



Construcción, e implementación de una trituradora de neumáticos para el laboratorio de materiales.

Anguisaca Vargas, Carlos Vinicio y Vega Masapanta, Jessica Maribel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Ing. Argüello Maya, Edison Oswaldo.

28 de febrero del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenidos

Document Information

Analyzed document	TESIS - VEGA - ANGUISACA (1).docx (D159740681)
Submitted	2/28/2023 11:18:00 PM
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / TESIS GALVEZ_GUEVARA.pdf Document TESIS GALVEZ_GUEVARA.pdf (D159735005) Submitted by: jc.altamiranoc@uta.edu.ec Receiver: jc.altamiranoc.uta@analysis.urkund.com	10
SA	stalin mueses_trabajo de grado(empastado).pdf Document stalin mueses_trabajo de grado(empastado).pdf (D29558203)	1
SA	Vásconez A 04-10-20.pdf Document Vásconez A 04-10-20.pdf (D87942853)	3
SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / TESIS FINAL.pdf Document TESIS FINAL.pdf (D16890589) Submitted by: danyd78@hotmail.com Receiver: jp.guamanquispe.uta@analysis.urkund.com	1

Latacunga, 28 de febrero del 2023



.....
Ing. Arguello Maya, Edison Oswaldo
C.C: 1708903024



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Construcción, e implementación de una trituradora de neumáticos para el laboratorio de materiales" fue realizado por los señores Anguisaca Vargas, Carlos Vinicio y Vega Masapanta, Jessica Maribel, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 28 de febrero del 2023

Ing. Argüello Maya, Edison Oswaldo.

C.C.: 1708903024



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Anguisaca Vargas, Carlos Vinicio y Vega Masapanta, Jessica Maribel**, con cédulas de ciudadanía n° **0504281437** y **1725798290** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Construcción, e implementación de una trituradora de neumáticos para el laboratorio de materiales”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 28 de febrero de 2023

Anguisaca Vargas, Carlos Vinicio

C.C.: 0504281437

Vega Masapanta, Jessica Maribel

C.C.: 1725798290



Departamento de Ciencias de la Energía Y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotros, **Anguisaca Vargas, Carlos Vinicio** y **Vega Masapanta, Jessica Maribel**, con cédulas de ciudadanía n° **0504281437** y **1725798290**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Construcción, e implementación de una trituradora de neumáticos para el laboratorio de materiales”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 28 de febrero de 2023

Anguisaca Vargas, Carlos Vinicio

C.C.: 0504281437

Vega Masapanta, Jessica Maribel

C.C.: 1725798290

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de integración curricular a aquellas personas que han sido mi fuente de inspiración y apoyo durante mi camino universitario. En primer lugar, a mis padres Fabián Anguisaca y Esther Vargas, quienes me han brindado sabios consejos y un apoyo incondicional, siendo mi motivación para seguir trabajando duro y esforzándome por alcanzar mis metas.

También quiero agradecer a mis hermanos Olger y Liliana, por siempre estar ahí cuando los he necesitado, impulsándome a seguir adelante en los momentos más difíciles.

Por último, quiero expresar mi agradecimiento a mis abuelos César, María, Rafael, Delfina, y a mis bisabuelos José y Elena, quienes han estado a mi lado en los momentos más importantes de mi vida académica y han sido una fuente de apoyo y aliento incondicional. A todos ellos, les dedico este trabajo con gratitud y cariño.

CARLOS VINICIO ANGUISACA VARGAS

Agradecimiento

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios por otorgarme la salud y la sabiduría necesarias para alcanzar mi sueño, así como a mis seres queridos por su constante apoyo y aliento, que me han dado la fuerza para superar los desafíos que he enfrentado en mi vida universitaria.

También me gustaría agradecer de corazón a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por brindarme la oportunidad de estudiar esta maravillosa carrera y a todos los profesores que han contribuido a mi formación tanto profesional como personal.

Quiero destacar especialmente al Ing. Edison Argüello por su apoyo incondicional durante el desarrollo del trabajo de integración curricular. Su guía y orientación han sido fundamentales en mi aprendizaje y crecimiento.

Nuevamente, muchas gracias a todos los que han formado parte de mi camino universitario. Estoy muy agradecido por su apoyo y por ayudarme a alcanzar mis metas.

CARLOS VINICIO ANGUISACA VARGAS

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de integración curricular a mi familia quienes son pilares fundamentales en mi vida, ya que, durante mi carrera universitaria, me han ayudado con sus consejos, apoyo incondicional cuando lo he necesitado y especialmente por siempre guiarme por el camino del bien.

A mi padre José Vega por ser un gran hombre y amigo que supo decirme las palabras adecuadas en el momento preciso para que yo no decaiga en este proceso.

A mi madre Gloria Masapanta por su lucha inagotable para que yo pueda culminar este ciclo con su trabajo, amor, apoyo y sobre todo comprensión en momentos difíciles donde dio lo mejor de sí misma y nunca se cansó de alentarme y empujarme hacia adelante.

A mi hermano Robinson por todas las palabras de apoyo en cada periodo académico y sobre todo por el ejemplo de trabajo duro y superación que ha implantado en mí.

A mis hermanos Dayana, Cindy, Denis y Henry por sus constantes demostraciones de cariño y afecto que me han dado las fuerzas necesarias para culminar esta meta y demostrarles que el esfuerzo constante nos lleva a lo que queremos lograr en esta vida.

JESSICA MARIBEL VEGA MASAPANTA

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado salud y vida para lograr esta meta, así como también darme fuerzas y firmeza para afrontar todas las dificultades que se han presentado durante toda mi vida universitaria.

De igual forma agradezco a la Universidad de las fuerzas armadas ESPE, por la apertura de sus puertas y brindarme la oportunidad de estudiar esta carrera, como no también agradecer a todos los docentes del departamento de energía y mecánica quienes nos han ayudado con nuestra formación tanto profesional como personal.

De manera muy especial agradezco al Ing. Oswaldo Arguello quien fue nuestro tutor de la unidad de integración curricular, y nos supo guiar durante el desarrollo de esta investigación.

JESSICA MARIBEL VEGA MASAPANTA

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenidos.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimiento	9
Índice de contenido	10
Índice de tablas.....	14
Índice de figuras.....	15
Resumen	17
Abstract.....	18
Capítulo I: Introducción.....	19
Antecedentes.....	19
Planteamiento del problema	19
Justificación e importancia	20
Objetivos	21
<i>Objetivo General</i>	21
<i>Objetivos específicos</i>	21
Variables de investigación	22
<i>Variable Dependiente</i>	22
<i>Variable Independiente</i>	22
<i>Hipótesis</i>	22
Capítulo II: Marco Teórico	23
Neumáticos.....	25
<i>Características de los neumáticos</i>	27
<i>Nomenclatura</i>	27
<i>Problemas en los neumáticos</i>	28
Desequilibrio.....	29
<i>Desequilibrio dinámico.</i>	29

<i>Desequilibrio estático.....</i>	30
Alabeo.....	30
Excentricidad.....	31
Shimy.....	32
Máquina trituradora de neumáticos	32
<i>Ventajas.....</i>	33
<i>Trituradora de un eje</i>	34
<i>Trituradora de dos ejes</i>	34
<i>Trituradora de 3 o más ejes.....</i>	34
Términos básicos.....	35
<i>Medio ambiente</i>	35
<i>Reciclaje.....</i>	35
<i>Triturar</i>	35
<i>Reutilizar.....</i>	35
Términos técnicos	35
<i>Engranajes</i>	35
<i>Eje.....</i>	40
Consideraciones para el diseño de ejes.	41
<i>Cuchillas.....</i>	42
<i>Chasis.....</i>	42
<i>Rodamientos</i>	43
Rodamientos rígidos de bolas.....	43
Rodamiento de inserción.. ..	44
Rodamientos de bolas de contacto angular.....	45
Los rodamientos de bolas a rótula.. ..	46
Rodamientos axiales de bolas.....	46
Rodamientos axiales de bolas de contacto angular.	47
<i>Motor reductor.....</i>	47
<i>Fresadora</i>	48
<i>Torno</i>	48
<i>Corte por agua</i>	48
<i>Templado.....</i>	49
<i>Chaveta y chavetero</i>	50

<i>Procesos de manufactura</i>	51
<i>Torneado</i>	51
<i>Fresado</i>	52
<i>Taladrado</i>	52
<i>Rectificado</i>	52
<i>Roscado</i>	52
Conexión eléctrica.....	53
Capítulo III: Metodología de Desarrollo	55
Construcción de una trituradora de neumáticos	55
<i>Selección del tipo de triturador</i>	58
<i>Adquisición de materia prima y piezas normalizadas</i>	58
<i>Selección de Engranajes</i>	61
Dimensión de engranajes.	62
<i>Selección de rodamientos</i>	64
<i>Selección de motor y transmisión</i>	71
Motor.....	71
Transmisión.....	72
Componentes de la trituradora.	72
<i>Mecanizado de partes y piezas</i>	73
Mecanizado de ejes.....	73
<i>Operación 1</i>	73
<i>Operación 2</i>	73
<i>Operación 3</i>	74
<i>Operación 4</i>	74
<i>Operación 5</i>	75
<i>Operación 6</i>	75
<i>Eje final mecanizado</i>	76
Mecanizado de cuchillas, bancada y separadores.	77
<i>Operación 1</i>	77
<i>Corte final de cuchillas y separadores</i>	79
Mecanizado de las placas frontal y posterior.....	80
<i>Operación 1</i>	80
<i>Operación 2</i>	80

<i>Operación 3</i>	81
Mecanizado de las placas laterales.	81
<i>Operación 1</i>	81
<i>Operación 2</i>	82
<i>Operación 3</i>	82
Herramientas utilizadas.	83
<i>Construcción de la estructura</i>	84
<i>Ensamblaje</i>	84
Seguridad y precauciones antes y durante el armado.	85
<i>Instalación de componentes del circuito de control</i>	93
<i>Pruebas</i>	96
Manual de Usuario para Máquina Trituradora de Neumáticos.....	97
Instrucciones de uso	98
Instrucciones de mantenimiento.	98
Capítulo IV: Resultados de la investigación	100
Prueba de trituración	100
<i>Prueba 1 Neumático Continental</i>	100
<i>Prueba 2 Neumático HANKOOK</i>	102
<i>Prueba 3 Neumático GOODYEAR</i>	103
Análisis de datos	105
<i>Granulometría y número de pasadas</i>	105
Capítulo V: Marco administrativo	108
Recursos	108
<i>Recursos humanos</i>	108
<i>Recursos tecnológicos</i>	108
<i>Recursos materiales</i>	109
Financiamiento	111
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones	113
Conclusiones	113
Recomendaciones	115
Bibliografía	116
Anexos	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Resumen de Fórmulas para cálculos del eje</i>	41
Tabla 2 <i>Eficiencia y coste determinada por número de ejes</i>	58
Tabla 3 <i>Composición química del acero AISI/SAE 4340</i>	59
Tabla 4 <i>Propiedades mecánicas del acero AISI/SAE 4340</i>	59
Tabla 5 <i>Propiedades de las planchas de acero ASTM A36</i>	60
Tabla 6 <i>Dimensiones del engranaje</i>	62
Tabla 7 <i>Dimensiones del rodamiento 6015</i>	65
Tabla 8 <i>Dimensiones de los resaltes</i>	66
Tabla 9 <i>Características generales del rodamiento 6015</i>	66
Tabla 10 <i>Dimensiones del rodamiento 6213</i>	67
Tabla 11 <i>Dimensiones de resalte del rodamiento 6213</i>	68
Tabla 12 <i>Características generales del rodamiento 6213</i>	68
Tabla 13 <i>Características de los rodamientos</i>	70
Tabla 14 <i>Requerimientos de la trituradora y el motor reductor</i>	93
Tabla 15 <i>Prueba 1 número de pasadas y granulometría</i>	100
Tabla 16 <i>Prueba 2 número de pasadas y granulometría</i>	102
Tabla 17 <i>Prueba 3 número de pasadas y granulometría</i>	103
Tabla 18 <i>Recursos humanos</i>	108
Tabla 19 <i>Recursos tecnológicos</i>	109
Tabla 20 <i>Recursos materiales</i>	110
Tabla 21 <i>Gastos de la construcción</i>	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes del neumático	26
Figura 2 Nomenclatura de un neumático	28
Figura 3 Desequilibrio dinámico de un neumático	29
Figura 4 Desequilibrio estático de un neumático	30
Figura 5 Alabeo de un neumático	31
Figura 6 Excentricidad de un neumático	31
Figura 7 Engranaje sin fin	36
Figura 8 Engranaje hipoide	37
Figura 9 Engranaje recto	37
Figura 10 Engranaje helicoidal	38
Figura 11 Engranaje cónico	39
Figura 12 Engranaje planetario	39
Figura 13 Eje redondo	40
Figura 14 Eje hexagonal	40
Figura 15 Eje cuadrado	41
Figura 16 Rodamiento rígido de bolas	43
Figura 17 Rodamiento de inserción	44
Figura 18 Rodamiento de bolas de contacto angular	45
Figura 19 Rodamiento de bolas de rótula	46
Figura 20 Rodamiento axial de bolas	46
Figura 21 Rodamiento axial de bolas de contacto angular	47
Figura 22 Motor reductor	48
Figura 23 Corte por agua	49
Figura 24 Chaveta	51
Figura 25 Conexión estrella	53
Figura 26 Conexión triángulo	54
Figura 27 Diagrama de flujo del proceso de construcción de una trituradora	57
Figura 28 Eje de material AISI 4340	60
Figura 29 Abreviaturas y medidas de un engranaje	62
Figura 30 Dibujo en un software CAD del engranaje recto	63
Figura 31 Engranaje de la trituradora de neumáticos	64
Figura 32 Dimensiones del rodamiento 6015	64
Figura 33 Dimensiones del resalte del rodamiento 6015	65
Figura 34 Motor reductor de 7.5 HP	71
Figura 35 Eje AISI 4340	73
Figura 36 Proceso de refrentado del eje	73
Figura 37 Operación de torneado de eje en la parte posterior	74
Figura 38 Operación de torneado del eje en la parte frontal	74
Figura 39 Operación de mecanizado hexagonal del eje	75
Figura 40 Implementación de un bocín para acoplar el rodamiento	75
Figura 41 Eje final mecanizado	76
Figura 42 Dimensionamiento de separador, bancada y cuchilla	77

Figura 43 <i>Ubicación de separador, bancada, cuchilla y soporte superior e inferior</i>	78
Figura 44 <i>Resultados del corte por chorro de agua</i>	79
Figura 45 <i>Placas frontales y posteriores</i>	80
Figura 46 <i>Vaciado de agujeros</i>	80
Figura 47 <i>Placa final</i>	81
Figura 48 <i>Placas laterales mecanizadas</i>	81
Figura 49 <i>Placas laterales</i>	82
Figura 50 <i>Mecanizado final</i>	82
Figura 51 <i>Fresa e insertos</i>	83
Figura 52 <i>Estructura de soporte de la trituradora</i>	84
Figura 53 <i>Diagrama de flujo del proceso de ensamblaje de una trituradora</i>	86
Figura 54 <i>Ensamblaje de cuchillas, separadores y eje</i>	87
Figura 55 <i>Ubicación de cuchillas y separadores en el eje</i>	88
Figura 56 <i>Ubicación de los rodamientos en el conjunto eje, cuchilla y eje.</i>	88
Figura 57 <i>Ubicación de los rodamientos en el conjunto eje, cuchilla y eje</i>	89
Figura 58 <i>Ubicación del eje con las placas frontal y posterior</i>	89
Figura 59 <i>Ubicación del soporte de bancada superior e inferior en las placas</i>	90
Figura 60 <i>Ubicación de placas laterales, soportes y bancadas</i>	90
Figura 61 <i>Implementación del chavetero</i>	91
Figura 62 <i>Tapas de fijación de engranajes y catalina</i>	91
Figura 63 <i>Mecanizado de la catalina</i>	92
Figura 64 <i>Panel de control</i>	94
Figura 65 <i>Implementación del panel de control</i>	95
Figura 66 <i>Conexión del panel de control</i>	95
Figura 67 <i>Armado completo de la trituradora de neumáticos</i>	96
Figura 68 <i>Diagrama de flujo de la operación de la trituradora de neumáticos</i>	97
Figura 69 <i>Prueba 1 número de pasadas y granulometría</i>	101
Figura 70 <i>Prueba 2 número de pasadas y granulometría</i>	103
Figura 71 <i>Prueba 3 número de pasadas y granulometría</i>	105
Figura 72 <i>Comparación curvas de granulometría y número de pasadas</i>	106
Figura 73 <i>Comparación entre los picos de granulometría de los neumáticos</i>	107

Resumen

En el trabajo de integración curricular se realizó el diseño y construcción de una máquina trituradora de neumáticos, considerando los parámetros de diseño de elementos de máquinas, la disponibilidad local de los materiales, para implementarla mediante diferentes maquinados y cortes, de esta manera la máquina es capaz de triturar neumáticos usados y reducirlos a tamaños más pequeños para su posterior reciclaje o reutilización y se la implementó en el laboratorio de materiales para el estudio de estos temas que se tratan en clases, la trituradora de neumáticos pueden producir partículas de caucho triturado con un rango de tamaños, desde polvo fino hasta fragmentos más grandes. Algunas trituradoras pueden producir partículas de caucho triturado con un tamaño específico, mientras que otras pueden producir diferentes tamaños de partículas, en nuestro caso se consiguió una granulometría de 20 mm después de 10 pasadas, este proceso es importante porque el tamaño y distribución de las partículas influye en el producto final y su capacidad para ser reciclado. Por ejemplo, si las partículas de caucho triturado son demasiado finas, pueden tener dificultades para ser transportadas y almacenadas; por otro lado, si las partículas son demasiado grandes, pueden tener dificultades para ser procesadas en nuevos productos.

Palabras Clave: Trituradora de neumáticos, granulometría, caucho granulado, diseño y construcción.

