



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA TIPO GARRA
PARA PROCESAR DESECHOS DE CAUCHO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de
Ingeniero Industrial

AUTORES: Johnny Edinson González Lainez

Jefferson Roberto Lainez Quirumbay

TUTOR: Ing. Efrén Agustín Tóala Moran, M.Sc

Guayaquil – Ecuador

2023

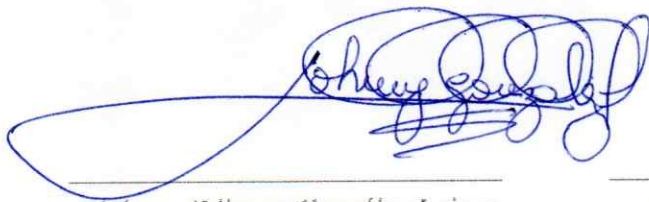
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Johnny Edinson González Láinez con documento de identidad No. 0918857244 y Jefferson Roberto Lainez Quirumbay con documento de identidad No. 0924347008; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 11 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Johnny Edinson González Láinez

0918857244



Jefferson Roberto Lainez Quirumbay

0924347008

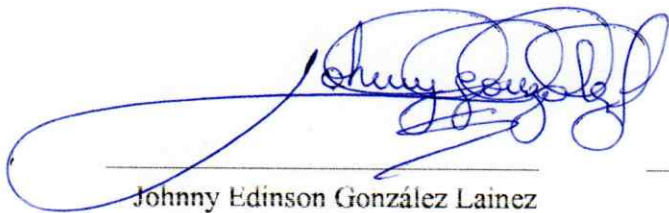
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Johnny Edinson González Láinez con documento de identidad No. 0918857244 y Jefferson Roberto Láinez Quirumbay con documento de identidad No. 0924347008, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA TIPO GARRA PARA PROCESAR DESECHOS DE CAUCHO**”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de **Ingeniero Industrial**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 11 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Johnny Edinson González Láinez

0918857244



Jefferson Roberto Láinez Quirumbay

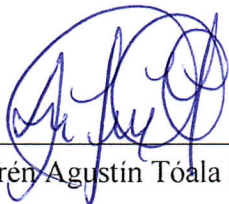
0924347008

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Efrén Agustín Tóala Moran, M.Sc, con documento de identificación No. 0920078243, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA TIPO GARRA PARA PROCESAR DESECHOS DE CAUCHO”** realizado por Johnny Edinson González Láinez con documento de identidad No. 0918857244 y Jefferson Roberto Lainez Quirumbay con documento de identidad No. 0924347008, obteniendo como resultado final el trabajo de Titulación bajo la opción **Proyecto Técnico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 11 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Efrén Agustín Tóala Moran, M. Sc
0920078243

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a las personas más inspiradoras, motivadoras de mi vida, a quienes dieron un voto de confianza hacia mis capacidades e inculcaron consejos y deseos de superación con la finalidad de verme como un profesional y ejemplo a seguir; a mi madre **Mercy Quirumbay** quien siempre está conmigo, guiándome, aconsejándome con valores y se encuentra en cada paso que doy; a mi padre **Cesar Elio Lainez** quien es ejemplo de trabajo constante, esfuerzo, y dedicación; a mi esposa **Melanie Campoverde** quien con mucha paciencia y valor supo inspirarme a continuar a no darme por vencido y dar lo mejor de mí; a mis hermanos quienes a través de sus logros profesionales alcanzados me supieron enseñar que toda constancia, dedicación, tiene sus buenos frutos, en ellos tengo un espejo en el cual quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a esforzarme mucho más cada día.

Jefferson Roberto Lainez Quirumbay

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por permitirme llegar a estas instancias. Sin duda alguna el infinito agradecimiento a mis Padres por el inmenso esfuerzo que dieron y que han realizado para que logre cumplir una de mis metas, a mi esposa por estar siempre a mi lado en los momentos malos y buenos de mi vida, a mis amigos y compañeros de aula por todos esos buenos momentos y su apoyo en mi vida estudiantil. Un agradecimiento especial a la Facultad de Ingeniería Industrial, y a mi director de Tesis Ing. Efrén Tóala por su paciencia y dedicación en la supervisión y tutoría de este proyecto, a cada uno de los docentes por sus enseñanzas, y a mis compañeros de aula.

Jefferson Roberto Láinez Quirumbay

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero a Dios, porque puso en mí la fuerza necesaria para seguir adelante sin nunca rendirme a pesar de las adversidades que se presentaron en el trayecto y por guiarme en el camino correcto sin desampararme.

A mis seres queridos por estar conmigo siempre apoyándome y alentándome, siendo un pilar de apoyo muy fundamental en mi vida. Y también a mis profesores, funcionarios, colegas y amigos porque me brindaron apoyo, paciencia y alegría durante mi estancia en el proceso.

Johnny Edinson González Láinez

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la sabiduría y fuerza necesaria para culminar mi carrera deseada. Al Docente director del Proyecto Técnico, Ing. Efrén Tóala, M.Sc. por sus consejos, paciencia, compromiso, guía y comprensión en todo el proceso académico e investigativo.

A la Ing. Nadia Mendieta L. e Ing. Armando López V. por estar al pendiente de todo el proceso y por el apoyo y paciencia que me brindaron. Al personal administrativo y académico por ofrecerme la información requerida y necesaria para lograr mis objetivos proyectados en este proceso.

Johnny Edinson González Láinez

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad desarrollar una alternativa tanto en diseño y construcción de una máquina trituradora tipo garra para procesar desechos de caucho con el cual poder ofrecer un recurso más seguro en cuanto al manejo de materiales, conservación del medio ambiente respecto a la manipulación y trituración de desechos de caucho.

En el marco o territorio ecuatoriano se logra evidenciar en muchos sectores industriales y no industriales la acumulación de materiales de desechos de caucho tales como llantas o neumáticos de automotores que una vez finalizado su ciclo de vida o utilización no disponen de una forma adecuada de tratamiento posterior como reciclaje.

A consecuencia del poco y limitado desarrollo de alternativas de trituración de desperdicios o desechos, surge la necesidad e importancia de abarcar este tema como proyecto de tesis para incrementar el estudio acerca de la gestión de este proceso de manejo y manipulación de desechos de caucho, que ayudará tanto al sector industrial, no industrial y a la comunidad en general.

Palabras claves: neumáticos, llanta, trituradora.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación del problema	3
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Grupo objetivo (beneficiarios)	5
1.6. Propuesta de solución.....	6
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	7
2.1 Marco teórico referencial	7
2.2 Elastómeros.....	7
2.3 Relleno sanitario.....	10
2.4 Neumáticos.....	12
2.4.1 Principales partes de un neumático	13
2.4.2 Clasificación de los neumáticos.....	15
2.5 Reutilización de neumáticos.....	16
2.5.1 Regeneración.....	17
2.5.2 Desvulcanización	17
2.5.3 Proceso de pirolisis.....	18
2.5.4 Proceso de incineración	18
2.5.5 Trituración mecánica.....	19
2.6 Máquinas trituradoras.....	19
2.6.1 Máquinas trituradoras de concreto o piedra	20
2.6.2 Máquinas trituradoras de polímeros.....	20
2.6.3 Máquinas trituradoras de caucho	22
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1. Diseño de investigación	24
3.2. Tipo de investigación	24
3.2.1. Investigación Descriptiva	24

3.3	Metodología aplicada para el diseño del prototipo.....	25
3.4	Diseño de la máquina	26
3.4.1	Cuchillas de corte.....	26
3.4.2	Ejes de transmisión o porta cuchilla.....	30
3.4.3	Sistema de accionamiento motriz (1200rpm relación de 1:14)	35
3.4.5	Tolva de almacenaje	38
3.4.6	Estructura soporte de ejes.....	41
3.4.7	Chasis.....	48
CAPITULO IV: RESULTADOS		50
4.1.	Fabricación de la máquina trituradora de caucho.....	50
4.2.	Costo de fabricación.....	56
CONCLUSIONES		58
RECOMENDACIONES		60
BIBLIOGRAFÍA		61
ANEXOS		63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de los neumáticos por su servicio.....	15
Tabla 2.2 Materiales que componen a los neumáticos de automóviles.....	22
Tabla 3.1 Porcentajes de elementos que componen al acero K110.....	28
Tabla 3.2 Característica del acero 760.	30
Tabla 3.3 Porcentajes de elementos que componen al acero S705	32
Tabla 3.4 Propiedad mecánicas del acero 705	32
Tabla 3.5 Principales características de los ejes y elementos acoplados al mismo.....	32
Tabla 3.6 Valores de masa y volumen del rodillo ensamblado con las cuchillas y garras de arrastre	33
Tabla 3.7 Características de la máquina trituradora.	37
Tabla 3.8 Propiedades mecánicas del acero A36.	39
Tabla 3.9 Composición química del acero A36	39
Tabla 3.10 Especificaciones técnicas cojinete rígido de bolas 6022.....	43
Tabla 3.11 Especificaciones mecánicas del cojinete rígido de bolas 6026	44
Tabla 3.12 Especificaciones mecánicas del cojinete rígido de bolas 6022	44
Tabla 4.1 Detalle de materiales requeridos para la fabricación de la máquina trituradora de caucho.....	56
Tabla 4.2 Lista de componentes utilizados en la fabricación de la máquina trituradora de caucho.....	57
Tabla 4.3 Presupuesto utilizado para la fabricación de la máquina trituradora de caucho. ...	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ejemplo de productos fabricados con material elastómero.	8
Figura 2.2 Extracción de látex de un árbol.	9
Figura 2.3 Guantes para mano fabricados con nitrilo.	10
Figura 2.4 Productos elaborados con caucho de silicona.....	10
Figura 2.5 Diseño general de un relleno sanitario.....	12
Figura 2.6 Modelo un neumático para vehículo.....	13
Figura 2.7 Partes de un neumático de tipo radial.	14
Figura 2.8 Corte seccional de un neumático radial.	15
Figura 2.9 Materiales obtenidos durante el proceso de pirólisis.	18
Figura 2.10 Máquina trituradora Zenith.....	20
Figura 2.11 Diseño de una máquina trituradora de envases.....	21
Figura 2.12 Diseño de máquina trituradora de caucho.	23
Figura 3. 1 Diseño e las cuchillas de corte.....	26
Figura 3. 2 Ensamble de cuchillas en el rodillo porta cuchillas.....	27
Figura 3.3 Montaje de las cuchillas en los ejes de la máquina.	28
Figura 3.4 Diagrama de revenido del acero K110	29
Figura 3.5 Rodillo porta cuchilla con ranura para ensamble de garras.....	30
Figura 3.6 Eje de transmisión o porta cuchilla.....	31
Figura 3.7 Distribución de los rodillos porta cuchillas ensamblados en los ejes de transmisión o porta cuchilla.	33
Figura 3.8 Diagrama de la carga generada por los rodillos distribuida sobre el eje primario.	34
Figura 3.9 Diagrama de la carga generada por los rodillos distribuida sobre el eje secundario.	34
Figura 3. 10 Diseño del hexágono en la parte central del eje de transmisión o porta cuchilla.	35
Figura 3.11 Motor trifásico W21	36
Figura 3.12 Diseño de una caja reductora con transmisión de giro por banda.	38
Figura 3.13 Vista lateral del diseño de la tolva de almacenaje.	40
Figura 3.14 Vista frontal del diseño de la tolva de almacenaje.	40

Figura 3.15 <i>Diseño y ensamble de la tolva de almacenaje.</i>	41
Figura 3.16 Diseño y ensamble de soporte de ejes.	42
Figura 3.17 Diseño del cojinete rígido de bolas 6022.....	43
Figura 3.18 Diseño del chasis fabricado con vigas tipo “T” donde se ensambla la máquina trituradora.	48
Figura 3.19 Diseño del chasis con los principales elementos de la máquina trituradora.....	49
Figura 4.1 Ensamble de los rodillos, cuchillas y garras de arrastre.	51
Figura 4.2 Vista superior del sistema de trituración con ejes, rodillos, cuchillas y garras de arrastre en su posición de funcionamiento.	51
Figura 4.3 Vista inferior del sistema de trituración con ejes, rodillos, cuchillas y garras de arrastre en su posición de funcionamiento.	52
Figura 4.4 <i>Ensamble de la tolva de almacenaje.</i>	53
Figura 4.5 <i>Vista lateral del ensamble final de la máquina trituradora de caucho.</i>	54
Figura 4.6 Vista frontal del ensamble final de la máquina trituradora de caucho.	55
Figura 4.7 Extremos de los ejes de transmisión o porta cuchilla.	55
Figura 4.8 Ensamble de la caja reductora en la máquina trituradora de caucho.	56

ÍNDICE DE ECUACIONES

3.1.....	34
3.2.....	34
3.3.....	36
3.4.....	36
3.5.....	37
3.6.....	38
3.7.....	38
3.8.....	45
3.9.....	45
3.10.....	45
3.11.....	45
3.12.....	46
3.13.....	46
3.14.....	46
3.15.....	46
3.16.....	46
3.17.....	47
3.18.....	47
3.19.....	47
3.20.....	47
3.21.....	48

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se basa en el diseño y construcción de una máquina trituradora tipo garra para procesar desechos de caucho, siendo motivo de estudio y análisis debido que sería indispensable para aquellas empresas que se dedican a brindar servicios de destrucción de este tipo de material realizándolo con alta responsabilidad y eliminándolos de una forma segura.

En el Ecuador y a nivel mundial existen diversidades de productos que involucran en su composición este material llamado caucho, dando así un volumen importante y significativo de existencia de este componente que nos rodea y que no está siendo tratado debidamente o técnicamente para una posterior destrucción y reutilización.

Esta propuesta de diseño de la máquina parte del volumen o capacidad de producción de trituración, así como también para su diseño y fabricación se realiza un análisis de los aceros, rodamientos, motor, cuchillas tipo garra y cada uno de los materiales que la integran basadas en su composición técnica y química.

Con este diseño de maquina se busca proveer una alternativa viable, sustentable y sostenible para la industria del reciclaje, otorgando un análisis de materiales de caucho con mayor accesibilidad como lo son los neumáticos de automotores.

CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El desarrollo de nuevos productos utilizados en diferentes aplicaciones es algo que no se detiene. Los nuevos descubrimientos y avances siempre van enfocados en la optimización de procesos, mejorando la eficacia de los materiales y disminuyendo costos de reparación o mantenimientos.

Según las Naciones Unidas, la población mundial experimentará entre el 2019 y 2050 un crecimiento de 2000 millones aproximadamente, mientras que en América Latina y el Caribe el crecimiento proyectado es del 18% (Unidas, 2021).

El crecimiento poblacional trae consigo el incremento de desperdicios arrojados al medio ambiente, los cuales terminan aumentando la contaminación del ecosistema y destruyéndolo cada día más.

Actualmente es común observar en la orilla de las carreteras desperdicios sólidos que no son biodegradables, tales como fundas, parte metálicas, llantas, etc., los mismos que seguirán en esos lugares por muchos años, debido al lento proceso de descomposición que experimentan, prolongando de esta manera la contaminación al suelo.

En Ecuador se desechan aproximadamente 2'400.000 neumáticos al año, de los cuales muchos de ellos terminan en la orilla de las carreteras o en terrenos baldíos, y si no son tratados correctamente pueden tardar hasta 500 años en degradarse, o a su vez como foco de infección para la proliferación de mosquitos. En vista de esta situación, los gobiernos seccionales y/o municipales están trabajando desde hace varios años en desarrollar proyectos legislativos para penalizar a los ciudadanos que no cumplan con los procesos adecuados en la eliminación de este tipo de desperdicios.

