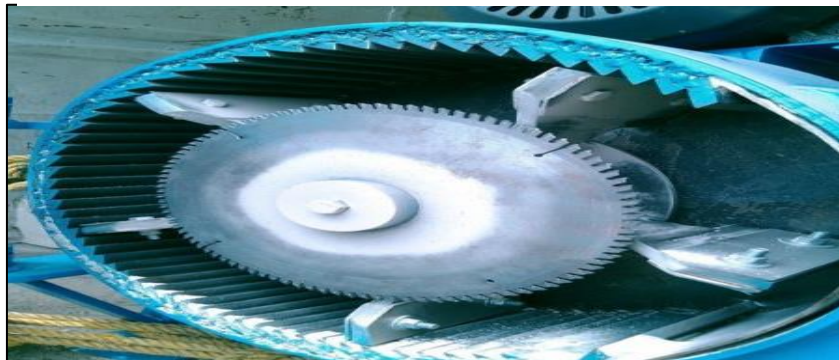


Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### 7.19.2. Molinos pulverizadores de discos

Están conformados por un cilindro y cuchillas fijas, y un sistema giratorio que le permite la pulverización.

**Ilustración 10:** Molinos pulverizadores de discos.

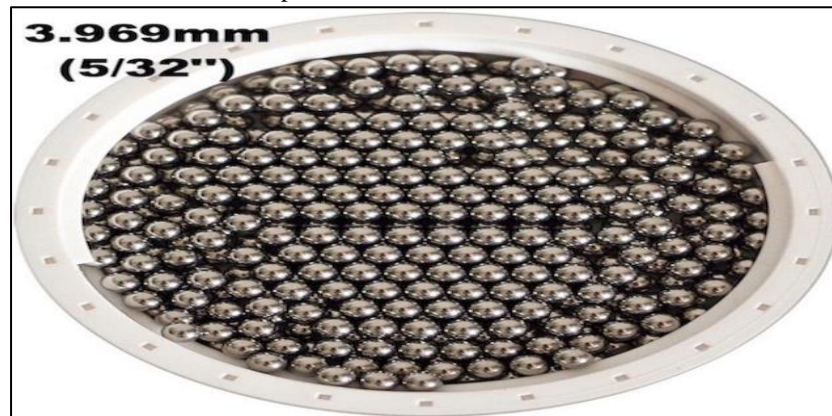


Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### 7.19.3. Molinos pulverizadores de bolas

Básicamente estos molinos se emplean para obtener una pulverización fina, los diseños de estos equipos pueden ser en húmedo y seco.

**Ilustración 11:** Molinos pulverizadores de bolas.

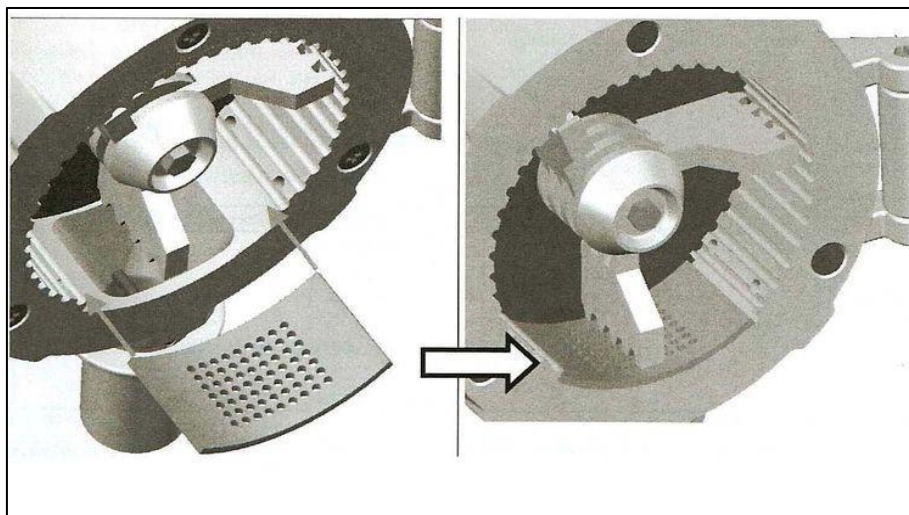


Fuente: Quintana &Rodríguez. 2021

#### 7.19.4. Molinos pulverizadores de cuchillas

Esgrimen compactas cuchillas distribuidas de manera similar para trozar el material de manera fina.

**Ilustración 12:** Molinos pulverizadores de cuchillas.



Fuente: Quintana &Rodríguez. 2021

#### 7.19.5. Molino de rodillo

La operación principal de esta máquina es utilizar dos rodillos horizontales (uno al lado del otro) para triturar el caucho. Estos dos rodillos horizontales permiten que la trituración sea por compresión para producir este tipo de tamaño de salida de partículas.

**Ilustración 13:** Molino de rodillo



**Fuente:** (Industriales, 2017)

## **7.20. NORMATIVAS APLICADAS PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO**

Numerosos países del mundo se esfuerzan por lograr la armonización global de normas. Esto es especialmente cierto en el campo de la seguridad de las máquinas. Hay dos organizaciones responsables de gestionar los estándares globales de seguridad de las máquinas: ISO e IEC. Los estándares nacionales y regionales aún existen y respaldan los requisitos locales, pero muchos países están recurriendo a ISO e estándares internacionales desarrollados por ISO. IEC.(Alfaro, s. f.)

### **Algunas de las más relevantes**

- ISO 12100: normativa general se emplea a cualquier tipo de máquina. Especifica los términos, principios y métodos básicos utilizados para lograr la seguridad del diseño mecánico. Especifica los principios de evaluación de riesgos y reducción de riesgos para ayudar a los diseñadores a lograr este objetivo. ISO 13849: Sistema de control parcial relacionado con la seguridad (PL a-e). Aplica a energía mecánica, eléctrica, neumática, térmica, hidráulica.
- IEC EN 62061: Seguridad congruente con métodos de inspección automáticos, electrónicos y programables (SIL 1-3).(Alfaro, 2020)



## **8. MARCO METODOLÓGICO**

### **8.1. Tipos de investigación**

#### **8.1.1. Investigación Documental**

El presente proyecto investigativo se enmarca a la investigación documental, pues esta investigación desarrolla la cultura investigativa. Según Alfonso (1995), la investigación documental es un medio probado, un asunto metódico de consulta, recopilación, colocación, análisis y explicación de información o datos sobre un tema específico. Al igual que otros tipos de indagación, esto ayuda a generar conocimiento. La indagación de la literatura tiene un propósito especial y se puede utilizar como la principal fuente de información, pero no es el único y exclusivo documento escrito en una forma diferente: documento impreso, electrónico y audiovisual.

A través de la ejecución del proyecto estamos impulsando el espíritu investigador, tomando conciencia del cuidado del medio ambiente, desarrollando una alternativa, permitiendo el diseño y fabricación de un prototipo para la pulverización de caucho de los NFU; pues en algún tiempo futuro este prototipo se trasformaría en una planta que contara el cantón La Maná para el aprovechamiento masivo de los NFU.

#### **8.1.2. Investigación bibliográfica**

Como primera etapa del proceso investigativo se recurrirá a la investigación bibliográfica; recopilando y obteniendo una gran cantidad de información científica con respecto al tema del proyecto en fuentes como: Revistas, Artículos, Compilaciones, Manuales, Tesis, Libros, y Páginas web.

### **8.2. Métodos en la investigación**

#### **Método deductivo**

Con este método, podemos pasar de lo general a lo especial, como forma básica de razonamiento para sacar conclusiones, partiendo de los problemas que se encuentran en los NFU todos los días, infiriendo la estructura del prototipo de la máquina utilizando el Software SolidWorks Estudiantil, para diseñar y calcular las dimensiones de la máquina, para pulverizar neumáticos.

## **Instrumentación**

Para la ejecución del proyecto seleccionamos el Software SolidWorks Estudiantil, de manera que proporciona la facilidad de realizar diseño mecánico en 3D, simulación, visualización y documentación, a través de sus potentes herramientas de modelado; pues nos conlleva a reducir los costos de desarrollo antes de la fabricación, permitiendo la creación de ensamblajes, realizando simulaciones digitales en tiempo real.

### **8.3. Diseño experimental**

El prototipo se realizó con el Software SolidWorks Estudiantil, para intentar ajustar el tipo de diseño para adaptarlo a las necesidades de pulverización de las llantas, que han sido trituradas. Esta es una herramienta que ayuda a crear un diseño para los siguientes elementos: el tamaño y el tamaño de la máquina, la herramienta puede reducir el costo de fabricación de la máquina.

En el diseño experimental, el proceso que realiza la máquina es colocar el caucho triturado en una pequeña tolva y a través de un mecanismo presionar los pedazos de caucho triturado sobre el disco de corte a través de un mecanismo de palanca para pulverizar.

### **8.4. Metodología de diseño**

El pulverizador de caucho se utiliza para pulverizar los gránulos de caucho para obtener el polvo de caucho fino no hay ninguna descarga de contaminación.

En el apartamiento de algunos elementos añadidos que contiene el neumático, como acero y fibras de textil. El grosor de los gránulos de caucho (granulometría) dependerá de la aplicación que se le quiera dar.