Abstract

In the curricular integration work, the design and construction of a tire shredding machine was carried out, considering the design parameters of machine elements, the local availability of materials, to implement it through different machining and cutting, in this way the machine is able to shred used tires and reduce them to smaller sizes for later recycling or reuse and it was implemented in the materials laboratory for the study of these topics covered in classes, the tire shredder can produce shredded rubber particles with a range of sizes, from fine powder to larger fragments. Some shredders can produce shredded rubber particles with a specific size, while others can produce different particle sizes, in our case a particle size of number was achieved, after so many passes, this process is important because the size and distribution of the particles influences the final product and its ability to be recycled. For example, if the shredded rubber particles are too fine, they may have difficulties to be transported and stored; on the other hand, if the particles are too large, they may have difficulties to be processed into new products.

Keywords: Tire shredder, granulometry, granulated rubber, design and construction.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Según cifras de la AEADE (Asociación de empresas automotrices del Ecuador) en una nueva investigación las ventas de vehículos nuevos en el mes de enero de 2022 alcanzan 9 605 unidades y registran un crecimiento anual del 13% (Magazine, 2022).

De acuerdo a Censos (2021) en el Ecuador se matricularon 2 535 853 vehículos hasta el año 2021, eso quiere decir que el problema de los residuos de neumáticos usados está causando grandes estragos, ya que por cada vehículo se desechan 4 neumáticos cada 70 000 km en promedio y como consecuencia del incremento de la población, el desarrollo industrial, la gran demanda de vehículos para la movilidad provocan el consumo de los recursos naturales y una evidente contaminación del medio ambiente por las micro partículas provenientes del desgaste del rodaje, así como los gases producidos en el proceso de quema de neumáticos, se incrementa la posibilidad de provocar enfermedades perjudiciales para la salud, en tal sentido, el presente proyecto plantea la construcción de una máquina trituradora de neumáticos para el laboratorio de materiales de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE”, con la finalidad de contribuir al conocimiento de uno de los procesos de reciclaje de neumáticos más amigable con el medio ambiente. (Instituto Nacional de Estadística y Censos (E.D.N.I.Y.) Censos, 2021)

Planteamiento del problema

Los neumáticos son desechos que actualmente en la ciudad de Latacunga no se procesan para recuperar la materia prima y darle un nuevo uso. En la revista la gaceta según la investigación de Proneumacosa S.A. realizada en 2018 en Ecuador, se genera alrededor de 3 millones de neumáticos fuera de uso (NFU) cada año, cantidad equivalente a unas 60 000 toneladas de residuo; el diagnóstico

determinó que anualmente 17 500 toneladas se destinan al proceso de reencauche, otras 1 000 toneladas son procesados en plantas de reciclaje artesanalmente y poco industrial. Estos datos revelan que más del 70% de los NFU generados en el país, tienen un vertido desconocido (Redacción Central, 2018).

Al existir desconocimiento de los procesos para el tratamiento de estos desechos existe muy poca inversión en el reciclado de neumáticos. El laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga necesita implementar equipamiento para tratar estos temas y generar conocimiento y concienciación a los estudiantes. En los sílabos de las asignaturas de Ciencias de los Materiales se estudia esta temática de manera teórica y al no contar con un equipo para hacer prácticas de laboratorio para el reciclado de neumáticos, se pierde la oportunidad de generar en el estudiante el interés por encontrar soluciones que permitan mejorar estos problemas ambientales.

Justificación e importancia

Actualmente la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, no cuenta con una máquina trituradora de neumáticos que permita la práctica al rededor del caucho y sus usos, por lo que el estudio del comportamiento de estos materiales y su reciclaje son un factor muy importante hoy en día. Adquirir una trituradora de neumáticos básica en el país oscila entre los 30 000 y 40 000 dólares norteamericanos; esto se debe, a que se adiciona el costo de importación, esto ha dado paso a que como estudiantes busquemos la manera de solucionar esta problemática, pues la implementación de este prototipo es una alternativa muy viable para fomentar el aprendizaje práctico de este proceso de reciclaje de los neumáticos usados para reducir la cantidad de neumáticos que terminan en vertederos lo que aumenta la eficiencia en el uso de los recursos.

Objetivos

Objetivo General

- Construir e implementar una máquina trituradora de neumáticos para el laboratorio de materiales.

Objetivos específicos

- Analizar detalladamente el diseño de una trituradora de neumáticos, identificando las características clave de su funcionamiento, la estructura y componentes, el rendimiento y la eficiencia en la trituración de neumáticos, para evaluar su capacidad de reducir el volumen de residuos de neumáticos y su impacto ambiental.
- Aplicar métodos de mecanizado en el eje de acero AISI 4340 para fabricar las partes requeridas de la máquina trituradora de neumáticos.
- Efectuar procesos de corte y vaciado CNC de una plancha de acero estructural A36 de 20 mm y 25.4 mm para fabricar las partes requeridas de la máquina trituradora de neumáticos.
- Llevar a cabo procesos de corte por chorro de agua de una plancha de acero estructural A36 de 20 mm para fabricar las partes requeridas de la máquina trituradora de neumáticos.
- Construir una trituradora de neumáticos con equipos, materiales y piezas disponibles en la localidad y ajustarlos a los requerimientos del diseño previo.
- Realizar pruebas respecto de la granulometría y número de pasadas y tabularlas para su posterior análisis.

Variables de investigación***Variable Dependiente***

- Construcción e implementación de una máquina trituradora.

Variable Independiente

- El diseño de la máquina trituradora de neumáticos es el más idóneo para usar materiales, partes, equipos y procesos de manufactura que se tiene en la localidad.

Hipótesis

Con los materiales, partes, equipos, procesos de manufactura que se encuentran en la localidad se puede fabricar una máquina trituradora de neumáticos para el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE sede Latacunga.

Capítulo II

Marco Teórico

Los proyectos de trituradoras neumáticas se consideran un factor muy importante en la contribución a la disminución del impacto ambiental que producen los desechos de neumáticos. Las micro partículas que provienen del desgaste de los neumáticos por el rodaje, los gases generados por la quema de los mismos hacen que se contaminen los ríos, lagos, bosques, rellenos sanitarios, con una afectación ecológica. Algunos residuos sólidos tardan millones de años para lograr su descomposición.

Según el estudio de la Universidad Politécnica Salesiana en la facultad de ingeniería mecánica el proceso de trituración en el relleno sanitario de cuenca disminuye un 76% del volumen existente de neumáticos usados, permitiendo la recirculación del acero mediante la fundición y de la misma manera el caucho se reutiliza para la elaboración del pavimento, canchas sintéticas (E. Méndez al, 2010).

Según (S, Mueses, 2017), se toman consideraciones para la metodología, como: fuerza necesaria para el desgarrado del caucho, dimensiones del pedazo que se ingresa, la velocidad según recomendaciones de otros fabricantes, número y diseño de cuchillas.

Las múltiples maneras de reutilización del caucho usan métodos convencionales y otras que son derivadas de la ingeniería, en la mayoría de los procesos es necesario triturar el caucho y reducirlo hasta un tamaño granular que sea regular, y de esta manera lograr que los aditivos químicos hagan efecto adecuadamente, de tal manera que permita separar textiles, aditamentos metálicos y fibras de acero, las aplicaciones producto de la reutilización del caucho están en asfaltos, materiales aislantes, concreto, bloques, en cuanto al concreto cumpliendo la norma NTE INEN 3066 el uso de partículas de caucho en diferentes porcentajes de sustituciones por agregado fino, produce características técnicas semejantes al hormigón convencional con la diferencia que es más económica.

En una investigación de Arévalo et al. (2020), menciona que el sistema básico de una trituradora de neumáticos se debería enfocar en el proceso de separar el alambre del caucho, que mayormente se encuentra en vehículos pequeños, que corresponde al grupo que se caracteriza por no recurrir al reencauche, con la finalidad de triturar de manera eficiente, considera el dimensionamiento y selección adecuado de los componentes del mecanismo cuya transmisión sea económicamente sustentable. En el caso de la construcción de la máquina trituradora es primordial considerar la disponibilidad de materiales, de tal manera que mediante la simulación y propiedades mecánicas en concordancia de los conocimientos de ingeniería se pueda hacer realidad.

Las trituradoras de neumáticos son máquinas diseñadas para procesar las llantas de desecho en pedazos más pequeños para facilitar su eliminación y reciclaje. Vienen en una variedad de tamaños y configuraciones para adaptarse a diferentes necesidades. Dependiendo del tamaño, se pueden usar para una variedad de tareas, como triturar neumáticos de automóviles y camionetas, el principal beneficio es que facilita en gran medida el transporte de los materiales triturados, ya que son mucho más livianos y ocupan menos espacio que un neumático intacto. Además, se pueden usar para crear varios productos, debido a que no solo pueden reducir los neumáticos en piezas más pequeñas y manejables, sino que también pueden ayudar a mitigar el desecho indiscriminado de neumáticos.

Como afirma J. Moyano, se deben usar parámetros básicos y requerimientos para el triturador que incluye: plantear el sistema de transmisión de la adaptación, modelar y simular las características mecánicas básicas mediante la utilización de herramientas CAD. Para establecer los requerimientos básicos del triturador, se considera el estudio del comportamiento ideal del material objeto a trituración, de modo que evidencie la incidencia de la fuerza de tensión, deformación, dureza, resistencia al desgarre y deformación a la compresión para que con la selección de elementos mecánicos pueda soportar ciertas condiciones de temperatura de forma estandarizada (2020).

Por otra parte G. Ramos, realizó el diseño de una trituradora de neumáticos para reciclado y comercialización de migas de caucho, para Arequipa, siendo esta una de las tendencias a fortalecer y cuidar el medioambiente, donde presenta un estudio para la implementación considerando parámetros en el diseño según los datos que se encuentran en el medio, realizando una selección de alternativas donde se eligió la mejor alternativa tomando en cuenta parámetros de diseño, para esto se realizó cálculos con teorías mecánicas, se determinó los materiales y dimensiones para posterior obtener planos, además uno de los factores fundamentales a considerar fue la inversión económica para la compra de todos los materiales. (2019).

De esta manera existen varios autores que siguen esta tendencia, pero presentan características y consideraciones que pueden ser mejoradas. En este trabajo basándonos en el previo diseño y análisis del tema 1 se presenta la construcción de la trituradora de neumáticos, el prototipo busca robustez en su estructura mecánica, con componentes que se encuentran en el mercado ecuatoriano, y que sean del alcance de la manufactura, este proceso también desea fomentar el proceso de ingeniería y cuidado del medio ambiente para futuros estudios y mejoras del mismo.

Neumáticos

Los neumáticos son elementos de caucho colocados sobre las llantas de los vehículos, los cuales son esenciales en la seguridad activa de los ocupantes ya que se encuentran en contacto permanente con la superficie.

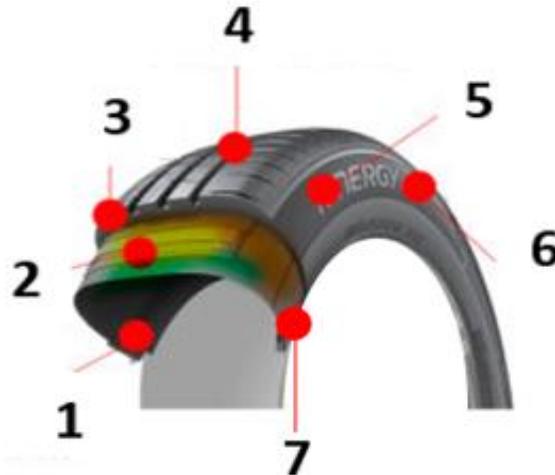
Las funciones de los neumáticos son:

- Tolerar el peso del vehículo
- Resistir los esfuerzos de frenado
- Hacerles frente a los diferentes tipos de suelo
- Ofrecer estabilidad

Partes

Figura 1

Partes del neumático



Nota. En la figura se enumeran las partes de un neumático. Tomado de Neumáticos km0.

1. Aislamiento interior, se componen de materiales herméticos para aislar el aire dentro del neumático.
2. Carcasa, se compone de varias capas para absorber la presión de aire interna, el peso del vehículo y los impactos producidos durante la marcha.
3. Protector o correa, el protector salvaguarda la carcasa absorbiendo los impactos externos y la correa aumenta la rigidez de la banda de rodadura.
4. Banda de rodadura, está en contacto directo con el suelo, ofrece gran resistencia a los impactos.
5. Hombro, se ubica entre la banda de rodadura y el flanco, mitiga el calentamiento y disipa el calor acumulado.
6. Flanco, protege la carcasa y absorbe las variaciones de la carrera.
7. Talón, realizada de alambre, relleno, caucho y aleta, sirven de fijación entre la rueda y la llanta.

El estado de los neumáticos influye en la seguridad de los ocupantes y en el comportamiento del vehículo.

Características de los neumáticos

El neumático es de tipo flexible que utiliza elementos como: fibras de nylon, alambres de acero y caucho, que son necesarios para mantener la forma correspondiente bajo la presión de trabajo, sirve como recubrimiento protector que cumple con la función de dibujar las bandas de rodadura, que posee el neumático, esta capa protectora hace la función de elemento de desgaste debido al contacto contra el pavimento, asfalto, en sí de la carretera donde se desplaza el neumático.

Existen dos tipos de neumáticos las cuales son de telas SESGADAS y las RADIALES, representadas por “-” y “R” respectivamente, así, por ejemplo: neumático 45/65-45 y neumático 45/65R45, las materias primas son el caucho, acero textil, óxido de zinc, negro de carbono, azufre, aditivos, y estos a su vez dependen de la categoría y tipo de vehículo y sean automóviles, camiones, o vehículos comerciales.

Nomenclatura

La nomenclatura de los neumáticos se designa en base al ancho de la sección transversal, relación de aspecto y el diámetro de la llanta, existe variedad de combinaciones que en el país optan por la estética antes que del dato técnico y el suelo en el que se va a usar, entre ellos se tiene un ejemplo:

Una llanta 185/70 R14 110V, el primer número (185) corresponde a la anchura en milímetros, el segundo número (70) corresponde a un porcentaje de la altura del perfil, la tercera (letra R) corresponde al tipo radial, el cuarto valor (14) hace referencia al diámetro interno de la llanta, es decir el tamaño del rin y está dado en pulgadas y el quinto valor (84) se refiere al índice de carga y rango de velocidad.

Figura 2

Nomenclatura de un neumático



Nota. La figura muestra la nomenclatura del neumático. Tomado de Neumáticos Alicante.

Problemas en los neumáticos

Los problemas más frecuentes en los neumáticos son:

- Desequilibrio
- Alabeo
- Excentricidad
- Shimy

Desequilibrio. Este problema nace por la desigualdad en la fuerza centrífuga al girar la rueda, es decir, si la masa del neumático no está uniformemente repartida va a generar movimientos basculantes y vibraciones que se incrementarán conforme vaya aumentando la velocidad del vehículo (Águeda Casado et al., 2020, p.293).

Las causas del desequilibrio son:

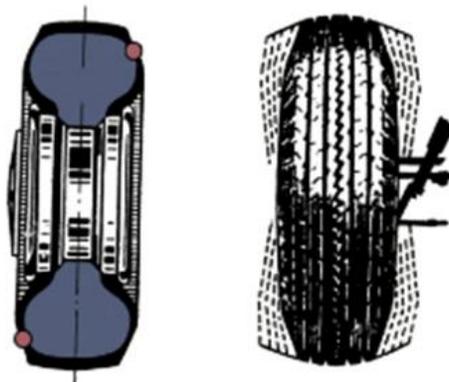
- Deformación en el neumático
- Mala reparación
- Descentramiento radial, lateral y excentricidad
- Distribución no uniforme de las masas respecto al eje de rotación
- Desequilibrio en la cubierta y el neumático

El desequilibrio de los neumáticos se divide en dos tipos:

Desequilibrio dinámico. Este problema se debe a la distribución irregular de las masas con respecto al eje vertical del neumático. Este desequilibrio genera desgaste irregular y fatiga en los rodamientos (Águeda Casado et al., 2020, p.294).

Figura 3

Desequilibrio dinámico de un neumático

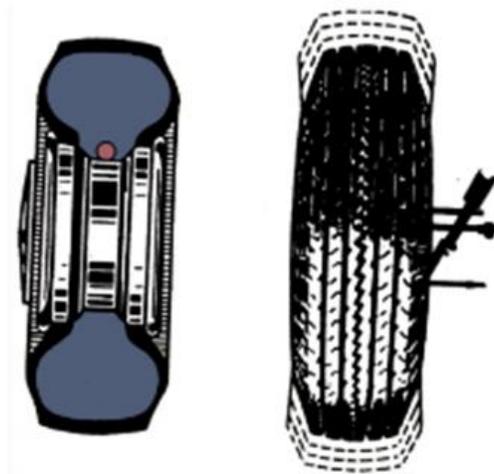


Nota. En la figura se muestra el desequilibrio dinámico de un neumático. Tomado de Mecánica del vehículo (2020).

Desequilibrio estático. Se debe a la distribución irregular de las masas con respecto al eje de rotación del neumático. Debido a este desequilibrio el neumático sufre un desgaste irregular y rotura del mismo (Águeda Casado et al., 2020, p.294).

Figura 4

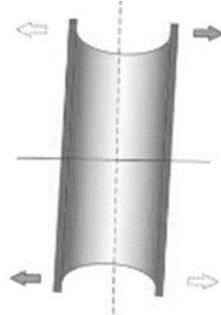
Desequilibrio estático de un neumático



Nota. En la figura se muestra el desequilibrio estático de un neumático. Tomado de Mecánica del vehículo (2020).

Alabeo

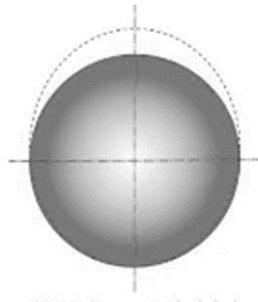
Se refiere a la deformación con respecto al plano longitudinal que se genera mientras la trayectoria del neumático es sinusoidal. Esto provoca vibraciones consecutivas de la convergencia en la dirección (Águeda Casado et al., 2020, p.293).