A mediados del 2018 se presentó en Ecuador el Sistema Ecuatoriano de Gestión Integral de Neumáticos Usados (Seginus, s.f.), una corporación sin fines de lucro creada como alternativa para cambiar el paradigma en el manejo de estos desechos, y a su vez formar una economía circular que ayude al medio ambiente. Este proyecto inicialmente fue enfocado a

los neumáticos provienen de vehículos livianos, los cuales representaban el 90% del parque automotriz.

Seginus se encargaba de toda la logística referente a la recopilación y disposición de los neumáticos, trabajando en conjunto con los establecimientos autorizados donde el cliente adquiriría los mismos, para lo cual, adicional al valor del neumático nuevo el cliente debía pagar el ecovalor, tarifa de un dólar que estaría reflejada en la factura de compra, con el cual se cubriría los gastos operativos de transportación de los neumáticos por parte Seginus.

Este proyecto sigue vigente en la actualidad, pero no con la acogida esperada, ocasionando que la eliminación de los neumáticos continúe contaminando el medio ambiente, sumado a que el parque automotriz liviano del Ecuador continúa creciendo, cerrando el año 2020 con 2'333.899 unidades, de las cuales el 49% corresponde al segmento de automóviles o sedán.

1.2. Planteamiento del problema

Debido a que los neumáticos se los continúa desechando de manera incorrecta, surge la necesidad de plantear nuevas alternativas para la recolección y reprocesamiento de estos, presentando como alternativa la fabricación de una máquina en la cual también se pueda triturar los neumáticos o cualquier tipo de caucho, a tal punto que puedan ser utilizados como materia prima para otros procesos, ampliando de esta manera las opciones en el mercado local.

1.3. Justificación del problema

El presente trabajo tiene como finalidad fabricar una máquina que tenga la capacidad de procesar principalmente los neumáticos reemplazados en los locales especializados o en los distintos distribuidores a nivel nacional, para garantizar de esta manera el correcto manejo de estos desperdicios y evitar sean desechadas de forma inadecuada, como en las orillas de las carreteras, en predios deshabitados y ríos, llegando luego a contaminar también los océanos.

Además de procesar neumáticos, la máquina podrá triturar cualquier tipo de caucho, abriendo de esta manera un nuevo abanico en la industria del reciclaje y contribuyendo en la conservación de la naturaleza.

En la actualidad existen pocas empresas dedicadas a reciclar y procesar neumático o caucho, una de ellas es el proyecto estatal Seginus, que si bien está vigente desde mediados del 2018 no ha tenido una incidencia significativa en el país, dejando algunos sectores sin cobertura, principalmente los pequeños distribuidores de neumáticos (Seginus, s.f.).

Los principales productos obtenidos en este proceso son materiales para la fabricación de canchas sintéticas para fútbol, planchas de caucho y suelas de zapatos.

Otra de las principales empresas procesadoras de neumáticos es Ecocaucho, quien elabora una diversidad de productos, los cuales van desde alfombras hasta la recuperación o renovación de neumáticos, utilizando el 95% de materiales reciclados (Ecocaucho, s.f.).

Existen varias alternativas para procesar caucho, principalmente los neumáticos de automóviles, pero también es importante resaltar que la importación de neumáticos presenta un incremento progresivo en el último año de 25 % aproximadamente (AEADE, 2021), lo que aumenta la probabilidad de que exista mayor contaminación del medio ambiente, debido a que la ciudadanía no concientiza aún que este tipo de desecho debe ser eliminado mediante un proceso ya estipulado y no de manera informal.

El desarrollo de este proyecto se presenta como una nueva alternativa para sumar esfuerzos en el procesamiento de neumáticos y desechos de caucho, evitando así aumente la contaminación del medio ambiente y aprovechando estos “desechos” para fabricar nuevos productos como por ejemplos tubos de soporte, mangueras, cubiertas de caucho, alfombras, etc.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un modelo de máquina que sirva para poder triturar neumáticos o cualquier tipo de caucho con el fin de que el producto obtenido sirva como materia prima para otros procesos, brindando alternativas para el reciclado de estos desechos y mejorando la disponibilidad de procesado en el mercado actual.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar un diseño de máquina trituradora de caucho operativa y funcional.
- Fabricar una máquina según las características definidas en el diseño.
- Definir las características y dimensiones del producto obtenido luego del proceso de triturado.
- Caracterizar el funcionamiento de la máquina referente a la capacidad de producción como el volumen, velocidad y consumo energético.

1.5 Grupo objetivo (beneficiarios)

La ejecución de este proyecto se enfocará en disminuir la contaminación del medio ambiente, principalmente la contaminación por desechos sólidos existente en las aceras de las carreteras y en terrenos baldíos.

Si bien, la eliminación de los neumáticos reemplazados en las grandes comercializadoras ya se encuentra normado, existen tiendas o locales pequeños donde no se cuenta con un proceso adecuado para la eliminación de estos, y es en este sector donde se enfocará la disponibilidad de la máquina trituradora, evitando de esta manera el incremento de los índices de contaminación.

Adicional a la trituración de neumáticos, la máquina tendrá la capacidad para poder triturar cualquier desecho de caucho como sellos, o material de plástico reciclado como tanques o recipientes fabricados de algún otro tipo de polímero.

Al ejecutar este proyecto, se brinda mayor disponibilidad de lugares donde se pueda procesar desechos de cauchos, incrementando el desarrollo de microempresas, ya sea en la creación de nuevos puntos de reciclado, como en la disponibilidad de adquirir una máquina trituradora a menor costo que una importada, pero con el mismo servicio de calidad y eficiencia, y con un valor agregado al haber utilizado mano de obra nacional para su fabricación.

1.6 Propuesta de solución

El problema de contaminación ambiental por el mal desecho de los neumáticos, caucho o material de plástico de mayor espesor sigue latente, en vista de eso se plantea la solución de fabricar una nueva máquina con la capacidad de tritura todo tipo de caucho, obteniendo como producto final un mechado de caucho o plástico que pueda servir como materia prima para otros procesos de producción como por ejemplo extrusión.

Esta máquina trituradora funcionará con dos ejes paralelos que girarán en sentido opuesto. En ambos ejes estarán fijas cuchillas de corte tipo garras, a las cuales les llegará el material reciclado por medio de una tolva angular, facilitando de esta manera el posicionamiento del material sobre las cuchillas, para que así mientras estas giran agarren el material reciclado y realicen el proceso de triturado.

Una vez comprobado el funcionamiento y operatividad de la máquina, se podrá ofrecer al mercado una máquina de fácil manejo y acceso para los pequeños productores del país, u ofrecer el servicio de triturado en sitio, poniendo al alcance de muchas personas el desarrollo de nuevos proyectos que contribuyan con la disminución de la contaminación ambiental.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Marco teórico referencial

El problema que ocasiona el desperdicio inadecuado de los neumáticos no ha desaparecido con el paso del tiempo, más bien se puede decir que cada año se agudiza debido al crecimiento del consumo de caucho a nivel mundial, el cual se estima experimente un aumento del 3,1% anualmente en promedio hasta el 2024 (G. J. Peláez Arroyave).

El reciclaje del caucho debe realizarse preferentemente por trituración mecánica, métodos químicos o recuperación energética (Y. Fang, 2001). Estas técnicas son las más comunes, pero representan un sin número de operaciones y desarrollos tecnológicos con el fin de crear procesos eficientes que eviten o disminuyan el impacto ambiental.

Se conoce que entre el 65 y el 70% del caucho producido a nivel mundial es utilizado para la fabricación de neumático (G. Peláez, 2014) (Dierkes., 1997), así mismo es importante considerar que cada año se generan 17 millones toneladas de neumáticos como desperdicios, de las cuales entre el 41 y 55% del peso total es caucho, lo que equivale entre 7 a 9 millones de toneladas que, si no son procesadas correctamente, terminan convirtiéndose en una problemática al ecosistema.

En Ecuador se cuenta con el proyecto estatal Seginus que surgió como alternativa a mediados del 2018, así mismo como otras empresas a nivel nacional que realizan trabajo de reciclaje y procesamiento de caucho, especialmente los provenientes de neumáticos. Entre las empresas a nivel nacional que ofrecen el servicio de reciclaje y triturado de neumáticos se puede nombrar al Grupo Traomaq o Ecocaucho, empresas que han encontrado un nicho en este segmento, fabricando con los neumáticos desechados materia prima para generar combustible, pisos, alfombras, protectores, etc.

2.2 Elastómeros

Los elastómeros o también conocidos como caucho forman parte de la familia de los polímeros, debido a que su composición consta de cadenas enlazadas con enlaces de extremo a extremo, resultando de esta manera diferentes tipos de polímeros como por ejemplo los

termoestables, termoplásticos, elastómeros, etc. (Ciencia de las materiales aplicaciones de ingeniería – James Newell).

Una de las principales características de los elastómeros es el cambio en gran medida que experimentan sus dimensiones cuando son sometidos a esfuerzos, la cual es casi recuperada cuando la fuerza deformante es retirada.

Existen una variedad de materiales elastómeros entre los que se tiene al caucho natural, caucho de nitrilo, cauchos sintéticos, siliconas, etc. (William-f-smith-javad-hashemi)

Figura 2.1 *Ejemplo de productos fabricados con material elastómero.*



Nota. Tomado de (Ingeniería Química, 2021)

- **Caucho natural.** - Se produce a partir del látex de un árbol conocido como *Hevea brasiliensis*, cultivado principalmente en regiones tropicales originarias del sudeste asiático, tales como Indonesia y Malasia. El látex es un producto lechoso, en cuya composición existen pequeñas partículas de caucho, es recolectado de los árboles para luego ser sometidos a procesos industriales obteniendo de esta manera láminas de caucho como producto final. La producción de este tipo de caucho en la época de 1980 representó el 30% del mercado mundial. (William-f-smith-javad-hashemi)

Figura 2.2 Extracción de látex de un árbol.



Nota. Tomado de (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, 2011)

- **Cauchos sintéticos.** – Entre los principales tipos de caucho dentro de este grupo se tiene al estireno-butadieno, los policloroprenos y los cauchos de nitrilo, siendo utilizados en la época de 1980 llegando a representar aproximadamente el 70% del suministro mundial. El *caucho estireno-butadieno* es el sintético más importante debido a que contiene entre el 20 y 23% de estireno. Comercialmente presenta una gran ventaja con el caucho natural, debido a que tiene un bajo costo y puede ser utilizado en múltiples aplicaciones como por ejemplo las cuerdas de neumáticos.

Dentro de este grupo se encuentran también los *cauchos de nitrilo* constituidos entre un 55 y 82% de butadieno y de 18 a 45 % de acrilonitrilo. Presentan buena resistencia a los aceites, disolventes y al calor. Este tipo de caucho son más costosos que los cauchos comunes, de manera que su uso se limita a aplicaciones especiales como partes que funcionan a elevada presión.

Finalmente están también los *policloropreno (neopreno)*, los cuales presentan una gran resistencia a debido a que en su composición presentan átomos de cloro, formando barreras al ataque del oxígeno, ozono calor y diversas condiciones ambientales. Tienen la característica que resisten a los combustibles y aceites, llegando a ser mejores que los cauchos ordinarios. (William-f-smith-javad-hashemi)

Figura 2.3 *Guantes para mano fabricados con nitrilo.*



Nota. Tomado de doca-safety

- **Cauchos de Silicona.** – Los polímeros silicona se basan en unidades de silicio y oxígeno. Tienen la capacidad de formar enlaces entrecruzados a temperatura ambiente gracias a la ayuda de un iniciador, quien es el responsable de hacer reaccionar los grupos de metilo eliminando así gas hidrógeno. (William-f-smith-javad-hashemi).

Figura 2.4 *Productos elaborados con caucho de silicona.*



Nota. Tomado de doca-safety

2.3 Relleno sanitario

Los niveles de contaminación aumentan con el pasar de los días, y más aún por el incremento de productos que generan desechos sólidos, los cuales para ser desechados necesitan un trato especial.

El relleno sanitario es un espacio diseñado exclusivamente para la disposición final de los desechos sólidos. Tiene como principal objetivo no causar riesgo a la seguridad pública, ni

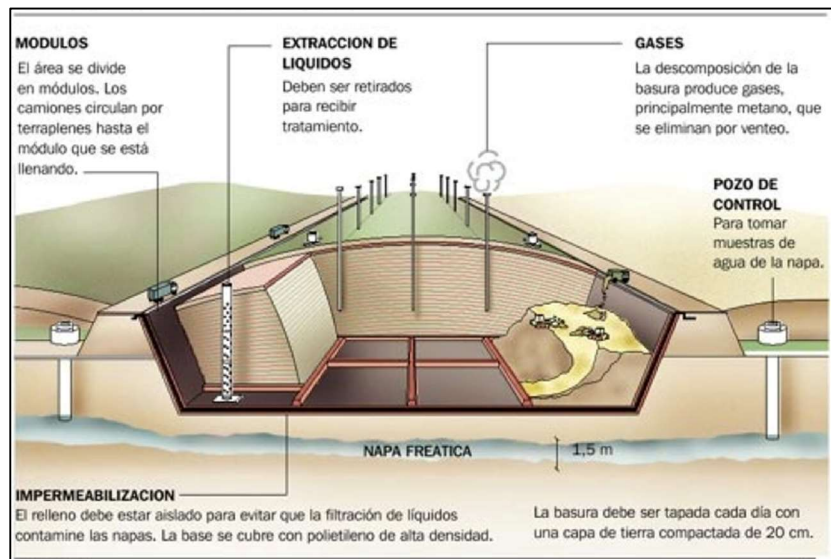
afectar el medio ambiente durante o después de su operación una vez que sea clausurado por alcanzar su nivel máximo de almacenaje.

En la primera parte del siglo XX fue el nacimiento del relleno sanitario, teniendo su origen en ciudades de Estados Unidos e Inglaterra, teniendo como objetivo controlar malos olores y enfermedades ocasionadas por la acumulación inapropiada de desechos de forma abierta y sin ningún tipo de control, contaminando calles, parques, bosques, lagos, etc. El relleno sanitario permitió acumular los desechos en un solo lugar, teniendo así un mejor control y manejo de estos. (¿Qué es un relleno sanitario? Silvana Irene Torri.)

Los rellenos sanitarios constan de diferentes partes entre las que se tiene:

- *Pozos de desfogue.* - Son espacios con chimeneas conectadas directamente a los residuos almacenados bajo tierra.
- *Celda.* - Sirve para evitar hundimientos logrando una mejor estabilidad del suelo. Esta celda está compuesta por los desperdicios sólidos y por una capa de material pétreo.
- *Filtración.* - Mediante un sifón o equipo de refrigeración se separa el agua condensada del flujo de gas, para luego ser bombeada a la planta de tratamiento de las aguas lixiviadas.
- *Antorcha.* - Sirve para quemar el biogás que no es utilizado en ningún proceso controlado.
- *Tratamiento de biogás.* - Sirve para procesar el gas obtenido y así poder filtrarlo para obtener un gas rico en metano libre de otros gases.

Figura 2.5 *Diseño general de un relleno sanitario.*



Nota. Tomado de (Ceamse, s.f.)

2.4 Neumáticos

Los neumáticos constituyen un elemento fundamental en la movilidad de los diferentes medios de transporte, desde una bicicleta, motocicleta, auto, hasta una enorme máquina utilizada en la industria minera. Sin este componente, sería imposible lograr el desplazamiento de personas, alimento, materiales, etc.