Para realizar el proceso de trituración de neumáticos, existen muchos métodos, desde la implementación de una sola máquina hasta un proceso continuo de máquina, donde la elección del proceso depende de muchos factores, y estos factores estarán vinculados a las necesidades que desee resolver. Aunque la elección de cualquier método tiene la misma base conceptual.

### 8.5. Proceso que interviene en la pulverizadora de caucho

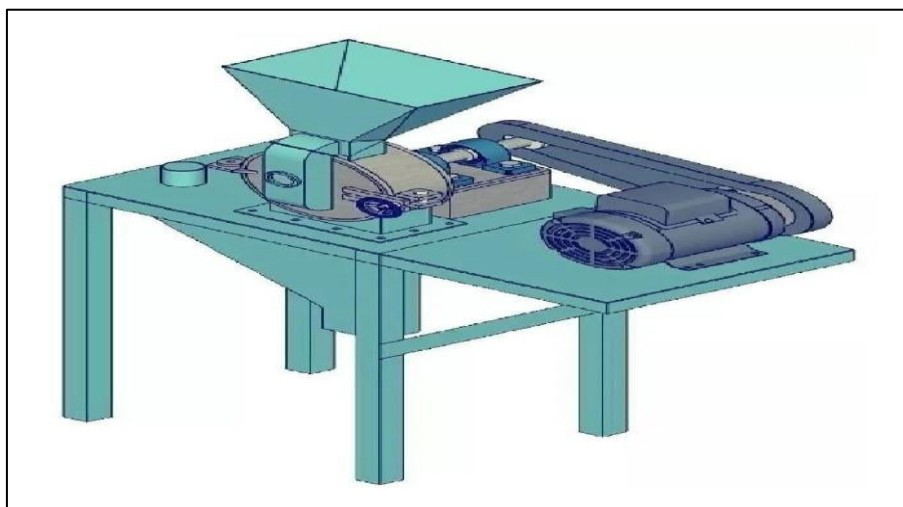
Los neumáticos se introducen en la tolva del pulverizador giratorio. Los bloques triturados con un tamaño superior a 10 mm son retenidos por la criba y luego vuelven al proceso de pulverizado nuevamente. Finalmente, los productos serán procesados, recolectados y embolsados.

La reducción de tamaño del caucho a polvo es el resultado final del proceso de reciclaje de neumáticos. En esta etapa, el caucho se granula hasta que se tritura, y prácticamente se elimina todo el acero y las fibras textiles.

El residuo de los neumáticos ha sido utilizado en diferentes aplicaciones y en la fabricación de elementos como:

- Calzados
- Planchas de suela para calzado rudo.
- Bolsos con cámaras de llanta.
- Cubiertas personalizadas para el mouse de la computadora.
- Fabricación de tapetes tejidos con tiras de llantas.
- Confección de Macetas.
- Juegos infantiles.
- Camas en los establos.

**Ilustración 14:** Máquina pulverizadora de neumático fuera de uso.



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

## 8.6. Definición de los factores de influencia del diseño

Al comenzar a diseñar un pulverizador mecánico, se deben considerar los factores más importantes que intervienen directamente en la decisión de diseño. Estos factores son los siguientes:

- Recurso de materia prima.
- El tipo de material que se va a pulverizar.
- Tiempo en el que se va a pulverizar.
- Tamaño del elemento que se va a pulverizar.

### Estructura

En la ilustración 15 se muestra la máquina pulverizadora por cuchillas la cual deberá pulverizar trozos de llantas radiales rin 14 de un diámetro menor o igual a 4mm.

**Ilustración 15:** Máquina pulverizadora de neumáticos.



Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

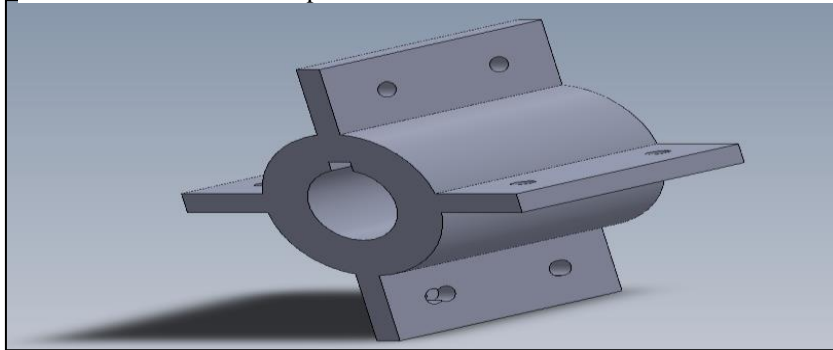
### Resumen de selección

- Pulverizador mecánico de placas rotativas
- 4 Placas de impacto de Acero 705 Norma AISI 4340 (705)
- 52 Piezas molturadoras dentada insertable

### 8.6.1. Porta cuchillas (AISI 1045)

Es un acero al carbono de construcción empleado cuando la dureza y resistencia son necesarios en estado de suministro. Por su dureza y firmezas adecuado para la elaboración de componentes de artefactos. Responde al tratamiento térmico, a la llama o al enfriamiento por inducción, pero no se recomienda para cementación o cianuración.

**Ilustración 16:** Diseño de porta cuchillas en Solidworks.

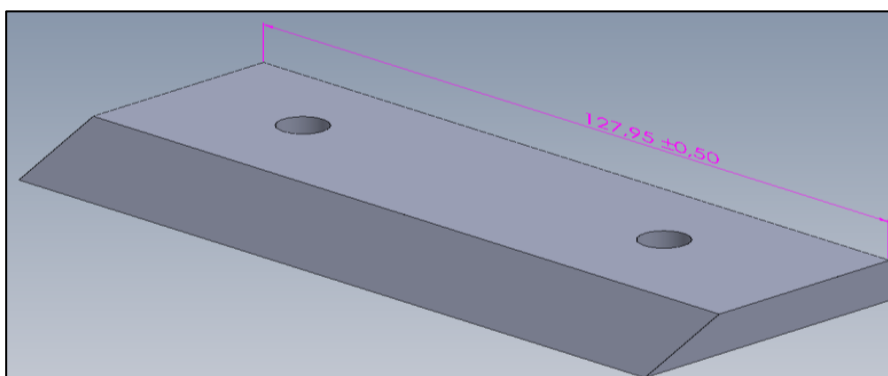


Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### 8.6.2. Placas rotativas (AISI 4340)

Tiene alta templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga. Viene con tratamiento térmico de revenido (temple y revenido). Se utiliza para piezas que tienen requisitos más altos de dureza, resistencia mecánica y tenacidad. Su maquinabilidades es regular y su soldabilidad es muy baja.

**Ilustración 17:** Diseño de placas rotativas en Solidworks.

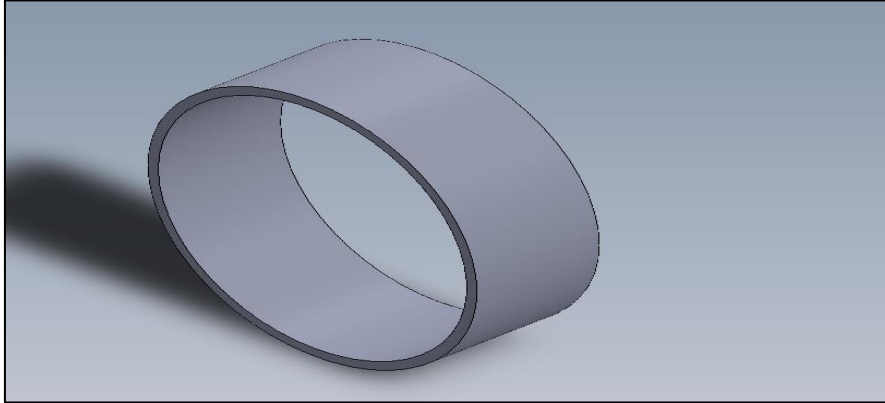


Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### 8.6.3. Diseño del cilindro pulverizador (AISI 1020)

Acero de bajo contenido de carbono, de fácil transformado y buena soldabilidad. Por sus componentes de carbono estos aceros se usan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia.

