

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MECATRÓNICA**

TEMA

**“MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA LA OBTENCIÓN DE
GRANULOMETRÍA FINA”.**

AUTOR

STALIN FABRICIO MUESES FLORES

DIRECTOR

ING. VÍCTOR ERAZO. MSC.

Ibarra – Ecuador

Julio 2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Identificación de la Obra

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

Datos de Contacto			
Cédula de Identidad:	1003496161		
Apellidos y Nombres:	Mueses Flores Stalin Fabricio		
Dirección:	Ibarra, calles Jorge Guzmán Rueda y Marco Tulio Nieto #8-13		
Email:	sfmf1993@hotmail.com		
Teléfono Fijo:	062615603	Teléfono Móvil:	09988515182

Datos de la Obra	
Título:	MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA LA OBTENCIÓN DE GRANULOMETRÍA FINA
Autor:	Mueses Flores Stalin Fabricio
Fecha:	Julio-2017
Programa:	PREGRADO
Título por el que Opta:	Ingeniero en Mecatrónica
Director:	Ing. Víctor Erazo. MSc.

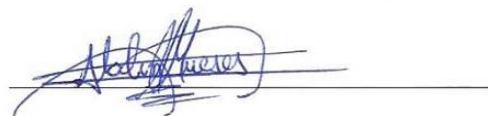
Autorización de Uso a Favor de la Universidad

Yo, Mueses Flores Stalin Fabricio con cédula de identidad Nro. 1003496161, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Constancias

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes Julio del 2017.



Firma

Nombre: Mueses Flores Stalin Fabricio

Cédula: 1003496161



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Cesión de Derechos de Autor del Trabajo de Grado

A Favor de la Universidad Técnica del Norte

Yo, Mueses Flores Stalin Fabricio, con cédula de identidad Nro. 1003496161, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA LA OBTENCIÓN DE GRANULOMETRÍA FINA. , que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 10 días del mes de Julio del 2017.

Firma

Nombre: Mueses Flores Stalin Fabricio

Cédula: 1003496161

Declaración

Yo, **Mueses Flores Stalin Fabricio**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte - Ibarra, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.




Firma

Nombre: Mueses Flores Stalin Fabricio

Cédula: 1003496161

Certificación

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: "MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA LA OBTENCIÓN DE GRANULOMETRÍA FINA", certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Mueses Flores Stalin Fabricio, bajo mi supervisión.



Ing. Víctor Erazo. MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios por darme la sabiduría para alcanzar varias metas en mi vida, por brindarme la oportunidad de despertar cada día. A mis padres por su apoyo incondicional, guiarme en cada paso que he dado y promover en mí la superación de cada obstáculo que la vida me ha puesto. A mis compañeros, amigos y familiares con los que he compartido alegrías y tristezas, brindándome aliento cada vez que existía un pequeño tropezón. Al director de esta tesis por su tiempo dedicado en la ayuda de elaboración para el trabajo de grado. Por último agradecer a mis maestros, los cuales aportaron con sus conocimientos y que fueron un factor fundamental para alcanzar esta instancia de mi vida.

Stalin Mueses.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios y a mis padres, ya que son quienes estuvieron en mis aciertos y errores, me supieron guiar a lo largo de mi vida, brindándome apoyo, consejos y comprensión. Ellos me enseñaron a luchar con ahínco y no dejarme vencer ante cualquier situación, además instruyeron en mí valores con los cuales hoy soy una persona responsable, perseverante, entre otras cualidades.

Stalin Mueses.

Resumen

Este proyecto se realizó con el objetivo de contribuir a la disminución de la contaminación ambiental, causada por los neumáticos desechados, pretende causar interés en esta materia prima, mediante la trituración la cual en sinergia con otras máquinas se pueden obtener varios productos que serán de utilidad para la sociedad, contribuyendo así con la matriz productiva de la provincia.

Se determinó los requisitos para el diseño de la máquina según datos encontrados en el medio y con normas empleadas en otros proyectos de la misma índole. Se realizó una selección de alternativas, donde se obtuvo la mejor opción para el diseño de la máquina, luego se realizó cálculos con teorías mecánicas, y se determinó el material a utilizar con sus respectivas dimensiones, también se obtuvo simulaciones en software el cual sirvió para verificar lo antes expuesto, continuando con este proceso se elaboró planos, dando paso a la construcción de la máquina.

Se implementó una inversión de giro al motor el cual evita el atascamiento de la máquina, y permite continuar con sus actividades normales, al terminar la construcción se realizó pruebas, las cuales determinaron que el prototipo al estar sin carga no presenta inconveniente según los parámetros de evaluación, cuando en la misma se colocaba la materia prima la máquina obtiene una granulometría fina de 60%, además, posee un efectividad de 90% ya que cumplía con la trituración y obtención de su granulado en la mayoría como se expuso en el proyecto, y en la fase de atascamiento su eficacia es de un 80%.

Abstract

This project was carried out with the aim of contribute to the reduction of environmental pollution caused by discarded tires, to cause interest in this raw material, through the crushing of which in synergy with other machines can obtain several products that serve of utility for the society, thus contributing to the productive matrix of the province.

The requirements for the design of the machine were determined according to data found in the environment and with standards used in other projects of the same nature. A selection of alternatives was made, where the best option was obtained for the design of the machine, then calculations were made with mechanical theories, and the material to be used with its respective dimensions was determined, software simulations were also obtained, which served to check as explained above, continuing with this process was develop plans, giving way to the construction of the machine.

It was implemented a turn investment to the engine which avoids the jamming of the machine, and allows to continue with its normal activities, at the end of the construction tests were carried out, which determined that the prototype to be without load does not present inconvenience according to the parameters of evaluation, when it was placed in the same raw material the machine obtains a fine granulometry of 60%, in addition, it was a 90% effectiveness since it complied with the grinding and obtaining of its granulate in the majority as it was exposed in the project, and in the phase of clogging its efficiency is 80%.

Índice General

Identificación de la Obra.....	ii
Autorización de Uso a Favor de la Universidad	iii
Constancias	iii
Cesión de Derechos.....	iv
Certificación.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Dedicatoria	viii
Resumen.....	ix
Abstract	x
Índice General	xi
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
Abreviaturas	xxii
Introducción	1
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Antecedentes	2
Justificación.....	8
Alcance.....	9

Capítulo 1. Marco Teórico.....	10
1. Características Generales del Neumático.....	10
1.1. Tipos de Cubierta Según Estructura.....	10
1.1.1. Diagonal.....	11
1.1.2. Radial.....	11
1.2. Estructura de una Cubierta de Neumático.....	12
1.2.1. Definición de Partes del Neumático.....	14
1.3. Materiales de un Neumático.....	16
1.4. Nomenclatura de un Neumático.....	16
1.4.1. Índice de Desgaste.....	18
1.4.2. La Tracción.....	18
1.4.3. La Temperatura.....	18
1.5. Dimensiones de los Neumáticos.....	18
1.5.1. Designación de los Tamaños de los Neumáticos.....	20
1.6. Determinación de Fuerza para Desgarro del Neumático (Norma DIN ISO 34-1).....	21
1.6.1. Método A.....	21
1.6.2. Método B.....	22
1.6.3 Método C.....	23
1.6.4. Fuerza Resultante de Desgarro.....	23
1.7. Análisis Granulométrico.....	23

1.7.1 Balanzas.....	24
1.7.2 Agregado Fino.....	24
1.7.2.1. Agregado Grueso o Mezclas de Agregado Fino y Grueso.....	24
1.7.3 Tamices.....	24
1.7.4. Agitador Mecánico de Tamices.....	24
1.7.5. Muestreo de Granulometría.....	25
1.7.5.1. Agregado Fino.....	25
1.7.5.2. Agregado Grueso.....	25
1.7.5.3. Mezclas de Agregados Finos y Gruesos.....	26
1.7.5.4. Muestras de Agregado Grueso de Gran Tamaño.....	26
1.7.6. Medidas De Granulometría.....	27
Capítulo 2. Metodología.....	28
2.1. Parámetros Para Diseño.....	28
2.2. Selección de Alternativas Para la Máquina.....	28
2.2.1. Análisis Funcional.....	28
2.2.2. Definición Modular con sus Respectivas Funciones.....	29
2.2.2.1. División Modular.....	30
2.3. Diseño de Elementos Mecánicos Para la Trituración de Caucho.....	57
2.3.1. Determinación de Torque Requerido.....	57
2.3.2. Diseño de Eje Transmisión.....	57