Estos elementos tienen la capacidad de poder soportar parcialmente la carga del vehículo y absorber las diferentes irregularidades de la calzada por donde se deslizan, debido a que su forma y composición permiten que se deforme para acoplarse a las necesidades y exigencias de su uso.

Su funcionamiento depende de la cantidad de fricción que existe entre la calzada y el neumático, debido a que, durante cada giro el neumático ejerce una fuerza sobre la calzada y esta ejerce una fuerza de reacción sobre el neumático, gracias a lo cual se genera el movimiento. Si el neumático no estuviera en buenas condiciones, como por ejemplo una altura adecuada de la banda de rodaje, esta reacción física no fuera posible y existiera derrape entre varios elementos.

El giro a los neumáticos es transmitido desde el motor por medio del diferencial a las ruedas motrices, las cuales cumplen la función de transmitir ese movimiento a las ruedas restantes generando así un movimiento en conjunto.

Una de las funciones importante de los neumáticos es la que realizan al momento del frenado, debido a que son estas las que permiten detener el vehículo al momento de aplicar el freno, siempre y cuando las condiciones de los neumáticos sean optimas como por ejemplo tener una banda de rodamiento en buen estado, caso contrario no existiría adherencia a la calzada ocasionando derrape.

Figura 2.6 *Modelo un neumático para vehículo.*



Nota. Tomado de (Pirelli, s.f.)

Los neumáticos son elementos mecánicos elaborados con caucho, material químico, aceros u otros materiales que cuando son combinados, forman un elemento con la capacidad de proveer tracción y soportar la carga de un vehículo.

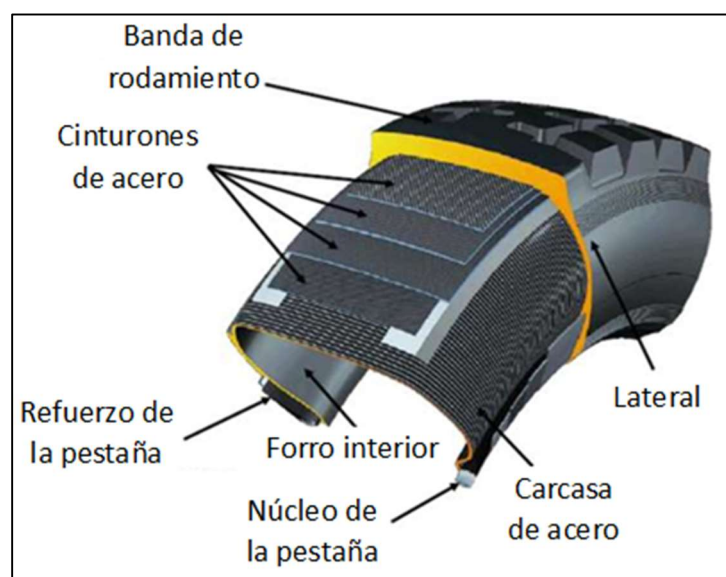
2.4.1 Principales partes de un neumático

Entre las principales partes de un neumático se tiene (NTE INEN 2096:2012):

- a. Banda de rodamiento. – Es la parte de neumático que está en contacto con el suelo y consta de elementos como el bajo rodamiento, diseño o labrado, espesor del bajo rodamiento, espesor total de la banda de rodamiento, indicador de desgaste y la profundidad del diseño o labrado.

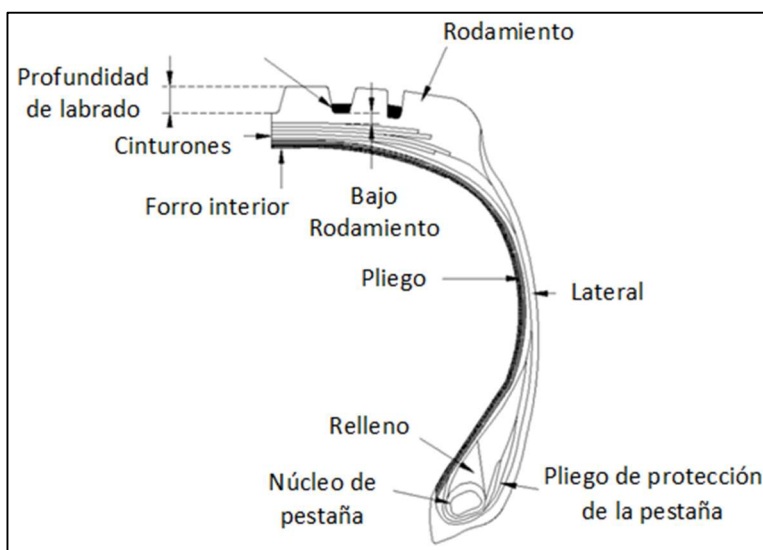
- b. Banda protectora del lateral. – Capa lateral intermedia ubicada al costado de los neumáticos que tiene como objetivo proteger de golpes y algún tipo de daño a los pliegos, mejorando así el diseño de los neumáticos.
- c. Carcasa. – Recubrimiento del neumático que da forma al mismo donde se acoplan los demás elementos que lo forman.
- d. Cinturón. - Pliegos internos o capas que se encuentran ubicadas entre el bajo rodamiento y el primer pliego de la carcasa. Tiene como objetivo aumentar la resistencia al impacto y proporcionar una mejor estabilidad al neumático.
- e. Cuerdas. – Son hilos de nilón, acero, poliéster, etc., que constituyen los pliegos que forman a los neumáticos.
- f. Forro interior. – Ubicado en la superficie interna del neumático, siendo el elemento que permite un estiramiento de este al momento de inflarlo.
- g. Hombro. – Extremo que ubicado en la parte superior externa del neumático, entre la banda de rodamiento y la banda del diseño o labrado.
- h. Laterales. – Capa lateral externa que protege y da forma a los neumáticos.
- i. Pestaña. – Bordes del neumático elaborados con alambre de acero que se encuentran envueltos a las cuerdas.
- j. Pliegos. – Elementos laterales internos que refuerzan las paredes de los neumáticos, brindándole la capacidad de soportar cargas de manera segura.

k. Figura 2.7 *Partes de un neumático de tipo radial.*



Nota. Tomado de (Neumaticos Definiciones y Clasificacion)

Figura 2.8 Corte seccional de un neumático radial.



Nota. Tomado de (Neumaticos Definiciones y Clasificacion)

2.4.2 Clasificación de los neumáticos

Los neumáticos se clasifican según el tipo de servicio donde son utilizados tal como se observa en la tabla 2.1. (Neumaticos Definiciones y Clasificacion)

Tabla 2.1 Clasificación de los neumáticos por su servicio.

Tipo	Servicio	Descripción	Características
I	Bicicletas Motocicletas Motonetas Cuadrones (All terrain vehicle, ATV)	Neumático con aro de diámetro nominal mayor o igual a 178mm (aro7)	Convencional y radiales
II	Vehículos de pasajeros Vehículos excepto de pasajeros: • Automóviles de turismo • Camioneta • Camperos • Camiones livianos (Light Truck, LT)	Neumáticos para vehículos SUV (sport utility vehicle), station wagon, furgoneta (VAN), deportivos.	Convencional y radiales
III	Vehículos de actividades comerciales (CVT), de transporte y carga.	Camiones, autobuses, remolques, volquetas, tráileres y otros vehículos para cara pesada	Convencional y radiales
IV	Vehículos pesados	Neumáticos para vehículos de minería, camineros, fuera de carretera (OTR), agrícolas, forestales e industriales.	Convencional, radiales y sólidas.

Nota. Tomado de (Neumaticos Definiciones y Clasificacion)

2.5 Reutilización de neumáticos

Los neumáticos son elementos cuya disposición final es manejada de forma desordenada, terminando en diferentes lugares que ocasionan una gran contaminación al medio ambiente, entre los más comunes están (Laura Cardona):

- Almacenamiento en lugares o depósitos clandestinos, tales como patios, solares baldíos, lugares públicos, etc.
- Combustión de manera inapropiada para combustible en ciertos procesos de producción artesanal.
- Combustión a cielo abierto por parte de recicladores o grupos informales para extraer los alambres de acero.

Para corregir este tipo de inconveniente, surgen nuevas alternativas con el uso de buenas prácticas en el manejo de estos desechos, los cuales van desde una reutilización del neumático luego de un proceso de reencauche, hasta la trituración para ser utilizada en la fabricación de nuevos productos.

Los principales procesos para una correcta eliminación o reutilización de los neumáticos usados, se los puede agrupar en las siguientes categorías:

- Regeneración.
- Devulcanización
- Proceso de pirólisis.
- Proceso de incineración.
- Trituración mecánica.

Todos estos procesos utilizados en la eliminación de neumáticos usados producen un efecto sobre el medio ambiente y la salud de las personas, los cuales no pueden ser evitados por completo, aunque su impacto sí podrían ser reducido. (Franklin)

2.5.1 Regeneración

El proceso de regeneración consiste en la intervención de procesos mecánicos, productos químicos y energía térmica, mediante los cuales el caucho se lo lleva a un estado donde adquiere la capacidad de mezclarse y procesarse nuevamente para poder vulcanizarse. El proceso se basa en la rotura de los enlaces intermoleculares de la estructura química, brindando a los neumáticos durabilidad, elasticidad y resistencia a los solventes. Este tipo de caucho es utilizado para fabricar productos con usos y demandas limitadas, debido a que sus propiedades mecánicas son inferiores en comparación a los cauchos originales.

2.5.2 Desvulcanización

La desvulcanización es un proceso que consta de la de reducción del tamaño y la rotura de enlaces químicos, el mismo que puede lograrse mediante cuatro procesos con tecnología y costos diferentes los cuales son:

- Proceso químico. – Es un proceso en el cual las partículas de caucho son mezcladas con reactivos a una temperatura aproximada de 180°C con una presión de 15bar, luego el producto es filtrado y secado para eliminar elementos químicos no deseados para su posterior envasado.
- Proceso ultrasónico. – Las partículas de caucho son cargadas en una tolva para luego ser introducidas en una extrusora, mediante la cual se calientan y por la fuerza mecánica de la máquina son transportadas por el interior de esta, exponiendo las partículas de caucho a energía ultrasónica, presión, calor logrando así distintos grados de desvulcanización.
- Proceso biológico. – Es un proceso que consiste en la mezcla del caucho molido finamente con las bacterias en un bio-reactor y a una temperatura adecuada. Esta mezcla es mantenida a una presión y temperatura adecuada para el proceso, el cual puede durar entre diez o varios centenares de días. Luego de este proceso, el producto obtenido es filtrado para remover los microorganismos, y secado para una posterior venta.

2.5.3 Proceso de pirólisis

El proceso de pirólisis es una degradación térmica que se realiza en ausencia de oxígeno o cuando la concentración de este es suficientemente baja y no es capaz de generar combustión.

Entre los productos que genera este proceso se tiene aceite de bajo contenido energético, un gas con bajas propiedades caloríficas, alquitrán y acero, por estas características se considera que el proceso es poco eficiente para el tratamiento de neumáticos desechados.

Figura 2.9 Materiales obtenidos durante el proceso de pirólisis.



Nota. Tomado de (Wastetireoil, s.f.)

2.5.4 Proceso de incineración

Este proceso consiste en la combustión de los elementos orgánicos que forman parte del neumático, el cual es realizado en hornos de materiales refractarios. La incineración es un proceso de alto costo que presenta inconvenientes por la diferente velocidad de combustión que experimentan los componentes de los neumáticos, y por el post proceso debido a que los residuos deben ser depurados correctamente para evitar elevados índices de contaminación. El calor generado como resultado de este proceso de incineración normalmente es usado como energía.

La principal desventaja de este proceso es la elevada contaminación que genera, la misma que es muy perjudicial para la salud, debido a que genera altos porcentajes de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxido de plomo, etc., sumado a las elevadas cantidades de hollín que son altamente cancerígenos.

2.5.5 Trituración mecánica

El triturado mecánico es un proceso que facilita la eliminación de los neumáticos, debido a que disminuye significativamente el espacio de almacenaje y los riesgos de generar focos de infección causantes de enfermedades tropicales.

El caucho triturado obtenido se lo puede utilizar para diferentes aplicaciones dependiendo específicamente del tamaño. Este proceso es costoso debido a los equipos utilizados y la energía que se requiere para su funcionamiento, generando polvo y ruido.

Se obtiene material triturado de diferente tamaño el que varía según la aplicación o el uso final. A menor tamaño mayor costo de producción, debido a que el proceso requiere el empleo de mayor energía y equipos de mayor precisión, sumado al cumplimiento de las diferentes normas ambientales por la volatibilidad de los elementos expulsados durante el proceso, los cuales pueden mezclarse fácilmente con el aire o agua generando contaminación.

2.6 Máquinas trituradoras

Existe una variedad de máquinas utilizadas para la trituración de varios materiales tales como, desechos, alimentos, material pétreo, etc. La forma o tamaño de la máquina dependerá directamente del tipo de material a procesar, como por ejemplo el tamaño y capacidad de una máquina trituradora de maíz, es muy diferente a una trituradora utilizada en las canteras para producir piedras de diferentes tamaños.

2.6.1 Máquinas trituradoras de concreto o piedra

Una empresa dedicada a ofrecer este tipo de máquinas es la empresa Zenith, quien se especializa en ofrecer máquinas trituradoras, un ejemplo de ellas en la mostrada en la figura 2.9, la cual se utiliza para triturar piedra, hormigón o desechos de este tipo. Debido las características que posee esta máquina, es muy utilizada en la industria de la construcción, metalurgia y otros tipos de industrias.

Esta máquina realiza su trabajo mediante el uso de unas mandíbulas que, sumado a la potencia instalada de la máquina, lograr triturar rocas o piedras de gran tamaño, entregando un producto final uniforme. Es de fácil mantenimiento, rendimiento de trabajo confiable, diseño simple, alta eficiencia de trituración y bajos costos de operación.

Figura 2.10 *Máquina trituradora Zenith.*



Nota. Tomado de (Zenith, s.f.)

2.6.2 Máquinas trituradoras de polímeros

Otro tipo de máquinas trituradoras son las utilizadas para procesar botellas fabricadas con el tereftalato de polietileno o también conocido como PET, cuya creación fue en la década de los años 40 con el objetivo de tener una fibra para reemplazar el algodón, pero luego de algunos años fue utilizada de forma masiva en la fabricación de envases para bebidas,

convirtiéndola en un gran problema para el medio ambiente debido al prolongado tiempo que le toma degradarse. (Culcyt//Sustentabilidad, 2014)

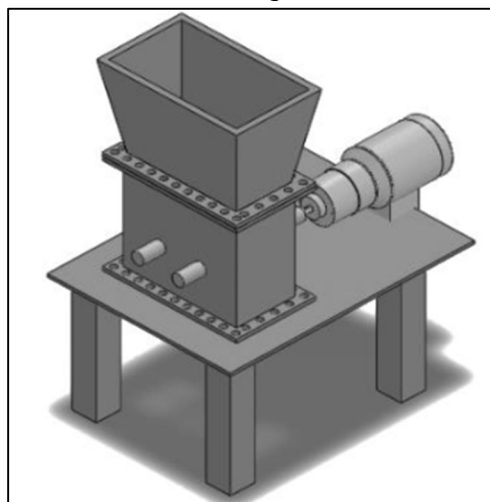
En vista de este problema, surgió como alternativa la trituración y reutilización de envases, para lo cual es necesario el uso de máquinas trituradoras.

Este tipo de máquinas trituradoras funciona mediante el giro de cuchillas de corte, las cuales van acopladas en un eje, el mismo que va conectado a un motor que genera la rotación del conjunto. El eje está sometido a esfuerzos de torsión debido a la fuerza que ejercen las cuchillas sobre los envases para triturarlos. La dimensión, diámetro y características de los ejes, dependen directamente de la capacidad y tipo de máquina, al igual que las cuchillas de corte a utilizar.