**Ilustración 18:** Diseño del cilindro pulverizador Solidworks.

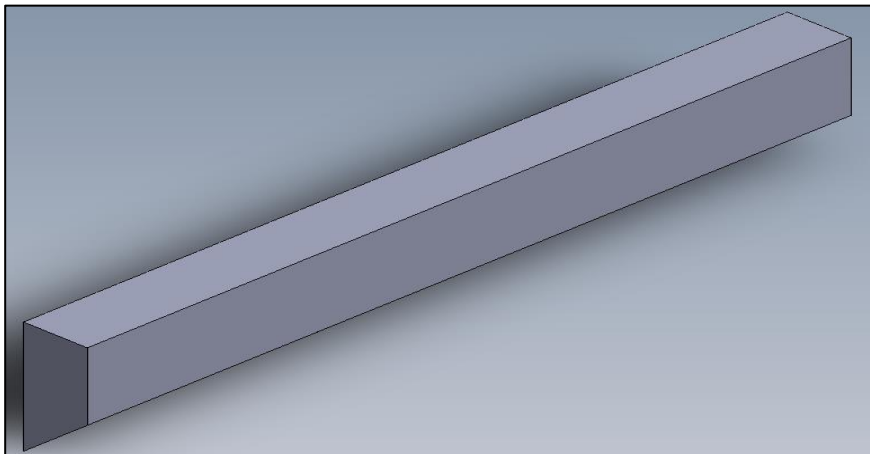


Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### 8.6.4. Piezas molturadoras (AISI 4340)

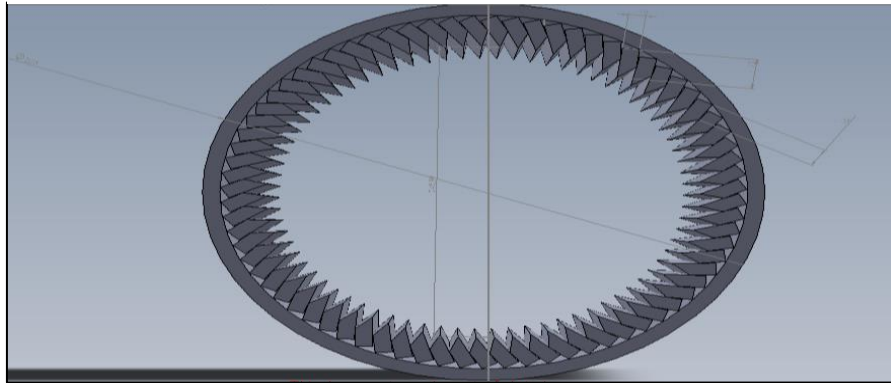
Es acero templado al cromo, níquel y molibdeno, que tiene alta resistencia a la tracción, torsión y cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en las piezas forjadas y libre de propensión a la fragilidad del revenido.

**Ilustración 19:** Diseño de piezas molturadoras en Solidworks



Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

**Ilustración 20:** Diseño (Frontal) ensamblaje del pulverizador en Solidworks.

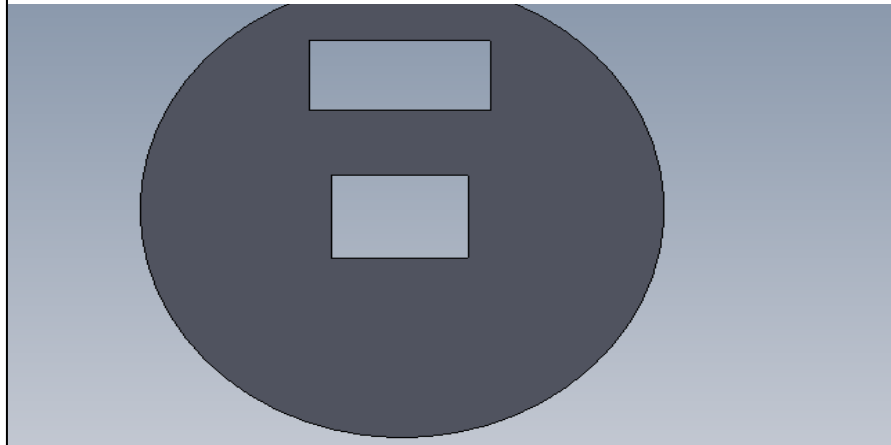


Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### 8.6.5. Tapa de la pulverizadora (AISI 1020)

Es un acero, de fácil mecanizado y buena soldabilidad, Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas para su estructura o de maquinaria de resistencia media.

**Ilustración 21:** Diseño de la tapa del pulverizador en Solidworks.

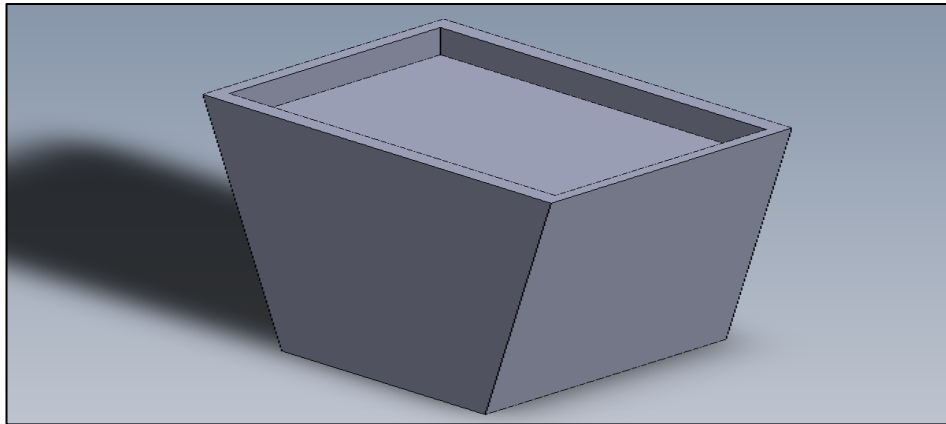


Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### 8.6.6. Tolva de la pulverizadora (AISI 302)

El acero inoxidable recocido tipo 302 tiene una alta resistencia a la corrosión en entornos urbanos y rurales. Es resistente a la mayoría de los ácidos orgánicos.

**Ilustración 22:** Diseño de la tolva del pulverizador en Solidworks.

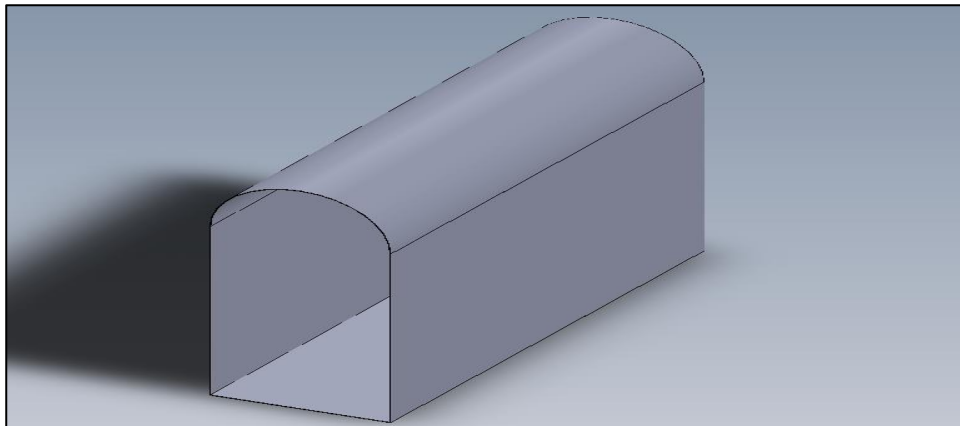


Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### 8.6.7. Lamina de protección de la pulverizadora (AISI 302)

Dentro de los aceros inoxidable tenemos en ANSI 302, los cuales presentan una alta resistencia a la corrosión en ambientes urbanos y rurales. Es tenaz a la totalidad de los ácidos orgánicos.

**Ilustración 23:** Diseño de la lámina de protección de la pulverizadora en Solidworks.



Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### 8.6.8. Funcionamiento del prototipo.

El funcionamiento del prototipo una vez el caucho triturado, este ingresa en la tolva en el interior de la maquina estarán girando 4 placas de impacto (cuchillas) de acero 705 por un motor eléctrico de 5hp, una vez que el caucho triturado entra en contacto con las 52 piezas molturadoras que estarán soldadas en el interior de un cilindro, las proyecciones de partículas por fuerza de gravedad caerán en la tolva donde conducirá a la salida para su posible almacenamiento.



## VELOCIDAD ANGULAR Y LINEAL DE LAS CUCHILLAS (MCU)

La ligereza angular es una medida de la rapidez de giro. Se puntualiza como el ángulo volteado por una unidad de tiempo y se inviste mediante la letra griega  $\omega$ . La unidad en el Sistema Internacional es el radián por segundo (rad/s).

$$V = \omega * r \quad \omega = \frac{\theta}{t} \quad \text{Ecu. (1)}$$

$$\varnothing = 25cm \quad r = 12,5cm$$

$$\omega = 3485rpm$$

$$1 \text{ vuelta} = 360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

$$\theta = 3485 * 2\pi \text{ rad} = 21,89\pi \text{ rad}$$

$$\omega = \frac{21, \pi \text{ rad}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0,365\pi \text{ rad/s}$$

$$\omega = 0,365\pi \text{ rad/s}$$

$$V = 0,365\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 12,5m = 4.5625m/s$$

$$V = 4.5625m/s$$

## CÁLCULO PARA DETERMINAR LA POTENCIA DEL MOTOR

Se procede a realizar el cálculo de la potencia del motor mediante el momento torsor que ejerce el eje, sujeto a cargas externas, para establecer que el equipo trabaje, según la fuerza generada por la interacción de la carga sobre el eje, el método de cálculo es el siguiente:

$$par(kg m) = \frac{\text{potencia (hp)} * 716}{\text{velocidad de giro de la flecha del motor (rpm)}} \quad \text{Ecu. (2)}$$

$$T = \frac{Hp * 716}{rpm}$$

$$T = \frac{5hp * 716}{3485} = 1,027Kg m = 10,074Nm$$

$$T = 10,074Nm$$

$$1\text{ kgm} = 9,8067Nm$$

### LA POTENCIA DESARROLLADA POR EL MOTOR EN W

Es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia, es decir, es la tendencia del par, a hacer que un objeto gire alrededor de un eje, punto de apoyo o pivote.