Figura 5*Alabeo de un neumático*

Nota. En la figura se muestra el alabeo que puede presentar un neumático. Tomado de Mecánica del vehículo (2020).

Excentricidad.

Se produce por el desgaste desigual de la cubierta o montaje defectuoso de la misma al no ajustar uniformemente la rueda. La excentricidad provoca un movimiento descendente y ascendente de la mangueta generando inestabilidad en las marchas y vibraciones en la dirección (Águeda Casado et al., 2020, p.293).

Figura 6*Excentricidad de un neumático*

Nota. En la figura se muestra la excentricidad de un neumático. Tomado de Mecánica del vehículo (2020).

Shimy

Son los movimientos oscilatorios del vehículo que se pueden generar por dos factores con respecto a la rueda y son:

- Vibración de la rueda con respecto al eje del montante de mangueta.
- Vibración vertical de la rueda provocada por la suspensión debido a:
 - Suspensión defectuosa
 - Montaje equívoco del neumático
 - Ruedas desequilibradas
 - Poca presión en los neumáticos
 - Peso excesivo
 - Dirección y suspensión incompatibles
 - Excesivo ángulo de avance

Máquina trituradora de neumáticos

Los trituradores de neumáticos están diseñados con la finalidad de reducir el tamaño de los mismos, triturando el acero, caucho y la fibra textil, sin tener que hacerlo manualmente o por procesos más rudimentarios, para ello las trituradoras utilizan materiales de alta dureza en la fabricación de cuchillas, ejes, rodamientos, el chasis, etc., los cuales forman un conjunto muy resistente que permitirá cumplir con el requerimiento de manera exitosa.

La trituradora de neumáticos pueden ser de diferente tamaño, diseño, velocidad y potencia, sobre todo. Estas características dependen del tiempo de trabajo para el que están siendo construidas ya que pueden ser para grandes empresas o como en este caso para un ámbito educativo donde no se va a utilizar a diario y con jornadas cortas de trabajo.

Ventajas

Hay varias ventajas importantes de triturar neumáticos en lugar de simplemente desecharlos como residuos sólidos. Algunas de estas ventajas incluyen:

- Reducción del volumen de residuos: Las trituradoras de neumáticos pueden reducir el volumen de neumáticos usados en un 75% a 80%, lo que reduce la cantidad de espacio requerido para su almacenamiento y transporte.
- Reciclaje de materiales: Los neumáticos triturados se pueden utilizar para crear nuevos productos, como caucho granulado para campos deportivos, alfombras de automóviles y materiales de construcción.
- Ahorro de energía y recursos naturales: El proceso de trituración de neumáticos requiere menos energía y recursos naturales que la fabricación de productos nuevos a partir de materiales vírgenes.
- Reducción de la contaminación: Los neumáticos desechados pueden ser un peligro para el medio ambiente, ya que pueden liberar productos químicos tóxicos y gases a la atmósfera. Al triturar los neumáticos, se reduce la cantidad de neumáticos que terminan en vertederos o en la naturaleza.
- Creación de empleos: El proceso de trituración de neumáticos requiere la utilización de maquinaria y personal capacitado, lo que puede crear empleos en la industria del reciclaje.

Existen diferentes tipos de trituradoras de neumáticos las cuales las describiremos a continuación.

Trituradora de un eje

El diseño tiene un sistema cándido debido a que el movimiento transmitido por medio del eje abarca varias cuchillas que, al ser giradas por el eje, ésta va cortando el neumático. La desventaja de esta trituradora es el tamaño de la granulometría que entrega, el cual se define por la separación entre las cuchillas (Vásconez, 2020).

Las cuchillas atrapan el neumático y separan el material, se encuentran ubicadas para que siempre estén en contacto con el neumático y evitar que este se salga, usa dos tipos de cuchillas, unas móviles que se encuentra en el eje y otras que se encuentran fijas en la estructura denominadas contra cuchillas para producir el corte.

Trituradora de dos ejes

Son ensambladas con dos ejes paralelos y cuchillas que otorgan un buen agarre del neumático. Esta máquina evita que el material se salga del sistema y tiene un punto favorable que es su diseño, el cual permite triturar neumáticos de gran tamaño (Vásconez, 2020).

En este sistema el neumático es atrapado y dirigido hacia la trituradora por las cuchillas que se encuentran ubicadas en cada eje y giran en sentidos opuestos, una vez atrapado el neumático, pasa por las cuchillas rápidamente y se produce el corte.

Trituradora de 3 o más ejes

El proceso de trituración es más eficaz debido a la gran cantidad de cuchillas colocadas en puntos adecuados con respecto al eje. Esto permite obtener granulometrías de tamaño reducido para posteriormente darle un nuevo uso (Vásconez, 2020).

Cuenta con muchas ventajas tales como la capacidad de trituración de neumáticos de mayor tamaño, pero el sistema con el que cuenta es muy complejo en cuanto a la transmisión, montaje y fabricación.

Términos básicos

Medio ambiente

El medio ambiente es considerado el espacio en el que se desarrolla la vida donde existe interacción entre organismos vivos y elementos sin vida. Todos los factores que involucran el medio ambiente influyen en el desarrollo y comportamiento de todos los seres bióticos y abióticos.

Reciclaje

El reciclaje es el proceso de reincorporación a la cadena productiva de materiales que ya fueron utilizados, pretende dar un nuevo uso a los desechos, obtener materia prima y volver a elaborar nuevas piezas, partes u objetos, buscando reducir el impacto ambiental.

Triturar

Es la operación mecánica cuyo objetivo es la reducción de grandes trozos de culturizar material en fragmentos más pequeños, para procesos posteriores de tratamiento o comercialización.

Reutilizar

Reutilizar es el proceso con el que se busca dar un nuevo uso o aplicación a un elemento o componente a través de tratamientos físicos o mecánicos previos, ya sea para el mismo fin o con otros fines.

Términos técnicos

Engranajes

Existen diferentes tipos de engranajes, con distintos fines aplicativos, características, ventajas y desventajas, los cuales son fabricados de acero y aleaciones de diferentes materiales. Los engranajes que existen son:

- Engranaje sin fin, son capaces de transmitir movimientos en ángulos mayores a noventa grados y son una excelente solución cuando se necesita reducir la velocidad con eficacia. Se aplica ampliamente en trabajos de baja potencia y velocidad porque ayuda a generar un movimiento suave y silencioso.

Figura 7

Engranaje sin fin



Nota. En la figura se muestra un sistema de engranaje y tornillo sin fin. Tomado de Norelem (2018).

- Engranajes hipoides, son cónicos helicoidales que se componen de una rueda grande y un piñón reductor con pocos dientes. Se utilizan cuando se requiere un par elevado, durabilidad y poco ruido. Pueden ser fabricados acordes a las necesidades del cliente.

Figura 8

Engranaje hipoide



Nota. En la figura se muestra el sistema de engranaje hipoide. Tomado de Direct Industry (2023).

- Engranajes rectos, son muy confiables cuando se requiere afrontar velocidades altas y bajas, diferentes cargas y las condiciones cambiantes del clima o entorno. Un punto importante de estos engranajes es que emite muy poco ruido porque sus dientes se encuentran montados en ejes paralelos.

Figura 9

Engranaje recto



Nota. En la figura se muestra el engranaje recto.

- Engranajes helicoidales, son más silenciosos y suaves que los engranajes rectos debido a la interacción de forma oblicua de sus dientes. Existen tres tipos de engranajes helicoidales:
 - Dobles
 - De ejes paralelos
 - Ejes cruzados

Figura 10

Engranaje helicoidal



Nota. En la figura se muestra el engranaje helicoidal. Tomado de Tibanta, M. (2016).

- Engranajes cónicos, estos engranajes son muy flexibles en cuanto a diseño, son ampliamente utilizados cuando se requiere variación de velocidad, cambios de giro, cargas fuertes y especialmente cuando se requiere reducir la generación de calor y ruido de los componentes.

Figura 11

Engranaje cónico



Nota. En la figura se muestra un engranaje cónico. Tomado de Ingeniería y Mecánica Automotriz (2020).

- Engranajes planetarios, debido a que son muy ligeros se utilizan en componentes o mecanismos que necesitan reducir la velocidad, pero se encuentran en lugares con espacio y peso reducido. Estos engranajes reducen considerablemente el ruido.

Figura 12

Engranaje planetario



Nota. En la figura se muestra el sistema de engranaje planetario. Tomado de TurboSquid (2013).

Eje

Los ejes son barras macizas de diferentes formas y tamaños que generalmente son fabricados de uno o más materiales como acero y sus aleaciones. Los más usuales son:

- Eje redondo, es una barra maciza que se usa principalmente en trabajos industriales como rodillos o pilares.

Figura 13

Eje redondo

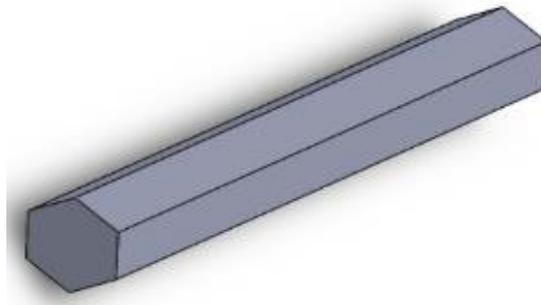


Nota. En la figura se muestra un eje redondo macizo.

- Eje hexagonal, son altamente resistentes y duraderos en aplicaciones de ingeniería y torno. Se pueden utilizar como ejes de transmisión ya que tienden a desgastarse muy poco.

Figura 14

Eje hexagonal

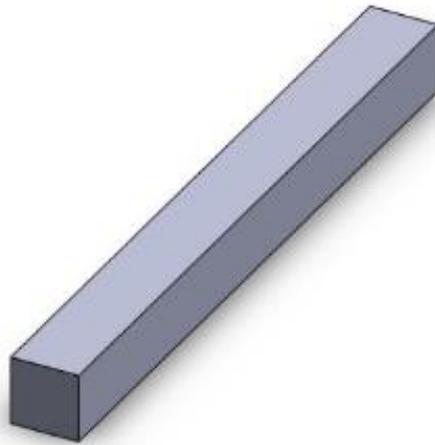


Nota. En la figura se muestra un eje hexagonal macizo.

- Eje cuadrado, son ejes que tienen excelente ductilidad y soldabilidad, y se utilizan para la fabricación de elementos de maquinaria que necesitan afrontar gran tenacidad, pero poca dureza.

Figura 15

Eje cuadrado



Nota. En la figura se muestra un eje cuadrado.

Consideraciones para el diseño de ejes. Para el diseño del eje se debe considerar la potencia del eje, los esfuerzos, carga, velocidad, resistencia a la fatiga de esta manera tener un factor de seguridad estable, con tolerancias que permitan una larga durabilidad, a continuación, se presentan las siguientes fórmulas que se tomaron en cuenta para el diseño.

Tabla 1

Resumen de Fórmulas para cálculos del eje

Nombre	Fórmula
Potencia del eje	$P = T * \omega$

Nombre	Fórmula
Esfuerzo del eje	$a = k_f \frac{M_a C}{l}$ $m = k_{fm} \frac{M_a C}{l}$
Método Asme	$d = \left\{ 32 \frac{N_f}{\pi} \left[\left(k_f \frac{M_a}{S_f} \right) + \frac{3}{4} \left(k_{fsm} \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$
Resistencia a la fatiga	$S_e = C_{carga} C_{tamaño} C_{temp} C_{conf} S_e'$ $S_f = C_{carga} C_{tamaño} C_{temp} C_{conf} S_f'$
Sensibilidad de la muesca	$q = \frac{k_f - 1}{Kt - 1}$ $q = k_f \sigma_{nom}$ $q = k_s \sigma_{nom}$

Nota. En la tabla se muestran las fórmulas usadas para el cálculo de parámetros del eje.

Cuchillas

Para un sistema de trituración de neumáticos correcto, es necesario contar con cuchillas eficientes, para ello se debe utilizar un material con las características necesarias para resistir y cortar, ya que juegan un papel determinante al momento de corte y granulación del neumático.

Chasis

El chasis es el lugar donde se alojan los ejes, cuchillas y separadores, recibe todas las reacciones provocadas por la fuerza de trituración del neumático cuando entran en contacto con las cuchillas, por ello es imprescindible que esté perfectamente centrado y se mantenga alineado mediante buenas sujeciones y el material debe ser lo suficientemente resistente.

Rodamientos

Según Ringegni, P. (2021) todas las interfaces que transfieren cargas a través de elementos rodantes se denominan rodamientos, son conocidos porque están conformados por dos anillos, interior y exterior y entre ellos unas bolas que permiten girar con la mínima fricción y deslizamiento suave.

Los rodamientos que existen en la industria son:

Rodamientos rígidos de bolas. Son resistentes y muy versátiles porque se utilizan para velocidades altas y bajas, soportan cargas radiales y axiales. Son fáciles de montar y no necesitan un mantenimiento minucioso. Además, tienen dos ventajas importantes ya que emiten muy poca vibración y ruido ayudando a generar altas velocidades de giro.

Figura 16

Rodamiento rígido de bolas



Nota. En la figura se muestra un rodamiento rígido de bolas. Tomado de SKF (2020).

Rodamiento de inserción. Estos se basan en los rodamientos rígidos de bolas, pero la diferencia es que tienen un aro exterior convexo o puede tener un aro interior alargado con un dispositivo de fijación determinado que ayuda en el montaje rápido y sencillo.

Figura 17

Rodamiento de inserción



Nota. En la figura se muestra un rodamiento de inserción. Tomado de SKF (2020).

Rodamientos de bolas de contacto angular. En el sentido del eje del rodamiento tiene desplazados entre sí los caminos de rodadura de los aros interior y exterior, es decir, han sido diseñados para soportar cargas combinadas. La ventaja es que aumenta la capacidad de carga a medida que se incrementa el ángulo de contacto.

Figura 18

Rodamiento de bolas de contacto angular



Nota. En la figura se muestra el rodamiento de bolas de contacto angular. Tomado de Motion and control NSK (2023).

Los rodamientos de bolas a rótula. Existen rodamientos abiertos o cerrados y cuentan con dos hileras de bolas: un camino de rodadura esférico común en el aro exterior y dos ranuras profundas continuas en los caminos de rodadura del aro interior.

Figura 19

Rodamiento de bolas de rótula



Nota. En la figura se muestra un rodamiento de bolas de rótula. Tomado de Roda Center (2023).

Rodamientos axiales de bolas. Son rodamientos que se encuentran diseñados para soportar únicamente cargas axiales y cuenta con piezas desmontables e intercambiables.

Figura 20

Rodamiento axial de bolas



Nota. En la figura se muestra un rodamiento axial de bolas. Tomado de CRAFT Bearings (2022).

Rodamientos axiales de bolas de contacto angular. Son rodamientos fabricados para soportar las mesas giratorias de equipos de perforación, por eso son fáciles de desmontar el conjunto de bolas, la jaula y las arandelas. Tiene gran capacidad de carga y son altamente rígidos.

Figura 21

Rodamiento axial de bolas de contacto angular



Nota. En la figura se muestra un rodamiento axial de bolas de contacto angular. Tomado de SKF (2020).

Motor reductor

Se conoce como motor reductor a una máquina compacta que es producto de una combinación entre un motor y un reductor de velocidad, cumple con la función de reducir significativamente la velocidad de los motores convencionales. Estos dos componentes van unidos y forman un solo mecanismo.

Figura 22

Motor reductor



Nota. En la figura se muestra el motor reductor WEG de 7.5 HP.

Fresadora

Es una máquina herramienta utilizada para cortar y dar forma a piezas planas y tridimensionales mediante el movimiento de una herramienta de corte rotativa sobre una pieza fija. Esta máquina utiliza un cabezal que se mueve en varias direcciones y una herramienta de corte que gira para cortar el material. Los fresadores son comúnmente utilizados para producir piezas planas y tridimensionales con formas precisas como piezas mecánicas, piezas de maquinaria y piezas de automóvil.

Torno

Es una máquina herramienta utilizada para dar forma a piezas cilíndricas mediante el corte de material a través de una herramienta de corte giratorio. Los tornos son utilizados además para producir ejes, tubos, pernos y varillas. Esta máquina tiene un cabezal que gira y una herramienta de corte que se mueve en una dirección longitudinal para cortar el material.

Corte por agua

Es un término utilizado para describir la técnica de corte de metales utilizando un chorro de agua a alta presión. Esta técnica utiliza una mezcla de agua y abrasivo, como arena o granito, para cortar

a través de metales y otros materiales duros. La ventaja de este método es que reduce la cantidad de calor generado durante el proceso de corte y también ayuda a reducir la cantidad de desechos generados.

Figura 23

Corte por agua



Nota. En la figura se muestra el corte por chorro de agua de las partes de la trituradora.

Templado

Templar el acero es un proceso mediante el cual se da dureza y resistencia al metal. El proceso se realiza calentando el acero a una determinada temperatura y luego enfriándose rápidamente. Existen varios métodos para templar el acero, pero el método más común es el siguiente:

1. Calentar el acero: El acero se calienta a una temperatura específica, generalmente entre 150 y 750 grados Celsius, dependiendo del tipo de acero y del resultado deseado.

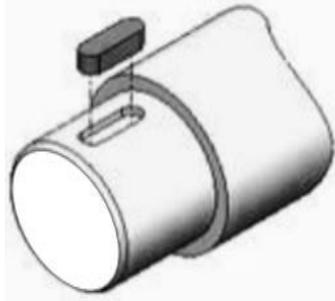
2. Enfriar el acero: Una vez que el acero ha alcanzado la temperatura deseada, se enfría rápidamente mediante inmersión en agua, aire o aceite. Este proceso de enfriamiento rápido es lo que le da al acero su dureza y resistencia.
3. Revenir: Finalmente, el acero se somete a un proceso de revenido para aliviar los esfuerzos internos y mejorar su estabilidad dimensional.