En la figura 2.10 se muestra un diseño de máquina utilizada para triturar envases. Esta máquina consta de 2 ejes conectados entre sí por medio de dos engranajes obteniendo de esta manera el movimiento horario y antihorario de estos. Uno de los ejes se encuentra conectado al motor quien es el responsable de mover todo el sistema.

La máquina consta de una tolva en forma de embudo que ayuda a direccionar los envases hacia las cuchillas de corte, facilitando de esta manera su funcionabilidad y mejorando su eficiencia. El producto triturado es expulsado por la parte inferior de la máquina, donde se colocan contenedores para una fácil recolección.

Figura 2.11 *Diseño de una máquina trituradora de envases.*



Nota. Realizado por los autores

2.6.3 Máquinas trituradoras de caucho

El manejo de los neumáticos una vez terminada su vida útil es un serio problema que enfrenta la naturaleza, debido a que la mala administración de estos desechos ocasiona altos índices de contaminación al medio ambiente. Si bien existen centros de acopio encargados de reciclar neumáticos, estos no siempre cumplen su objetivo ya sea por falta de infraestructura o por manejar procesos desactualizados.

Una de las fuentes utilizadas para eliminar los neumáticos desechados son los hornos cementeros, proceso que genera altos índices de contaminación y que además tiene un valor económico por cada llanta incinerada. El abandono de los neumáticos en lugares inapropiados, o la incineración de estos al aire libre o en lugares no aprobados por las normas fijadas en la Constitución de la República del Ecuador, según el artículo 17 del Estatuto del Régimen Jurídico Administrativo de la Función Judicial, es un grave problema existente y que necesita ser atendido de una forma eficiente y urgente. (Registro Oficial 937, 2013)

El neumático está constituido por varios elementos, los cuales al unirse forman la materia prima utilizada para su fabricación. En la tabla 2.2 se detalla de manera porcentual la composición de los neumáticos para automóviles y camiones.

Tabla 2.2 Materiales que componen a los neumáticos de automóviles y camiones en % de peso.

Material	Automóviles (%)	Camiones (%)
Caucho	48	45
Negro de humo y sílice	22	22
Metal	15	25
Material textil	5	0
Óxido de zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	0

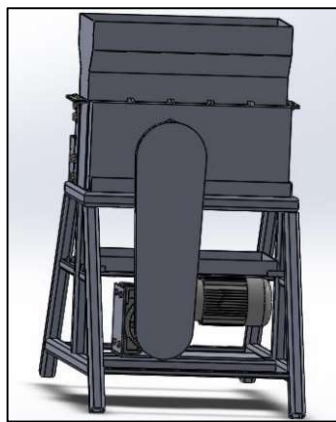
Nota. Tomado de (Mueses.)

Para diseñar una máquina trituradora de caucho se debe considerar varios aspectos que dependen directamente del tipo de producto o tamaño resultante del caucho triturado, el cual

varía entre trozos mayores a 300mm, o polvo con medidas menores a 500 micras. Estas variantes dependen directamente del tipo de cuchilla de corte con el cual es diseñada la máquina, sumado a la potencia requerida de los motores, y la capacidad de producción o dimensiones de la máquina.

La figura 2.11 muestra el diseño de una máquina trituradora de caucho capaz de producir granulometría fina. El motor tiene una potencia de 0,797hp, mientras que el moto reductor de 1039kW con un torque total de 262.688N-m.

Figura 2.12 *Diseño de máquina trituradora de caucho.*



Nota. Tomado de (Museses.)

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de investigación

El desarrollo de un nuevo equipo o máquina comprende varias etapas, para las cuales se analizan muchos factores que van desde un boceto del diseño hasta la puesta en marcha del equipo. Este proceso puede tomar varias semanas y dependerá de la complejidad de la máquina o funcionamiento de esta.

La mayor cantidad de los trabajos investigativos parten de un diseño experimental, en donde se realiza una investigación objetiva y controlada, para así mejorar la eficiencia de los resultados obtenidos y presentar mejores conclusiones con relación a la hipótesis planteada. Normalmente, el principal objetivo es establecer la incidencia que presenta una variable independiente sobre una dependiente dentro de la investigación a desarrollar (Torres & Sampieri, 2019).

3.2. Tipo de investigación

El desarrollo de este proyecto se fundamenta en una investigación de tipo descriptiva, la misma que se analiza a continuación.

3.2.1. Investigación Descriptiva

Como su nombre lo indica, la investigación descriptiva es un método que se fundamenta en describir las características del fenómeno analizado o estudiado. Se enfoca en analizar el *que* y no en el *por qué* del sujeto investigado, centrándose principalmente en describir la naturaleza de un evento, sistema o mecanismo, y no en *por qué* ocurre dicho evento. En resumen, se puede decir que *describe* el tema de investigación, sin darle mayor importancia al *por qué* sucede (Torres & Sampieri, 2019).

Teniendo como base lo antes expuesto, se define que este trabajo es una investigación descriptiva debido a que detalla los cálculos utilizados para realizar el diseño, y obtener de esta manera un prototipo funcional.

3.3 Metodología aplicada para el diseño del prototipo

Para el desarrollo de la máquina trituradora primero se realizó el boceto de la máquina para tener así una idea clara o esquema de esta. Una vez definido el boceto, se realizó el diseño de la máquina utilizando un software de diseño CAD. Esta fase es la más importante del proyecto, debido a que ayuda a definir los detalles de la máquina, interferencias, las diferentes partes que la componen y materiales a utilizar. Cada componente o parte seleccionada es analizado previamente en función de la actividad que esta desempeña dentro del funcionamiento del equipo. Entre las principales características a analizar se tiene el diseño mecánico (BUDYNAS, 2008), donde se revisa el esfuerzo a los que se encuentran sometidos los ejes, la relación de transmisión entre el motor y las cajas reductoras, velocidad de giro, etc.

Luego de tener el diseño definido, se procede a la adquisición de los materiales para la fabricación de la máquina. Ya con los materiales adquiridos, el siguiente paso será la mecanización, construcción y ensamble de cada elemento según el diseño previamente definido.

Como siguiente etapa se tiene la puesta en marcha del equipo y la respectiva prueba de funcionamiento. En esta etapa es importante comprobar si la máquina no presenta ninguna novedad al momento de triturar el caucho, y si cumple de manera óptima el proceso para la cual fue diseñada. Finalmente se analiza el rendimiento de la máquina referente a la cantidad de producto procesado en un intervalo de tiempo y energía consumida.

Es importante mencionar que cada etapa del proceso cumple un papel fundamental dentro de la fabricación de la máquina, de manera que el trabajo se lo realiza de forma ordenada siguiendo una secuencia definida en el diseño, lo que ayuda a obtener un equipo de excelente calidad.

3.4 Diseño de la máquina

La máquina trituradora consta de diferentes elementos y partes fundamentales para su funcionamiento, las mismas que en conjunto forman un equipo versátil que tienen la capacidad de triturar una variedad de materiales como plásticos, desechos, etc.

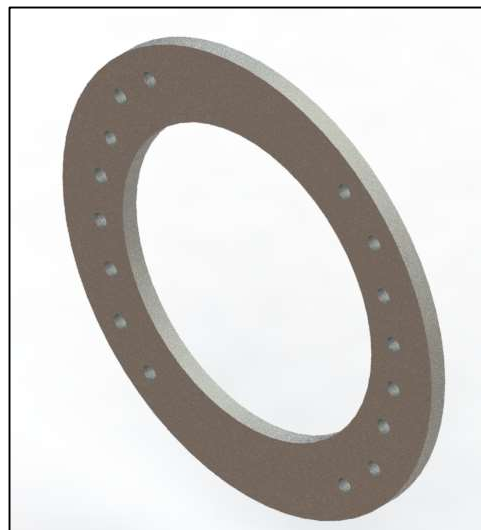
La capacidad de trituración y el tipo de material por triturar dependerá directamente de ciertos componentes como las cuchillas de corte, ejes de transmisión, chasis, motor y caja de transmisión.

3.4.1 Cuchillas de corte

Las cuchillas de corte representan el principal elemento de la máquina trituradora, ya que, gracias al trabajo de ellas se puede tronzar diferente tipo de materiales, los cuales dependerán directamente de las propiedades mecánicas del material con el cual fueron fabricadas.

Las cuchillas están constituidas por dos medialunas que unidas forman un anillo o disco circular, tal como se observa en la figura 3.1. Las dos medialunas forman un diámetro exterior de 300mm, un interior de 202mm con un espesor de 11mm.

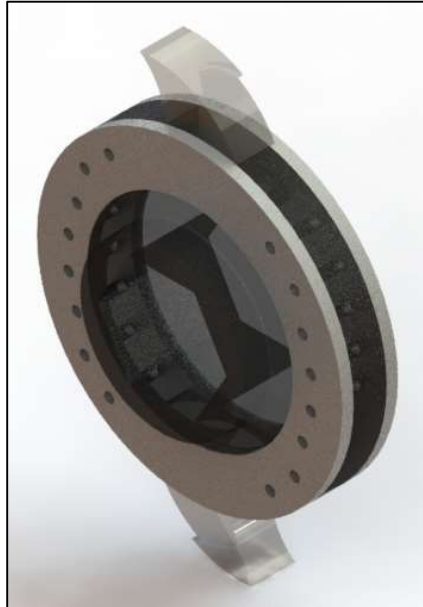
Figura 3. 1 *Diseño e las cuchillas de corte*



Nota. Realizado por los autores

Las cuchillas constan de 8 perforaciones donde van pernos que permiten fijarlas al rodillo porta cuchilla. En la figura 3.2 se observa el ensamble de los dos discos de cuchillas formados por cuatro medialunas, dos de cada lado.

Figura 3. 2 *Ensamble de cuchillas en el rodillo porta cuchillas.*



Nota. Realizado por los autores

El material utilizado para fabricar las cuchillas es el acero K110, debido a las excelentes propiedades mecánicas que este posee. Es un acero con alto porcentaje de carbono que oscila entre los 2.06 y 6.67%, con 12 % de cromo de estabilidad dimensional en el tratamiento térmico. Puede ser templear al aire libre, también cuenta con buena tenacidad y alta resistencia al desgaste. Es utilizado para herramientas de corte, para estampación, para trabajos de madera, utilizado en cizallas para cortar metal de poco espesor, así mismo en herramientas para laminar roscas, para estirar, embutición profunda y extrusión en frío. (Bohler, s.f.)

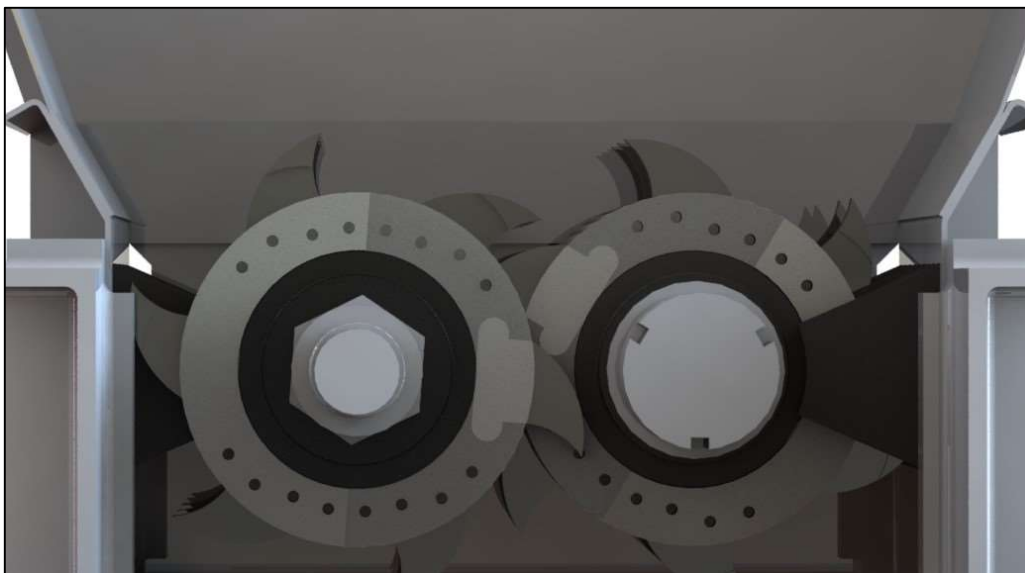
En la tabla 3.1 se observan los principales elementos químicos que componen al acero K110, siendo el cromo el elemento de mayor presencia, otorgando de esta manera una mayor dureza y resistencia a la corrosión.

Tabla 3.1 Porcentajes de elementos que componen al acero K110.

Composición Química %					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1.55	0.30	0.30	11.30	0.75	0.75

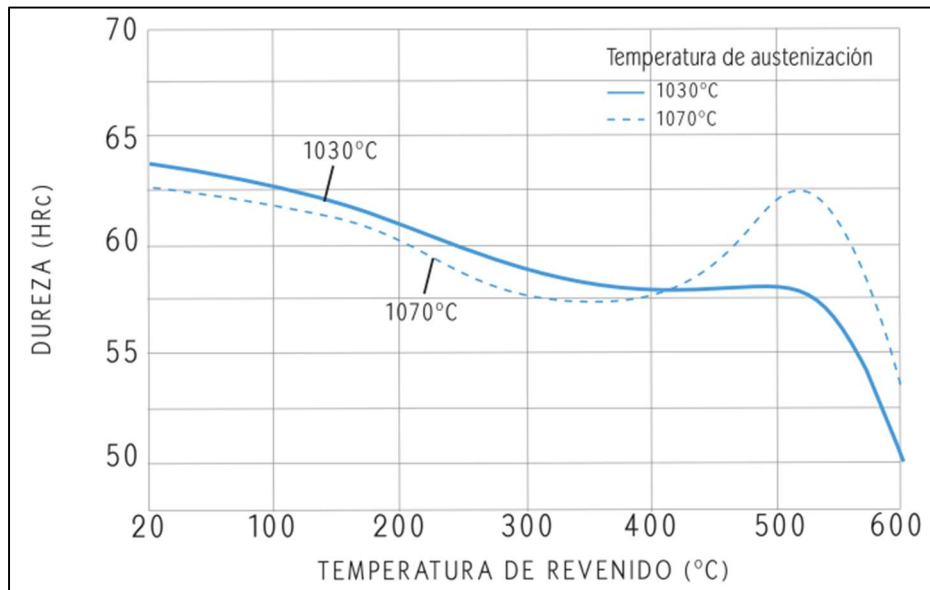
Nota. Tomado de Bohler

El filo de cada cuchilla es obtenido mediante una rectificadora de piedra, la cual pule o aplana las caras dejando como resultado una superficie con contornos afilados capaz de cortar materiales al momento de entrar en contacto con la cara de la otra cuchilla, debido a que el giro de ambas es opuesto formando de esta manera el efecto de corte. En la figura 3.3 se observa la ubicación de las cuchillas una vez ensambladas en su posición de trabajo.

Figura 3.3 Montaje de las cuchillas en los ejes de la máquina.