2.3.2.1. Análisis Sistema de Transmisión.....	59
2.3.2.2. Selección de Cadena.....	62
2.3.2.3. Diseño de Engranajes.....	64
2.3.2.4. Diagrama Fuerza Cortante y Momento Flector.....	66
2.3.2.5. Equivalencia A Diámetro Hexagonal.....	71
2.3.2.6. Análisis de Chaveta y Chavetero.....	72
2.3.3. Análisis de Rodamientos.....	72
2.4. Validación de Elementos en Software.....	74
2.5. Módulo de Control.....	75
2.6. Selección de Elementos para Control.....	82
Capítulo 3. Pruebas y Resultados.....	83
3.1. Evaluación de la Máquina.....	83
3.1.1. Datos de protocolo de pruebas.....	84
3.1.1.1. Método.....	84
3.1.1.1.1. Gráficos Porcentuales.....	86
Capítulo 4. Análisis de Costos.....	89
Costos de Producción.....	89
Conclusiones y Recomendaciones.....	93
Conclusiones.....	93
Recomendaciones.....	93

Bibliografía	94
Anexos	101

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición de neumáticos de automóviles y camiones (en % de peso).....	3
Tabla 2. Materiales de un neumático.	16
Tabla 3. Muestra de agregados para ensayo.	25
Tabla 4. Tamaño de granulometría.	27
Tabla 5. Parámetros de diseño.	28
Tabla 6. Equivalencia de división modular.....	30
Tabla 7. Alternativas de soluciones módulo 1 trituradora de caucho.	34
Tabla 8. Evaluación de criterios módulo 1.	36
Tabla 9. Evaluación de solución respecto al criterio manejable.	36
Tabla 10. Evaluación de solución respecto al criterio de costos.....	37
Tabla 11. Evaluación de solución respecto al criterio de fiabilidad.	37
Tabla 12. Evaluación de solución respecto al criterio del medio ambiente.....	37
Tabla 13. Conclusiones para el módulo 1.....	38
Tabla 14. Alternativas de soluciones módulo 2 trituradora de caucho.	45
Tabla 15. Evaluación de criterios módulo 2.	47
Tabla 16. Evaluación de solución respecto al criterio de velocidad.	47
Tabla 17. Evaluación de solución respecto al criterio de alcance.....	47
Tabla 18. Evaluación de solución respecto al criterio de utilidad.	48
Tabla 19. Evaluación de solución respecto al criterio de mantenimiento.....	48
Tabla 20. Conclusiones para el módulo 2.....	48

Tabla 21. Alternativas de soluciones módulo 3 trituradora de caucho.	53
Tabla 22. Evaluación de criterios módulo 3.	54
Tabla 23. Evaluación de solución respecto al criterio de velocidad.	55
Tabla 24. Evaluación de solución respecto al criterio de alcance.....	55
Tabla 25. Evaluación de solución respecto al criterio de mantenimiento.....	55
Tabla 26. Conclusiones para el módulo 3.	56
Tabla 27. Solución para construcción de trituradora de caucho.	56
Tabla 28. Propiedades mecánicas del acero 4340.....	57
Tabla 29. Resistencia del diente en los engranajes.	65
Tabla 30. Factor de confiabilidad.	69
Tabla 31. Factores de tamaño.	69
Tabla 32. Factor de esfuerzo.....	69
Tabla 33. Rango de factor de seguridad.....	70
Tabla 34. Ajuste de vida por fiabilidad de rodamientos.	73
Tabla 35. Factor de ajuste por condiciones de funcionamiento en rodamientos.	73
Tabla 36. Comparación de elementos según factor de seguridad.	74
Tabla 37. Alternativas de soluciones módulo de control para trituradora de caucho.	79
Tabla 38. Evaluación de criterios módulo de control.	80
Tabla 39. Evaluación de solución respecto al criterio de velocidad.	81
Tabla 40. Evaluación de solución respecto al criterio de costo.	81
Tabla 41. Evaluación de solución respecto al criterio de mantenimiento.....	81
Tabla 42. Conclusiones para el módulo de control.....	82
Tabla 43. Fases de evaluación y sus respectivos parámetros.....	83

Tabla 44. Equipos de medida utilizados en la instalación.	84
Tabla 45. Fase de máquina sin carga.	84
Tabla 46. Fase de máquina con carga.	85
Tabla 47. Fase de máquina con atascamiento.	85
Tabla 48. Costos de materia prima principal.	89
Tabla 49. Costos indirectos de fabricación.	90
Tabla 50. Costos de producción de máquina trituradora de caucho.	91
Tabla 51. Costos de servicios básicos.	91
Tabla 52. Costos empleados en gastos administrativos.	91
Tabla 53. Costos de operación.	92
Tabla 54. Precio al público de máquina trituradora.	92

Índice de Figuras

Figura 1. Máquina trituradora de desechos neumáticos y productos de caucho.	5
Figura 2. Máquina trituradora de residuos de caucho.	6
Figura 3. Trituradora de caucho y su método de trituración.	7
Figura 4. Neumático radial y diagonal.	12
Figura 5. Partes de una llanta diagonal.	12
Figura 6. Partes de una llanta radial parte 1.	14
Figura 7. Partes de una llanta radial parte 2.	14
Figura 8. Nomenclatura de un neumático.	17
Figura 9. Dimensión de los neumáticos.	19
Figura 10. Probeta tipo pantalón.	21
Figura 11. Probeta con ángulo.	22

Figura 12. Probeta de media luna.	23
Figura 13. Equipo balanzas y tamices.....	24
Figura 14. Agitador mecánico de tamices.....	25
Figura 15. Mezclas de agregados finos y gruesos.....	26
Figura 16. Diagrama de flujo nivel 0 máquina trituradora de caucho. ...	29
Figura 17. Diagrama de flujo nivel 1 máquina trituradora de caucho. ...	29
Figura 18. Diagrama de flujo nivel 2 máquina trituradora de caucho. ...	30
Figura 19. Ovillanta, trampa hecha de llantas para acabar con el zika.	31
Figura 20. Recipiente con agua caliente.	31
Figura 21. Queroseno.....	32
Figura 22. Bidones de combustible.....	33
Figura 23. Pintura.....	33
Figura 24. Aflojatodo Wd-40.....	34
Figura 25. Alerta vipal sobre mal uso de neumáticos.....	34
Figura 26. Alternativa 1 módulo 1.	35
Figura 27. Alternativa 2 módulo 1.	35
Figura 28. Alternativa 3 módulo 1.	35
Figura 29. Alternativa 4 módulo1.	35
Figura 30. Los peligrosos pedazos de llanta en carreteras.....	38
Figura 31. Tolva rectangular.	39
Figura 32. Tolva trapezoidal.	40
Figura 33. Tolva mixta.	40
Figura 34. Trituradora de 1 eje	41

Figura 35. Trituradora de 2 ejes	42
Figura 36. Trituradora de 4 ejes	42
Figura 37. Criba plana.....	43
Figura 38. Criba media luna.	44
Figura 39. Criba cuádruple media luna.	45
Figura 40. Alternativa 1 módulo 2.	45
Figura 41. Alternativa 2 módulo 2.	46
Figura 42. Alternativa 3 módulo 2.	46
Figura 43. Almacenamiento fijo.....	49
Figura 44. Almacenamiento con ruedas.....	50
Figura 45. Almacenamiento con rieles	50
Figura 46. Granulado en recipiente.....	51
Figura 47. Recipiente cilíndrico.	51
Figura 48. Recipiente rectangular.	52
Figura 49. Recipiente trapezoidal.	53
Figura 50. Alternativa 1 módulo 3.	53
Figura 51. Alternativa 2 módulo 3.	54
Figura 52. Alternativa 3 módulo 3.	54
Figura 53. Diseño de máquina trituradora. ...	56
Figura 54. Diagrama de carga separadores y cuchillas.	58
Figura 55. Rendimiento dinámico.....	59
Figura 56. Coeficiente K1 factores de potencia corregida.....	60
Figura 57. Coeficiente K2 factores de potencia corregida.....	60