Es importante tener en cuenta que temple el acero es un proceso técnico que requiere conocimientos y experiencia en el tratamiento térmico de los metales. Es recomendable que se realice en una instalación especializada, ya que un mal proceso de temple puede debilitar el acero en lugar de fortalecerlo.

Chaveta y chavetero

Un sistema chaveta chavetero es un tipo de unión mecánica utilizada para unir dos piezas de manera segura sin necesidad de soldadura o adhesivos, este sistema utiliza una chaveta que es una pieza de forma rectangular y un chavetero que es una ranura cortada en una de las piezas que se van a unir, son fabricados con las mismas dimensiones y tolerancias.

El sistema chaveta-chavetero es conocido por su gran estabilidad, resistencia a la fricción y vibración, y es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales y mecánicas, como en la fabricación de maquinaria, equipos de transporte y transmisión.

Figura 24*Chaveta*

Nota. En la figura se muestra una chaveta. Tomado de Santos, D. (2014).

Procesos de manufactura

Un proceso de manufactura es un conjunto de operaciones y actividades que se realizan para transformar materias primas o componentes en un producto terminado, estos procesos implican la utilización de maquinarias, herramientas, habilidades y técnicas especializadas para crear productos de manera eficiente y económica, pueden variar significativamente según el tipo de producto a fabricar.

Torneado

El torneado es un proceso de mecanizado que se utiliza para producir piezas cilíndricas, este proceso se lleva a cabo utilizando un torno, una máquina que gira la pieza mientras una herramienta corta la pieza para darle la forma deseada, se utiliza comúnmente para fabricar ejes, bocines y otras piezas cilíndricas.

Fresado

El fresado es un proceso de mecanizado que se utiliza para cortar una amplia variedad de formas y tamaños en una pieza, en el fresado, una herramienta de corte gira y se desplaza a través de la pieza, cortando el material para crear la forma deseada, se utiliza comúnmente para fabricar piezas con formas complejas y detalles precisos.

Taladrado

El taladrado es un proceso de mecanizado que se utiliza para crear agujeros en una pieza, este proceso se lleva a cabo utilizando una broca, una herramienta de corte que gira y corta el material de la pieza para crear el agujero, utiliza comúnmente para fabricar piezas que requieren agujeros precisos y consistentes.

Rectificado

El rectificado es un proceso de mecanizado que se utiliza para producir superficies planas y lisas en una pieza, este proceso se lleva a cabo utilizando una rueda de rectificación, una herramienta abrasiva que gira y corta el material de la pieza para crear la superficie deseada, se utiliza comúnmente para fabricar piezas con tolerancias muy ajustadas y superficies de alta calidad.

Roscado

El roscado es una operación mecánica que se realiza para crear una rosca en un orificio o en un eje, este proceso se utiliza comúnmente en la fabricación de piezas y componentes mecánicos, como tornillos, pernos, tuercas, rodamientos y herramientas, se utiliza una herramienta llamada macho de roscar (en el caso de roscar un orificio) o terraja (en el caso de roscar un eje), el proceso de roscado se

realiza a menudo en un torno o en una máquina de roscar dedicada, aunque también se puede realizar a mano utilizando una herramienta adecuada para crear conexiones seguras y duraderas entre piezas mecánicas.

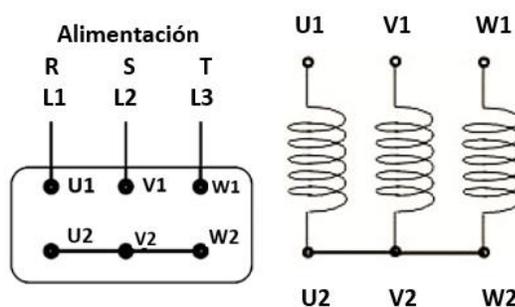
Conexión eléctrica

La conexión eléctrica para motores trifásicos se realiza mediante el uso de terminales de conexión en el motor, los cuales están etiquetados con las letras U, V y W para identificar cada una de las fases del circuito, existen varios tipos de conexiones eléctricas para motores trifásicos, pero las más comunes son las siguientes:

Conexión estrella o Y, es una conexión donde las tres fases del suministro eléctrico se conectan a los terminales U, V y W del motor, y el neutro se conecta al terminal de blindaje del motor. Esta conexión proporciona un voltaje más bajo en el motor, lo que lo hace más seguro y eficiente.

Figura 25

Conexión estrella

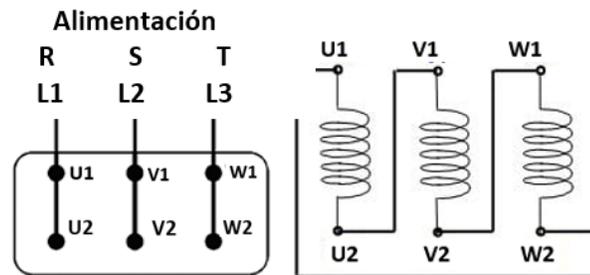


Nota. En la figura se muestra la conexión estrella de un circuito eléctrico trifásico. Tomado de Diosdado, M (2019).

Conexión triángulo o delta, en esta conexión las tres fases del suministro eléctrico se conectan a los terminales U, V y W del motor, pero el neutro no se conecta. Esta conexión proporciona un voltaje más alto en el motor, lo que lo hace más adecuado para aplicaciones de alta potencia.

Figura 26

Conexión triángulo



Nota. En la figura se muestra la conexión triángulo de un circuito eléctrico trifásico. Tomado de Diosdado, M (2019).

Es importante tener en cuenta que cada conexión tiene sus propios beneficios y limitaciones, y es importante elegir la conexión adecuada para el tipo de motor y la aplicación específica. Además, es recomendable seguir las instrucciones del fabricante para realizar la conexión eléctrica del motor trifásico de manera segura y correcta.

Capítulo III

Metodología de Desarrollo

Construcción de una trituradora de neumáticos

La construcción de una máquina trituradora de neumáticos puede variar dependiendo del diseño deseado y las especificaciones más óptimas, de acuerdo a esto se debe seguir un proceso el cual consiste en:

1. Seleccionar el tipo de trituradora, existen diferentes tipos de trituradoras, como las de mandíbulas, de impacto, de rodillos, de uno o más ejes, etc. Cada uno tiene sus propias características y ventajas. En la fase de diseño es importante elegir la máquina adecuada para el tipo de neumáticos a triturar y el tamaño final deseado del material triturado, en este caso es una trituradora de dos ejes y cuchillas que realizan el corte tipo cizalla.
2. Adquirir las piezas o el material a utilizar que cumpla con las características de dureza y resistencia necesarias. Estos materiales deben ser normalizados y de preferencia que exista en el mercado local para una rápida adquisición y sobre todo agilizar el proceso de construcción.
3. Seleccionar el motor reductor con la potencia y torque suficiente para realizar el proceso de trituración. Además, se debe optar por un sistema de transmisión de movimiento adecuado para el tipo de trituradora y el tamaño de los neumáticos a triturar.
4. Mecanizar las partes de la trituradora de neumáticos considerando los planos del diseño previamente realizado, el cual considera aspectos clave para una producción eficiente de alta calidad y precisión que vienen a ser un factor determinante en el éxito del proceso de ensamblaje. De esta manera se puede reducir los índices de fallo de todo el sistema.

5. La construcción de la estructura de la máquina trituradora debe ser lo suficientemente robusta para soportar las cargas y vibraciones generadas durante el proceso de trituración. Además, debe tener una plataforma de trabajo segura y de fácil de acceso para el operador.
6. Instalación de los componentes, una vez seleccionado y mecanizado los componentes y piezas necesarias, se deben instalar estos en la estructura de la máquina. Es importante asegurarse de que todos los componentes estén alineados y montados correctamente para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.
7. Pruebas y ajustes, una vez que se ha completado la construcción de la máquina, se requiere que ésta sea sometida a pruebas para asegurar que funciona correctamente y realizar los ajustes necesarios para asegurar un rendimiento óptimo. En la fase de pruebas se debe considerar varios aspectos como: el funcionamiento antes y después de triturar la banda de rodadura, el tamaño de granulometría que se genera de acuerdo al número de pasadas y sobre todo si existe algún tipo de desgaste en las cuchillas que afecte en la trituración continua de bandas de rodadura.

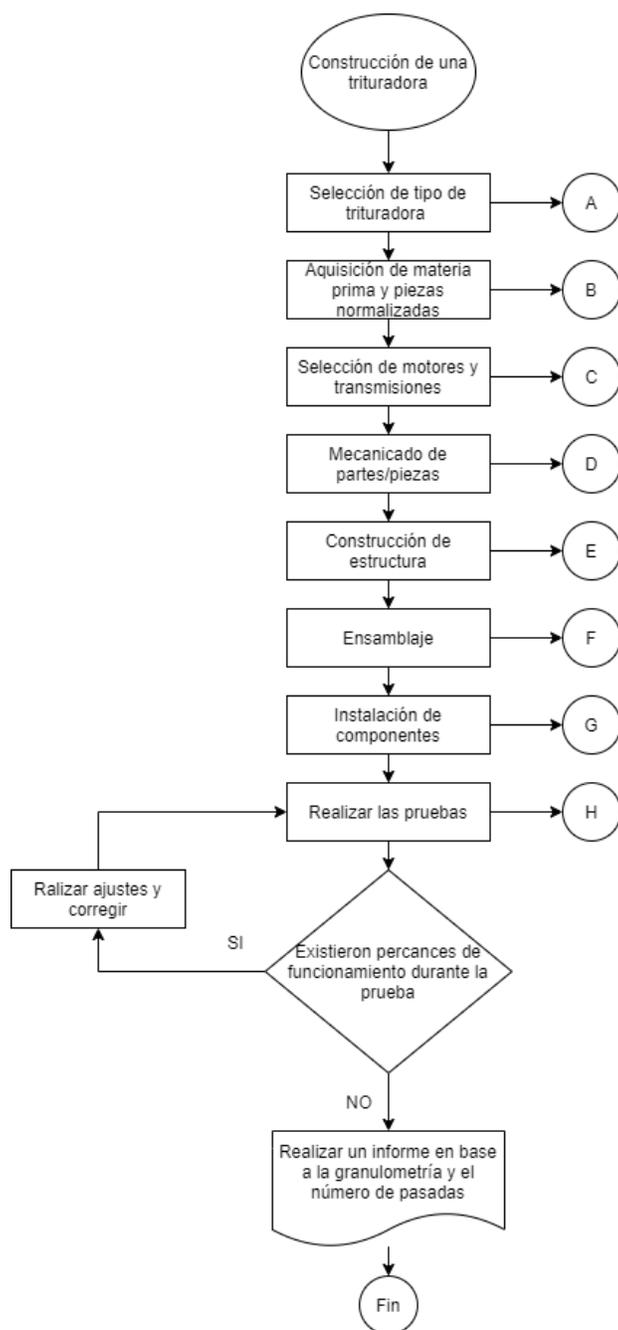
Es importante mencionar que la construcción de una máquina trituradora de neumáticos es un proyecto técnico que requiere conocimientos en mecánica y electrónica, así como un conocimiento detallado de las regulaciones y normativas ambientales aplicables. Se deben considerar todos estos factores para asegurarse de construir una máquina que cumpla con los estándares ambientales necesarios, pero sobre todo que cumpla la función para la cual fue diseñada.

Además, es imprescindible cerciorarse de que la máquina tenga un buen rendimiento y potencia que puedan cumplir con todos los requisitos técnicos para el procesamiento adecuado de neumáticos usados.

Diagrama de flujo de construcción de una trituradora

Figura 27

Diagrama de flujo del proceso de construcción de una trituradora



Nota. En la figura se muestra el proceso para la construcción de una máquina trituradora.

Selección del tipo de triturador

En el presente proyecto se opta por una trituradora de 2 ejes pues se ha considerado la eficiencia, mejor corte y principalmente el costo que implica la fabricación, además de las ventajas con las que cuenta; al tener dos ejes, estas trituradoras pueden procesar materiales con mayor precisión, son capaces de triturar diferentes tipos de materiales desde plásticos hasta metales, debido a su diseño compacto las hace ideales para espacios pequeños o para moverlas de un lugar a otro con facilidad.

Tabla 2

Eficiencia y coste determinada por número de ejes

Número de ejes	Coste	Eficiencia
1	4 000	60%
2	8 000	80%
3	12 000	95%

Nota. En la tabla se realiza un análisis comparativo entre número de ejes, su coste y eficiencia.

Adquisición de materia prima y piezas normalizadas

Eje

Según la descripción de DIPAC, empresa de productos de acero, el eje AISI 4340 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.

Tabla 3*Composición química del acero AISI/SAE 4340*

%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%P	%S
0.38-0.43	0.60-0.80	0.15-0.35	0.70-0.90	1.65-2.00	0.20-0.30	≤0.035	≤0.04

Nota. En la tabla se especifica la composición química del acero AISI/SAE 4340. Tomado de DIPAC, (2023).

Tabla 4*Propiedades mecánicas del acero AISI/SAE 4340*

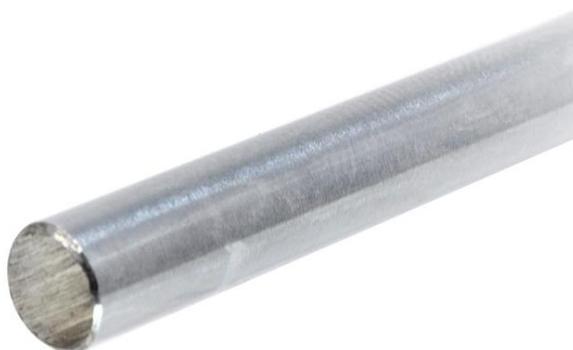
Diámetro (mm)	Resistencia mecánica $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	Punto de fluencia $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	Dureza Rockwell (B)	Elongación (%min)
16 o menos	1 200 – 1 400	1 000	240 – 380	9
16 - 40	1 100 – 1 300	900	240 – 380	10
41 - 100	1 000 – 1 200	800	240 – 380	11

Nota. En la tabla se especifica las propiedades del acero AISI/SAE 4340. Tomado de DIPAC, (2023).

Debido a estas características se eligió un eje de transmisión redondo de 76.2 mm por su alta resistencia y la dureza necesaria para soportar los esfuerzos que la trituradora de neumáticos va a realizar al momento de triturar.

Figura 28

Eje de material AISI 4340



Nota. En la figura se muestra el Eje de material AISI 4340 de tipo transmisión de tres pulgadas. Tomado de DIPAC (2023).

Plancha de acero A36

Las planchas de acero son objetos metálicos planos hechos de una aleación de acero ASTM A36 y se fabrican mediante el proceso de laminado a altas temperaturas para aumentar su resistencia a la corrosión. Estas planchas se denominan negro laminado en caliente y se fabrican de acuerdo con la norma de fabricación NTE INEN 115 y la calidad ASTM A 36 - SAE J 403 1008. DIPAC, (2023).

Tabla 5

Propiedades de las planchas de acero ASTM A36

%C	%Mn	%Si	%P	%Ni	%Cu	%S	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo max (Mpa)
0.25–0.29	0.8–1.2	0.4 max	0.04 max	0.15–0.35	0.20 max	0.05 max	250 min	400-500

Nota. En la tabla se especifica las propiedades químicas y mecánicas de las planchas de acero ASTM A36

Aplicaciones

- En la industria automotriz, se emplea este material para producir piezas de montaje y componentes del automóvil.
- Se emplean en la industria de la construcción para diversos proyectos, que pueden abarcar desde la construcción de carreteras hasta la ornamentación de hogares.
- En la industria farmacéutica, se utiliza este material para fabricar recipientes de medicamentos.
- En la industria alimentaria, este material se utiliza en electrodomésticos y superficies de cocina.

Debido a estas características se utilizó una plancha de acero A36 de 20 mm de espesor para el mecanizado del bancadas, cuchillas, separadores y soportes superior e inferior de la trituradora.

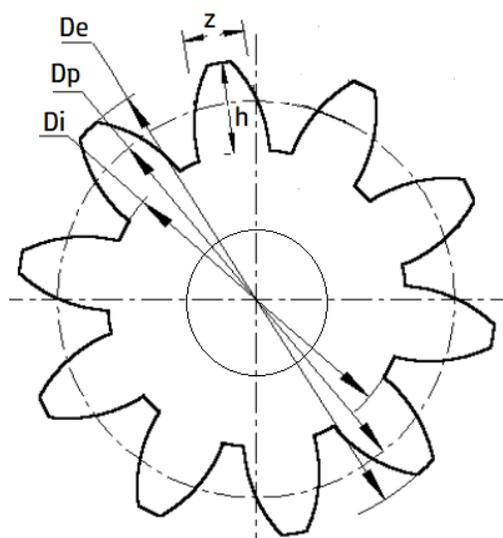
Selección de Engranajes

Los engranajes rectos tienen características peculiares ya que cuenta con dientes montados en ejes paralelos con respecto al eje de rotación, estos engranajes permiten transmitir el movimiento con grandes ventajas como: potencia, velocidad, poco ruido y además son duraderos, aunque la desventaja principal es que se aplican en mecanismos de media y baja velocidad.

Dimensión de engranajes. De acuerdo al diseño y estudio de las ventajas sobre engranajes se opta por usar engranajes rectos debido a que uno de los objetivos específicos consiste en adaptarnos a los materiales que existen en el mercado, por tal razón se va a adquirir dos engranajes rectos de acero de alta resistencia templados, para disponerlos uno frente a otro.

Figura 29

Abreviaturas y medidas de un engranaje



Nota. En la figura se muestra las abreviaturas que se van a utilizar para el eje.