Nota. Realizado por los autores

Figura 3.4 Diagrama de revenido del acero K110



Nota. Tomado de Bohler

En la figura 3.4 se muestra el diagrama de revenido analizando la dureza versus la temperatura utilizada en el tratamiento del acero K110. (Rao, 2017)

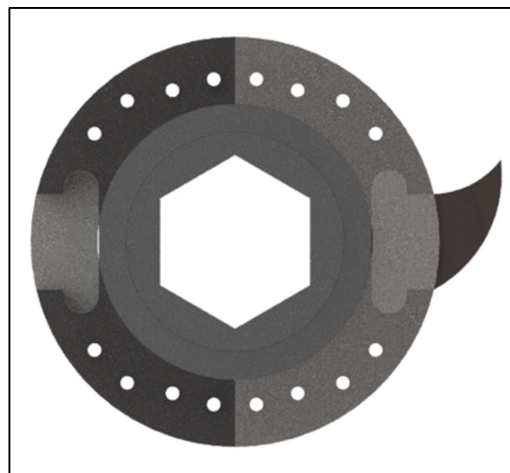
El sistema de trituración consta en total de 34 discos de cuchillas, los cuales van acoplados en los 17 rodillos porta cuchilla. El rodillo porta cuchilla está elaborado en acero 760 y tiene un diámetro de 300mm, con una perforación en el centro de forma hexagonal que le permite acoplarse al eje y facilitar de esta manera la transmisión de giro.

En la tabla 3.2 se muestran las principales características y aplicaciones de uso para este tipo de acero, donde se observa que puede ser sometido a varios tratamientos térmicos con una gran desventaja que no es un material que sirva para procesos de soldadura. (Iirsacero, s.f.)

Tabla 3.2 Característica del acero 760.

APLICACIONES	SOLDABILIDAD	TRATAMIENTOS TÉRMICOS
Piñones	Debido a su alto contenido de	Forja: 1150° - 1200°C
Cuñas	carbono no es muy fácil de	Recocido: 760° - 815°C
Ejes	soldar	Normalizado: 870° - 950°C
Tornillos		Templado: 830° - 855°C
Partes de máquinas		Revenido: 300° - 650°C
Herramientas agrícolas		

Cada cara del rodillo consta de 16 perforaciones donde va el perno que fija la cuchilla. El rodillo consta también de 2 cortes en forma de ranura con salida hacia los extremos, lo que permite acoplar las garras de arrastre, las cuales van fijadas por la ayuda de las cuchillas tal como se observa en la figura 3.5.

Figura 3.5 Rodillo porta cuchilla con ranura para ensamble de garras.

Nota. Realizado por los autores

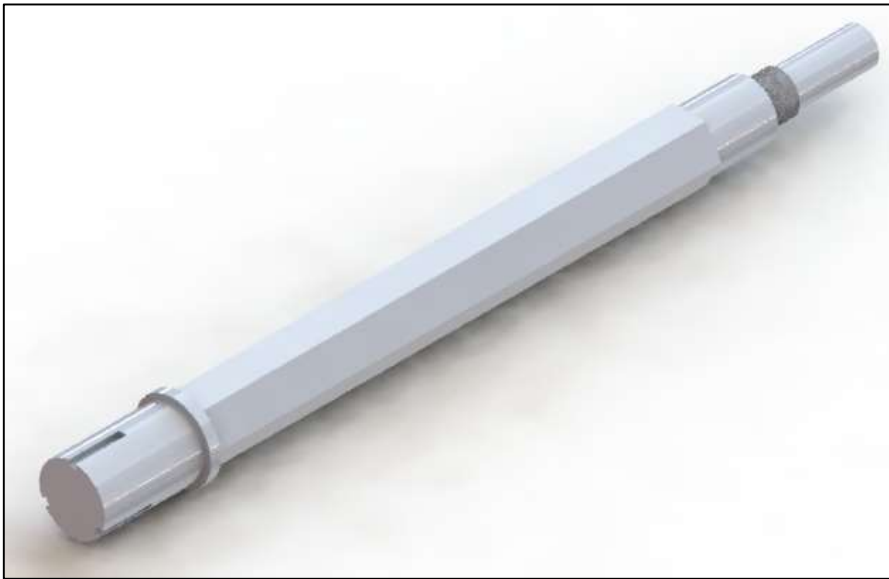
3.4.2 Ejes de transmisión o porta cuchilla

Los ejes de transmisión o porta cuchilla son los responsables de transmitir la fuerza de corte de los motores a las cuchillas debido a que van de un extremo al otro de la máquina. Cada eje cuenta de dos secciones redondas en sus extremos y una central en forma hexágono donde van ensamblados los rodillos porta cuchillas, facilitando de esta manera el arrastre de estas.

En uno de los extremos del eje va acoplada la caja reductora, quien recibe el giro del motor generador por medio de poleas, proporcionando así el funcionamiento de la máquina.

El eje es fijado a los soportes de la máquina mediante un conjunto de cojinetes y bridas, los cuales lo alinean de tal manera que estos puedan girar de forma uniforme y paralelos entre sí. La longitud total del eje es de 1560mm, teniendo una parte hexagonal en el centro de 1000mm donde van acoplados los porta cuchilla, tal como se observa en la figura 3.6.

Figura 3.6 *Eje de transmisión o porta cuchilla.*



Nota. Realizado por los autores

El material utilizado para la fabricación del eje es el acero S705 que es un acero muy utilizado para aplicaciones industriales, debido a su equilibrada aleación y contenido de carbono. Combina su alta resistencia al impacto con la tenacidad, posee una elongación mínima en operación, y es utilizado para fabricación herramientas de corte especial, escariadores, hojas de sierra, brocas helicoidales, ejes en general donde se requiera alta torsión, vibración, etc.

En la tabla 3.3 se detallan los principales elementos que constituyen químicamente a este acero, mientras que en la tabla 3.4 se observan las principales propiedades mecánicas que posee el acero 705. (Dipac, s.f.)

Tabla 3.3 Porcentajes de elementos que componen al acero S705

COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0,34	0,1- 0,35	0,60 - 0,80	0,04 - 0,30	0,002 - 0,03

Tabla 3.4 Propiedad mecánicas del acero 705

PROPIEDADES MECÁNICAS				
DIÁMETRO (mm)	RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
16 o MENOS	1200 - 1400	1000	9	240 - 380
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 380
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 380

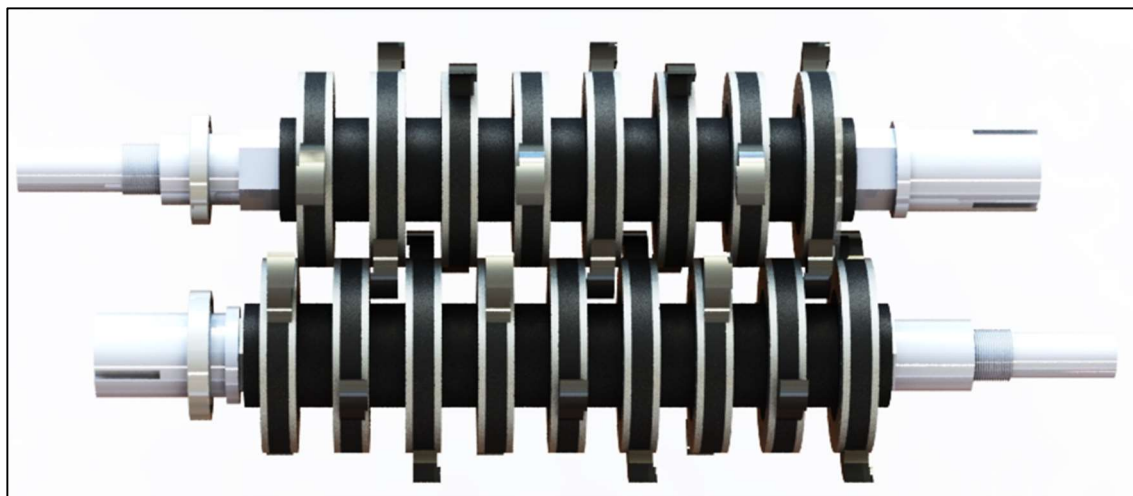
En la tabla 3.5 se detallan las principales características de funcionamiento de los ejes, así como la cantidad de elementos considerados en el diseño del mecanismo.

Tabla 3.5 Principales características de los ejes y elementos acoplados al mismo.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Número de ejes	2
Cantidad de rodillos porta cuchillas	17
Cantidad de discos cuchillas	34
RPM	30
Capacidad Tonelada/Horas	0,50 Tn/hr.

Los discos porta cuchillas están distribuidos en la parte central del eje donde se encuentra mecanizada la sección hexagonal del mismo. Los rodillos están distribuidos de tal manera que en el espacio disponible entre cada uno de ellos rote el rodillo del otro eje, tal como se observa en la figura 3.7. Cada rodillo consta también de 2 garras de arrastre alineadas a 180°, las cuales ayudan a empujar el material hacia las cuchillas. Los rodillos son ensamblados en el eje con una rotación de 60°, o en rotación de una cara con relación a la anterior, formando de esta manera un posicionamiento en forma de espiral.

Figura 3.7 Distribución de los rodillos porta cuchillas ensamblados en los ejes de transmisión o porta cuchilla.



Nota. Realizado por los autores

Como información relevante, se puede conocer que el caucho a triturar tiene en promedio una fuerza máxima al corte de 21.2KN.

Al analizar las fuerzas a las que se encuentra sometido el eje, fue importante conocer la masa de los elementos ensamblados, especialmente la de los rodillos porta cuchillas que tienen un diámetro exterior de 300mm, una perforación interior hexagonal de 100mm entre lado, y un espesor de 54,5. Gracias al software de diseño CAD utilizado, se pudo obtener las propiedades principales propiedades físicas de los rodillos, las mismas que se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Valores de masa y volumen del rodillo ensamblado con las cuchillas y garras de arrastre.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Masa	30,81kg
Volumen	3923982,61 mm ³

Obtenida la masa de un rodillo, se pudo calcular la masa total de los elementos que actúan sobre el eje, de manera que:

$$m_{Total} = m_{uni} \times N_{rodillos} \quad 3.1$$

$$m_{Total_1} = 30,81kg \times 8$$

$$\mathbf{m_{Total_2} = 246,48kg}$$

$$m_{Total_2} = 30,81kg \times 9$$

$$\mathbf{m_{Total_2} = 277,29kg}$$

Una vez obtenida la masa total de los rodillos ensamblados, se calculó el peso total de cada conjunto para así conocer la fuerza que actúa sobre cada eje.

$$w = m \times g \quad 3.2$$

$$w_{total_1} = 246,48kg \times 9,8m/seg$$

$$\mathbf{w_{total_1} = 2415,50N}$$

$$w_{total_2} = 277,29kg \times 9,8m/seg$$

$$\mathbf{w_{total_2} = 2717,44N}$$

Figura 3.8 Diagrama de la carga generada por los rodillos distribuida sobre el eje primario.

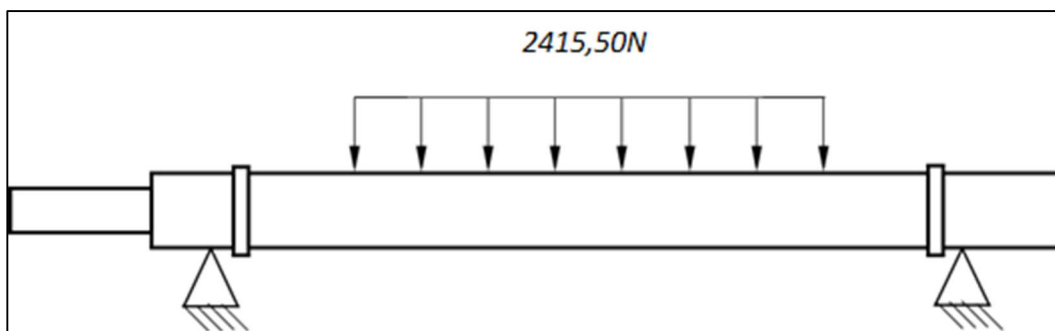
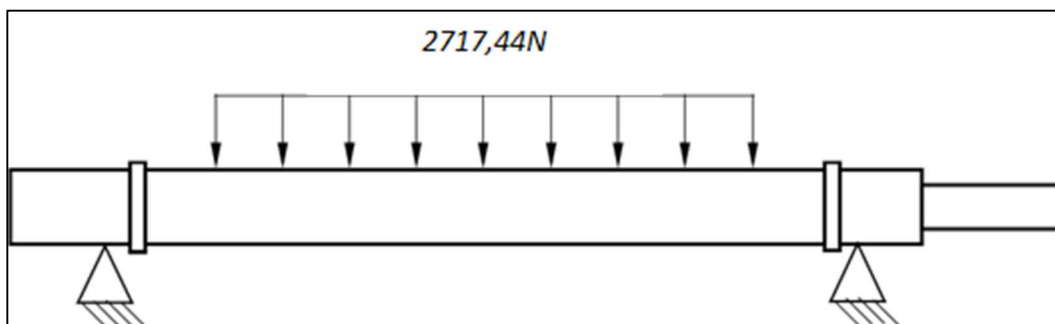
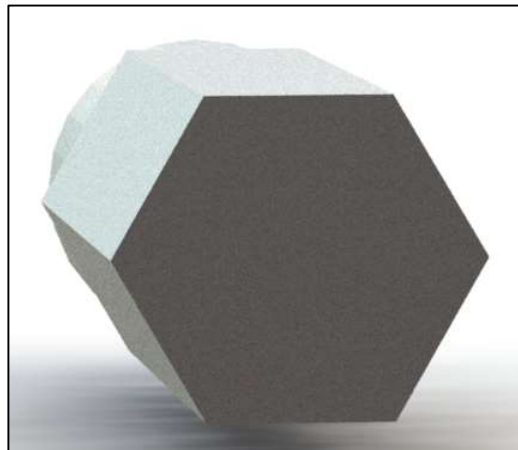


Figura 3.9 Diagrama de la carga generada por los rodillos distribuida sobre el eje secundario.



El sistema consta de 2 ejes, donde van ensámblalos los rodillos con las cuchillas y garras. En uno de los ejes se ensamblan 8 rodillos mientras que en el otro eje van 9, permitiendo de esta manera que los rodillos roten en el espacio existente entre uno y el otro. La parte hexagonal del eje tiene un diámetro exterior de 120mm, mientras que la distancia existente entre cada cara es de 100mm, tal como se observa en la imagen 3.10.

Figura 3. 10 Diseño del hexágono en la parte central del eje de transmisión o porta cuchilla.



Nota. Realizado por los autores

3.4.3 Sistema de accionamiento motriz (1200rpm relación de 1:14)

El movimiento de los ejes es la principal acción que debe presentar la máquina, debido a que de ellos depende el corte de los materiales colocados en la tolva. Este movimiento puede ser proporcionado por un motor reductor o una caja reductora ubicada en cada extremo de los ejes.

Debido a que el motor es el elemento que dará vida a la máquina, este debe tener la capacidad de mantener al sistema en continuo movimiento rotacional una vez que la máquina empiece a funcionar, de tal manera que durante el funcionamiento no puede existir momentos donde el motor deje de girar por falta de potencia, o por la acumulación de productos en la tolva, el motor debe tener la capacidad de continuar su funcionamiento sin parar.

Figura 3.11 Motor trifásico W21

Nota. Tomado de (WEG, s.f.)