Figura 58. Coeficiente K3 factores de potencia corregida.....	61
Figura 59. Coeficiente K5 factores de potencia corregida.....	61
Figura 60. Diagrama selección de cadenas de transmisión de potencia serie americana	62
Figura 61. Diagrama de cuerpo libre.	66
Figura 62. Diagrama de carga cortante (V_y).	67
Figura 63. Diagrama de carga momento flector (M_z).	67
Figura 64. Diagrama de carga cortante (V_z).	68
Figura 65. Diagrama de carga momento flector (M_y).	68
Figura 66. Relación entre límite de fatiga y esfuerzo último (Acero AISI 4340)	68
Figura 67. Factor se tamaño o superficie.	70
Figura 68. Equivalencia diámetro hexagonal.	71
Figura 69. Enconder óptico.....	75
Figura 70. Sensor óptico.	76
Figura 71. Sensor efecto hall.	76
Figura 72. Plc	77
Figura 73. Arduino.....	78
Figura 74. Atmega	78
Figura 75. Vigilancia	79
Figura 76. Alternativa 1 módulo control.	79
Figura 77. Alternativa 2 módulo control.	80
Figura 78. Alternativa 3 módulo control.	80
Figura 79. Parámetros para fase de máquina sin carga.	86
Figura 80. Funcionamiento fase de máquina sin carga.	86

Figura 81. Parámetros para fase de máquina con carga.	87
Figura 82. Funcionamiento fase de máquina con carga.	87
Figura 83. Parámetros para fase de máquina con atascamiento.	88
Figura 84. Funcionamiento fase de máquina con atascamiento. ..	88

Abreviaturas

F_{cizalla}	Fuerza de cizalla o esfuerzo cortante.
$\delta_{\text{neumático}}$	Densidad del neumático.
$m_{\text{neumático}}$	Masa del neumático.
$V_{\text{neumático}}$	Volumen del neumático.
A_{cuch}	Área de cuchilla
T	Torque.
$T_{\text{máx}}$	Torque máximo.
W	Velocidad Angular.
$P_{\text{máx}}$	Potencia Máxima.
D_{ext}	Diámetro exterior
D_{int}	Diámetro interior.
esp	Espesor.
δ_{acero}	Densidad acero.
esp_{cuch}	Espesor de cuchilla.
V_{cuch}	Volumen de cuchilla.
m_{cuch}	Masa total de cuchillas.
esp_s	Espesor de separador.
V_s	Volumen de separador.

m_{ts}	Masa total de separadores.
m_{total}	Masa total de separadores y cuchillas.
W_{total}	Peso total
g	Gravedad
L_1	Longitud del eje.
q	Carga distribuida.
efd	Eficiencia dinámica.
F_s	Factor de servicio.
$P_{máxtotal}$	Potencia máxima total.
$T_{máxtotal}$	Torque máximo total.
K_1	Coficiente 1 para factor de potencia corregida.
K_2	Coficiente 2 para factor de potencia corregida.
K_3	Coficiente 3 para factor de potencia corregida.
K_4	Coficiente 4 para factor de potencia corregida.
K_5	Coficiente 5 para factor de potencia corregida.
Pas	Paso de cadena.
$D_{p_{rp}}$	Diámetro primitivo de piñón pequeño para cadena.
$D_{p_{rg}}$	Diámetro primitivo de piñón grande para cadena.

T_{cor}	Torque corregido.
n_{cor}	Revoluciones por minuto corregida.
O_1O_2	Distancia entre centros de piñones para cadena.
R_{rp}	Radio del piñón pequeño para cadena.
R_{rg}	Radio del piñón grande para cadena.
β	Ángulo de contacto, en radianes.
L_{cad}	Longitud de cadena.
$N_{eslabones}$	Número de eslabones.
V_{cad}	Velocidad lineal de cadena según piñón.
F_{uc}	Esfuerzo útil de la cadena.
M_{cad}	Peso unitario de Cadena.
C_R	Carga de Rotura.
F_{cc}	Esfuerzo debido a la fuerza centrífuga de la cadena.
F_{otc}	Esfuerzo total de la cadena.
C_{Scad}	Coefficiente de seguridad de cadena.
D_{Percad}	Diámetro perno del eje de cadena.
l_{Percad}	Longitud casquillo cadena.
P_s	Máxima presión de contacto.

d_c	Distancia entre centros de ejes de transmisión.
D_p, d_p	Diámetro primitivo.
Z_1, Z_2, Z_3	Número de dientes de un piñón.
D_{ej}	Diámetro de eje para colocar engrane.
D_{cubo}	Diámetro cubo de engrane.
L_{cubo}	Longitud cubo de engranaje.
V_{leng}	Velocidad periférica o lineal del diámetro primitivo (m/s).
F_{CV}	Fuerza en caballos de vapor (CV) a transmitir.
P_{total}	Potencia total.
P_{tan}	Presión o esfuerzo tangencial para el diente (kg).
C_{seng}	Carga de seguridad o coeficiente de trabajos por flexión $kg \cdot mm^2$.
W_{tA}, W_{tB}	Fuerza Tangencial.
W_{rA}, W_{rB}	Fuerza Radial.
F_{cA}, F_{cB}	Fuerza total.
S_n'	Límite de Resistencia a la fatiga corregido.
S_n	Límite de Resistencia a la fatiga sin corregir.

Introducción

Los centros de acopio y servicio son los encargados del reciclaje de llantas, sin embargo no hay un procedimiento adecuado para la reutilización de las mismas, por ejemplo; para el procesamiento en hornos cementeros se debe pagar una cantidad económica por cada llanta incinerada, pero esto provoca contaminación ambiental al igual que el abandono e incineración en lugares no aprobados por las normas que se establecen en la Constitución de la República, “las cuales se encuentran en el artículo 154 y en concordancia con el artículo 17 del Estatuto del Régimen Jurídico Administrativo de la Función Ejecutiva” [1].

En la ciudad de Ibarra se ha reciclado en el basurero municipal 10 000 neumáticos en cinco años, los cuales han terminado su vida útil, generando acumulación de estos residuos y con ello la contaminación ambiental lo cual es perjudicial para la salud humana, la adquisición de equipos para el tratamiento de la reutilización de caucho es sinónimo de costos elevados ya que se fabrica en otros países, generando desinterés en la compra de esta maquinaria [2].

Se diseñará y construirá una máquina trituradora de llantas utilizando materiales que sean de fácil acceso en el mercado nacional consiguiendo una trituración hasta llegar al punto de ser utilizado en procesos posteriores de conformado logrando obtener granulometría fina de 1 a 3mm en un ciclo de trituración, además su construcción será referente a la capacidad de reciclaje en centros de acopio, servicio y de manera individual, contribuyendo con el medio ambiente.

Objetivo General

Diseñar y construir una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría fina.

Objetivos Específicos

- Determinar la mejor opción para un diseño viable y óptimo de la máquina requerida.
- Diseñar una máquina trituradora de caucho para lograr obtener una materia fina.
- Fabricar una máquina trituradora de llantas según el diseño.
- Validar el funcionamiento de la máquina.

Antecedentes

Los neumáticos usados son considerados desechos especiales, todo proceso de tratamiento de neumáticos usados se realizará conforme la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN No. 2096 en el siguiente orden de prioridad: a) Reencauche, b) Reciclaje, y, c) Coprocesamiento. Neumático usado es aquel que ha perdido su utilidad para la cual fue creado por uso, daño o defecto. Además para la incineración de los neumáticos usados en hornos especiales se deberá pagar una cantidad económica [1].

Los neumáticos de camión contienen una mayor proporción de caucho natural en relación al caucho sintético de los neumáticos de automóvil. La composición de caucho podría obedecer al hecho de que los neumáticos para automóviles de pasajeros tienen que satisfacer normas de calidad más elevadas a fin de competir con éxito en el mercado. Los neumáticos de camión y de vehículos todo terreno, deben soportar cargas más pesadas y recorrer mayores distancias, y no desplazarse a alta velocidad [3], [4].

El neumático está constituido de una combinación de materias primas en el cual su porcentaje se los puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1.

Composición de neumáticos de automóviles y camiones (en % de peso).

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

Fuente: [5].

En 2006 Botasso realiza un estudio sobre la tritutaración de caucho el cual indica, que para la lograr este objetivo se necesita utilizar una trituradora que contenga 2 ejes o más considerando que deberá trabajar a una velocidad de 15 a 20 rpm, además, previamente deberán ser tratadas con criogénesis; esta se realiza entre -60°C y -70°C dando un producto más afín y de mejor finura de hasta valores que pasan un 100% la malla N°100 ASTM [6].