Tabla 6

Dimensiones del engranaje

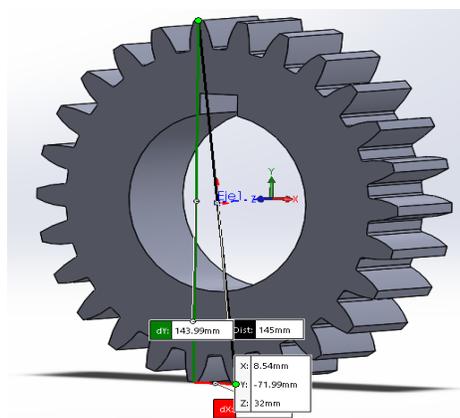
Nombre	Abreviatura	Valor
Número de dientes	Z	26 dientes
Altura de diente	H	20,4 mm

Nombre	Abreviatura	Valor
Diámetro exterior	De	145 mm
Diámetro interior	Di	121,6 mm
Diámetro primitivo	Dp	130 mm
Diámetro del eje	D	71 mm
Módulo	M	5

Nota. En la tabla se presenta la abreviatura y las medidas con las que cuenta el engranaje recto que se utiliza en la trituradora.

Figura 30

Dibujo en un software CAD del engranaje recto



Nota. En la gráfica se muestra el dibujo y las dimensiones que se tomaron del engranaje recto.

Figura 31

Engranaje de la trituradora de neumáticos



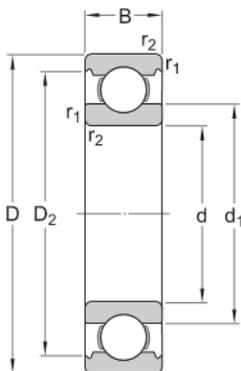
Nota. En la figura se muestra el engranaje que se usa para la construcción de la trituradora de neumáticos.

Selección de rodamientos

Considerando los esfuerzos radial y axial a los que están sometidos los rodamientos y los cálculos pertinentes, se adquieren rodamientos con los códigos 6015 y 6213.

Figura 32

Dimensiones del rodamiento 6015

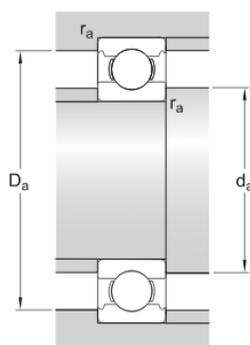


Nota. En la figura se muestra la vista frontal del rodamiento junto con sus cotas de las dimensiones.

Tabla 7*Dimensiones del rodamiento 6015*

Descripción	Representación	Medida (mm)
Diámetro del agujero	d	75
Diámetro exterior	D	115
Ancho	B	20
Diámetro del resalte	d_1	≈ 87.85
Diámetro del rebaje	D_2	≈ 104.9
Dimensión del chaflán	$r_{1,2}$	Min 11

Nota. En la tabla se especifica las dimensiones del rodamiento 6015. Tomado de SKF, (2021).

Figura 33*Dimensiones del resalte del rodamiento 6015*

Nota. En la figura se muestra las cotas de los resaltes del rodamiento 6015. Tomado de SKF, (2021).

Tabla 8*Dimensiones de los resaltes*

Descripción	Representación	Medida (mm)
Diámetro del resalte del eje	d_a	Min 85
Diámetro del resalte del soporte	D_a	Max 109
Radio del eje o acuerdo del soporte	r_a	Max 1

Nota. En la tabla se especifica las dimensiones de los resaltes del rodamiento 6015. Tomado de SKF, (2021).

Tabla 9*Características generales del rodamiento 6015*

Descripción	Representación	Valor
Capacidad de carga dinámica básica	C	416 KN
Capacidad de carga estática básica	C_0	33.5 KN
Carga límite de fatiga	P_u	1.43 KN
Velocidad de referencia	-	12 000 rpm

Descripción	Representación	Valor
Velocidad límite	-	7 500 rpm
Factor de carga mínima	k_r	0.025

Nota. En la tabla se detalla las características básicas del rodamiento 6015. Tomado de SKF, (2021).

Tabla 10

Dimensiones del rodamiento 6213

Descripción	Representación	Medida (mm)
Diámetro del agujero	d	65
Diámetro exterior	D	120
Ancho	B	23
Diámetro del resalte	d_1	≈ 83.3
Diámetro del rebaje	D_2	≈ 105.8
Dimensión del chaflán	$r_{1.2}$	Min 1.1

Nota. En la tabla se especifica las dimensiones del rodamiento 6213. Tomado de SKF, (2021).

Tabla 11*Dimensiones de resalte del rodamiento 6213*

Descripción	Representación	Medida (mm)
Diámetro del resalte del eje	d_a	Min 74
Diámetro del resalte del soporte	D_a	Max 111
Radio del eje o acuerdo del soporte	r_a	Max 1.5

Nota. En la tabla se especifica las dimensiones de los resaltes del rodamiento 6213. Tomado de SKF, (2021).

Tabla 12*Características generales del rodamiento 6213*

Descripción	Representación	Valor
Capacidad de carga dinámica básica	C	58.5 KN
Capacidad de carga estática básica	C_0	40.5 KN
Carga límite de fatiga	P_u	1.73 KN
Velocidad de referencia	-	12 000 rpm
Velocidad límite	-	7 500 rpm

Descripción	Representación	Valor
Factor de carga mínima	k_r	0.025

Nota. En la tabla se detalla las características básicas del rodamiento 6213. Tomado de SKF, (2023).

Estos rodamientos son conocidos como rodamientos de bolas y son considerados uno de los elementos más importantes en la industria de la ingeniería mecánica. Son ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones, desde motores eléctricos hasta equipos de maquinaria pesada. Debido a su capacidad para soportar cargas axiales y radiales, estos rodamientos son muy versátiles y ofrecen un rendimiento fiable en una amplia gama de condiciones de trabajo.

Además de su versatilidad, los rodamientos de bolas también son muy apreciados por su bajo nivel de ruido y su facilidad de mantenimiento. Debido a que no necesitan ser lubricados con tanta frecuencia como otros tipos de rodamientos, su mantenimiento es mucho más sencillo y económico. También es fácil de montar y desmontar estos rodamientos, lo que los hace ideales para su uso en equipos que requieren una rápida sustitución y reparación.

Debido a las características que presentan estos rodamientos se adquirió los rodamientos de código 6213 y 6015 para el ensamble de la trituradora, ya que éstos cuentan con las especificaciones necesarias que fueron solicitadas en el diseño. De acuerdo al diseño realizado se logró obtener los códigos del rodamiento más acertados y lo más importante es que se pueden adquirir en la localidad con facilidad

Tabla 13

Características de los rodamientos

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales	Masa	Código
d	D	B	Dinámica C	Estática Co	Pu	Velocidad referencial	Velocidad límite	
mm			KN	KN	KN	RPM	Kg	
65	120	23	58.5	40.5	1.73	12 000	7 500	1 6213
75	115	20	41.6	33.5	1.43	12 000	7 500	0.65 6015

Nota. Catálogo de rodamientos de bolas. Tomado del Catálogo de SKF.

La carga radial se refiere a la fuerza que actúa en dirección radial hacia el centro del rodamiento, mientras que la carga axial es aquella que actúa en dirección axial a lo largo del eje del rodamiento, además, también están sujetos a momentos cargas y a fuerzas de choque. Una vez definido los engranajes y rodamientos, se define la distancia entre ejes mediante el siguiente análisis.

$$D_{ejes} = De - \left(\frac{De}{2} - \frac{Di}{2} \right)$$

$$D_{ejes} = 145mm - \left(\frac{145mm}{2} - \frac{121.6mm}{2} \right)$$

$$D_{ejes} = 133.3mm \approx 134mm$$

El valor se aproxima a 134 mm para evitar conflictos al momento de girar los engranajes.

Selección de motor y transmisión

Motor. En vista de los cálculos realizados se requiere de un motor de 3.0555 KW, es decir, 4.0975 HP, razón por la cual se adquiere un motor reductor trifásico de 7.5 HP de la marca "WEG" que genera un torque de 1 400 Nm y 1 140 rpm el cual envía una velocidad de salida de 33 a 1.

Figura 34

Motor reductor de 7.5 HP



Nota. En la figura se muestra el motor reductor y la placa de datos que especifica las características.

Transmisión. En cuanto a la transmisión se usa un sistema de cadena el cual permite transferir movimiento y energía mecánica del motor reductor a la trituradora de neumáticos, dado que la transmisión por cadena se utiliza comúnmente en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo motocicletas, bicicletas, sierras de cadena, maquinarias agrícolas y sistemas de transmisión de potencia industriales por su capacidad para transmitir una gran cantidad de potencia a través de una distancia larga, lo que la hace adecuada para muchos tipos de aplicaciones industriales.

Una vez adquiridos los engranajes, rodamientos, motor reductor, eje y planchas de acero estructural, se procede a usar los planos realizados en la tesis “Diseño de una trituradora de neumáticos para el laboratorio de materiales”, para realizar el mecanizado de los materiales.

Componentes de la trituradora. Los componentes básicos que conforman la trituradora son:

1. Engranaje
2. Eje motriz
3. Eje conducido
4. Cuchillas
5. Separadores
6. Bancadas
7. Placa frontal
8. Placa posterior
9. Placa Lateral
10. Sujeción superior
11. Sujeción inferior

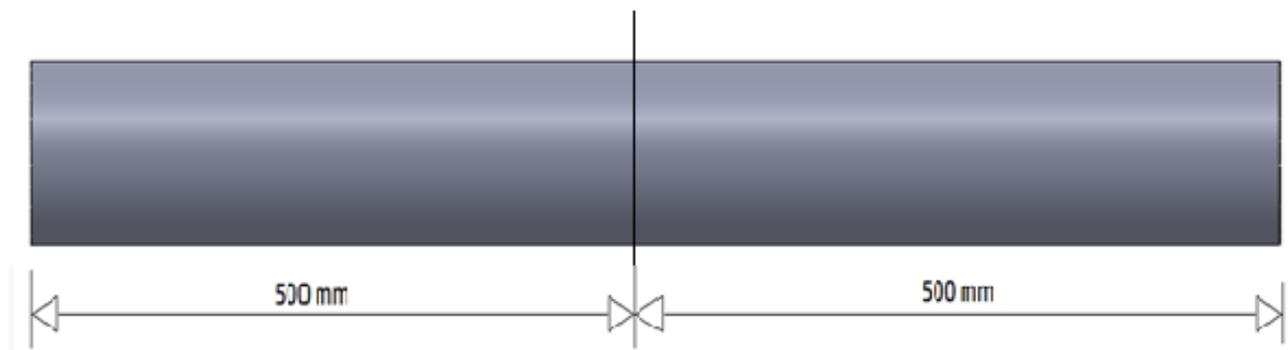
Mecanizado de partes y piezas.

Mecanizado de ejes

Operación 1. Cortar el eje de acero AISI 4340 de tres pulgadas y una longitud de 1 000 mm a la mitad para obtener dos ejes de 500 mm.

Figura 35

Eje AISI 4340

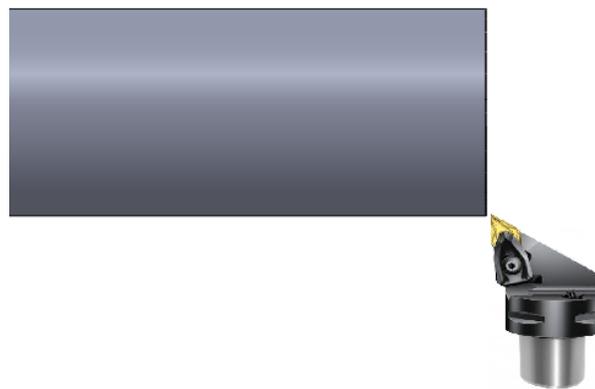


Nota. En la figura se muestra el eje y el corte que se va a realizar.

Operación 2. Realizar un refrentado en las cuatro caras de los ejes.

Figura 36

Proceso de refrentado del eje



Nota. En la figura se muestra el proceso de refrentado, donde se reduce una parte mínima en las cuatro caras.

Operación 3. Tornear para la reducción de eje de 76.2 mm a 65 mm en la parte posterior

Figura 37

Operación de torneado de eje en la parte posterior



Nota. En la figura se muestra el resultado final de torneado del eje.

Operación 4. Tornear para reducir el eje de 76.2 mm a 71 mm en la parte frontal.

Figura 38

Operación de torneado del eje en la parte frontal

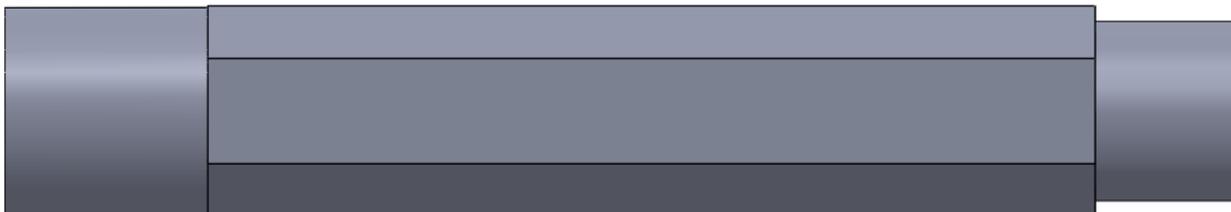


Nota. En la figura se muestra el resultado final de torneado en los dos extremos.

Operación 5. Fresado del eje circular a hexagonal manteniendo el diámetro de 76.2 mm.

Figura 39

Operación de mecanizado hexagonal del eje

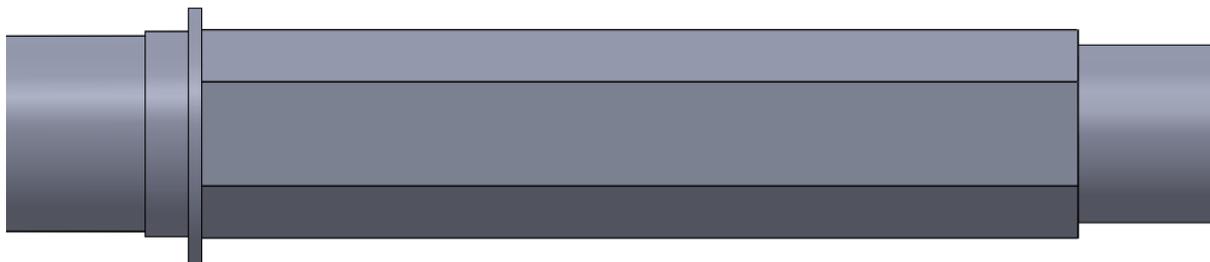


Nota. En la figura se muestra el eje torneado y mecanizada la parte hexagonal.

Operación 6. Construcción de un bocín para encajar el rodamiento de 75 mm.

Figura 40

Implementación de un bocín para acoplar el rodamiento



Nota. En la figura se muestra el dibujo CAD completo del mecanizado final.

Eje final mecanizado

Figura 41

Eje final mecanizado



Nota. La figura muestra el eje final mecanizado con tolerancias precisas y un acabado uniforme.

La pieza mecanizada se logra mediante el uso de máquinas especializadas, como tornos, y fresadoras. Además de centros de mecanizado y mediante la eliminación de material hasta que la pieza final cumpla con los requisitos del diseño previo.

El mismo proceso se realiza a ambos ejes tomando en cuenta las cotas y dimensiones que se establecen en los planos, luego de someter al mecanizado a ambos ejes se puede observar los resultados.

Mecanizado de cuchillas, bancada y separadores. Para este proceso se parte de un acero estructural A36 con un espesor de 20 mm.

Operación 1. Dimensionar cuchillas, separadores y sujeciones en la plancha para el respectivo corte por chorro de agua, donde se ingresa el dibujo CAD en un software de la fresadora.

Figura 42

Dimensionamiento de separador, bancada y cuchilla

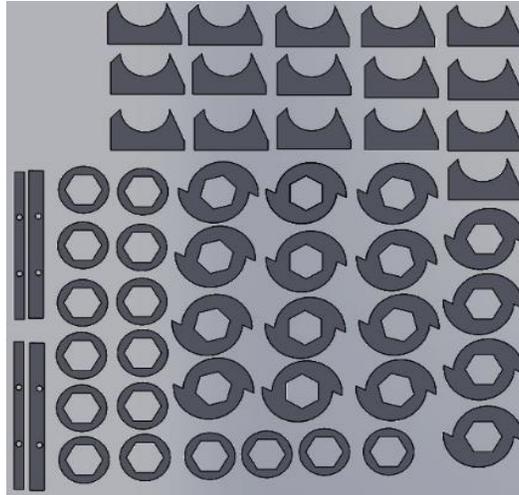


Nota. En la figura se detalla las dimensiones y el material que se va a utilizar para el corte por agua.

A continuación, se colocan las piezas a mecanizar para realizar un dimensionamiento del material requerido para el corte por chorro de agua.

Figura 43

Ubicación de separador, bancada, cuchilla y soporte superior e inferior



Nota. En la figura se muestra el dimensionamiento para el proceso de corte por chorro de agua de las cuchillas, bancadas, separadores y soporte superior e inferior para aprovechar el material, los orificios no se cortan porque se someten a un proceso de taladrado.

Después de llevar a cabo el proceso de corte, se obtienen las piezas ilustradas en la Figura 41, las cuales presentan un acabado uniforme y tolerancias precisas. Es esencial llevar a cabo una inspección exhaustiva de cada pieza para garantizar que cumpla con los requisitos de diseño especificados, este proceso de corte es crucial, ya que permite la producción de piezas con una gran precisión y un acabado suave, lo que resulta fundamental para lograr un ensamblaje adecuado.

Corte final de cuchillas y separadores

Figura 44

Resultados del corte por chorro de agua



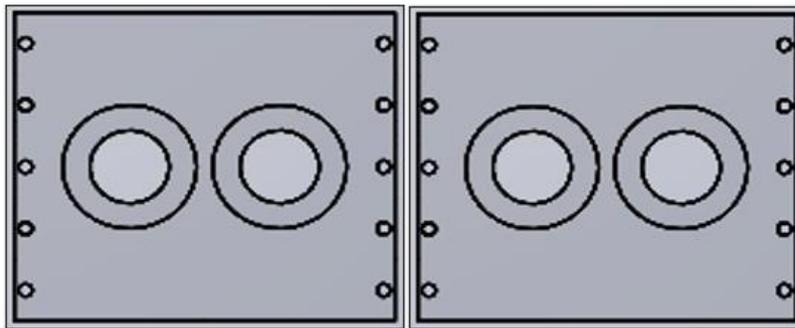
Nota. En la figura se muestran las piezas que se mecanizan mediante el corte, entre ellos se puede observar los separadores, bancadas y cuchillas.