Una información de gran importancia dentro de este tipo de máquinas es la potencia del motor, debido a que de este elemento depende el funcionamiento del mecanismo. Para conocer la potencia del motor primero se empezó por calcular velocidad angular, sabiendo que los ejes tendrán una rotación de 30 revoluciones por minuto.

$$v = \frac{2\pi n}{60} \quad 3.3$$

$$v = \frac{2\pi(30RPM)}{60}$$

$$\mathbf{v = 3,14 \text{ rad/s}}$$

Otro valor necesario en la obtención de la potencia es el torque, el cual se lo calculó con el producto entre la fuerza máxima de corte y el radio de la cuchilla.

$$T = F \times r \quad 3.4$$

$$T = (21,2KN)(0,15m)$$

$$\mathbf{T = 3180 \text{ Nm}}$$

Una vez obtenido los valores de velocidad angular y de torque, se pudo calcular la potencia requerida por el sistema, de manera que:

$$P = T \times v \quad 3.5$$

$$P = (3180Nm)(3,14 \text{ rad/s})$$

$$P = 9,9903kW$$

$$P = \mathbf{12,9874HP}$$

Con los cálculos realizados, se pudo conocer y definir las principales características mecánicas de la máquina, las mismas que se detallan en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Características de la máquina trituradora.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Velocidad salida caja reductora	30 RPM
Potencia requerida por eje	12,9874 HP
Torque requerido	3180 Nm
Radio de la cuchilla	0,15 m
Fuerza máxima de corte	21,2 KN
Tiempo de servicio	12 h/días
Temperatura de servicio	15° – 40°C

La caja reductora es un elemento que cumple un papel muy importante dentro del funcionamiento de la máquina, debido a que recibe el giro del motor generador y lo introduce al mecanismo. Pero al introducirlo al mecanismo existe una variación importante, debido a que no ingresan al sistema las mismas revoluciones iniciales del motor, si no que estas se reducen sacrificándolas para ganar torque.

El aumento de torque es una característica muy importante debido a que otorga a la máquina la capacidad de poder seccionar el material introducido en la tolva, sin correr el riesgo de que los ejes se traben durante el giro. Si bien los ejes rotarán a bajas revoluciones, pero lo harán con mayor torque.

Para seleccionar la caja reductora que entregue una potencia necesaria al sistema, se procedió a incluir en los cálculos el factor de seguridad recomendado por los fabricantes para

este tipo de máquinas, el cual interviene directamente en la Potencia y Torque y es de 1,5, resultando lo siguiente.

$$P_{motor} = P_{requer} \times FS \quad 3.6$$

$$P_{motor} = (12,9874HP)(1,5)$$

$$\mathbf{P_{motor} = 19,481HP}$$

$$T_{motor} = T_{requer} \times FS \quad 3.7$$

$$T_{motor} = (3180Nm)(1,5)$$

$$\mathbf{T_{motor} = 4770Nm}$$

De esta manera se pudo definir que la caja reductora a utilizar en la máquina debía ser de 20Hp con un torque de 4770Nm. Se seleccionó una caja reductora del tipo externo o paralelo, de manera que la transmisión de giro entre este y el motor se realice por medio de poleas y correas.

Figura 3.12 *Diseño de una caja reductora con transmisión de giro por banda.*



Nota. Tomado de (WEG, s.f.)

3.4.5 Tolva de almacenaje

La tolva de almacenaje es una estructura metálica que tiene la función de almacenar y dirigir la materia prima hacia las cuchillas de trituración, tiene forma de un gran embudo que facilita el avance de la materia prima.

El acero seleccionado para fabricar la tolva es el A36, un acero laminado en caliente. Este acero es de tipo estructural utilizado en la construcción en general y aplicaciones industriales, tales como construcción de puentes, estanques, bases de columnas, etc. Es muy versátil para soldar, cortar, moldear y maquinar. En la tabla 3.8 se muestran sus principales propiedades mecánicas, mientras que en la tabla 3.9 se detallan los principales elementos químicos que componen a este acero. (Acerosotero, s.f.)

Tabla 3.8 Propiedades mecánicas del acero A36.

Propiedades Mecánicas				
Esfuerzo Fluencia		Esfuerzo Tracción		Elongación
(Kg / mm ²)	MPa	(Kg / mm ²)	MPa	%
25,5 (mín.)	250 (mín.)	40,8 (mín.)	400 (mín.)	20 (mín.)

Tabla 3.9 Composición química del acero A36

Composición Química (Valores típicos)				
% C	% Mn	% Si	% P	% S
≤ 0,26	0,80 - 1,20	≤ 0,40	≤ 0,04	≤ 0,05

Para el diseño de la tolva se consideró utilizar acero A36 con espesor de 4mm, con la cual se formó cuatro paredes, dos de ellas con una pendiente de 70° y las otras dos a 80°, ambas medidas desde la horizontal, con una altura de 490mm a la estructura base de los ejes, resultando una capacidad de almacenaje de 0.50 metros cúbicos. En la figura 3.13 y 3.14 se observa la inclinación de las planchas que dan forma a la tolva de almacenaje.

Figura 3.13 *Vista lateral del diseño de la tolva de almacenaje.*



Nota. Realizado por los autores

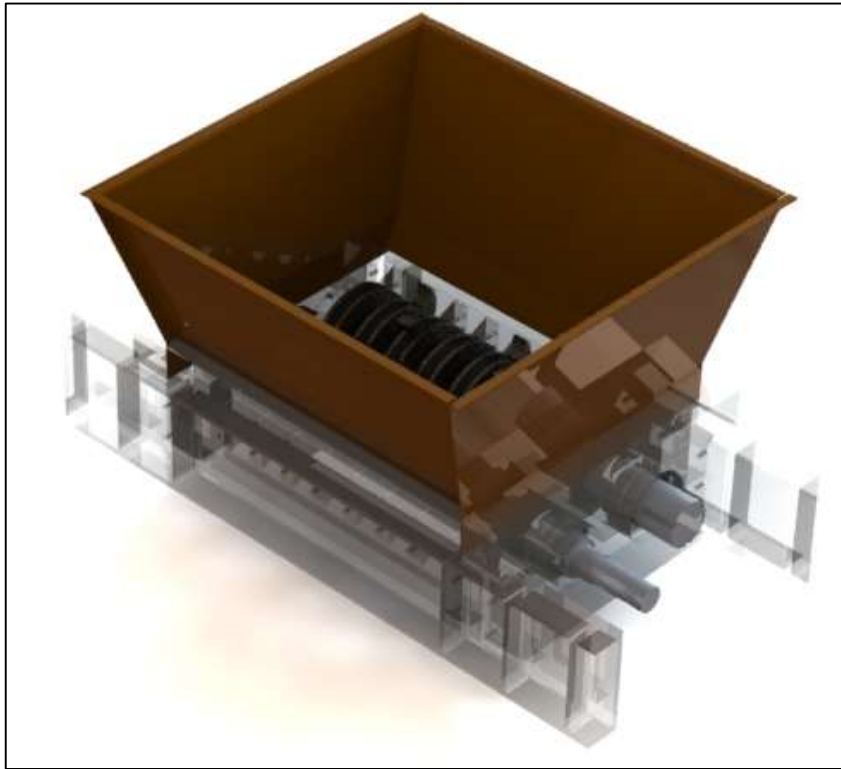
Figura 3.14 *Vista frontal del diseño de la tolva de almacenaje.*



Nota. Realizado por los autores

La tolva se encuentra unida a las paredes de la caja donde están las cuchillas de trituración mediante pernos de fijación, permitiendo de esta manera que no se mueva por la vibración de la máquina al momento de su funcionamiento. En la figura 3.15 se puede observar la ubicación de la tolva ensamblada en la estructura de la máquina.

Figura 3.15 *Diseño y ensamble de la tolva de almacenaje.*



Nota. Realizado por los autores

3.4.6 Estructura soporte de ejes

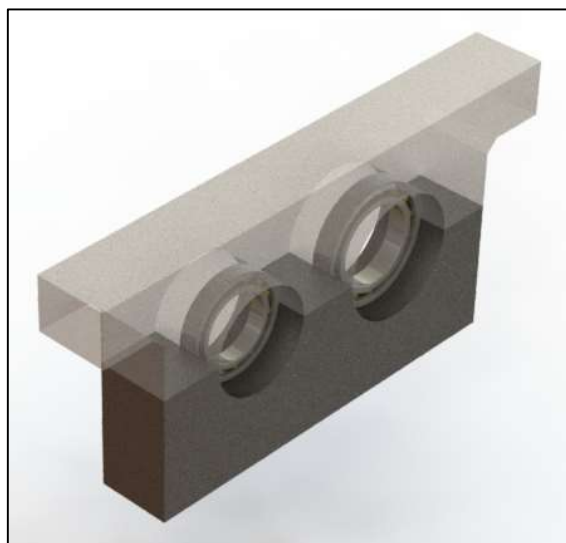
La acción de triturar el caucho depositado en la tolva es realizada por el giro de las cuchillas ubicadas en los rodillos porta cuchilla, los que a su vez van ensamblados en los ejes de transmisión que rotan de manera consecutiva sobre los soportes, ubicados en cada extremo de la máquina formando parte fundamental en la estructura de la máquina.

Estos soportes constan de dos mitades que al juntarlas forman un rectángulo, permitiendo de esta manera un fácil ensamble y acoplamiento de los cojinetes y bridas de ajuste que fijan los ejes porta cuchilla a la máquina.

Una de las mitades se encuentra fijada al chasis mediante pernos, mientras que la otra mitad va ubicada en la parte superior de esta y unidas entre sí en forma prensa, creando de esta manera un rectángulo que sirve de base para la tolva.

Los soportes son bloques fabricados en acero 760 igual que los rodillos porta cuchillas, cuyas características se detallan en la tabla 3.2 Estos bloques tienen un alto de 410mm por 660mm de largo y 120mm de espesor, adicional a estas dimensiones el soporte superior consta de dos escalones que facilitan el descanso y acople de este sobre las columnas horizontales tal como se muestra en la figura 3.16.

Figura 3.16 Diseño y ensamble de soporte de ejes.



Nota. Realizado por los autores

En medio de estos soportes van acoplados dos cojinetes, uno para cada eje, los cuales facilitan la libre rotación de los ejes durante el funcionamiento de la máquina. Los cojinetes seleccionados son tipo de bola, de manera que para el extremo donde acopla la caja reductora es el 6026, mientras que en el otro extremo va el cojinete 6022, ambas especificaciones técnicas se muestran en las tablas 3.10 y 3.11 respectivamente., mientras que en el anexo A y B se detalla la información completa de los mismos. (SKF, s.f.)

Tabla 3.9 Especificaciones técnicas cojinete rígido de bolas 6026.

d	130 mm	Diámetro del agujero
D	200 mm	Diámetro exterior
B	33 mm	Ancho
d_1	≈ 152.6 mm	Diámetro del resalte del aro interior
D2	≈ 181.4 mm	Diámetro del rebaje del resalte del aro exterior
$r_{1,2}$	min. 2 mm	Dimensión del chaflán del aro exterior

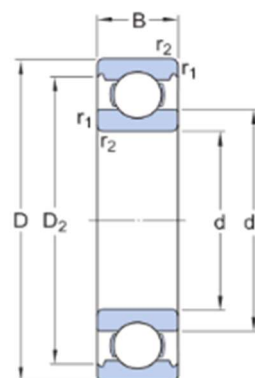
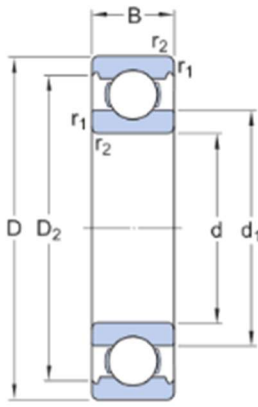


Tabla 3.10 Especificaciones técnicas cojinete rígido de bolas 6022.

d	110 mm	Diámetro del agujero	
D	170 mm	Diámetro exterior	
B	28 mm	Ancho	
d1	≈129.05 mm	Diámetro del resalte del aro interior	
D2	≈155.3 mm	Diámetro del rebaje del resalte del aro exterior	
r _{1,2}	min. 2 mm	Dimensión del chaflán del aro exterior	

Los cojinetes estarán expuestos a un trabajo continuo y pesado durante varias horas, de manera que es importante analizar cuál es la vida que tendrá según sus características.

Para analizar los cojinetes, primero se estudió el eje que trabaja con 8 rodillos el cual tiene en un extremo el cojinete rígido de bola 6026 y en el otro extremo el 6022, cuyo diseño se lo muestra en la imagen 3.17, mientras que la información detallada se encuentra en el anexo A y en el anexo B respectivamente.

Figura 3 17 Diseño del cojinete rígido de bolas 6022.

Nota. Realizado los autores

Entre las principales características mecánicas del cojinete 6026 se tiene que cuenta con una capacidad de carga dinámica básica de 112kN, y una capacidad de carga dinámica estática

de 100kN, mientras que el cojinete 6022 tiene una capacidad de carga dinámica básica de 85,2kN, y una capacidad de carga dinámica estática de 75,3kN, las demás características se detallan en la tabla 3.11 y 3.12 respectivamente.

Tabla 3.11 Especificaciones mecánicas del cojinete rígido de bolas 6026

CARACTERÍSTICA		VALOR
Capacidad de carga dinámica básica	C	112 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	100 kN
Carga límite de fatiga	P_u	3,35 kN
Velocidad de referencia		7000 r/min
Velocidad límite		4300 r/min
Factor de cálculo	k_r	0,025
Factor de cálculo	f_0	15,8

Tabla 3.12 Especificaciones mecánicas del cojinete rígido de bolas 6022

CARACTERÍSTICA		VALOR
Capacidad de carga dinámica básica	C	85,2 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	75,3 kN
Carga límite de fatiga	P_u	2,6 kN
Velocidad de referencia		8000 r/min
Velocidad límite		5000 r/min
Factor de cálculo	k_r	0,025
Factor de cálculo	f_0	15,6

En la ecuación 3.2 se pudo conocer la fuerza de los rodillos y cuchillas que actúa sobre el eje de 8 rodillos y 9 rodillos respectivamente. Como primer caso se estudió el eje que trabaja con 8 rodillos, cuya fuerza de los mismo es de 2415,50N. Luego se calculó la fuerza del eje multiplicando la masa del eje con la gravedad, tal como se observa en la ecuación 3.8.

$$F = m \times g \quad 3.8$$

$$F_{eje_1} = 121,54kg \times 9,8m/seg$$

$$F_{eje_1} = \mathbf{1191,09 N}$$

Una vez conocido la fuerza del eje, se calculó el valor de la fuerza total al sumarlo con la fuerza de los rodillos anteriormente obtenida.

$$F_{TotalEje_1} = F_{total_1} + F_{eje_1} \quad 3.9$$

$$F_{TotalEje_1} = 2415,50N + 1191,09N$$

$$F_{TotalEje_1} = \mathbf{3606,59 N}$$

Debido a que el eje se encuentra en el centro de los dos soportes que forman la tolva, se consideró que la fuerza que actúa sobre cada cojinete es la misma, de manera que:

$$F_{Cojinte_1} = F_{Cojinete_2} = F_{TotalEje_1}/2 = \mathbf{1803,29N} \quad 3.10$$

Para continuar con el análisis, se asignó como cojinete 1 al 6026, mientras que el cojinete 6022 es el 2. Como primer caso se obtuvo los valores del cojinete 6026.