Vásconez en el año 2013 realizó una máquina trituradora de plástico compuesta de una tolva mixta con bisagras para el ingreso de materia prima y en la trituración un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo, además una criba de media luna para obtener una granulometría media, considerando este parámetro se puede determinar que se debe utilizar una criba diferente a la de media luna para obtener una granulometría fina [7].

En el trabajo de grado realizado por Méndez y Solano en 2010 presenta un diseño para un triturador de cuchillas rotativas, razón por sus características ideales para la trituración de neumáticos ya que al trabajar a bajas revoluciones no va a generar una temperatura que modifique las características del caucho vulcanizado, se tiene que considerar que la presencia de cuchillas rotativas va a generar un corte y desgarramiento del material de trituración para lo cual en este

trabajo se optó por un triturador de cuchillas rotativas de 2 ejes el cual sería el ideal para la capacidad de 1 Ton/h, además, cuenta con 3 filos de corte los cuales son considerables para grandes esfuerzos teniendo en cuenta que el defase de los discos es ideal a 21° , sin embargo este trabajo no se llevo a cabó la fase de construcción [3].

En el año de 2014 Yepes realizó un estudio sobre los trituradores de cono, el cuál indica un esquema similar de funcionamiento al de cuchillas rotativas, ya que se puede utilizar para diferentes granulometrías. Los conos secundarios brindan granulometrías entre 150mm y 40mm, los terciarios tienen una granulometría de 10-12mm, para conos ultrafinos se tiene de 20-5mm y de 2-3mm. Estos se caracterizan por su presentación paralela entre los revestimientos de trituración a la salida de la descarga [8].

Palacios en el año de 2014 realizó el diseño de un reductor de velocidad de giro requerida en este eje es entre 20 y 26 rpm para trituradora de neumáticos consta de 2 ejes paralelos con cuchillas intercaladas confinados en una caja, el giro de las cuchillas permite que rompan al material que es ingresado por una tolva en la parte superior y sus trozos que salen por debajo [9].

En el año de 2015 Veintimilla considero un ensayo de desgarro el cual determinó la fuerza necesaria para el desgarro del caucho, mediante el cual diseño una máquina trituradora de neumáticos, la cual consta de 2 ejes y tolva trapezoidal, considerando que este trabajo su construcción no fue llevada a cabo [4].

En el año de 2007 Huang construye una máquina para la trituración de neumáticos de desecho y otros productos de caucho; cuenta con un pedestal, un motor, un reductor de velocidad y un mecanismo de trituración. El mecanismo de corte comprende una cuchilla fija en el puerto de alimentación de la cámara de trituración y la espiral de palas en el rotor de alimentación de trabajo.

La máquina tiene dos funciones de trituración y de corte, y es adecuado para la trituración directa de diversos tipos de neumáticos de desecho, especialmente neumático radial de residuos con alambre de acero [10]. En la figura 1, se muestra la máquina construida por Huang.

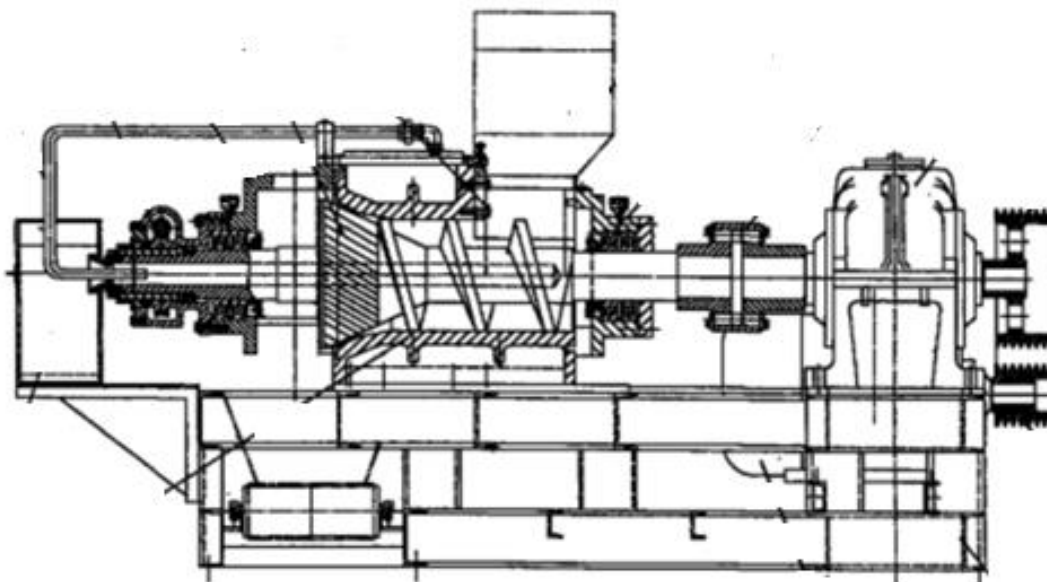


Figura 1. Máquina trituradora de desechos neumáticos y productos de caucho [10].

En 2013 Fire realizó una máquina trituradora de residuos de caucho compuesta por un motor dispuesto en la parte inferior del cuerpo de la máquina, un dispositivo que se encuentra rompiendo el material en la entrada; varillas de estiramiento están alojadas respectivamente en dos paredes laterales del cuerpo de la máquina por debajo del dispositivo de romper; placas de molienda dispuestas en las barras de estiramiento; una estructura de rodillo de molienda en el cuerpo de la máquina por debajo de las placas de molienda; una red de filtro correspondientemente en el cuerpo de la máquina por debajo de la estructura de rodillo de molienda; una cámara de molienda fina debajo de la malla del filtro; una piedra de molino, una pluralidad de herramientas de molienda, tire de barras y un eje de control en la cámara de molienda fina. La máquina de trituración de residuos de caucho posee ventajas ya que los residuos de caucho son triturados en bloques, luego son molidos por las placas de molienda en bloques de tamaño pequeño; a

continuación, los bloques de tamaño pequeño se muelen en pequeñas partículas a través de la estructura de rodillo de molienda; las pequeñas partículas entran en la cámara de trituración fina a través de la red del filtro y se muelen en un polvo. El caucho de desecho de la máquina de trituración es pequeño en volumen y conveniente de mantener [11]. En la figura 2, se muestra la trituradora construida por Fire.

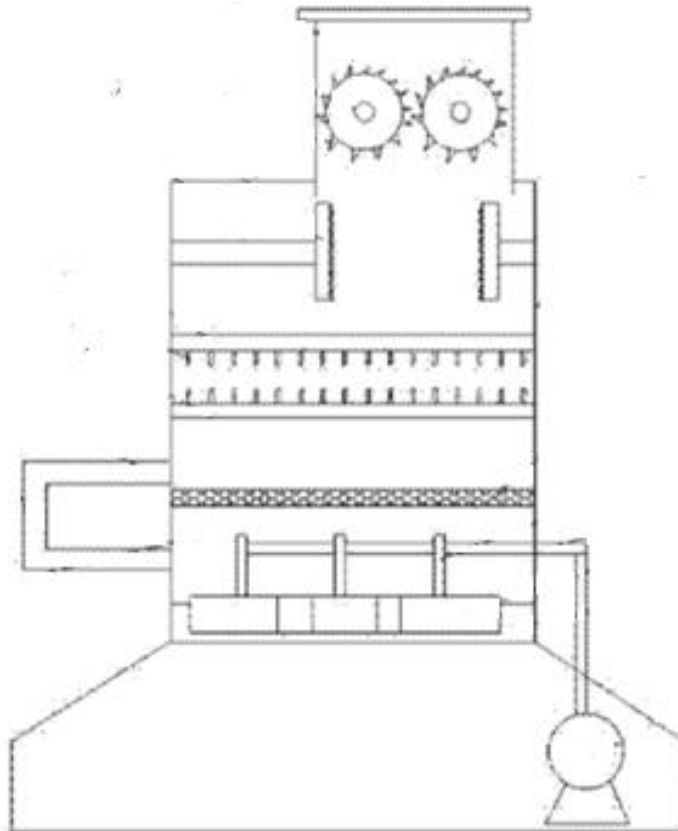


Figura 2. Máquina trituradora de residuos de caucho [11].