Mecanizado de las placas frontal y posterior. En esta parte se realiza el corte por agua de las placas frontal y posterior de la plancha de acero estructural A36 que tiene un espesor de 25.4 mm.

Operación 1. Corte por agua del perfil de las placas frontal y posterior.

Figura 45

Placas frontales y posteriores

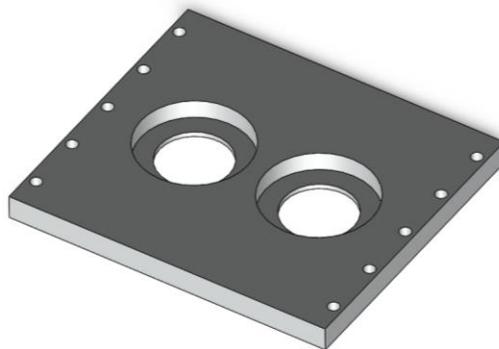


Nota. En la figura se muestra el mecanizado de las paredes delantera y posterior.

Operación 2. En este proceso se realiza el vaciado de los agujeros mediante un proceso de fresado con CNC donde van a encajar los rodamientos con un tope de 2 mm.

Figura 46

Vaciado de agujeros



Nota. En la figura se muestra el vaciado de agujeros de las placas.

Operación 3. En este proceso se procede con el taladrado y sacada de rosca de los agujeros, obteniendo una placa como la que se muestra:

Figura 47

Placa final



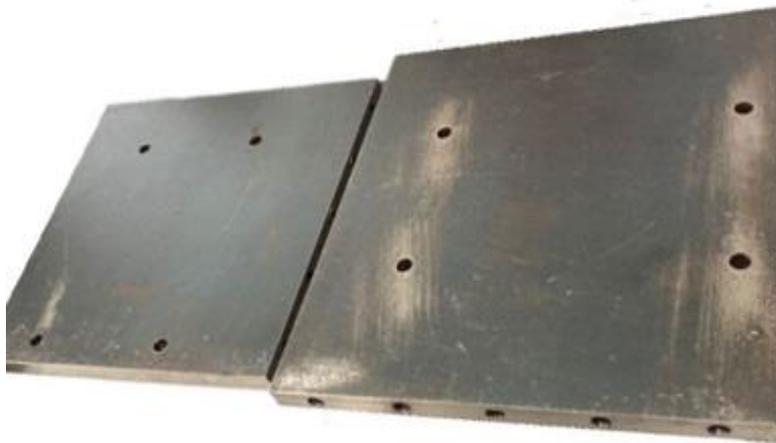
Nota. En la figura se muestra la pared frontal completamente mecanizada.

Mecanizado de las placas laterales. En esta parte se realiza el corte por agua de las dos placas laterales de acero estructural A36 la cual se reduce de 25.4 mm a 20 mm.

Operación 1. Corte por agua del perfil de las dos placas laterales

Figura 48

Placas laterales mecanizadas

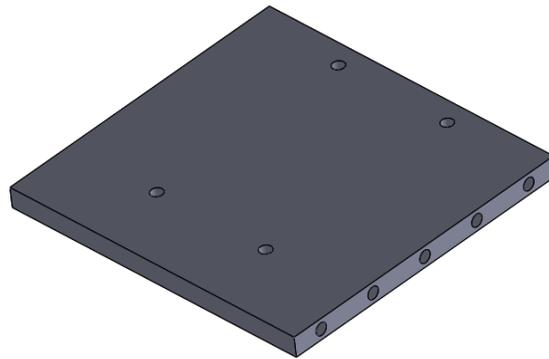


Nota. En la figura se muestra las placas laterales mecanizadas.

Operación 2. En este proceso se realiza taladrado de los agujeros, y además la rosca para los pernos que servirán de sujeción del chasis.

Figura 49

Placas laterales



Nota. En la figura se muestra la placa lateral con el taladrado y roscado para empernar las placas frontal y posterior.

Operación 3. En este proceso se muestran las placas con el mecanizado final

Figura 50

Mecanizado final



Nota. En la figura se muestra el mecanizado final de las dos placas laterales.

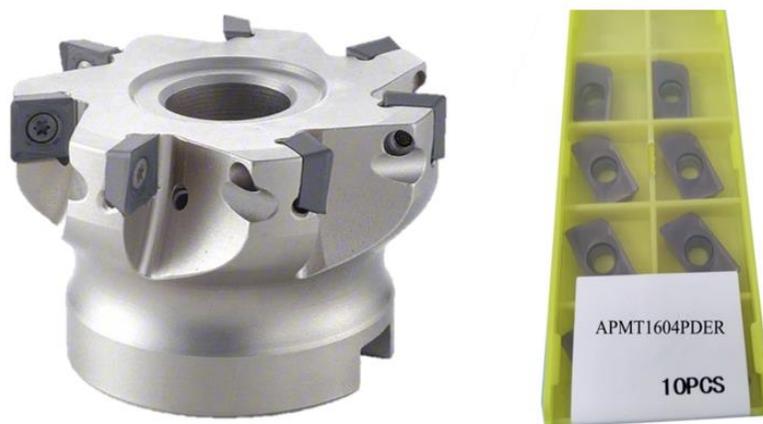
Herramientas utilizadas. La mecanización de las partes de una trituradora de neumáticos requiere una combinación de herramientas y técnicas especializadas para lograr un resultado preciso y de alta calidad, en general, se utilizan varias máquinas herramienta, herramientas manuales y equipos de medición para llevar a cabo este proceso.

Planeado

Shoulder end mill para insertos de carburo APMT1604PDER

Figura 51

Fresa e insertos



Nota. En la figura se muestra una fresa y sus respectivos insertos.

Vaciado

Para el vaciado de los rodamientos se utiliza una fresa de acero rápido (HSS) de 16 mm.

Torneado

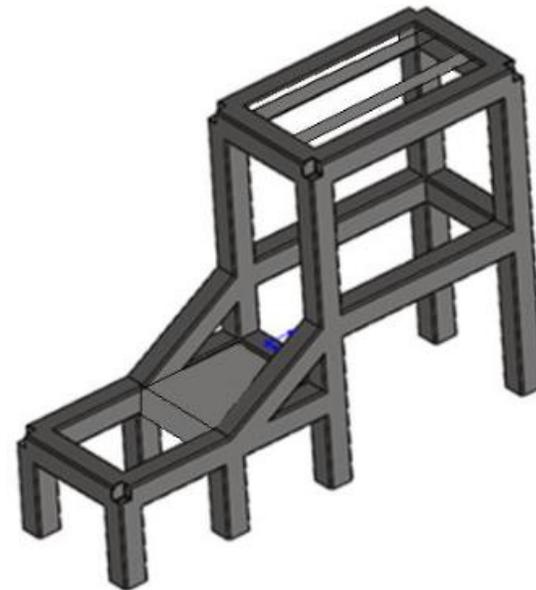
Cuchilla para torno de acero rápido o buril.

Construcción de la estructura.

Construir la estructura en el que va a estar soportado el chasis, motor reductor y además el sistema de control electrónico, se debe considerar que al ser una máquina pesada y de alto torque va a estar sometido a vibraciones por lo que la estructura debe ser fijada al suelo del laboratorio de materiales de la “Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”.

Figura 52

Estructura de soporte de la trituradora



Nota. En la figura se muestra el diseño de la estructura que va a soportar el peso de la trituradora.

Ensamblaje

El ensamblaje de una máquina trituradora es el proceso de unir y ajustar todas las piezas y componentes necesarios para formar una unidad funcional, este proceso incluye la colocación y ajuste de todas las piezas mecánicas, la conexión eléctrica, la instalación de sistemas de control con el objetivo final de asegurar que la máquina trabaje de manera eficiente y segura, cumpliendo con los estándares y especificaciones requeridas.

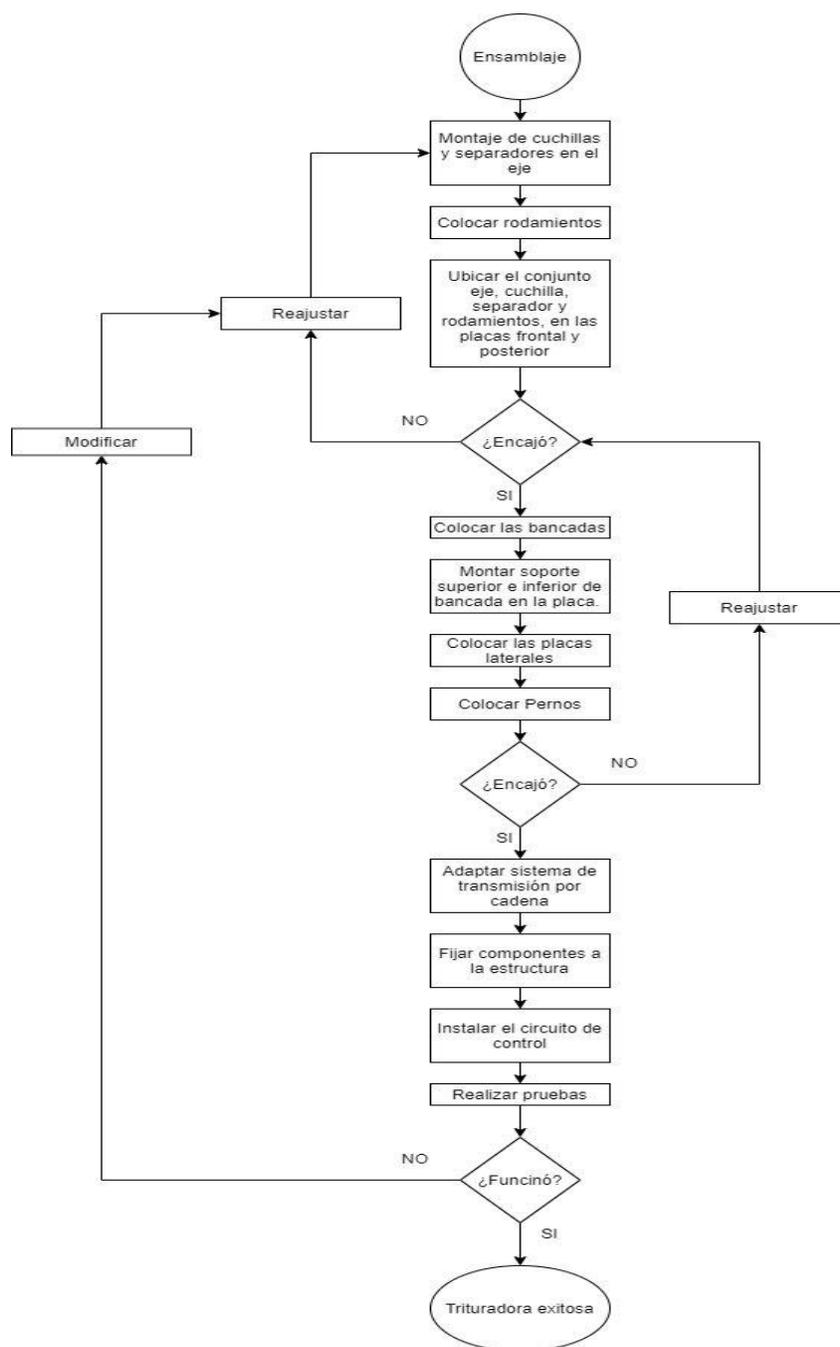
Seguridad y precauciones antes y durante el armado. Se recomienda tomar precauciones antes de iniciar el proceso de armado, ya que realizar el ensamblaje y montaje puede representar un peligro tanto para las lesiones personales como para los daños materiales. Estas son las consideraciones a tener en cuenta:

- Usar los EPP (equipos de protección personal) entre los más importantes están: zapatos punta de acero, guantes, gafas, protectores auditivos y mandil u overol.
- Identifique y maneje correctamente las herramientas: Asegúrese de tener todas las herramientas necesarias para el armado y de manejarlas correctamente. Verifique que las herramientas estén en buen estado y que estén limpias y secas antes de usarlas.
- Mantener la zona de trabajo limpia y despejada de objetos innecesarios. También se debe tener suficiente espacio para trabajar y que la zona esté bien iluminada.
- Las instalaciones eléctricas deben ser realizadas minuciosamente siguiendo el esquema eléctrico planteado en el panel de control. Además de utilizar los componentes y el número de cables adecuado para el sistema.
- Utilizar un teque o elevador para poder levantar grandes pesos como el motor reductor, la estructura o la caja trituradora, ya que debido al material empleado cada sistema tiene un peso elevado que no puede ser movilizado con facilidad.
- Es importante que durante el proceso de mecanizado, soldadura y ensamblaje de la trituradora sea supervisado por personal capacitado para lograr los acabados y las dimensiones exactas que han sido especificadas en el diseño, de esta manera se puede reducir el índice de fallas al momento de probar el funcionamiento de la máquina.
- Realizar un mantenimiento regular después de que la trituradora esté armada y en funcionamiento para asegurarse de que siga funcionando de manera segura y eficiente.

Para el ensamblaje se presenta el siguiente diagrama de flujo:

Figura 53

Diagrama de flujo del proceso de ensamblaje de una trituradora

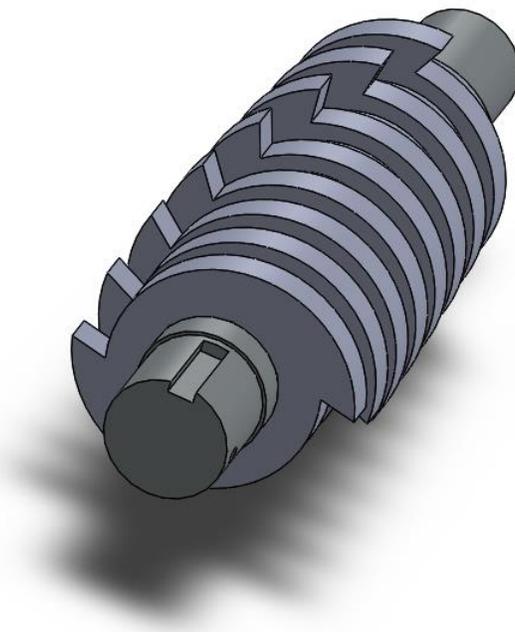


Nota. En la figura se muestra el proceso para la construcción de una máquina trituradora.

1. Montaje de cuchillas y separadores en los ejes.
 - a) Se debe colocar intercalando cuchilla, separador o viceversa con la finalidad de que exista el espaciado adecuado para el corte tipo cizalla.
 - b) Tomar en cuenta el ángulo de posición de las cuchillas, debido que cada una de las cuchillas tiene un ángulo específico, en este caso para que exista contacto en un solo punto entre el neumático y cuchilla se debe dividir los 360 grados que es equivalente a una revolución para las 16 cuchillas y se obtiene un valor de 45 grados respecto a la parte hexagonal del eje.

Figura 54

Ensamblaje de cuchillas, separadores y eje



Nota. En la figura se muestra el ensamblaje en el software CAD.

Figura 55

Ubicación de cuchillas y separadores en el eje

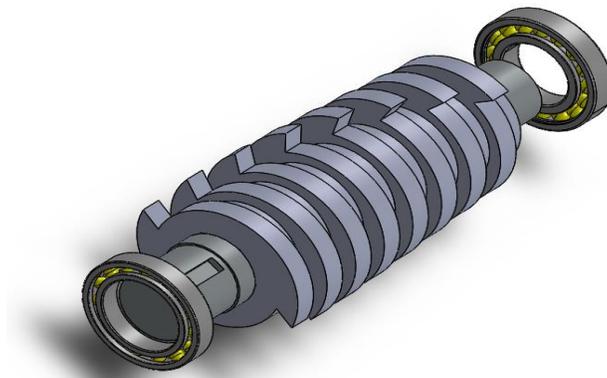


Nota. En la figura se muestra colocado tanto las cuchillas como los separadores de la trituradora.

2. Colocar los rodamientos, en los extremos que permite la rotación del conjunto eje, cuchilla y separador, reduciendo la fricción y el desgaste entre las piezas.
 - a) En este caso contamos con cuatro rodamientos donde dos rodamientos con código 6015 se colocan en la parte frontal y los dos rodamientos con código 6213 en la parte posterior de las placas.

Figura 56

Ubicación de los rodamientos en el conjunto eje, cuchilla y eje.



Nota. En la figura se muestra la ubicación de los rodamientos 6015 y 6213 en la flecha en CAD.

Figura 57

Ubicación de los rodamientos en el conjunto eje, cuchilla y eje

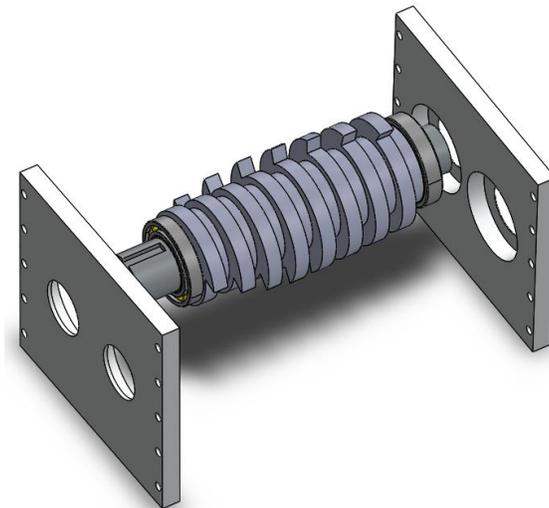


Nota. En la figura se muestra la ubicación de los rodamientos en la flecha.

3. Ubicar los ejes con los rodamientos en los orificios de las placas frontal y posterior, lugar donde se realizó el vaciado.