Una vez conocida las fuerzas, se calculó primero la vida a la fatiga L_{10} de cada cojinete, utilizando la ecuación 3.11, donde C es la carga dinámica básica, mientras que P la carga constante aplicada.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad 3.11$$

$$L_{10 \text{ Cojinete1}} = \left(\frac{112kN}{1803,29N}\right)^3$$

$$L_{10 \text{ Cojinete1}} = \mathbf{62,10 \times 10^6 rev}$$

Ya obtenido el valor de la vida a la fatiga, se obtuvo la vida de cada cojinete, el mismo que incluye el factor de confiabilidad k_R asignado por el fabricante, tal como se muestra en la ecuación 3.12.

$$L_{P \text{ Cojinete1}} = k_R L_{10} \quad 3.12$$

$$L_{P \text{ Cojinete1}} = (0,025)(62,10 \times 10^6 \text{ rev})$$

$$\mathbf{L_{P \text{ Cojinete1}} = 1,55 \times 10^6 \text{ rev}}$$

Como resultado de este análisis se tiene que la vida del cojinete 6026 es de $1,55 \times 10^6$ revoluciones. El siguiente paso, fue realizar el mismo cálculo para el cojinete 2 utilizando las ecuaciones antes utilizadas.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad 3.13$$

$$L_{10 \text{ Cojinete1}} = \left(\frac{85,2kN}{1803,29N}\right)^3$$

$$\mathbf{L_{10 \text{ Cojinete1}} = 47,24 \times 10^6 \text{ rev}}$$

$$L_{P \text{ Cojinete1}} = k_R L_{10} \quad 3.14$$

$$L_{P \text{ Cojinete1}} = (0,025)(47,24 \times 10^6 \text{ rev})$$

$$\mathbf{L_{P \text{ Cojinete1}} = 1,18 \times 10^6 \text{ rev}}$$

Al finalizar los cálculos, se conoció que la vida para el cojinete 6022 es de $1,18 \times 10^6$ revoluciones.

Este mismo procedimiento fue realizado para el eje que trabaja con 9 rodillos, el cual funciona con los mismos cojinetes, aunque ensamblados en extremos opuestos con relación al eje de 8 rodillos, pero sometido a una fuerza mayor que es de 2717,44N debido al rodillo adicional.

La fuerza del eje 2 ya es conocida porque fue calculada en la ecuación 3.8, de manera que:

$$\mathbf{F_{eje_1} = F_{eje_2} = 1191,09 N} \quad 3.15$$

Resultando una fuerza total para el eje 2 de:

$$F_{TotalEje_2} = F_{total_1} + F_{eje_2} \quad 3.16$$

$$F_{TotalEje_2} = 2717,44N + 1191,09N$$

$$F_{TotalEje_2} = \mathbf{3908,53 N}$$

Realizando la misma suposición de la ecuación 3.10, se obtiene la fuerza que actúa sobre cada cojinete para este eje.

$$F_{Cojinte_1} = F_{Cojinete_2} = F_{TotalEje_2}/2 = \mathbf{1954,27N} \quad 3.17$$

Con esta información, más la proporcionada por el fabricante para ambos tipos de cojinetes, se obtuvo la vida para cada caso.

Cojinete 6026, eje 2:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad 3.18$$

$$L_{10 \text{ Cojinete1}} = \left(\frac{112kN}{1954,27N}\right)^3$$

$$L_{10 \text{ Cojinete1}} = \mathbf{57,31 \times 10^6 rev}$$

$$L_P \text{ Cojinete1} = k_R L_{10} \quad 3.19$$

$$L_P \text{ Cojinete1} = (0,025)(57,31 \times 10^6 rev)$$

$$L_P \text{ Cojinete1} = \mathbf{1,43 \times 10^6 rev}$$

Cojinete 6022, eje 2:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad 3.20$$

$$L_{10 \text{ Cojinete1}} = \left(\frac{85,2kN}{1954,27N}\right)^3$$

$$L_{10 \text{ Cojinete1}} = \mathbf{43,59 \times 10^6 rev}$$

$$L_{P \text{ Cojinete1}} = k_R L_{10} \quad 3.21$$

$$L_{P \text{ Cojinete1}} = (0,025)(43,59 \times 10^6 \text{ rev})$$

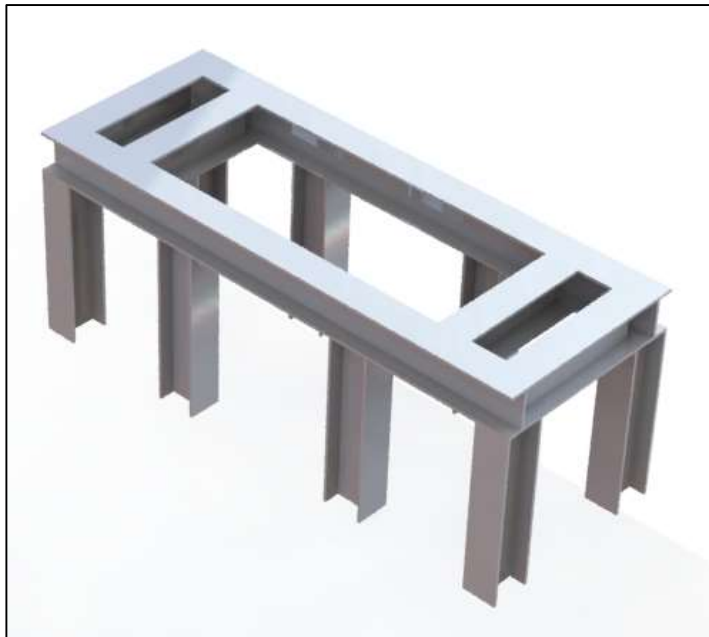
$$L_{P \text{ Cojinete1}} = 1,09 \times 10^6 \text{ rev}$$

3.4.7 Chasis

Toda máquina o equipo industrial necesita de una estructura base para su funcionamiento, en la cual se acoplan los diferentes elementos que la constituyen, de manera que este elemento base se convierte en la columna vertebral o también llamado como chasis.

El chasis de la máquina trituradora está elaborado con vigas tipo “I” de acero A36. Se seleccionó este tipo de viga debido a las características mecánicas que posee para soportar cargas de elevadas magnitudes, detalladas en las tablas 3.8 y 3.9.

Figura 3.18 *Diseño del chasis fabricado con vigas tipo “I” donde se ensambla la máquina trituradora.*



Nota. Realizado por los autores

La viga tipo “I” seleccionada es de 210mm de alto por 170mm de ancho con un espesor de 15mm, cuyo diseño se muestra en la figura 3.18.

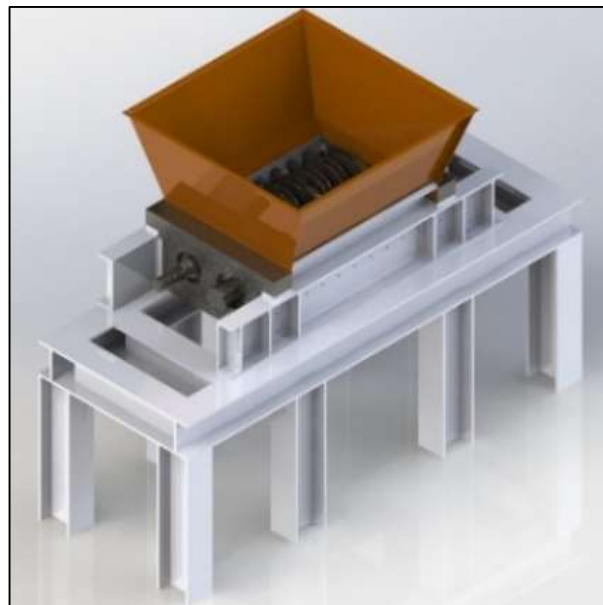
La estructura consta de 2 columnas principales de 270 centímetros de largo alineadas de forma paralelas, y separadas entre sí a 102 centímetros de distancia. Estas columnas se encuentran unidas mediante cuatro tramos de viga soldadas perpendicularmente, las cuales sirven para soportar los elementos de la máquina.

El tramo central forma un rectángulo donde descansa todo el cuerpo principal de la máquina, elementos como soportes de los ejes porta cuchilla y la tolva, mientras que los dos tramos restantes están ensamblados cerca del extremo de las columnas principales y sirven como base del motor y caja reductora.

Toda esta estructura tiene seis columnas verticales que sirven como patas, y mantienen a toda la máquina separada del suelo a una distancia de 107cm, permitiendo así que el material triturado pueda ser recogido en un contenedor para movilizarlo y almacenarlo.

En la figura 3.19 se observa un ensamble de los ejes y tolva ubicados en el chasis en la posición de operación.

Figura 3.19 Diseño del chasis con los principales elementos de la máquina trituradora.



Nota. Realizado por los autores

CAPITULO IV: RESULTADOS

Una vez establecido el diseño de la máquina trituradora de caucho, y definida la característica de los diferentes componentes a utilizar, se procedió a la construcción y fabricación de esta.

Para la fabricación se necesitó utilizar diferentes procesos de mecanizado mediante el uso de máquinas herramientas como el trono, fresadora, rectificadora y taladro vertical, además del proceso de unión definitiva como la soldadura.

4.1. Fabricación de la máquina trituradora de caucho.

La fabricación de la máquina resulta de la unión de diferentes procesos debido a que los componentes difieren en forma y funcionamiento.

Los ejes fueron contruidos teniendo como base ejes cilíndrico, los cuales pasaron por procesos de manufactura de arranque de viruta mediante el torno, donde se dio los diferentes diámetros para el acople de los cojinetes y poleas de transmisión. Este es un proceso muy importante y de mucho cuidado, debido a que los diámetros cilindrados deben tener la medida exacta previamente definida, caso contrario los elementos que funcionan en el eje presentarán falla mecánica por ajustes incorrectos.

La parte hexagonal del eje fue contruida con la fresadora mediante un fresado plano. El eje fue montado en el accesorio de la fresadora conocido como divisor universal, quien ayudó a realizar una división exacta del eje en seis lados iguales, para luego de eso realizar el fresado de cada cara.

Otro de los elementos fundamentales son los rodillos porta cuchilla, los cuales fueron contruidos mediante el uso del torno, donde se cilindró, refrentó y perforó las diferentes características que posee cada rodillo, para que así las cuchillas y garras se acoplen fácilmente y de manera correcta.

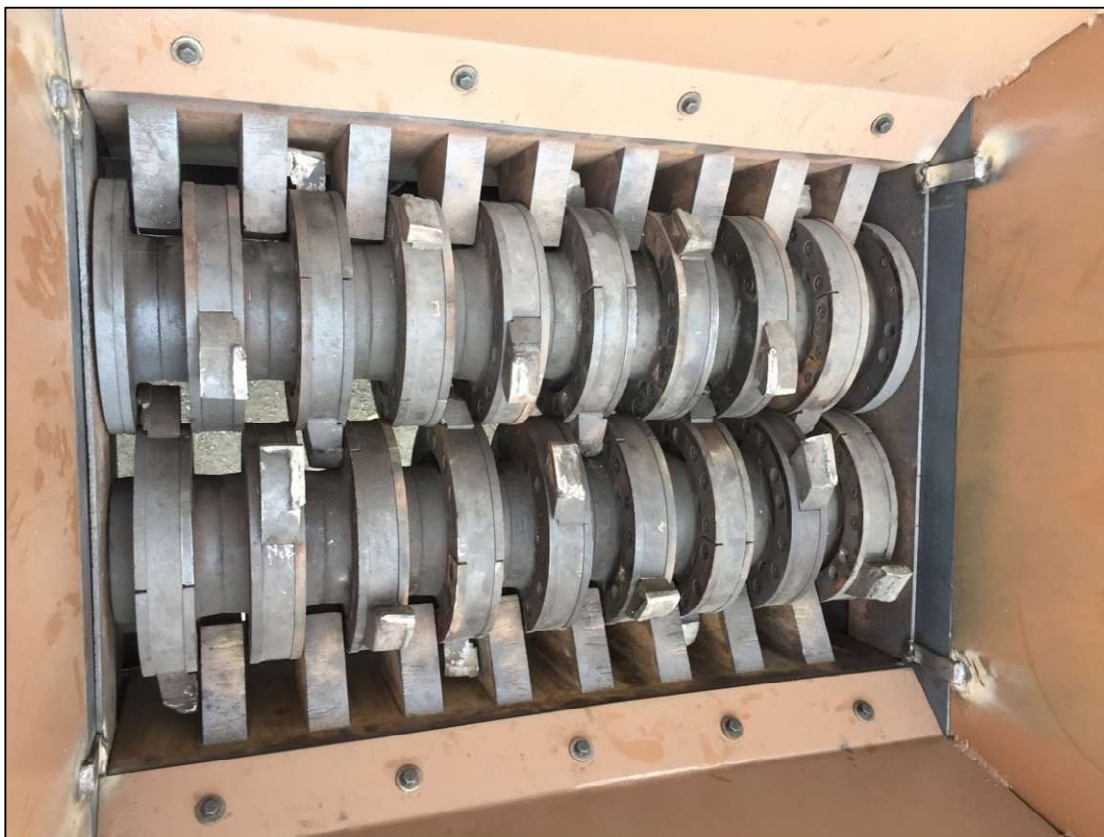
Figura 4.1 Ensamble de los rodillos, cuchillas y garras de arrastre.



Nota. Tomado por los autores

Las cuchillas fueron torneadas y fresadas para dar las medidas respectivas, luego de finalizar esta etapa, fueron sometidas a un tratamiento térmico para aumentar su dureza y resistencia, evitando de esta manera un fácil desgaste del filo de corte.

Figura 4.2 *Vista superior del sistema de trituración con ejes, rodillos, cuchillas y garras de arrastre en su posición de funcionamiento.*



Nota. Tomado por los autores

Figura 4.3 *Vista inferior del sistema de trituración con ejes, rodillos, cuchillas y garras de arrastre en su posición de funcionamiento.*



Nota. Tomado por los autores

Los soportes de eje fueron contruidos utilizando como materia prima un bloque, el cual fue mecanizado en la fresadora aplicando el proceso de aplanado para así dejar a medida todas las superficies de la pieza. Luego se unió las dos mitades en forma de molde, para así realizar la perforación donde acoplan los cojinetes que permiten el giro a los ejes.

Otra parte fundamental de la máquina es la tolva de almacenaje, donde la plancha primero fue cortada a la medida requerida según el diseño, para luego mediante la ayuda de una dobladora realizar los pliegues necesarios que definan la forma de la tolva. Este mismo procedimiento fue realizado para las cuatro partes que forman la tolva. Una vez listo los cuatro lados, se las unió mediante soldadura y pernos de ajuste.

Figura 4.4 *Ensamble de la tolva de almacenaje.*



Nota. Tomado por los autores

Para la construcción del chasis, se realizó primero el corte de cada viga tipo “I” a las medidas previamente establecidas, luego de esto se procedió a soldarlas según la posición definida en el diseño para así formar el chasis.

Una vez lista todas las partes, se realizó el ensamble de cada componente en el lugar previamente definido según el diseño, teniendo como resultado una máquina trituradora de caucho operativa y funcional.