$P = \text{potencia del motor en W}$

$T = \text{es el par motor en Nm}$

$n = \text{son las revoluciones por minuto de giro del motor (rpm)}$

$$P = T * \omega = \frac{T*n}{\frac{60}{2\pi}} \quad \text{Ecu. (3)}$$

$$P = \frac{10,074 * 3485}{9,55} = 3676,23W$$

### POTENCIA DEL MOTOR EXPRESADA EN HP

La potencia máxima. es el valor máximo obtenido al multiplicar el par del motor por la velocidad de rotación del motor.

$P_{Hp} = \text{potencia del motor expresada en Hp}$

$$P_{Hp} = \frac{T*n}{7120,91} \quad \text{Ecu. (4)}$$

$$P_{Hp} = \frac{10,074 * 3485}{7120,91} = 4,93Hp$$

$$P_{Hp} = 4,93Hp = 5Hp$$

## CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

La relación de transmisión es la relación entre las velocidades de rotación de dos engranajes conectados entre sí, donde un engranaje ejerce una fuerza sobre el otro engranaje.

$$d1 * n1 = d2 * n2 \quad \text{Ecu. (5)}$$

$$\frac{d1}{d2} = \frac{n1}{n2}$$

$$n2 = \frac{d1}{d2} * n1$$

$$n2 = \frac{0.09}{0.21} * 3485 \text{ rpm}$$

$$n2 = 1.493 \text{ rpm}$$

## RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Esta relación se debe a la diferencia de diámetros de las dos ruedas, que implica una diferencia entre las velocidades de rotación de ambos ejes.

$$K = \frac{N}{n} \quad \text{Ecu. (6)}$$

$$K = \frac{3485}{1493}$$

$$K = 2.33 \text{ rpm}$$

## ELECCIÓN DE LOS DIÁMETROS PRIMITIVOS DE LA POLEA

El diámetro de la polea es la distancia a través del punto central entre un extremo y el otro extremo. Para conocer el diámetro de la polea motriz, se ingresa un valor apropiado en la siguiente posición: (diámetro de la polea) x (revoluciones de la polea) / (revoluciones de la polea) = (diámetro de la polea del controlador). De hecho, la relación de transmisión se calcula como el cociente entre los diámetros originales de la rueda motriz y la rueda conductora.

$$D = k * d \quad \text{Ecu. (7)}$$

$$D = 2.33 \text{ rpm} * 0.09$$

$$D = 0.21$$

### DISTANCIA ENTRE EJES

$$I \geq \frac{(k+1)*d}{2} + d \quad \text{Ecu. (8)}$$

$$I \geq \frac{(2.33+1)*90\text{mm}}{2} + 90\text{mm}$$

$$I \geq 239$$

$$450 \text{ mm} > 239 \text{ mm}$$

### Cálculo del diámetro mínimo del arbol.

La metodología que se utiliza a continuación corresponde a la desarrollada en el libro (Norton 2014)

### Determinación de la resistencia a la fatiga modificada.

$$S_m = S_n * C_s * C_r \quad \text{Ecu. (9)}$$

Donde:

$S_m$ : resistencia a la fatiga modificada.

$S_n$ : Resistencia la fatiga (Figura 5-8, del libro (Norton 2014), considerando la resistencia a la rotura del material)

$C_s$ : Factor de tamaño (Tabla 5-2, del libro (Norton 2014))

$C_r$ : Factor de confiabilidad (Tabla 5-1, del libro (Norton 2014))

$$S_m = S_n * C_s * C_r$$

$$S_m = 230 \text{ MPa} * 0,85 * 0,81$$

$$S_m = 158,35 \text{ MPa}$$

### Momento Torsor

$$M_t = 9554 \frac{P}{n} \quad \text{Ecu. (10)}$$

Donde:

$M_t$ : Momento torsor

P: Potencia del motor (4 kW)

n: velocidad de rotación (rpm)

$$M_t = 9554 \frac{P}{n}$$

$$M_t = 9554 \frac{4 \text{ kW}}{3485 \text{ min}^{-1}}$$

$$M_t = 10,95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### Fuerzas producto a la acción de la polea

$$F_n = \frac{M_t}{r} \quad \text{Ecu. (11)}$$

Donde:

$F_n$ : Fuerza neta de impulsión

r: Radio de la polea

$$F_a = 1,5 * F_n$$

$$F_n = \frac{M_t}{r}$$

$$F_n = \frac{10,95 \text{ N} \cdot \text{m}}{0,09 \text{ m}}$$

$$F_n = 121,78 \text{ kN}$$

$$F_n = 1,5 * 182,67 \text{ kN}$$

$$F_n = 182,67 \text{ kN}$$

Donde:

$F_a$ : Fuerza Flexionante

### Cálculo de la reacción en los apoyos

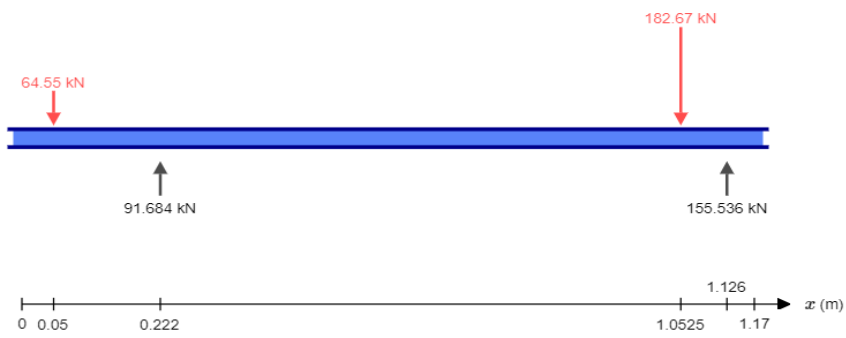
En nuestro caso hay dos fuerzas que actual, las derivadas de la polea y las relacionadas a las cuchillas. Para realizar el cálculo se utilizó un software especializado gratuito llamando Skyciv (Skyciv. <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>) En la figura 3333 se observa la representación esquemática del árbol. En la figura 4444 se puede apreciar los valores de las reacciones en los apoyo facilitadas por el software, en caso de la reacción de tipo pasador alcanzo un valor de 91, 64 kN y la de tipo rodillo 155,54 kN. Así mismo en las figuras 5555 y 6666 se evidencias los diagramas de fuerzas cortantes y momento flector respectivamente. El valor máximo de fuerza cortante es de 155,54 y el de momento flector corresponde a 11,43 kN·m.

**Ilustración 24:** Representación Esquemática del árbol



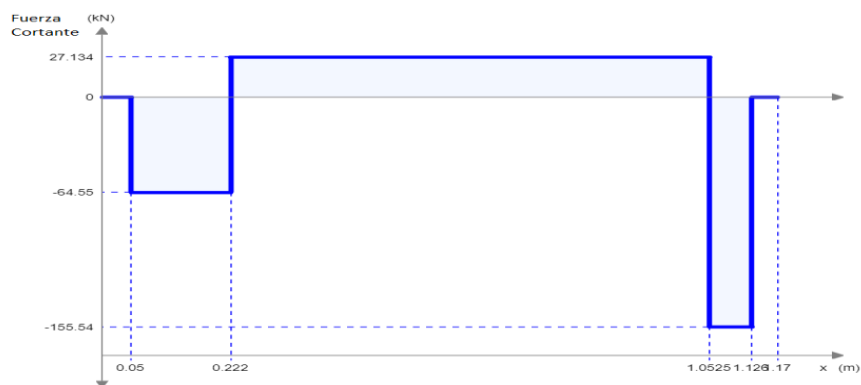
**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

**Ilustración 25:** Valores de las reacciones en los apoyos

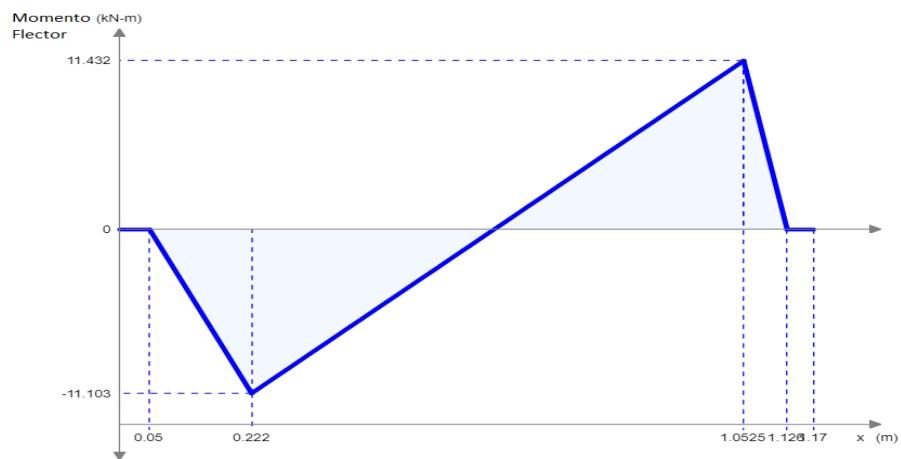


**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

**Ilustración 26:** Diagrama de fuerzas cortantes



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

**Ilustración 27:** Diagrama de momento flector

Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

### Cálculo del diámetro mínimo del árbol

$$D = \left[ \frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left( \frac{K_t * M_f}{S_m} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left( \frac{M_t}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

D: diámetro mínimo

N: Factor de seguridad (2,5)

$K_t$ : Factor que toma en cuenta concentradores de tensiones (Discontinuidad geométrica).