La patente en 2015 expuesta por Light, Zuodong y Chuan que trata sobre una trituradora de caucho compuesta por un bastidor, una cámara de caucho en aplastamiento soportada por el bastidor, una tolva de descarga, un dispositivo de rodillo y un grupo cortador de caucho que están dispuestos en la cámara de trituración, también comprende un cortador de movimiento y una cuchilla fija. La trituradora de caucho y el método de trituración tienen los efectos beneficiosos

que los bloques de caucho pueden ser enrolladas principalmente para formar rodajas de antelación, las rodajas se cortan, y este se pulveriza simultáneamente para evitar que el caucho triturado quede adherido; las ventajas de un molino abierto y una trituradora de caucho están integrados, y el buen efecto de este y la alta eficiencia de trituración de caucho están aseguradas [12]. En la figura 3, se muestra la máquina fabricada por Light, Zuodong y Chuan.

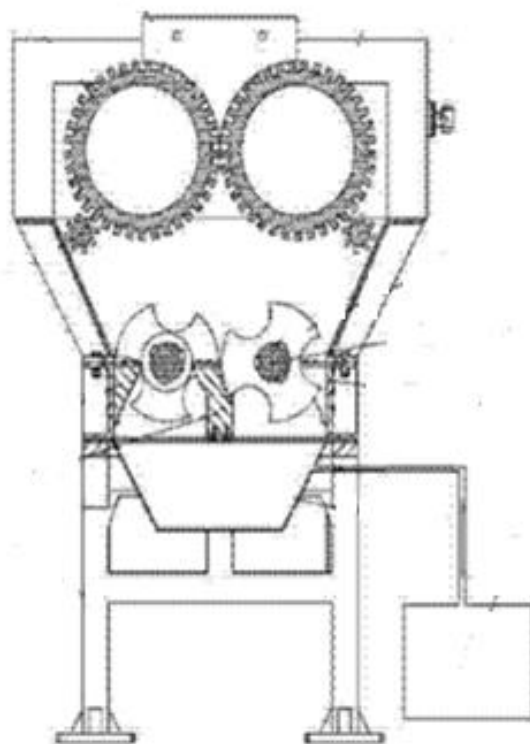


Figura 3. Trituradora de caucho y su método de trituración [12].

Justificación

En la ciudad de Ibarra los centros de acopio, servicios y personas que poseen llantas recicladas envían estas a lugares permitidos como lo norma la ley, por ejemplo, para ser tratada en un horno cementero se debe pagar una cantidad económica lo cual provocaría un egreso a los antes mencionados, sin embargo la quema de las mismas provocan emisiones de CO₂ igual que las botadas o quemadas en lugares públicos, siendo nocivas para el medio ambiente.

La investigación se enfocará en diseñar y construir una máquina necesaria para el medio refiriéndose a una relación en la capacidad de llantas recicladas en el cantón Ibarra, la cual sea capaz de lograr el proceso de trituración de llantas recicladas, para posteriormente el caucho triturado ser utilizado en el conformado de diferentes productos tales como: bujes para autos, campos de hierba artificial, pavimentos, pistas de atletismos, asfaltados modificados, entre otros; además esta máquina será capaz de realizar el proceso de trituración en un ciclo que permitirá el paso del material final cuando este se encuentre en su tamaño adecuado. Con esto se busca generar ingresos para entidades relacionadas con el proyecto, incrementando el nivel de producción que tiene la ciudad de Ibarra y mejorando en trato de desperdicios no reciclables.

Alcance

La máquina será capaz de triturar pedazos de llantas de 200 mm de largo, 100 mm de ancho y un espesor máximo de 15 mm, hasta alcanzar un porcentaje mayor a 60% de granulometría según la norma ASTM D-422 (1-3mm) [13], esto permitirá la utilización en procesos posteriores. El tiempo máximo de triturado será de 7 minutos por cada pedazo ingresado en la máquina logrando 15Kg/h, ya que es la cantidad necesaria según la relación para una máquina pequeña en el cantón de Ibarra en el aspecto de la recolección mensual, además este equipo desarrollará su funcionamiento con energía eléctrica (220v) y necesitará un tratamiento de las llantas antes de ser introducidas en la trituradora.

Capítulo 1. Marco Teórico

1. Características Generales del Neumático.

Los neumáticos de los vehículos proporcionan estabilidad y tracción a los automóviles, además de direccionalidad, fuerza de frenado, etc. La tecnología de fabricación de neumáticos para la industria del automóvil ha evolucionado mucho, generando una gama de marcas y modelos de cubiertas para coches muy amplios. La forma de elegir los neumáticos más adecuados para su vehículo pasa por seguir las recomendaciones de sus fabricantes, en cuanto a características básicas, que coincidirán con las homologadas para él [14].

En general a los neumáticos se los puede considerar como un sistema no lineal de gran complejidad. Enunciando las siguientes características [4]:

- Deben poseer una elevada adherencia sobre pista seca y mojada, tanto longitudinal como transversal.
- Baja resistencia a la rodadura.
- Capacidad para resistir los esfuerzos dinámicos exteriores.
- Resistencia a la fatiga, al desgaste, a la deformación de grietas, etc.
- Bajo nivel de ruidos y de generación de vibraciones
- Adecuada flexibilidad radial, circunferencial y transversal.

1.1. Tipos de Cubierta Según Estructura

“Existen diferentes tipos de Llantas de acuerdo a sus características constructivas, el grabado de la banda de rodadura, el modo de uso y la temporada del año. En esta ocasión conoceremos los tipos de neumáticos” [15].

1.1.1. Diagonal.

Compuesto de tejido alterno y cruzado dispuesto en forma diagonal en la carcasa, formando ángulos entre 40 y 45 grados. La superposición de las capas que van de lado se encuentran con los flancos y en la parte superior del neumático, esto aporta mayor rigidez, aunque su punto más débil es la estabilidad lateral [15].

Los bordes de la cubierta se refuerzan con lonas cortas y con aletas de talón, para soportar el roce con los bordes de la llanta. La banda de rodadura esta tallada con resaltes de diferentes dibujos, según las marcas, que agarran sobre las asperezas del pavimento y dan adherencia a las cubiertas para soportar los esfuerzos del motor, frenos, fuerza centrífuga, etc. Poseen 1,6 mm; profundidad mínima que se admite en la banda de rodadura para circular en Europa [16].

1.1.2. Radial.

Está compuesto de unas capas de tejido en forma radial, desde un talón a otro del neumático. Prácticamente es una carcasa en forma de tubo, se remata en la parte superior por telas de cables metálicos cruzados. De esta forma el flanco es más ligero y flexible, con ventajas en duración y seguridad. Se calienta menos y garantiza una mayor área o parche de contacto con el suelo que los anteriores [15].

Entre la capa y la banda de rodadura hay un número variable de telas de cuerdas de rayón, alambre fino de acero o fibra de vidrio, en forma de cinturón (estas cuerdas forman con la línea descrita por el eje de rotación de las ruedas un ángulo de 18° a 22°). El cinturón confiere rigidez a la banda de rodadura, impidiendo que se deforme bajo la acción del viento lateral, manteniendo más firme la trayectoria del vehículo. El número de capas y telas varía en función de la fibra empleada en las cuerdas, rigidez para la cubierta y carga que esta va a soportar [16].

En la figura 4, se puede observar un neumático radial y diagonal.

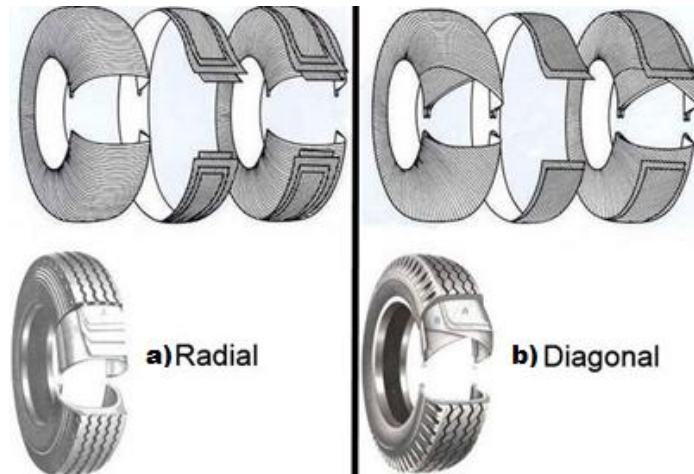


Figura 4. Neumático radial y diagonal [16].

1.2. Estructura de una Cubierta de Neumático

Las partes que conforman un neumático diagonal o convencional se describen a continuación y se muestra en la figura 5 [4]:

- a. Banda de rodamiento.
- b. Lateral.
- c. Chafer (o refuerzo de pestaña).
- d. Flipper (o cubre pestañas).
- e. Núcleos de pestañas.
- f. Carcasa.
- g. Breakers.