Figura 4.5 *Vista lateral del ensamble final de la máquina trituradora de caucho.*



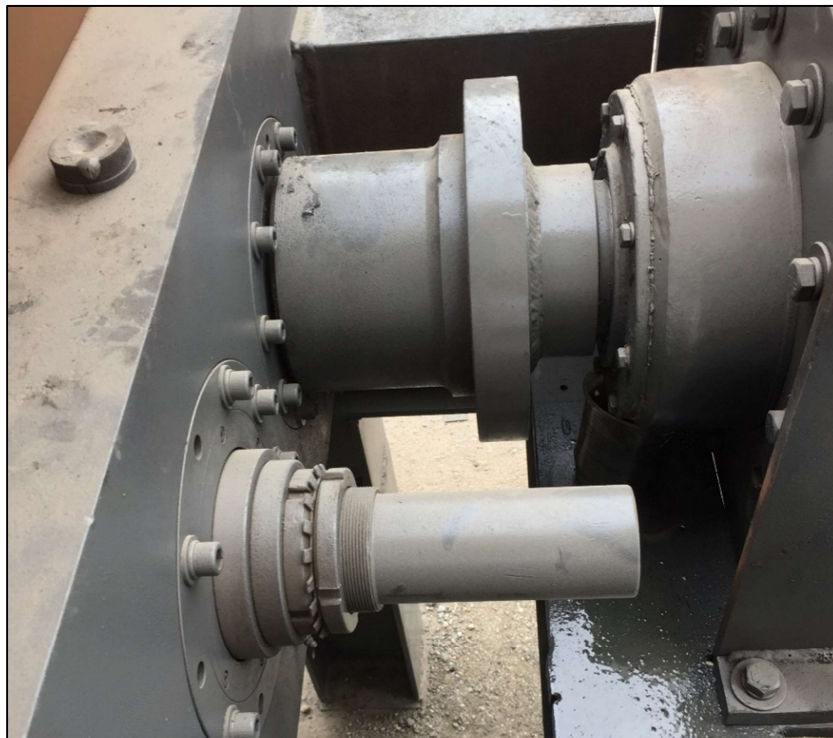
Nota. Tomado por los autores

Figura 4.6 *Vista frontal del ensamble final de la máquina trituradora de caucho.*



Nota. Tomado por los autores

Figura 4.7 *Extremos de los ejes de transmisión o porta cuchilla.*



Nota. Tomado por los autores

Figura 4.8 *Ensamble de la caja reductora en la máquina trituradora de caucho.*



Nota. Tomado por los autores

4.2. Costo de fabricación

La construcción de la máquina representó la adquisición de varios materiales los cuales se detalla en la tabla 4.1. Estos materiales, luego pasaron a un proceso de mecanizado donde se requirió el servicio de mano de obra por fabricación de componentes.

Tabla 4.1 Detalle de materiales requeridos para la fabricación de la máquina trituradora de caucho.

PIEZA FABRICADA	MATERIAL	CANT
Cuchilla	Discos de acero k110	34
Rodillo porta cuchilla	Discos de acero 760	17
Ejes transmisión	Barras cilíndricas de acero s705	2
Tolva de almacenaje	Plancha de acero a36	2
Soporte de ejes	Bloques de acero 760	4
Chasis	Viga tipo "I"	4

Para el proceso de construcción se necesitó también la compra de ciertos componentes o insumos vitales para el funcionamiento de la máquina, los mismos que se observan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Lista de componentes utilizados en la fabricación de la máquina trituradora de caucho.

COMPONENTE	CANT
Motor de 13hp	2
Caja reductora 20hp	2
Cojinete de bola 6026	2
Cojinete de bola 6022	2
Tornillería en general	X

Adicional a los materiales y componentes mencionados, fue necesaria también la compra de ciertos insumos, al igual que la contratación de otros servicios requeridos para los acabados y puesta a punto de la máquina. En la tabla 4.3 se detallan los valores generales que representó la fabricación de la máquina trituradora de caucho, los mismos que ascienden a un monto de 35.000 dólares americanos.

Tabla 4.3 Presupuesto utilizado para la fabricación de la máquina trituradora de caucho.

DETALLE	VALORES
Diseño	\$ 2.200,00
Materiales mecánicos	\$ 20.000,00
Materiales eléctricos	\$ 6.000,00
Mano de obra por mecanizado de partes	\$ 3.200,00
Mano de obra ensamble	\$ 1.600,00
Acabados	\$ 800,00
Gastos generales	\$ 1.200,00
TOTAL	\$ 35.000,00

CONCLUSIONES

Como conclusión se tiene que los objetivos propuestos en el desarrollo de este proyecto fueron alcanzados de buena manera, logrando diseñar una máquina con la capacidad de poder triturar partes de caucho de mayor tamaño como los neumáticos desechados luego de ser utilizados en los vehículos, ayudando así a disminuir la contaminación ambiental que surge por el mal manejo de este tipo de desperdicio.

La máquina trituradora de caucho fue diseñada utilizando un software de diseño CAD mediante el cual se estableció todas las características de esta, tales como altura, forma y capacidad de la tolva, masa de los ejes y cuchillas de corte para establecer la potencia de los motores, diseño y ubicación de las cuchillas para que puedan cumplir eficiente el objetivo de triturar el caucho. Toda esta información fue fundamental para realizar correcciones y poder así tener un diseño funcional antes de la fabricación.

La fabricación de la máquina fue realizada según los parámetros y especificaciones establecidas en el diseño CAD, de donde se obtuvo las diferentes dimensiones y forma de los componentes, los cuales una vez fabricados fueron ensamblados de manera correcta permitiendo la funcionabilidad de la máquina según lo establecido.

Una vez ensamblado todos los componentes de la máquina se procedió a realizar pruebas de funcionamiento, donde se verificó que no exista ninguna interferencia entre los mecanismos, y que cada uno cumpla su trabajo dentro de la máquina, lo cual fue verificado de forma correcta.

El producto obtenido mediante la trituración fueron trozos de caucho que oscilan en una medida de 40mm en promedio, dicha medida puede tener un rango de variación de más menos 15mm dependiendo de cómo las garras agarran el caucho durante el proceso de trituración.

La capacidad de producción entregada por la máquina es de 0,50 toneladas de trozos cauchos por hora, lo que la convierte en una máquina de buenas características, considerando

que el producto ingresado a la tolva pueden ser neumáticos de diferentes tamaños, y partes fabricadas con polímeros de dimensiones semejantes a la de los neumáticos.

RECOMENDACIONES

Se propone como recomendación establecer políticas de reciclajes de neumáticos y partes o componentes de gran tamaño fabricadas con polímeros, para evitar la eliminación inapropiada de estos y así procesarlas en máquinas trituradoras con la diseñada en este proyecto técnico.

Diseñar una nueva máquina trituradora que tenga la capacidad de poder triturar en un menor tamaño los trozos obtenidos con la máquina diseñada en este proyecto, para así poder utilizar este nuevo producto como materia prima en otro tipo de producción.

Impulsar el uso de este tipo de máquinas para reutilizar los desechos de cauchos, fortaleciendo el concepto y aplicación de la economía circular, logrando de esta manera obtener nuevos productos fabricados en su gran mayoría con material reciclado.

BIBLIOGRAFÍA

- Acerosotero*. (s.f.). Obtenido de https://www.academia.edu/36873342/ASTM_A36_PLANCHAS_DE_ACERO_CAR_BONO_Composici%C3%B3n_Qu%C3%ADmica_Valores_t%C3%ADpicos
- AEADE, A. d. (2021). Boletín sector Automotriz en cifras Marzo 2021-No.55. 24 Abr.2021.
- Bohler*. (s.f.). Obtenido de <https://www.acerosbohler.com/es/products/k110/#>
- BUDYNAS, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. . México: McGraw-Hill 8va edición.
- Ceamse*. (s.f.). Obtenido de <https://www.ceamse.gov.ar/>
- Culcyt//Sustentabilidad. (2014). *Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET*. Año 11, No 54 Especial No 1.
- Dierkes., H. M. (1997). *Recycling Rubber. Shawbury. Shropshire, Inglaterra. R. Dolbey: Rapra Technology Limited.*
- Dipac*. (s.f.). Obtenido de www.dipacmanta.com
- Ecocaucho. (s.f.). *Ecocaucho*. Obtenido de www.ecocaucho.com.ec
- Franklin, M. C. (s.f.). “Diseño de triturador de neumáticos usados; Capacidad 1 TON/h, para la empresa municipal de aseo de Cuenca (EMAC)”. 2010. Cuenca, Ecuador.
- G. J. Peláez Arroyave, S. M. (s.f.). *G. J. Peláez Arroyave, S. M. Velásquez Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura, Ciencia e ingeniería Neogranadina, vol. 27, no. 2, pp. 27-50.*
- G. Peláez, S. V. (2014). *G. Peláez, S. VelAditivos para el Procesamiento del Caucho Natural y su Aplicación en Pequeñas Plantaciones de Caucho, Informador Técnico, vol. 78, no. 2, pp. 166-174.*
- Iirsacero*. (s.f.). Obtenido de <http://iirsacero.com.mx/wp-content/uploads/2019/08/Ficha-T%C3%A9cnica-Acero-1045-iirsacero.pdf>
- Ingenieria Quimica*. (2021). Obtenido de <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/02/los-elastomeros-caracteristicas-y-usos.html>
- Laura Cardona, L. S. (s.f.). Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. 2011. Medellín.
- Mueses., U. T. (s.f.). *Maquina trituradora de caucho para la obtención de Granulometría fina.*
- Neumaticos Definiciones y Clasificacion. (s.f.). *Norma Tecnica Ecuatoriana.*

- Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura.* (30 de Diciembre de 2011). Obtenido de <https://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/508951/>
- Pirelli.* (s.f.). Obtenido de www.pirelli.com
- Rao, G. (2017). *Acero para trabajar en frio.*
- Registro Oficial 937, A. M. (2013). Instructivo Para la Gestión Integral Neumático Usados. *Acuerdo Ministerial de la República de Ecuador.* Quito, Ecuador.
- Seginus. (s.f.). *Sistema Ecuatoriano de Gestión Integral de Neumáticos Usados SEGINUS.* Obtenido de <https://www.seginus.com.ec>
- SKF.* (s.f.). Obtenido de <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6026>
- SKF.* (s.f.). Obtenido de <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6022>
- Unidas, N. (2021). *Una población en crecimiento.* Obtenido de <https://www.un.org/es/global-issues/population>
- Wastetireoil.* (s.f.). Obtenido de https://es.wastetireoil.com/Pyrolysis_plant/Pyrolysis_Plant/continuous_model_waste_tire_pyrolysis_plant_231.html
- WEG. (s.f.). *WEG .* Obtenido de W21 Aluminium Multimounting Three-phase Electric Motors Latin American Market: www.weg.net
- William-f-smith-javad-hashemi. (s.f.). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales .* 4ta edición.
- Y. Fang, M. Z. (2001). *Materials & Design, vol. 22, no. 2, pp. 123-127.*
- Zenith.* (s.f.). Obtenido de <https://es.zenithcrusher.com>

ANEXOS

ANEXO A Especificaciones técnicas del rodamiento rígido de bolas 6026 SKF

Generado desde [sitio] el [fecha]



6026

 - Producto popular
 - SKF Explorer

Rodamientos rígidos de bolas

Datos de los rodamientos

Tolerancias,

Normales (métricas), P6, P5, Normales (en pulgadas).

Juego radial interno,

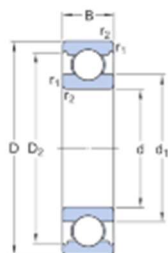
 Pares de rodamientos apareados, Acero inoxidable $d < 10$ mm, Otros rodamientos

Interfaces del rodamiento

Tolerancias de los asientos para condiciones estándares,

Tolerancias y ajustes resultantes

Especificación técnica

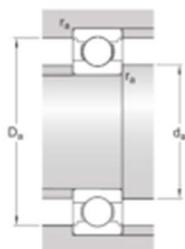


DIMENSIONES

d	130 mm	Diámetro del agujero
D	200 mm	Diámetro exterior
B	33 mm	Ancho
d_1	≈ 152.6 mm	Diámetro del resalte del aro interior
D2	≈ 181.4 mm	Diámetro del rebaje del resalte del aro exterior
$r_{1,2}$	min. 2 mm	Dimensión del chaflán del aro exterior

DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d_a	min.139 mm	Diámetro del resalte del eje
D_a	max.191 mm	Diámetro del resalte del soporte
r_a	max. 2 mm	Radio de acuerdo



Página [página] de 4

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	112 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	100 kN
Carga límite de fatiga	P_u	3.35 kN
Velocidad de referencia		7 000 r/min
Velocidad límite		4 300 r/min
Factor de cálculo	k_T	0.025
Factor de cálculo	f_0	15.8

MASA

Rodamiento de masa	3.28 kg
--------------------	---------

TOLERANCE CLASS

Dimensional tolerances	P6
Radial run-out	Normal

Más información

Detalles del producto	Información sobre ingeniería	Herramientas
Rodamientos rígidos de una hilera de bolas	Principios para la selección de rodamientos	Bearing Select (Herramienta para la selección de rodamientos)
Rodamientos rígidos de bolas de acero inoxidable	Conocimientos generales sobre rodamientos	SimPro Quick
Rodamientos rígidos de una hilera de bolas con escotes de llenado	Proceso de selección de rodamientos	Engineering Calculator (Herramienta para cálculos de ingeniería)
Rodamientos rígidos de dos hileras de bolas	Interfaces del rodamiento	LubeSelect para grasas SKF
Datos de los rodamientos	Tolerancias de los asientos para condiciones estándares	Herramienta para la selección de calentadores
Cargas	Selección del juego interno	Instrucciones de montaje y desmontaje de rodamientos
Límites de temperatura	Lubricación	
Velocidad admisible	Sellado, montaje y desmontaje	
Sistema de designación	Falla del rodamiento y cómo prevenirla	

ANEXO B Especificaciones técnicas del rodamiento rígido de bolas 6026 SKF

SKF

Generado desde [sitio] el [fecha]



6022

- Producto popular
- SKF Explorer

Rodamientos rígidos de bolas

Datos de los rodamientos

Tolerancias,
Normales (métricas), P6, P5, Normales
(en pulgadas),

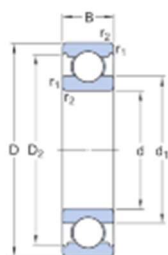
Juego radial interno,

Pares de rodamientos apareados,
Acero inoxidable $d < 10$ mm, Otros
rodamientos

Interfaces del rodamiento

Tolerancias de los asientos
para condiciones estándares,
Tolerancias y ajustes resultantes

Especificación técnica

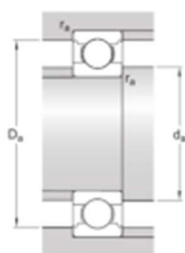


DIMENSIONES

d	110 mm	Diámetro del agujero
D	170 mm	Diámetro exterior
B	28 mm	Ancho
d1	≈129.05 mm	Diámetro del resalte del aro interior
D2	≈155.3 mm	Diámetro del rebaje del resalte del aro exterior
r _{1,2}	min. 2 mm	Dimensión del chaflán del aro exterior

DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d _a	min.119 mm	Diámetro del resalte del eje
D _a	max.161 mm	Diámetro del resalte del soporte
r _a	max. 2 mm	Radio de acuerdo



SKF

Página [página] de 4

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	85.2 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	73.5 kN
Carga límite de fatiga	P _u	2.6 kN
Velocidad de referencia		8 000 r/min
Velocidad límite		5 000 r/min
Factor de cálculo	k _r	0.025
Factor de cálculo	f ₀	15.6

MASA

Rodamiento de masa		1.97 kg
--------------------	--	---------

TOLERANCE CLASS

Dimensional tolerances		P6
Radial run-out		Normal

Más información

Detalles del producto	Información sobre ingeniería	Herramientas
Rodamientos rígidos de una hilera de bolas	Principios para la selección de rodamientos	Bearing Select (Herramienta para la selección de rodamientos)
Rodamientos rígidos de bolas de acero inoxidable	Conocimientos generales sobre rodamientos	SimPro Quick
Rodamientos rígidos de una hilera de bolas con escotes de llenado	Proceso de selección de rodamientos	Engineering Calculator (Herramienta para cálculos de ingeniería)
Rodamientos rígidos de dos hileras de bolas	Interfaces del rodamiento	LubeSelect para grasas SKF
Datos de los rodamientos	Tolerancias de los asientos para condiciones estándares	Herramienta para la selección de calentadores
Cargas	Selección del juego interno	Instrucciones de montaje y desmontaje de rodamientos
Límites de temperatura	Lubricación	
Velocidad admisible	Sellado, montaje y desmontaje	
Sistema de designación	Falla del rodamiento y cómo prevenirla	