$S_y$ : Resistencia a la fluencia (310 MPa).

Al sustituir todas las variables calculadas el diámetro mínimo dio como resultado  $D=12.56$  mm.

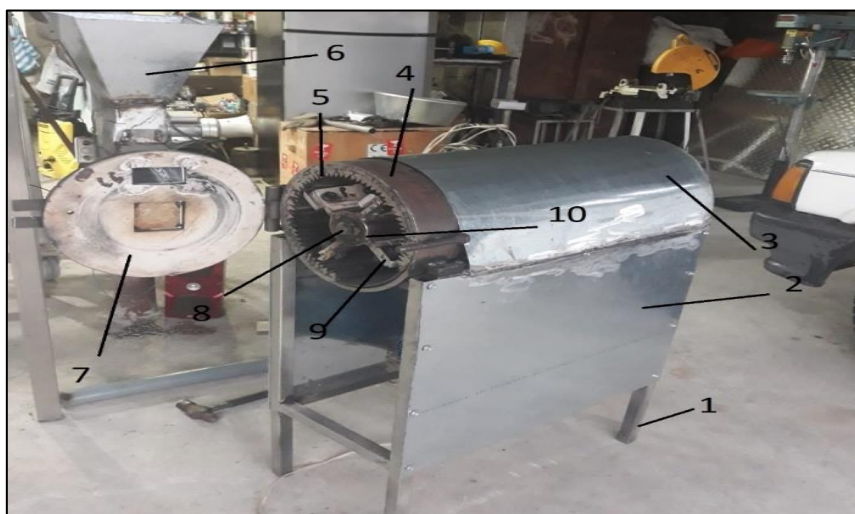
### 8.6.9. Análisis por el Método de Elementos Finitos

La simulación por computadora es muy utilizada en las empresas para analizar y mejorar la calidad de productos y proyectos. La mayoría de estos análisis se realizan mediante software utilizando métodos de elementos finitos, que pueden obtener respuestas a muchas preguntas de ingeniería.

En nuestro proyecto utilizamos esta técnica para obtener un prototipo virtual simulando las condiciones de carga para conocer el comportamiento mecánico y tener mayor fiabilidad para implementar el prototipo físico y así evitar la mayor cantidad de errores técnicos, siempre considerando la disminuir de los costos para ser competitivos en el mercado en un futuro. A continuación, se describen los principales.

En la figura 28 se muestra los elementos que integran el pulverizador de caucho objeto de estudio. En un enfoque de análisis de elementos finitos, los elementos y los nodos son unidades básicas para construir un modelo de sistema. Un dominio continuo está representado por un conjunto de elementos y nodos, y los comportamientos de un dominio continuo se aproximan mediante valores nodales de variables de estado en un espacio de solución. Los elementos en un modelo son subdominios continuos, aunque la solución al modelo es para variables de estado discretizadas en nodos, estos son un conjunto de vértices que se utilizan para representar elementos.

**Ilustración 28:** Componentes fundamentales del pulverizador de caucho



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021



En la tabla 5 se representa los materiales que conforman cada parte de la pulverizadora de caucho. Estos datos se hacen necesario para el cálculo del comportamiento mecánico.

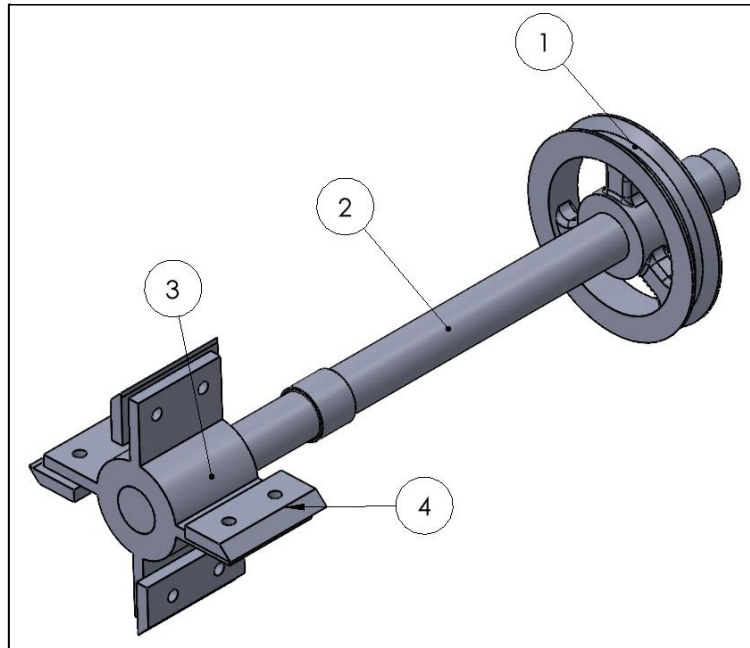
**Tabla 5:** Especificaciones de materiales del pulverizador de caucho

No	Denominación	Material	Descripción
1	Estructura	AISI 1018	Acero Estructural en la fabricación de tuberías estructuras metálicas soldadas, etc. También apto para acero de construcción mecánica
2	Lamina de protección	AISI 302	El acero inoxidable recocido tipo 302 tiene una alta resistencia a la corrosión en entornos urbanos y rurales. Es duro a la totalidad de los ácidos orgánicos.
3	Polea	AISI 1060	El aluminio tiene amplia variedad de propiedades, desde buena apariencia, facilidad de fabricación, buena resistencia a la corrosión, hasta alta relación resistencia-peso, buena soldabilidad y alta tenacidad a la fractura.
4	Cilindro pulverizador	AISI 1020	Es un acero de bajo contenido de carbono, de fácil mecanizado y buena soldabilidad, Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o maquinaria de resistencia media.
5	Cuchillas fijas	AISI 4340	Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión.
6	Tolva	AISI 302	El acero inoxidable Tipo 302 en la condición de recocido es altamente resistente a las condiciones corrosivas en entornos urbanos y rurales. Es resistente a la mayoría de los ácidos orgánicos.
7	Tapa pulverizador	AISI 1020	Es un acero de bajo contenido de carbono, de fácil mecanizado y buena soldabilidad, Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia.
8	Eje	AISI 1045	Es un acero al carbono de construcción utilizado cuando la dureza y resistencia son necesarios en condición de suministro. Por su dureza y tenacidad, es adecuado para la fabricación de piezas mecánicas. Responde al tratamiento térmico, a la llama o al enfriamiento por inducción, pero no se recomienda para cementación o cianuración.
9	Cuchillas	AISI 4340	Posee gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga. Proporcionan tratamiento térmico de revenido (temple y revenido), que se utiliza para piezas con requisitos más altos de dureza, resistencia mecánica y tenacidad. Su maquinabilidad es regular y posee baja soldabilidad.
10	Porta-Cuchillas	AISI 1045	Es un acero al carbono de construcción utilizado cuando la dureza y resistencia son necesarios en condición de suministro. Por su dureza y tenacidades adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado.

### 8.6.9.1. Determinación del estado tensional del árbol

En la figura 29, se muestra el modelo 3D simplificado del árbol objeto de estudio, en este, se excluyen los elementos de sujeción.

**Ilustración 29:** Modelo 3D del árbol y Componentes



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

**Tabla 6:** Componentes del árbol del molino de paleta

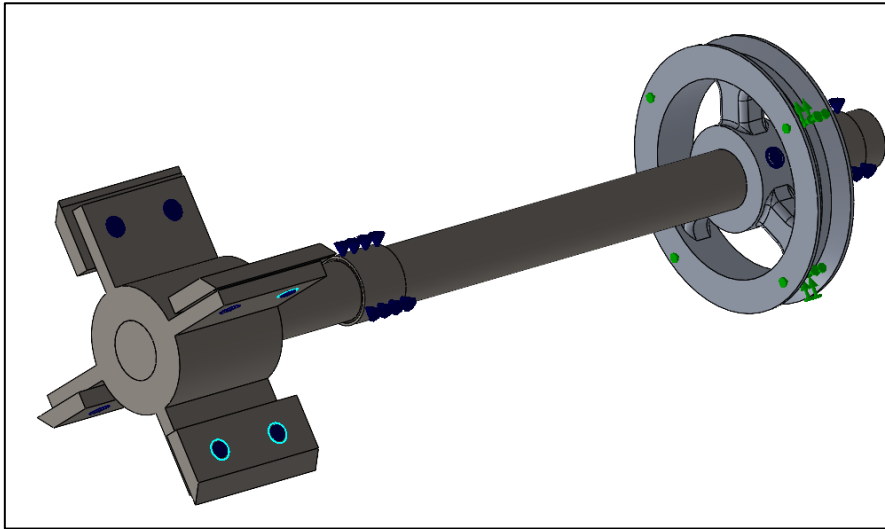
No	Denominación	Material	Limite Elástico [MPa]
1	Polea	AISI 1060	27,57
2	Eje	AISI 1045	530
3	Porta-Cuchillas	AISI 1045	530
4	Cuchillas	AISI 4340	710

### 8.6.9.2. Aplicación de las condiciones de contorno

Las condiciones de contorno planteadas en la investigación responden a condiciones límites de funcionamiento considerando que el árbol estaría expuesto a un momento torsor provocado por el llenado excesivo de la tolva o por la introducción de un material extraño con dureza superior a los elementos del pulverizador, lo que provocaría que el mismo tuviera una tendencia a frenar el movimiento del mismo. Esta condición se puede

observar en la figura 30, en la cual, la polea estaría fija, las zonas señaladas con flechas azules son los elementos de cojinetes de rodamientos y en los orificios de color azul se utilizan una representación de pasadores (Sujeción de Cuchillas y Polea).