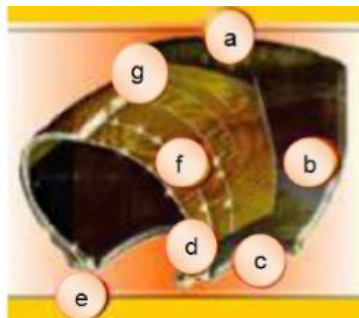


Figura 5. Partes de una llanta diagonal [4].

Las partes que conforman un neumático radial o cinturado son [4]:

- a. Cable de acero.
- b. Caucho de cubierta.
- c. Cubierta textil.
- d. Relleno de pestaña.
- e. Cuerpo de lona.
- f. Chafer.
- g. Chafer de acero.
- h. Chafer de textil
- i. Refuerzo de pestaña.
- j. Relleno de hombro.
- k. 1er Cinturón.
- l. 2do Cinturón.
- m. 3er Cinturón.
- n. 4to Cinturón.
- o. Relleno de cinturones.
- p. Laterales.
- q. Innerliner.
- r. Lateral.

En las figuras 6 y 7 se puede ver la representación de cada parte del neumático.

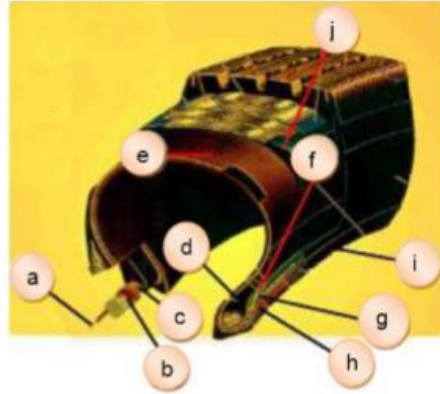


Figura 6. Partes de una llanta radial parte 1 [4].

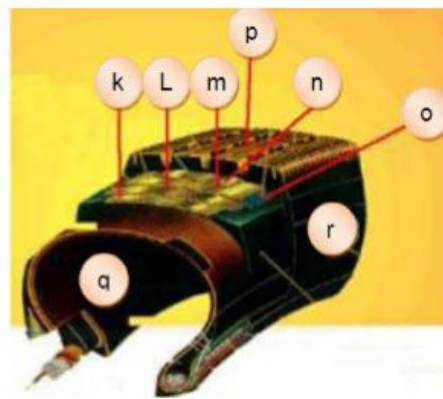


Figura 7. Partes de una llanta radial parte 2 [4].

1.2.1. Definición de Partes del Neumático.

“**Banda de Rodamiento:** Esta parte, generalmente de hule, proporciona la interface entre la estructura de la llanta y el camino. Su propósito es proporcionar tracción y frenado” [17].

“**Lateral:** Es la que ofrece flexibilidad, disipa el calor y refuerza el pliego de la carcasa contra fricciones y golpes, en esta zona se graban las identificaciones de la llanta” [4].

Chafer : Son fibras monofilamento, tejido cuadrado colocadas alrededor de la parte externa de la pestaña y debajo de los costados para proteger las lonas de la carcasa, al conjunto de los núcleos y a los amarres de las lonas contra fricciones del aro durante el montaje [4].

“Flipper: Es un tejido que se encuentra alrededor de los alambres del talón que ayudan a sujetar la estructura del mismo dando condiciones de flexión a las áreas determinadas” [4].

“Núcleos de pestañas: Formado por alambres de acero, bañados en cobre para buena adhesión con el caucho, las pestañas anclan los pliegos y aseguran la estructura a la rueda” [4].

Carcasa: Es la armadura resistente del neumático, cubre a las telas y anillos, se opone a la presión de hinchado y presiones transmitidas al neumático por la superficie de la huella. Las telas están constituidas por caucho, el cual es resistente y flexible [18].

“Breakers: Son tejidos de caucho que se encuentran entre la banda de rodamiento y la carcasa, proporcionando o reduciendo el efecto de choque contra la misma” [4].

“Cable de acero: Son los hilos que forman el tejido de las lonas del neumático” [4].

“Cinturón: Las capas del cinturón (estabilizador), especialmente de acero, proporcionan resistencia a al neumático, estabiliza la banda de rodamiento y protege a ésta de picaduras” [17].

“Cuerpo de Lona: Capa constituida de cables recubiertos de caucho, dispuestos entre sí paralelamente. En neumáticos de estructura radial, tiene por objeto estabilizar el neumático” [4].

“Relleno de hombro: Zona superior lateral a la banda de rodamiento, tiene características especiales de comportamiento frente a la temperatura como disipador, además de dar características especiales para las curvas” [4].

“Talón: Alambres de acero de alta resistencia utilizado para formar una gran robustez. Es el ancla de cimentación de la carcasa, mantiene el diámetro requerido de la llanta en el rin” [17].

“Canal: Designa el espacio entre dos nervaduras o dos tacos adyacentes del dibujo” [4].

1.3. Materiales de un Neumático

En la tabla 2 se mostrará la combinación de los materiales de un neumático:

Tabla 2.

Materiales de un neumático.

Material	Aporte de (%)
Carcasa de acero, nylon o rayón (1)	16
Caucho sintético o natural (2)	38
Negro de humo, sílice, carbón (3)	30
Lubricantes, aceites, resinas (4)	10
Productos químicos (5)	4
Productos químicos contra el envejecimiento (6)	1
Otros materiales (7)	1

Fuente: [4].

1.4. Nomenclatura de un Neumático

Las letras y símbolos en el costado del neumático proporcionan información de tamaño y dimensión del neumático como es ancho de sección, relación de aspecto, tipo de construcción, diámetro de rin, presión máxima de inflado, avisos de seguridad e información adicional [17].

En la figura 8 se muestra la nomenclatura de un neumático:

P: Indica el uso para automóviles de pasajeros.

215: Representa la anchura máxima entre costados de la llanta en milímetros.

65: Es la relación entre la altura y la anchura de la llanta y se le llama relación de aspecto.

R: Significa la construcción radial del neumático.

15: Es el diámetro del rin en pulgadas.

89: Especifica el índice de carga.

H: Símbolo de velocidad.

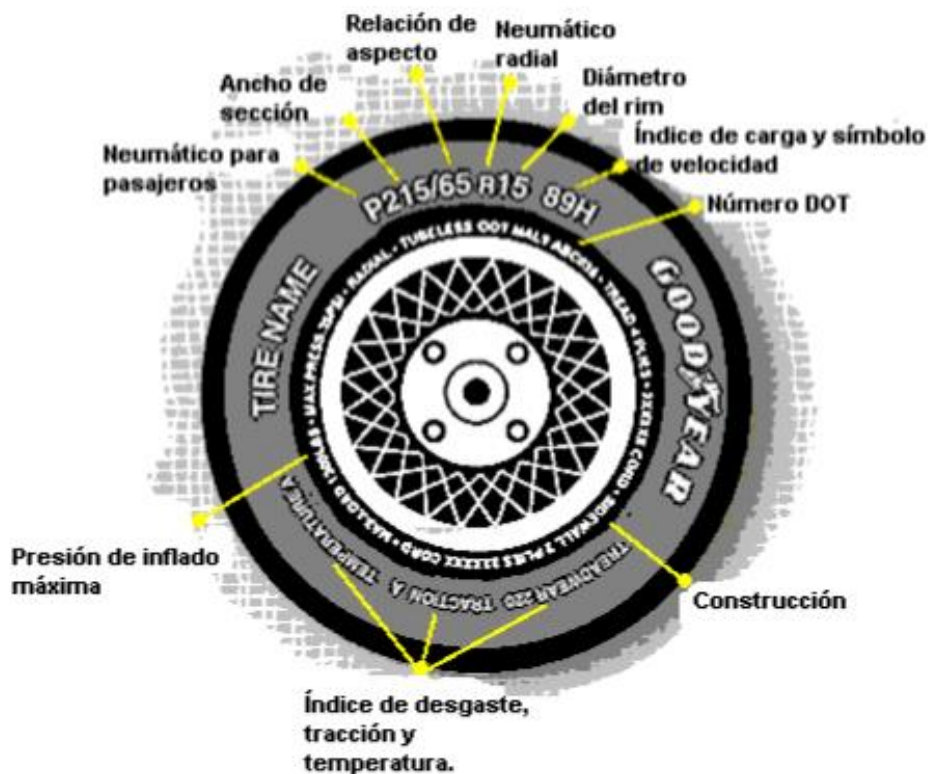


Figura 8. Nomenclatura de un neumático [17].