Figura 58

Ubicación del eje con las placas frontal y posterior



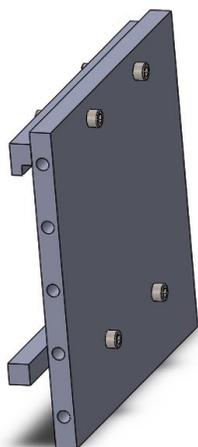
Nota. En la figura se muestra la manera correcta de colocar el eje en la máquina.

4. Montaje de soportes superior e inferior de las bancadas
 - a) Coloque los soportes superior e inferior a lo largo de las paredes laterales.

- b) Ajuste los 4 pernos a 25 Nm.

Figura 59

Ubicación del soporte de bancada superior e inferior en las placas

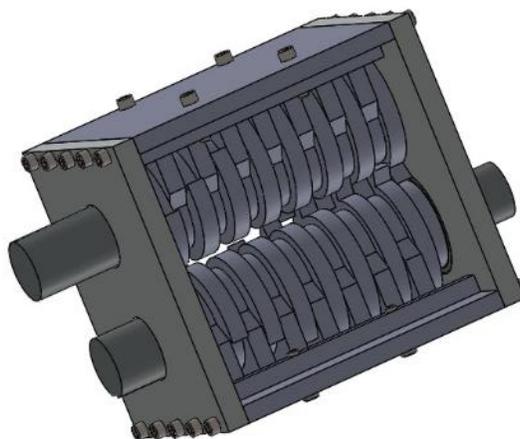


Nota. En la figura se puede observar la colocación del soporte superior e inferior de las bancadas con respecto a la placa lateral.

5. Colocar las bancadas y las placas laterales para empernar el chasis.

Figura 60

Ubicación de placas laterales, soportes y bancadas



Nota. En la figura se muestra el ensamblaje de las placas laterales y los soportes.

6. Acoplar los engranajes en los ejes mediante chavetas.

Figura 61

Implementación del chavetero



Nota. En la figura se muestra el chavetero que servirá para fijar los engranajes y la catalina de los ejes.

7. Colocar las tapas en los ejes.

Figura 62

Tapas de fijación de engranajes y catalina



Nota. En la figura se muestra la ubicación de las tapas de fijación del engranaje.

Para evitar que se muevan los engranajes y catalina se debe colocar unas tapas que van fijadas mediante un perno a los ejes tanto motriz y conducido.

- Adaptar el sistema de piñón y cadena para montar el sistema de transmisión.

A partir de la selección del sistema de catalina y cadena se le realiza un proceso adaptación donde se involucra soldadura y torneado como se muestra en la Figura 61 para poder acoplarlo tanto en el eje del motor reductor y el eje motriz mediante una cadena.

Figura 63

Mecanizado de la catalina



Nota. en la figura se muestra la catalina inicial y final para acoplarlo de manera que se pueda unir al eje del motor reductor y el eje motriz de la máquina trituradora.

- Colocar la cadena.
- Fijar todos los componentes mecánicos en la estructura usando pernos para que este sea desmontable, adicionalmente se coloca soportes al chasis de la trituradora de neumáticos usando como material un ángulo de tres pulgadas de 4 mm de espesor mediante soldadura.
- Instalar el circuito de control y realizar las conexiones pertinentes siguiendo el esquema eléctrico previamente diseñado.
- Realizar pruebas para verificar el buen funcionamiento.

Instalación de componentes del circuito de control

En este aspecto se debe considerar aspectos como:

- Voltaje, asegurarse de que el voltaje de alimentación sea compatible con el motor.
- Frecuencia, tener en cuenta que la frecuencia de alimentación sea la adecuada para el motor.
- Protección, incluir dispositivos que eviten la sobrecarga, cortocircuito y permitan el aislamiento necesario durante el funcionamiento.
- Control, determinar si se necesita control de velocidad y seleccionar el tipo adecuado de controlador.
- Cableado, es importante que los cables utilizados sean del tamaño adecuado para el motor seleccionado y la distancia del mismo sea la necesaria para conectar en la fuente de alimentación.
- Eficiencia energética, evaluar la posibilidad de implementar medidas para mejorar la eficiencia energética del circuito y del motor.
- Seguridad, comprobar que el circuito cumpla con los estándares de seguridad y regulaciones aplicables.

Tabla 14

Requerimientos de la trituradora y el motor reductor

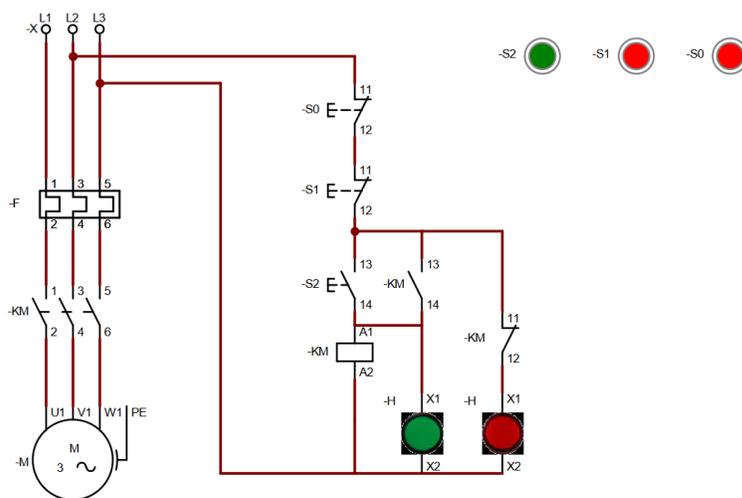
Especificación	Valor
Potencia requerida eje por cuchillas	5 HP
Velocidad	38 RPM

Especificación	Valor
Condiciones de trabajo	Tipo de motor: trifásico con alimentación de 220V
	Potencia de motor: 7.5 HP
	Trabajo continuo: 4 horas/día
	Temperatura de trabajo: 15-40 grados centígrados

Nota. Requerimientos de la trituradora de neumáticos y capacidad de motor reductor.

Figura 64

Panel de control



Nota. En la figura se muestra el circuito de conexión del panel de control.

Figura 65

Implementación del panel de control



Nota. En la figura se muestra la caja de panel de control implementado en la máquina.

Figura 66

Conexión del panel de control



Nota. En la figura se muestra la conexión del panel de control dentro de su respectiva caja.

Figura 67

Armado completo de la trituradora de neumáticos



Nota. En la figura se muestra el ensamble completo de la máquina trituradora, donde se observan todos los componentes y la respectiva estructura.

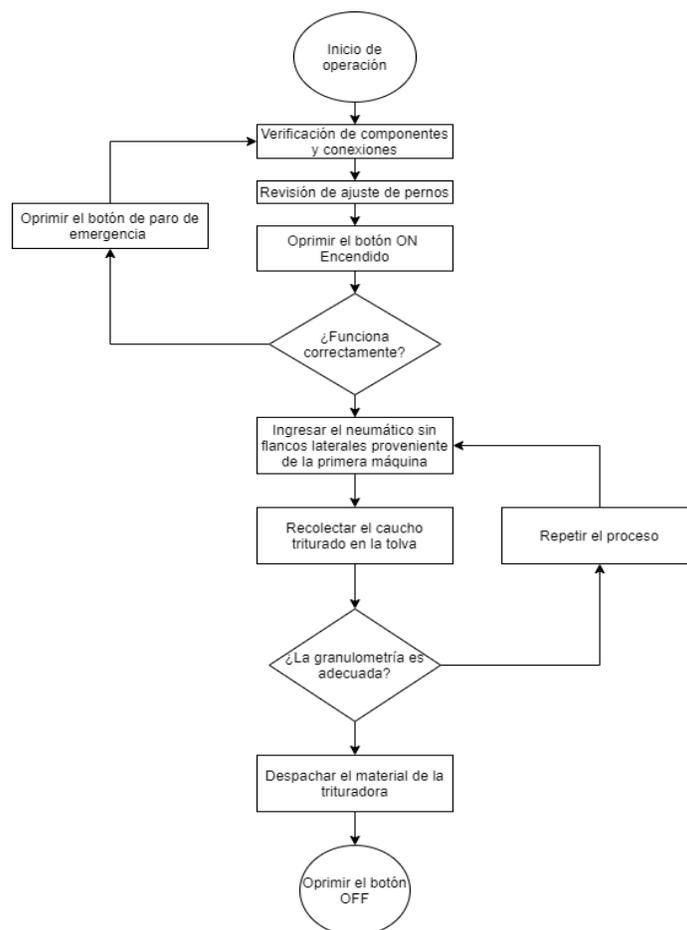
Pruebas

Se realizan pruebas en la trituradora de neumáticos para evaluar su capacidad de trituración, eficiencia, durabilidad, seguridad y rendimiento en general, esta prueba también ayuda a identificar cualquier defecto o falla en el equipo antes de su uso en condiciones reales de trabajo, para ello se debe realizar el siguiente procedimiento.

Diagrama de flujo de operación

Figura 68

Diagrama de flujo de la operación de la trituradora de neumáticos



Nota. En la figura se muestra la operación de la máquina trituradora.

Manual de Usuario para Máquina Trituradora de Neumáticos. A continuación, se describen las instrucciones básicas para su uso y mantenimiento. Antes de comenzar a utilizar la máquina, asegúrate de leer y comprender completamente las siguientes precauciones de seguridad:

- La máquina trituradora de neumáticos solo debe ser operada por personal capacitado y autorizado.

- Antes de utilizar la máquina, es necesario asegurarse de que esté en buenas condiciones y que todos los dispositivos de seguridad estén funcionando correctamente.
- No intentar realizar ningún tipo de reparación o mantenimiento en la máquina sin la capacitación adecuada.
- Usar equipo de protección personal (EPP), como gafas de seguridad, casco y guantes.
- No colocar las manos, pies u otras partes del cuerpo cerca de la entrada de la máquina mientras está funcionando.
- No permitir que nadie se pare o pase cerca de la máquina mientras está funcionando.

Instrucciones de uso

- Encender la máquina y esperar a que alcance la velocidad de trituración óptima.
- Comenzar a ingresar la banda de rodadura del neumático en la máquina de manera gradual y constante.
- Monitorear el proceso de trituración para asegurarse de que la banda de rodadura del neumático se esté procesando adecuadamente y sin obstrucciones.
- Al finalizar de triturar la banda de rodadura, apagar la máquina y retirar los restos de neumáticos del recipiente.

Instrucciones de mantenimiento. Para asegurar el buen funcionamiento de la máquina y prolongar su vida útil, es importante realizar un mantenimiento regular. Estas son algunas instrucciones básicas para el mantenimiento:

- Realizar inspecciones visuales regulares para identificar cualquier signo de desgaste, daño o rotura en las diferentes piezas de la máquina.
- Limpiar la máquina regularmente para mantenerla libre de polvo y otros residuos.
- Lubricar los componentes de la máquina según sea necesario.

- Verificar que los componentes eléctricos funcionen correctamente y no estén sulfatados.

Además, revisar el estado del cableado.

- Revisar los dispositivos de seguridad y reemplazarlos si están dañados o no están funcionando correctamente.

Capítulo IV

Resultados de la investigación

Prueba de trituración

Para la máquina trituradora se realizaron un total de diez pruebas, es decir diez pasadas de la banda de rodadura donde se pretende reducir en partículas de diferente tamaño hasta llegar a la granulometría deseada de 20 mm mediante un proceso de corte y desgarrado, estos datos se presentan en tablas, como en las figuras representativas del número de pasadas y la granulometría.

La cantidad de pasadas se refiere al número de veces que un material es sometido a trituración, con el objetivo de reducir su tamaño, una mayor cantidad de pasadas aumenta la eficacia de la trituración, pero también aumenta el tiempo y el costo del proceso para llegar a la granulometría adecuada.

Prueba 1 Neumático Continental

Tabla 15

Prueba 1 número de pasadas y granulometría

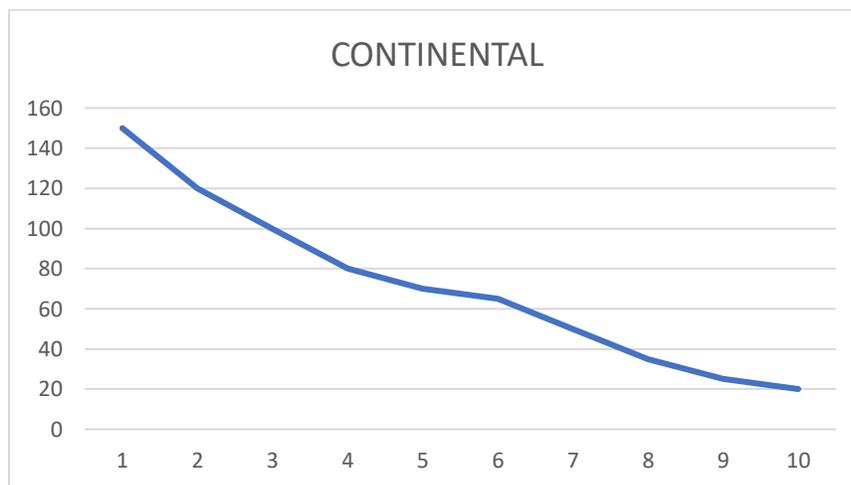
Número de pasadas	Granulometría (mm)
1	150
2	120
3	100
4	80
5	70
6	65

Número de pasadas	Granulometría (mm)
7	50
8	35
9	25
10	20

Nota. En la tabla se presenta el número de pasadas y la granulometría resultante de cada pasada.

Figura 69

Prueba 1 número de pasadas y granulometría

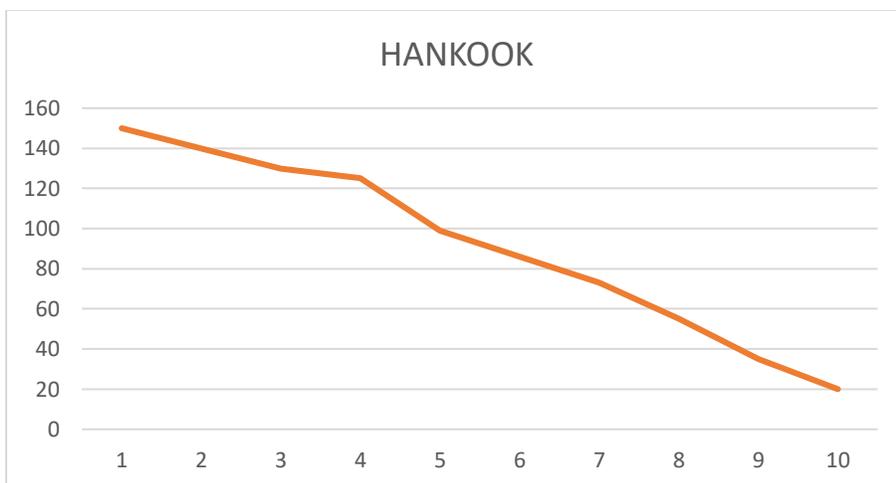


Nota. En la figura se presenta una relación de granulometría respecto al número de pasadas a la que se somete el proceso de trituración.

Prueba 2 Neumático HANKOOK**Tabla 16***Prueba 2 número de pasadas y granulometría*

Número de pasadas	Granulometría (mm)
1	150
2	140
3	130
4	125
5	99
6	86
7	73
8	55
9	35
10	20

Nota. En la tabla se presenta el número de pasadas y la granulometría resultante de cada pasada.

Figura 70*Prueba 2 número de pasadas y granulometría*

Nota. En la figura se presenta una relación de granulometría respecto al número de pasadas a la que se somete el proceso de trituración.

Prueba 3 Neumático GOODYEAR**Tabla 17***Prueba 3 número de pasadas y granulometría*

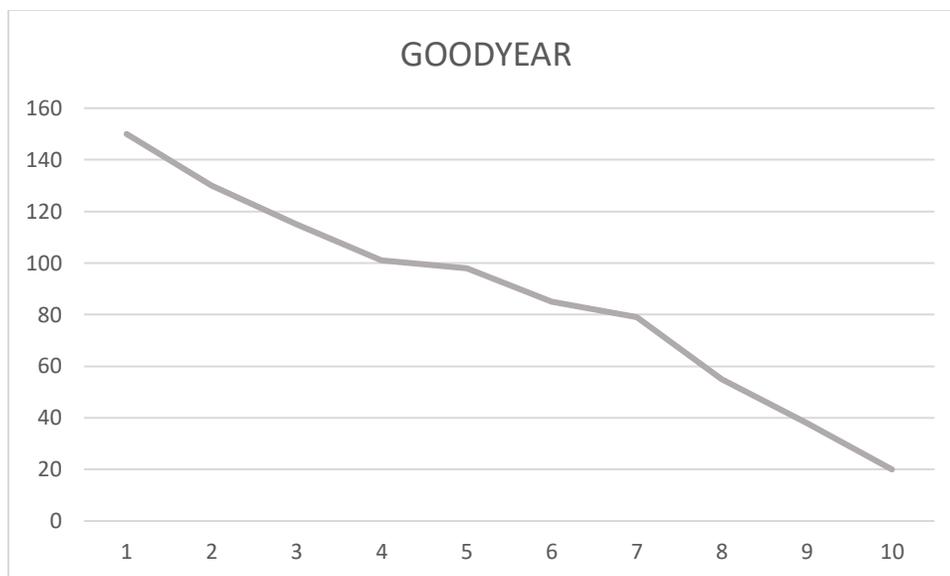
Número de pasadas	Granulometría (mm)
1	150
2	130
3	115

Número de pasadas	Granulometría (mm)
4	101
5	98
6	85
7	79
8	55
9	38
10	20

Nota. En la tabla se presenta el número de pasadas y la granulometría resultante de cada pasada.

Figura 71

Prueba 3 número de pasadas y granulometría



Nota. En la figura se presenta una relación de granulometría respecto al número de pasadas a la que se somete el proceso de trituración.