**Ilustración 30:** Condiciones de contorno

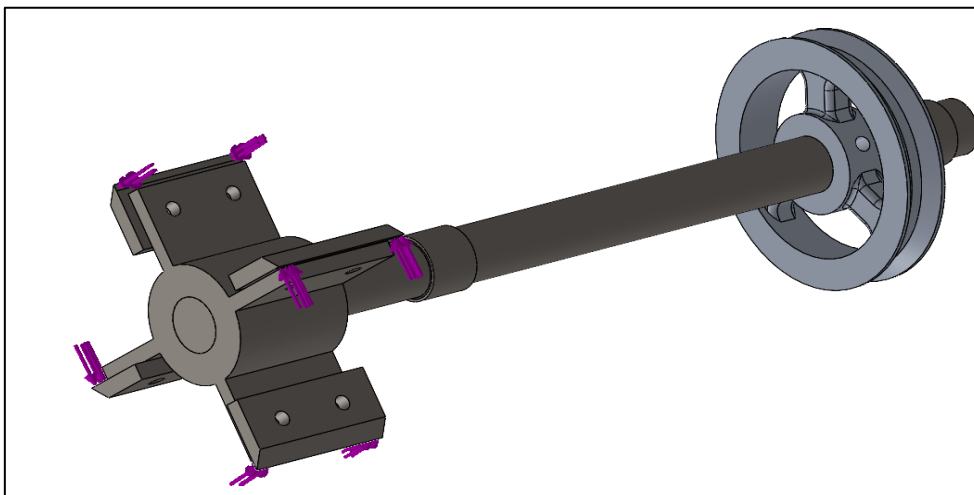


**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

### 8.6.9.3. Cálculo del momento torsor actuante

Para determinar el momento torsor se consideró una situación extrema, en la que producto del llenado excesivo de la carcasa el árbol deja de girar o por la introducción de un material extraño con dureza superior a los elementos del pulverizador, como potencia del motor se consideró 4 kW y la frecuencia de rotación del árbol era de  $n=3485 \text{ min}^{-1}$ , el momento torsor calculado en base a la expresión (I) siguiente fue  $10,96 \text{ N}\cdot\text{m}$  (figura 31).

$$M_t = 9550 \frac{P}{n} \quad (\text{I})$$

**Ilustración 31:** Cargas Externas actuantes

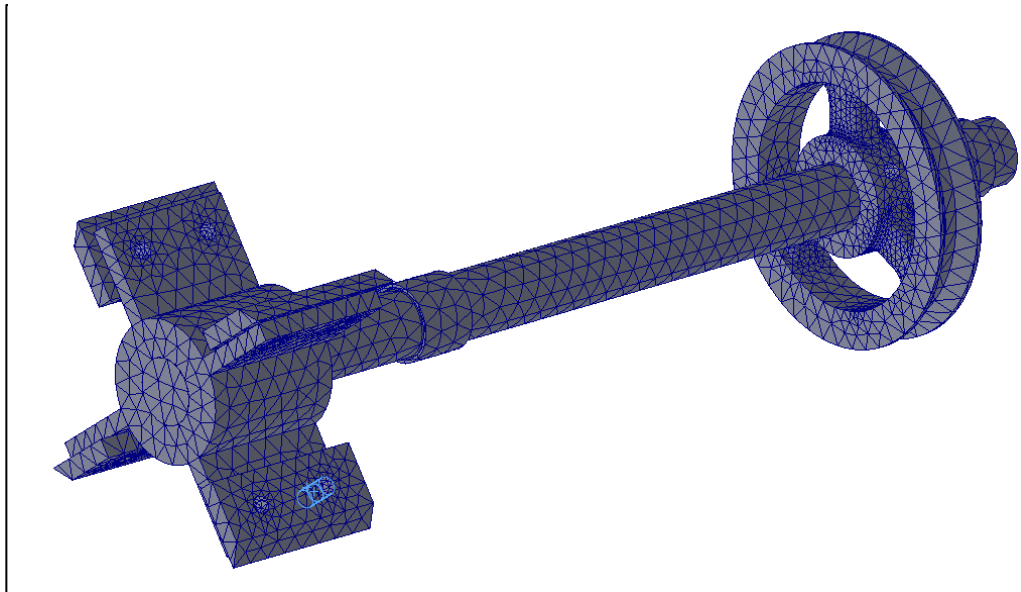
**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

El mallado o discretización del modelo es el nivel de acercamiento que tiene nuestro artefacto con la realidad por lo tanto cuando más densa sea ésta, el error será menor pero también necesitamos un ordenador más potente pues consumirá más recursos para ejecutar el análisis. Para mejorar este proceso se utilizaremos el método adaptativo h radica en generar mallas óptimas empleando iterativamente criterios de repartición uniforme del error de discretización, o técnicas que buscan disminuir el número de grados de libertad en la nueva malla. Las características de la malla se pueden observar en la tabla 7 y la representación en la figura 32.

**Tabla 7:** Características del mallado

PARÁMETRO	ELECCIÓN
Mallador	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	14,1713 mm
Tamaño mínimo de elemento	2,83427 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	46079
Número total de elementos	26725

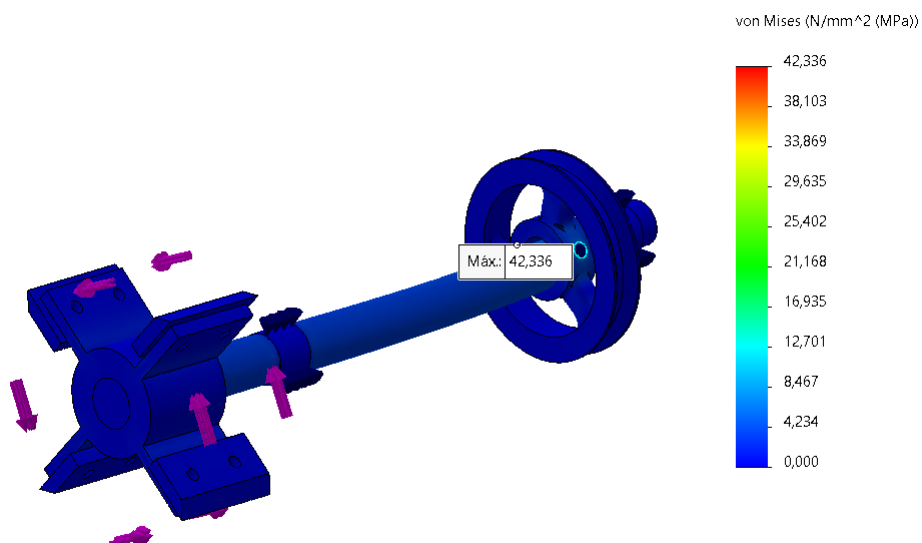
**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

**Ilustración 32:** Mallado del árbol

Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

#### 8.6.9.10. Análisis del resultado del Método de Elementos Finitos

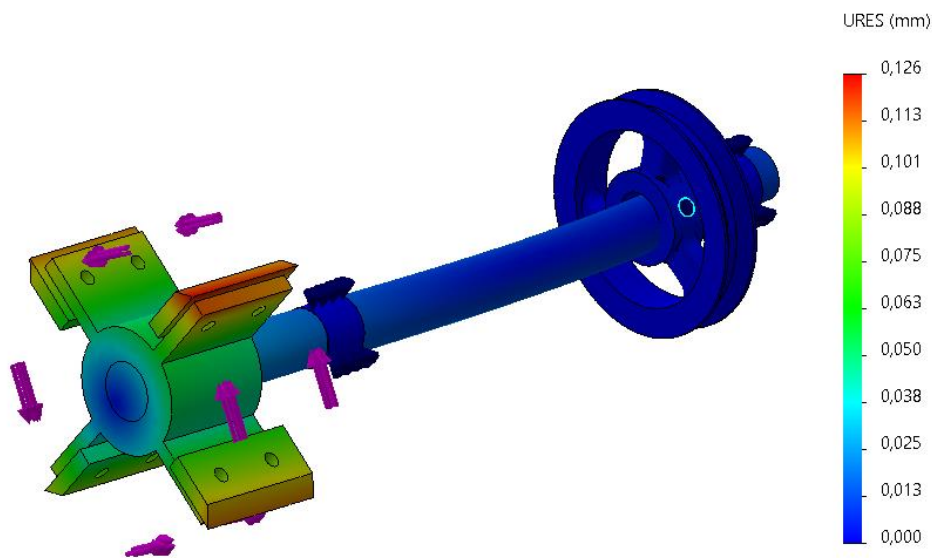
El procedimiento mecánico tensional de los elementos analizados demuestra que la máxima tensión se encuentra en zonas cercanas al con un valor de 42.336 MPa, lo cual es un resultado correcto, pues constituye el elemento fusible de esta transmisión (Ver figura 33).