Algunos neumáticos especifican el servicio, mostrando índice de carga y clasificación de velocidad. El índice de carga asigna números desde 0 hasta 279 que corresponden a la capacidad de carga del neumático a su máxima presión de inflado. El símbolo de velocidad determina la máxima velocidad que el neumático puede alcanzar [17].

Mayor información sobre rangos de velocidades (anexo 1), clasificación de capas de un neumático (anexo 2), presión inflado del neumático (anexo 3), e índice de carga de un neumático (anexo 4).

Los neumáticos muestran la máxima presión de inflado en psi (libras por pulgada cuadrada). DOT Departamento de Transporte de Estados Unidos (Department of Transport), contraparte americana de la NOM (Norma Oficial Mexicana), muestra los factores de desempeño del neumático en cuanto al índice de desgaste, tracción y resistencia a la temperatura [17].

1.4.1. Índice de Desgaste.

Es una clasificación comparativa con base en el valor de desgaste del neumático probada bajo condiciones controladas sobre una vía especificada de prueba del gobierno en Estados Unidos. Así un neumático con grado 200 podrá durar dos veces más en el camino o vía de prueba del gobierno bajo las condiciones de la prueba especificada que una de grado 100 [17].

1.4.2. La Tracción.

La clasificación de los grados de tracción va de mayor a menor y son A, B y C. Representan la capacidad de las llantas para frenar sobre pavimento mojado, medida bajo condiciones controladas sobre superficies de prueba de asfalto y concreto, especificadas por el gobierno [17].

1.4.3. La Temperatura.

La clasificación de los grados de temperatura son A, B y C. Representan la resistencia de los neumáticos a la generación de calor por fricción al ser probadas en el laboratorio bajo condiciones controladas [17].

1.5. Dimensiones de los Neumáticos

“Diámetro total: Distancia medida desde un extremo de la banda rodante hasta el opuesto estando el neumático sin carga” [17].

“Ancho total: Medida de sección transversal del neumático estando éste sin carga. Esta medida incluye los costados de la llanta” [17].

“Ancho de sección: Medida sección transversal excluyendo bordes del neumático” [17].

“Ancho de la sección de rodadura: Distancia que existe entre los extremos de la banda rodante estando el neumático sin carga” [17].

“**Profundidad de la sección de rodadura:** La mayor profundidad de la ranura existente entre la banda de rodamiento y su base” [17].

“**Altura de sección:** Distancia entre el asiento de ceja hasta la banda de rodamiento” [17].

“**Ancho de rin:** Distancia transversal entre los costados del asiento de la ceja del rin” [17].

“**Diámetro nominal de rin:** Diámetro del rin medido desde el asiento de ceja hasta el extremo opuesto del mismo” [17].

En la figura 9 se muestra las partes de la dimensión del neumático.

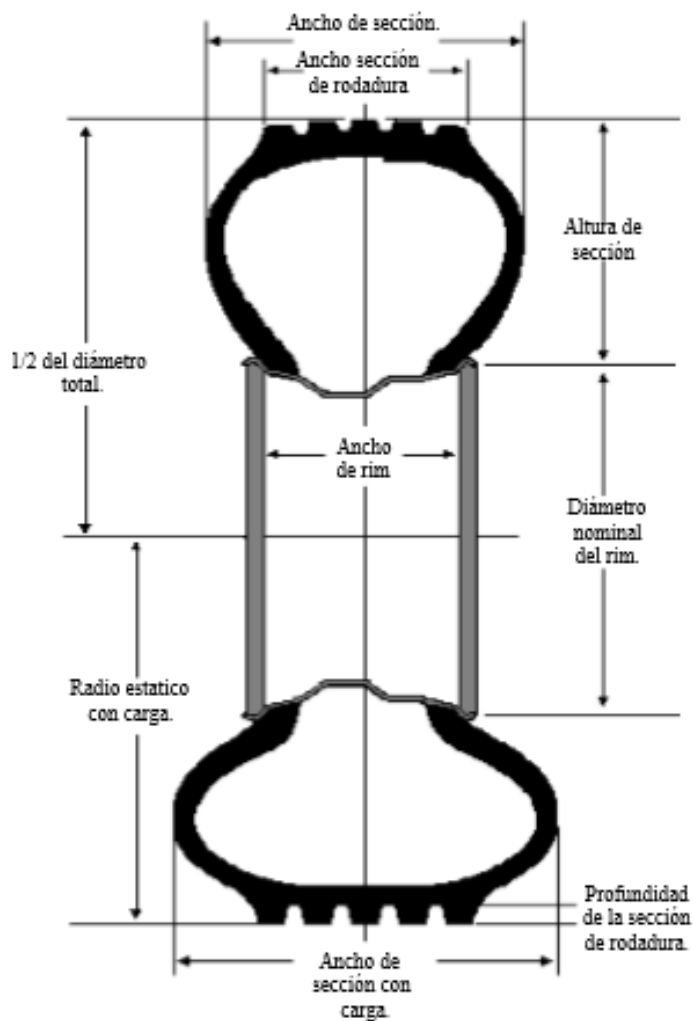


Figura 9. Dimensión de los neumáticos [19].

“**Radio estático con carga:** Distancia entre el centro del eje del vehículo y la superficie de rodamiento estando el neumático soportando su máxima capacidad de carga” [17].

“**Ancho de sección con carga:** Es el ancho de sección máximo que el neumático obtiene al estar soportando su máxima capacidad de carga” [17].

“**Espacio mínimo dual:** La distancia mínima aceptada entre centros de las ruedas en un arreglo dual” [17].

“**Revoluciones por milla:** Es el número de revoluciones que brinda el neumático en una milla (1 milla= 1609km) a una velocidad de 55mph (88km/h) indicada en la pared lateral del neumático” [17].

1.5.1. Designación de los Tamaños de los Neumáticos.

La designación de tamaños en los neumáticos depende de la codificación a utilizar. La codificación dependerá a su vez del sistema que se use, por ejemplo el Métrico, Métrico Europeo, Alfa-Métrico, Numérico, LT-Métrico y el de Flotación. Este código incluye letras y números los cuales tienen los siguientes significados [17]:

R: Neumático radial.

B: Neumático con cinturón textil.

D: Neumático convencional.

P: Neumático para autos de pasajeros.

T: Neumático para camiones (truck).

LT: Neumático para camiones ligeros (camionetas).

1.6. Determinación de Fuerza para Desgarro del Neumático (Norma DIN ISO 34-1)

La norma DIN ISO 34-1, muestra la forma adecuada para realizar el ensayo para determinar la fuerza de desgarro del neumático. De esta manera se conocerá la fuerza con la cual las cuchillas acopladas al eje de transmisión deberán ejercer para cortar caucho. A continuación los métodos de ensayo para determinar la resistencia al desgarro del caucho vulcanizado [4]:

- Método A, basado en el empleo de una probeta tipo pantalón;
- Método B, basado en el empleo de una probeta angular, con o sin una hendidura;
- Método C, basado en el empleo de una probeta de media luna con hendidura.

1.6.1. Método A.

El método A es recomendable ya que emplea probeta tipo pantalón con lo cual no se ve afectado por la longitud del corte, a diferencia de lo que ocurre con los otros dos tipos de probetas, en los que la hendidura debe controlarse con mucha precisión. De esta manera los resultados obtenidos son relacionados con las propiedades fundamentales del material, menos sensibles a efectos del módulo y velocidad de propagación del desgarro está relacionada directamente con la velocidad de separación de las mordazas [4]. En la figura 10 se muestra dicho método.

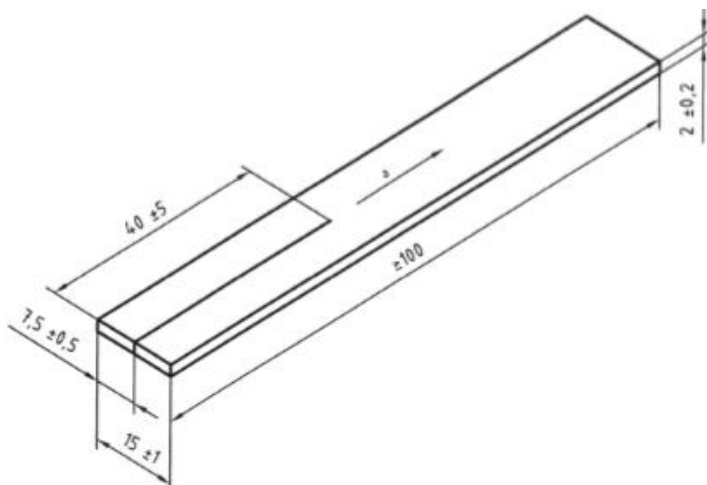


Figura 10. Probeta tipo pantalón [20].