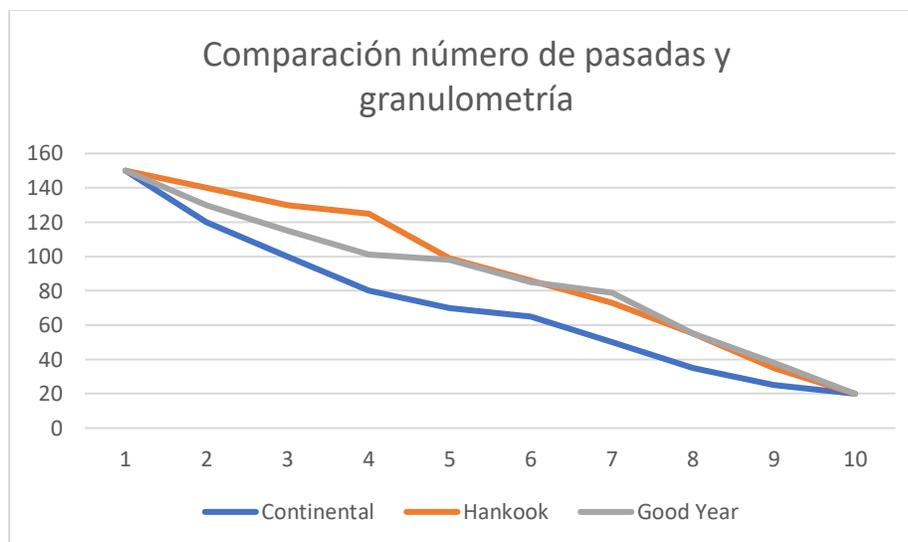
Análisis de datos

Granulometría y número de pasadas

Los ensayos de granulometría dependen del número de pasadas las cuales indican la variación en los parámetros de tamaño y forma, en base a la marca del neumático que se ingrese a la trituradora, mostrando de manera clara que existe una disminución de la granulometría respecto al número de pasadas, mientras más número de pasadas, más se reduce el tamaño del material de caucho, para una comprensión y entendimiento claro respecto a esta variación se presentan las gráficas de la Figura 73 que indican la comparación entre las curvas del ensayo.

Figura 72

Comparación curvas de granulometría y número de pasadas



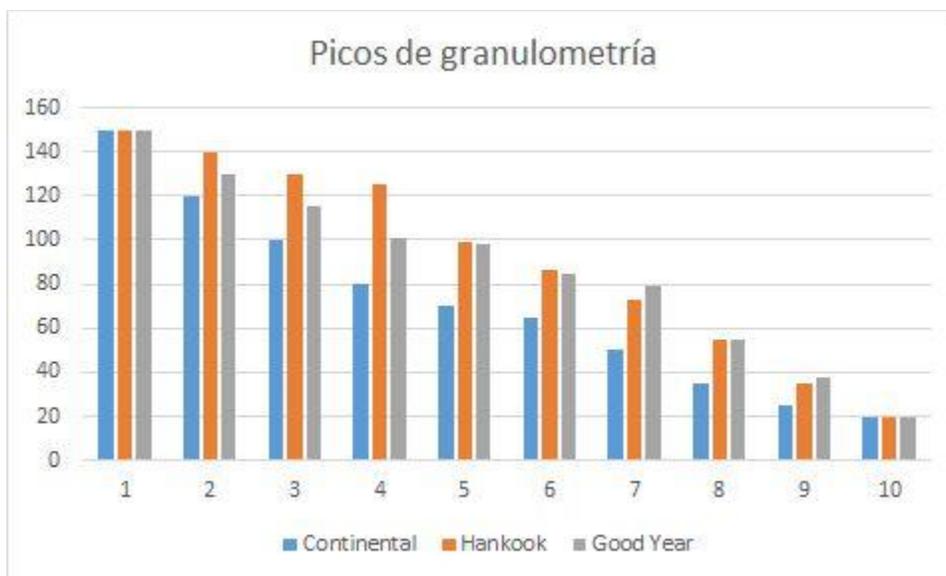
Nota. En la figura se presenta con una línea azul a la granulometría registrada por el neumático 1, con línea naranja a la granulometría del neumático 2, y el neumático 3 con línea gris.

En esta gráfica se aprecia claramente la variación entre las curvas con respecto a la granulometría de acuerdo a los neumáticos procesados, en donde se puede comprobar como el tamaño de las partículas varían en función de la marca del neumático.

Como complemento en la Figura 73, se indica la diferencia entre los picos de granulometría en el neumático 1, neumático 2 y neumático 3, que indica una variación de tamaño de partículas en función de la marca del neumático, pero todas llegan a la granulometría de 20 mm o menor.

Figura 73

Comparación entre los picos de granulometría de los neumáticos



Nota. En la figura se muestra los picos de granulometría en función del número de pasadas.

Capítulo V

Marco administrativo

Recursos

Para el desarrollo de “Construcción, e implementación de una trituradora de neumáticos para el laboratorio de materiales.” Se han considerado los siguientes recursos humanos, tecnológicos y materiales locales.

Recursos humanos

En la tabla 18 se detalla a todas las personas que han aportado con su conocimiento para el desarrollo de la investigación.

Tabla 18

Recursos humanos

Nombre	Función
Sr. Carlos Anguisaca	Investigador
Srta. Jessica Vega	Investigador
Ing. Edison Argüello	Director del trabajo de unidad de integración curricular

Nota. En la tabla se detalla a las personas que han aportado a la investigación.

Recursos tecnológicos

En la tabla 19 se muestra todos los equipos utilizados para la investigación, así como la función que desempeñaron.

Tabla 19*Recursos tecnológicos*

Equipo	Función
CNC de chorro de agua	Máquina empleada para el corte de cuchillas y separadores
Maquina CNC	Máquina usada para el vaciado y cortes del chasis
Torno	Máquina utilizada para el mecanizado circular de ejes
Fresadora	Máquina aplicada para el mecanizado hexagonal de ejes
Paquete office	Software de procesamiento de datos para escritura

Nota. En la tabla mostrada se detallan los recursos tecnológicos empleados.

Recursos materiales

En la tabla 20 se detalla los materiales locales que fueron necesarios en la aplicación y ensamblaje de la máquina trituradora. Todos estos materiales fueron adquiridos de acuerdo a las necesidades de la máquina.

Tabla 20*Recursos materiales*

Cantidad	Material
1	Plancha de acero estructural A36
1	Eje AISI 4340
4	Rodamientos
2	Engranajes rectos de acero templado
40	Pernos M12
2	Tubo cuadrado de 3 pulgadas
1	Motor reductor
1	Kit catalina cadena
2	Contactador chint 50A
15 m	Cable flexible 10A WG
1	Gabinete pesado 30x30x20
3	Pulsador monoblock
1	Guardamotor 7.5 HP
15 m	Cable flexible 12A WG
1	Botón paro de emergencia

Cantidad	Material
1	Enchufe trifásico 220V

Nota. En la presente tabla se detallan los recursos materiales empleados en la construcción e implementación.

Financiamiento

Para el desarrollo de la investigación ha sido necesario un aporte económico a fin solventar gastos en insumos necesarios para continuar con la misma, dichos gastos se detallan en la tabla 15.

Tabla 21

Gastos de la construcción

Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)
Plancha de acero estructural A36	1	750
Eje AISI 4340	2	50
Rodamientos	4	18
Engranajes rectos de acero templado	2	40
Tubo cuadrado de 3 pulgadas	2	30
Pernos M12	40	1
Motor reductor	1	800
Mecanizado Chasis	1	1550
Corte de cuchillas y separadores	1	2000

Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)
Mecanizado ejes	1	450
Control electrónico	1	305
Catalina	1	60
Cadena	1	33
Transporte	-	200
TOTAL		6500

Nota. En la tabla se detallan los gastos realizados en la construcción de la máquina trituradora.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La construcción de la trituradora de neumáticos debe ser precisa y en base al diseño realizado previamente para que ésta realice el trabajo de corte de la banda de rodadura de manera eficiente y sin ningún inconveniente.

El proceso de trituración es una forma efectiva de reciclar y reutilizar los neumáticos en desuso, lo que contribuye a la conservación de los recursos naturales y reduce la cantidad de residuos que se desechan. Sin embargo, es importante llevar a cabo el proceso de manera segura y responsable, ya que los neumáticos pueden contener compuestos tóxicos que deben ser manejados adecuadamente para evitar la contaminación del aire, agua y suelo.

Se construyó la máquina trituradora de neumáticos y se implementó en el laboratorio de materiales de la “Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga”, obteniendo como resultado del proyecto de integración curricular, una eficaz solución para el reciclaje de neumáticos, logrando así una importante contribución a la preservación del medio ambiente. Además, los estudiantes involucrados en el proyecto tuvieron la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos durante el ciclo académico y desarrollar habilidades prácticas en un entorno real.

Se realizó el mecanizado en el eje de acero AISI 4340 para adaptarlos a las medidas y forma requeridas en el diseño y se obtuvieron excelentes resultados en términos de precisión y calidad en la fabricación del componente. Además, se demostró la eficacia de los métodos de mecanizado en la producción de piezas de alta resistencia, permitiendo la creación de un eje duradero y confiable que contribuye significativamente al buen funcionamiento de la máquina trituradora.

Se efectuó un corte CNC de una plancha de acero estructural A36 de 20 mm y 25,4 mm y se obtuvieron las piezas de manera más rápida, precisa y de calidad en comparación con otros métodos de corte tradicionales que usan la tecnología CNC garantizando así el correcto ensamblaje, operación y funcionamiento de la máquina trituradora, esto permitió la creación de una estructura sólida y resistente, esencial para garantizar la durabilidad y seguridad de la máquina.

Se realizaron pruebas respecto al tiempo y número de pasadas hasta llegar a la granulometría planteada donde se pudo determinar la capacidad productiva de la máquina, lo que permitió una mejor planificación y organización con respecto al número de pasadas en función del neumático, además de optimizar el funcionamiento de la máquina trituradora de neumáticos y garantizar la obtención de material granulado de alta calidad.

En general, el proyecto de construcción de la máquina trituradora de neumáticos fue un éxito gracias a la combinación de diferentes técnicas y tecnologías. La aplicación de métodos de mecanizado en el eje de acero AISI 4340, el corte CNC de la plancha de acero estructural A36 de 20 mm y 25,4 mm, el proceso de ensamblaje, las pruebas con respecto al tiempo y número de pasadas, fueron factores clave en el desarrollo de una máquina eficiente y de alta calidad.

Los estudiantes involucrados en el proyecto tuvieron la oportunidad de aplicar sus conocimientos y habilidades prácticas en un entorno real, contribuyendo de manera significativa a la preservación del medio ambiente, la construcción de la máquina trituradora de neumáticos demuestra la importancia de la educación y la investigación en cuanto al diseño y construcción en la búsqueda de soluciones sostenibles y en armonía con el medio ambiente.

Recomendaciones

Diseñe cuidadosamente la máquina, teniendo en cuenta factores como la seguridad, la eficiencia, la resistencia mecánica de cada una de las piezas y componentes del circuito eléctrico para garantizar una construcción de calidad.

Elija los materiales adecuados para la construcción de la máquina, asegurándose de que sean resistentes y duraderos ya que es crucial que los materiales sean capaces de soportar las cargas mecánicas y la corrosión causada por el contacto con los neumáticos para garantizar la durabilidad de la máquina.

Utilice tecnologías de mecanizado modernas para garantizar la precisión y la calidad de las piezas, con la finalidad de un ensamblaje perfecto y evitar los reajustes que conlleva gastos económicos adicionales en el proceso de construcción.

Realice pruebas exhaustivas antes de la implementación para asegurarse de que la máquina funcione de manera correcta y segura, dichas pruebas deben cubrir todas las funciones clave de la máquina, incluyendo la trituración de neumáticos, la seguridad y la eficiencia.

Establezca un plan de mantenimiento para garantizar la continuidad y seguridad de la máquina a largo plazo, esto incluye la inspección regular, limpieza, reparación de piezas dañadas, estado del circuito eléctrico y además del cambio de aceite del motor reductor considerando las horas de funcionamiento de la trituradora de neumáticos.

Bibliografía

- CRAFT Bearings. (2022). *rodamientos axiales de bolas*. Recuperado el 22 de enero de 2023, de CRAFT bearings: <https://www.craft-bearings.com/rodamientos-axiales-de-bolas>
- Diosdado, M., & Nuñez, A. (24 de enero de 2019). *¿Cómo saber si un motor esta conectado en delta o estrella? Soy muy nueva en el tema*. Recuperado el 22 de enero de 2023, de Todoexpertos.com: <https://www.todoexpertos.com/preguntas/9f45tydw5oehrtck/como-saber-si-un-motor-esta-conectado-en-delta-o-estrella-soy-muy-nueva-en-el-tema>
- Direct Industry. (2023). *Engranaje hipoides*. Recuperado el 19 de diciembre de 2022, de <https://www.directindustry.es/prod/arrow-gear-company/product-56967-724493.html>
- García Jiménez, J. L., Navarro, J. M., Gómez Morales, T., Águeda Casado, E., & Gracia, J. G. (2020). *Mecánica del vehículo* (2.a edición ed.). Ediciones Paraninfo, S.A.
- Ingeniería y Mecánica Automotriz. (28 de Abril de 2020). *¿Qué es un engrane cónico y cómo se diseña? - INGENIERÍA Y MECÁNICA AUTOMOTRIZ*. Recuperado el 19 de diciembre de 2022, de ingeniería y mecánica automotriz: <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-un-engrane-conico-y-como-se-disena/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (E.D.N.I.Y.) Censos. (2021). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>
- Las ventas de vehículos en Ecuador a enero de 2022*. (21 de February de 2022). Recuperado el 21 de February de 2023, de AUTO Magazine: <https://automagazine.ec/las-ventas-de-vehiculos-en-ecuador-a-enero-de-2022/>
- Mendez, C. V. (abril de 2010). Diseño de triturador de neumáticos usados; capacidad 1 ton/h, para la empresa municipal de aseo de Cuenca (EMAC). Cuenca, Ecuador. Recuperado el 2023
- Motion and control NSK. (2023). *Rodamientos de Bolas de Contacto Angular de Ultra Velocidad - Serie ROBUST*. Recuperado el 22 de enero de 2023, de NSK Americas: <https://www.nskamericas.com/es/products/nsk-innovative-products/angular-contact-ball-bearings-robust-ultra-high-speed.html>
- Moyano, J. R., Naranjo, E. M., & Tenicota, A. G. (07 de febrero de 2020). Diseño y selección de cuchillas para el proceso de trituración de neumáticos y análisis de costos de fabricación. Recuperado el 2022
- Mueses, S. F. (2017). Máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría fina. Ibarra, Imbabura, Ecuador. Recuperado el 2022
- Neumáticos Alicante. (27 de septiembre de 2016). *¿Qué significa el código que aparece en el lateral de los neumáticos?* Recuperado el 2022, de Neumáticos Alicante: <https://www.neumaticosalicante.com/noticia/%C2%BFque-significa-el-codigo-que-aparece-en-el-lateral-de-los-neumaticosr/4/>

- Neumáticos km0. (2021). *Estructura de un neumático: conoce todas las partes que lo componen*. Recuperado el 2022, de Neumáticos km0: <https://www.neumaticoskm0.com/estructura-de-un-neumatico/>
- Norelem. (2018). *Tornillos sin fin y ruedas helicoidales*. Recuperado el diciembre de 2022, de Norelem: <https://www.norelem.fr/ad/es/Novedades/Prensa/2018/Nuevo-en-norelem-Tornillos-sinf%C3%ADn-y-ruedas-helicoidales.html>
- Ramos, G. R. (2020). *Diseño y construcción de una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría de 2 a 5 mm para la empresa Grisand Import - Export EIRL, Juliaca 2019*. Juliaca, Perú. Recuperado el 2022
- Ringegni, P. (2018). *Mecanismos y Elementos de Máquinas - Mecanismos y Sistemas de Aeronaves*. Recuperado el 21 de diciembre de 2022
- Roda Center. (2023). *Rodamiento SKF, Rodamiento Fag, Alineador Skf, Tih030, Schaeffler, SKF, Soporte SKF, Soporte Fag, Acoplamiento de grilla, Acoplamiento de engranaje, Rodamiento lineal, Rodamiento ina, Thk, mecanocaucho, amc, Altra couplings, Rodamiento de ...* Recuperado el 22 de enero de 2023, de Rodacenter: <https://rodacenter.cl/collections/rodamientos-de-bolas-a-rotula>
- Santos, D., & García, A. (21 de abril de 2014). *CHAVETEROS*. Recuperado el 22 de enero de 2023, de Slideshare: <https://es.slideshare.net/EdiRapJaviGrafAchina/chavetas-33782483>
- SKF. (2020). *PER.FHR6005-XD-A - Rodamientos de inserción*. Recuperado el 21 de diciembre de 2022, de SKF: <https://www.skf.com/uy/productinfo/productid-PER.FHR6005-XD-A>
- SKF. (2020). *Rodamientos axiales de bolas de contacto angular | SKF*. Recuperado el 22 de enero de 2023, de SKF: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/angular-contact-thrust-ball-bearings>
- SKF. (2020). *Rodamientos rígidos de bolas | SKF*. Recuperado el 21 de diciembre de 2022, de SKF: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>
- Tibanta, M. A. (2016). *Cálculo de Engranajes Cilíndricos Helicoidales Sistema Métrico*. Recuperado el 19 de diciembre de 2022, de <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/calculo-de-engranajes-cilindricos-helicoidales-sistema-milimetrico/>
- Tipán, L. A. (Diciembre de 2019). *Modelo de gestión de responsabilidad social organizacional en el reciclaje de neumáticos fuera de uso para las Fuerzas Armadas del Ecuador*. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- TurboSquid. (6 de Agosto de 2013). *modelo 3d Engranajes planetarios*. Recuperado el 19 de diciembre de 2022, de TurboSquid: <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/3d-planetary-gears/758673>
- Vásconez Jaramillo, A. V. (2020). *Diseño de máquina trituradora para la obtención de partículas de caucho a partir de neumáticos pre-cortados*. Ibarra, Imbabura. Recuperado el 2022

Anexos