**Ilustración 33:** Zona de máxima tensión

Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

En la figura 34, se observan los desplazamientos obtenidos durante los esfuerzos simulados. El valor máximo alcanzado fue de 0,111 mm no siendo significativos, pues los máximos están en los extremos de las cuchillas propio del proceso, por lo que no afecta el destino de servicio de la pieza.

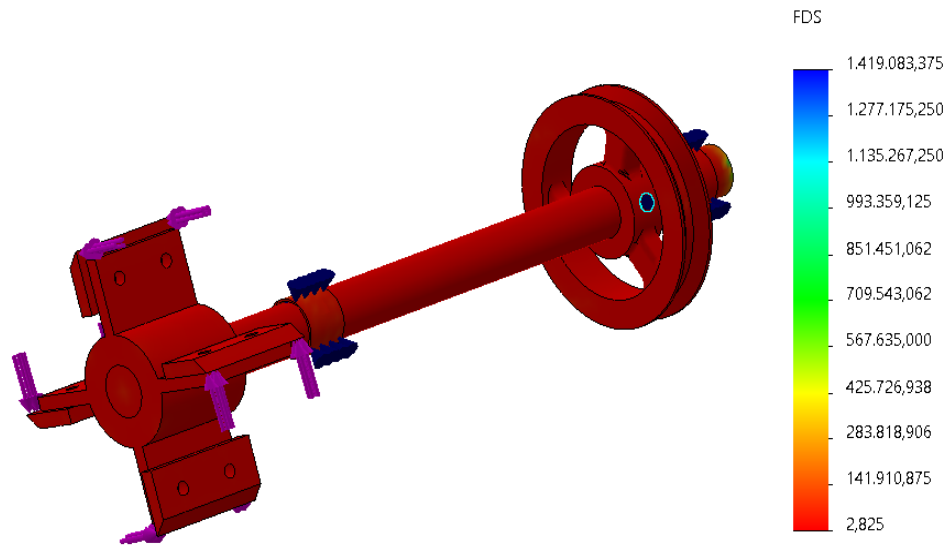
**Ilustración 34:** Localización de los desplazamiento



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

El coeficiente de seguridad aumenta el esfuerzo calculado para asegurarnos que la pieza no falle, en nuestro caso se determinó en función del límite elástico puesto que las deformaciones permanentes atentan contra el funcionamiento correcto de la máquina. Esta distribución del comportamiento del ensamble en relación al coeficiente de seguridad se puede observar en la figura 35, donde el valor mínimo obtenido fue de 2,82 teniendo en cuenta que no se analiza el comportamiento dinámico en este estudio podemos afirmar que es un valor coherente.

**Ilustración 35:** Comportamiento dinámico



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

## 8.7. PRESUPUESTO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO:

Tabla 8: Presupuesto del proyecto

<b>LISTA DE MATERIALES</b>			
<b>CANT.</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>PRECIO UNID.</b>	<b>TOTAL</b>
1	Motor trifásico 5 HP 220V	\$330,00	\$500,00
2	Aros de 335mm espesor 12mm	\$40,00	\$80,00
1	Plancha acerada 5/8" para discos tapas 700mmx500mm	\$50,00	\$50,00
1	Plancha acerada 5mm para discos matriz armado de cuchillas 600mmx400mm	\$35,00	\$35,00
2	Corte de discos de plancha 5/8	\$12,00	\$24,00
2	Maquinado torneado planchas 5mm	\$15,00	\$30,00
2	Platina acerada para apoyo corte de cuchillas laterales	\$25,00	\$50,00
55	Cortes de platina	\$0.50	\$27.50
55	Maquinado platinas aceradas para cuchillas	\$3.00	\$165.00
2	Tubo cuadrado 30mm 3mm espesor estructura	\$15,00	\$30,00
1	Eje de 1 1/2" AISI 4340	\$45,00	\$45,00
2	CHUMACERAS pared y piso de 1 1/2"	\$15,00	\$30,00
2	Maquinado ubicación de chumacera en cilindro 5/8	\$45,00	\$90,00
1	Maquinado de eje principal (torno fresado)	\$75,00	\$75,00
10	Eje de 3" soporte de cuchillas AISI 4340	\$3.00	\$30,00
1	Armado de soporte porta cuchillas	\$150,00	\$150,00
85	Fabricación de cuchillas giratorias principales	\$4.00	\$340,00
2	Poleas de hierro fundido	\$30,00	\$60,00
2	Bandas de caucho	\$8,00	\$16,00
1	Pintura Sintético automotriz plomo	\$35,00	\$35,00
1	Pernos 5/16, 5/8- rodela plas y de presión	\$40,00	\$40,00
1	Malla perforada	\$20,00	\$20,00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$1.730,00</b>



## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1. CONCLUSIONES

- Son diversas pulverizadoras de NFU que se pueden conseguir en el mercado (martillos, discos, bolas y cuchillas); ellas dependen de como ejecutan el proceso y la metodología para la pulverización de los neumáticos fuera de uso. Estos métodos son conocidos como la tecnología de descenso de volumen en donde la pulverización mecánica por cuchillas a temperatura ambiente, fue la seleccionada para este estudio porque no impacta desfavorablemente el ambiente y es de bajo costo.
- Para el diseño se utilizó el SolidWorks como un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora), en versión estudiantil el cual no requiere licencia y permite cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo de la máquina prototipo. Este software facilita el modelado de piezas, del sistema eléctrico y el ensamblaje en 3D; para evitar errores costosos.
- Fue necesario una selección de materiales específicos a las necesidades del equipo, que fueron identificadas posterior a los cálculos realizados y a la revisión bibliográfica. De allí la importancia del torque del motor, de las cuchillas y del porta cuchillas, entre otros. También fueron consideradas las normativas como: ISO 12100, ISO 13849, IEC 62061, relacionados a distintos sistemas y componentes de la máquina; así como la norma AISI 4340 la cual hace referencia al material utilizado Acero 705.

## 9.2. RECOMENDACIONES

- Al desarrollar la máquina en lo práctico tenemos que tener en cuenta el riesgo laboral, utilizar los equipos de protección para no tener dificultades en la ejecución del proyecto.
- Determinar si el proyecto y cada uno de los elementos que conforma cumplen con las normas ambientales en la etapa de pulverización.
- Se recomienda que al acoplar las placas de impacto rotativas (cuchillas) sean desmontables y sean regulables por si sufre desgastes.

## 10. Bibliografía

- BASF. (s.f.). Elastómeros de poliuretano termoplástico – Propiedades del Material. European Business Management Thermoplastic Polyurethanes. Pp. 44
- BASF. (s.f.). Elastómeros de poliuretano termoplástico – Indicaciones para la Transformación. European Business Management Thermoplastic Polyurethanes. Pp. 28
- Bridgestone. (s.f.). Partes de un Neumático. Recuperado el 15 de Abril del 2016 de: <http://www.neumaticosmedica.com.ar/partes.html>
- Cardona, L. y Sánchez, L. (2011). Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. Especialización en PML. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia.
- Castro, G. (2007). Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos. Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.
- CEOE. (2007). Valorización Material y energética de Neumáticos Fuera de Uso. Confederación Empresarial de Madrid – CEOE.
- Constitución Política de la República del Ecuador. (2008). Asamblea Constituyente. Ecuador.
- Cuzco, A. (2015). Análisis Comparativo de las Propiedades Mecánicas entre el Adoquín Convencional y el Adoquín de Caucho. Trabajo de Graduación Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Universidad Central del Ecuador.
- Drunker, A. (s.f.). Elastómeros. Cátedra de Ciencia de los Materiales. Universidad Nacional de Rosario.
- ECCONEX. (2012). Reciclado de los neumáticos y su aplicación. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=oQcjRIPtQGM>
- Eco Caucho. (2016). Las Llantas son un Problema en el Ecuador. Recuperado el 20 de Febrero del 2016 de: <http://ecocaucho.com.ec/index.php/k2-items/medio-ambiente>
- El Universo. (2014). Neumáticos, desechos 100% aprovechables. Recuperado el lunes 4 de Abril del 2016 de: <http://www.eluniverso.com/vida-estilo/2014/12/14/nota/4338281/neumaticos-desechos-100-aprovechables>
- ERCO Tires (Continental Tires). (2011). Proceso de Reencauche de neumáticos. Cuenca.

- Expreso. (2014). El Reciclaje de los Neumáticos rueda a velocidad en el País, la meta es reencauchar en un 20%.
- Castro, G. (2008). Materiales y compuestos para la industria del neumático.
- Espinosa, S. S. (2016). Diseño y simulación de una máquina trituradora de llantas, de una tonelada por hora de capacidad, para la empresa Optra-Sembres.
- Alfaro, A. (s. f.). Consideraciones para implementar con éxito su proyecto de seguridad en máquinas. Recuperado 10 de septiembre de 2020.
- Martinez&Paccha. (2020). Implementación de una máquina prototipo para separación y remoción de partículas ferromagnéticas de neumáticos triturados. La Maná-Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Peñarroya M. (2013). Estudio del efecto del tratamiento superficial mecanico del polvo de neumatocps fuera de uso PNFU en las propiedades de los materiales de base de cemento. Barcelona, España: TREBALLFINAL DE GRAU.

## 11. ANEXOS

*Anexo 1. Componentes de la pulverizadora*



Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021.

*Anexo 2. Cilindro Pulverizador*



Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

*Anexo 3. Piezas molturadoras*



Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021.

*Anexo 4. Placas de impacto rotativas (Cuchillas)*



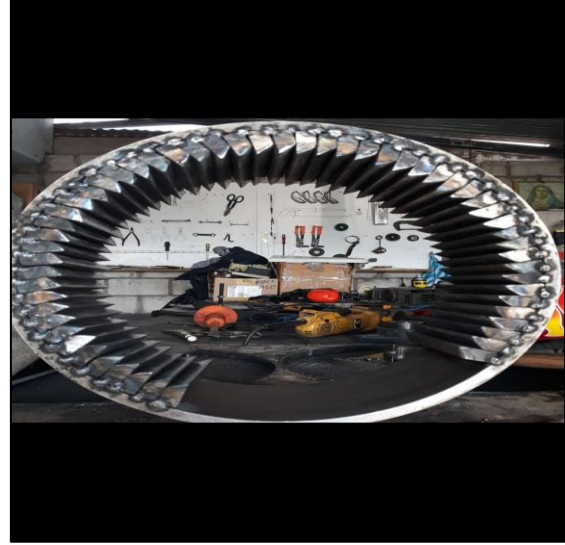
Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021.

*Anexo 5. Ubicación de las 52 piezas molturadoras*



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

*Anexo 6. Soldadura de las 52 piezas del cilindro*



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

*Anexo 7. Cilindro con las piezas molturadoras instaladas*



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

*Anexo 8. Motor trifásico de 5hp en el eje*



**Fuente:** Quintana & Rodríguez. 2021

**Anexo 9. Ensamble de la pulverizadora de neumáticos**



Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

**Anexo 10. Placas de impacto rotativas (Cuchillas)**



Fuente: Quintana & Rodríguez. 2021

**Anexo 11. Características del material empleado en el eje**

**Anexo 12. Características del cilindro pulverizador.**

### EJES ACERO 705

**Especificaciones Generales:**  
 Norma: AISI 4340 (705)  
 Descripción: Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a la fragilidad del revenido.  
 Aplicaciones: Partes de maquinarias sometidas a altos esfuerzos, bruto de dirección, ciguerías, árboles de leva, barras de torsión, embragues, piñones, barras de cardán, ejes de bomba, ejes para aviones, muñones, pernos de alto grado de tensión, rodillos de transportadora, etc.  
 Largo: 6 metros

DIMENSIONES	
DIÁMETRO	
10 mm	
15 mm	
20 mm	
25 mm	
30 mm	
35 mm	
40 mm	
50 mm	
60 mm	
70 mm	
80 mm	

COMPOSICIÓN QUÍMICA				
SiC	Mn	P	S	RS
0.34	0.17 - 0.35	0.005 - 0.030	0.004 - 0.030	0.0003 - 0.030

PROPIEDADES MECÁNICAS				
DIÁMETRO (mm)	RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación (% min.)	DUREZA ROCKWELL C
16 - 40	1200 - 1400	1000	9	240 - 380
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 380
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 380

Fuente: Dipac.com 2021

### TUBERÍA SIN COSTURA CÉDULA 40

**Especificaciones Generales:**  
 ASTM A 53 GRB: Conducción fluidos y gases en minería, petroquímica, pesca y en general.  
 API 5L: Tubos para industria petrolera.  
 ASTM A 106: Tubos para servicio a altas temperaturas.  
 Recubrimiento: Negro o galvanizado.  
 Largo normal: 6.00 mts.  
 Acabado: Acero negro

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA	PUNTO DE FLENCIA	Elongación %	
kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	10g	50g
42.2	60000	24.6	30-35

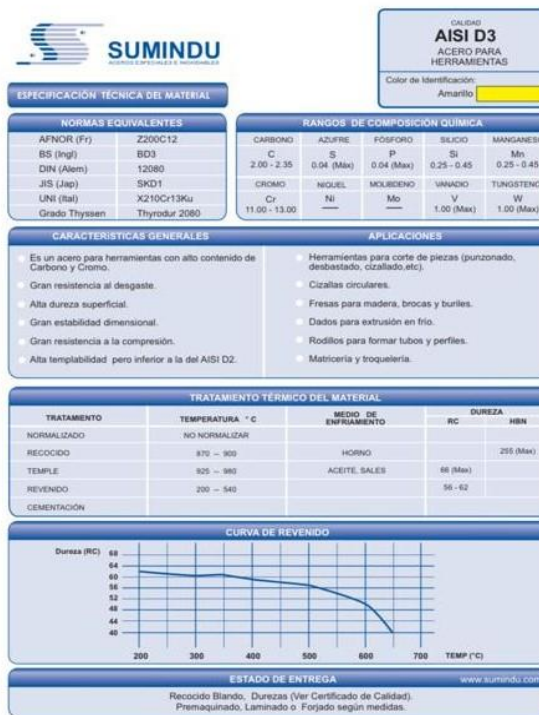
COMPOSICIÓN QUÍMICA %	
C. Max	Mn   P Max   S Max
0.3	1.2   0.05   0.06

DIÁMETRO		PROPIEDADES					
INTERIOR	EXTERIOR (D)	ESPESOR (e)	PRESIÓN/PRUEBA		PESO		
pulg	mm	pulg	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	kg/mts		
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.66	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.16	176	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1790	28.26
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65
14"	355.60	14.00	11.13	0.43	92	1310	94.55

\*Otros largos y acabados previa consulta

Fuente: Dipac.com 2021

*Anexo 13. Características del tratamiento térmico de las cuchillas.*



Fuente: Sumindu.com 2021



## Anexo 14. Certificado de Urkund



## Document Information

<b>Analyzed document</b>	TESIS QUINTANA JAVIER - RODRIGUEZ JOSE.docx (D97748784)
<b>Submitted</b>	3/9/2021 4:25:00 PM
<b>Submitted by</b>	PACO VASQUEZ
<b>Submitter email</b>	paco.vasquez@utc.edu.ec
<b>Similarity</b>	6%
<b>Analysis address</b>	paco.vasquez.utc@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis Garcia Stalin - Silva Marlon.docx</b> Document Tesis Garcia Stalin - Silva Marlon.docx (D64544709) Submitted by: paco.vasquez@utc.edu.ec Receiver: paco.vasquez.utc@analysis.orkund.com		4
<b>SA</b>	<b>Informe trabajo de titulación gestión de neumáticos Jhon Guamán.docx</b> Document Informe trabajo de titulación gestión de neumáticos Jhon Guamán.docx (D52071310)		1
<b>SA</b>	<b>(NFU).docx</b> Document (NFU).docx (D97404168)		1
<b>W</b>	URL: <a href="http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcid339r/doc/bmfcid339r.pdf">http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcid339r/doc/bmfcid339r.pdf</a> Fetched: 1/11/2021 8:47:09 AM		1
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis Electromecanica.pdf</b> Document Tesis Electromecanica.pdf (D11332485) Submitted by: freddymj_17@hotmail.com Receiver: segundo.cevallos.2.utc@analysis.orkund.com		2
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/1284/1/Trabajo%20de%20g...">https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/1284/1/Trabajo%20de%20g...</a> Fetched: 1/10/2021 7:46:48 AM		1
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis Electromecanica 2.1.pdf</b> Document Tesis Electromecanica 2.1.pdf (D11338401) Submitted by: freddymj_17@hotmail.com Receiver: segundo.cevallos.2.utc@analysis.orkund.com		1
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16551/1/69197_1.pdf">http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16551/1/69197_1.pdf</a> Fetched: 12/31/2020 7:50:37 AM		2
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis Paredes Bryan- Saavedra Francisco corr.docx</b> Document Tesis Paredes Bryan- Saavedra Francisco corr.docx (D97747218) Submitted by: paco.vasquez@utc.edu.ec Receiver: paco.vasquez.utc@analysis.orkund.com		3
<b>SA</b>	<b>1535162344_86__ag_24__Diseño_de_mecanismo_de_trituracion_de_NFU.docx</b> Document 1535162344_86__ag_24__Diseño_de_mecanismo_de_trituracion_de_NFU.docx (D40997925)		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7704/1/IV_FIN_111_TI...">https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7704/1/IV_FIN_111_TI...</a> Fetched: 8/21/2020 9:11:54 AM		1
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5156/1/T-UCE-0011-194.pdf">http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5156/1/T-UCE-0011-194.pdf</a> Fetched: 1/4/2021 7:59:32 PM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://core.ac.uk/download/pdf/233005469.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/233005469.pdf</a> Fetched: 3/9/2021 4:26:00 PM		1
<b>SA</b>	<b>1537395358_DISEÑO DE MECANISMO DE TRITURACION NFU.pdf</b> Document 1537395358_DISEÑO DE MECANISMO DE TRITURACION NFU.pdf (D41602138)		1