1.6.2. Método B.

Con corte:

“Este ensayo mide la fuerza necesaria para propagar una hendidura ya producida en la probeta. La velocidad de propagación no está directamente correlacionada con la velocidad de separación de las mordazas” [4].

Con su respectivo corte o muesca:

Es una combinación de iniciación del desgarro y de propagación del mismo. El esfuerzo se acumula en la base del ángulo hasta que es suficiente para iniciar un desgarro, y después los esfuerzos sucesivos propagan este desgarro. No obstante, únicamente es posible medir la fuerza total necesaria para la rotura de la probeta y, por consiguiente, la fuerza no puede descomponerse en los dos componentes que originan la iniciación y la propagación [4]. En la figura 11, se representa la inclinación de los ángulos de este método.

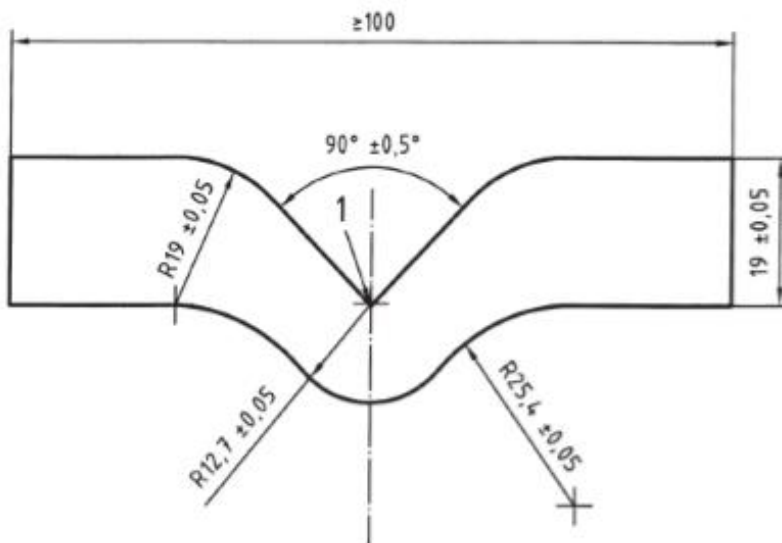


Figura 11. Probeta con ángulo [20].

1.6.3 Método C.

Empleando una probeta de media luna

“Este método también mide la fuerza necesaria para propagar una hendidura ya producida en la probeta y la velocidad de propagación tampoco está correlacionada con la velocidad de separación de las mordazas” [4]. La figura 12, representa el método de probeta de media luna.

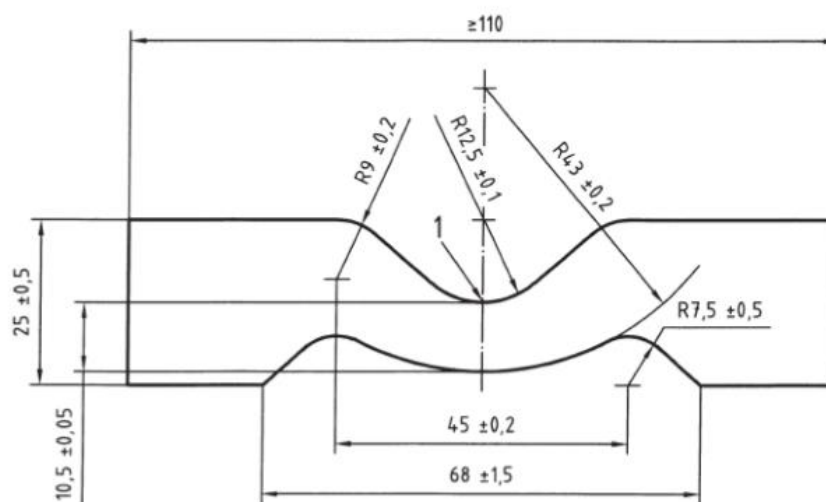


Figura 12. Probeta de media luna [20].

1.6.4. Fuerza Resultante de Desgarro.

“En el análisis realizado por Veintimilla de la Universidad ESPOL la fuerza de cizalla fue calculada durante el ensayo de desgarro de la probeta tipo pantalón en el cual dicha fuerza es de 558.91N” [4].

1.7. Análisis Granulométrico

Este método cubre la determinación de la distribución por tamaño de las partículas de agregado fino y grueso mediante tamizado. Una muestra de agregado seco de masa conocida es separada en una serie de tamices colocados progresivamente desde el más pequeño al más grande para determinar su distribución por tamaño [21].

1.7.1 Balanzas.

“Las balanzas usadas tendrán una legibilidad y exactitud” [21]. La figura 13, muestra equipo de balanzas y tamices.



Figura 13. Equipo balanzas y tamices [21].

1.7.2 Agregado Fino.

“Legible 0.1 gr y precisión de 0.1gr o 0.1% de carga para prueba en el rango de uso,” [21].

1.7.2.1. Agregado Grueso o Mezclas de Agregado Fino y Grueso.

“Legible y precisa a 0.5gr o 0.1% de carga para prueba en el rango de uso” [21].

1.7.3 Tamices.

Aquellos que cumplen con las especificaciones de tamices de la Norma ASTM E11 y que la malla del tamiz se encuentra montada en un marco sólido previniendo así la pérdida de material. Se recomiendan tamices en marcos de 203.2mm de diámetro para el agregado grueso [21].

1.7.4. Agitador Mecánico de Tamices.

Es un dispositivo mecánico de tamizado, el cual crea movimiento en los tamices y provoca que reboten las partículas. Esto se recomienda cuando la muestra es igual o mayor a 20kg, y la ventaja de este se da porque se puede usar para muestras pequeñas de agregado fino, para esto se necesita un agitación mecánica de más de 10 minutos [21]. En la figura 14, se puede observar un agitador mecánico de tamices.



Figura 14. Agitador mecánico de tamices [21].

1.7.5. Muestreo de Granulometría.

Tamaño muestra se determina en ASTM D75. Se debe mezclar completamente la muestra y reducirla a cantidad adecuada para ensayo según Norma ASTM C702. Muestra de ensayo será la medida deseada cuando seque y será el resultado final de la reducción [21].

1.7.5.1. Agregado Fino.

“El tamaño de la muestra de ensayo, después del secado mínimo de 300gr” [21].

1.7.5.2. Agregado Grueso.

La tabla 3, indica la muestra de agregados para ensayo.

Tabla 3.

Muestra de agregados para ensayo.

Tamaño Máximo Nominal, Aberturas Cuadradas, mm, (pulg)	Tamaño de la Muestra de Ensayo, Mínima, Kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Nota: Tamaño de la muestra de ensayo. Fuente: [13].

1.7.5.3. Mezclas de Agregados Finos y Gruesos.

“El tamaño de la muestra de ensayo será el mismo que para el agregado grueso” [21].

1.7.5.4. Muestras de Agregado Grueso de Gran Tamaño.

El tamaño de la muestra requerido para agregados con un tamaño máximo nominal de 50mm o mayor es tal que imposibilita una reducción conveniente de la muestra y su prueba como una unidad excepto cuando se utilizan divisores mecánicos y agitadores grandes [21]. En la figura 15, se puede apreciar muestras de agregados gruesos de gran tamaño.



Figura 15. Mezclas de Agregados finos y gruesos [21].

“Para una cantidad de material más fino que el tamiz de 75 μ m (Nro.200) es determinada por el método de ensayo de la Norma ASTM C117, proceda como sigue” [21]:

- Para agregados con un tamaño máximo nominal de 12.5mm o menor, se usa la muestra de ensayo ASTM C117.
- Para agregados con un tamaño máximo nominal mayor de 12.5mm una muestra individual puede ser usada con la norma ASTM C117, con la diferencia de utilizar un agitador de tamizado con un tiempo de más de 10 minutos.
- Cuando las especificaciones requieran la determinación de la cantidad total de material más fino que 75 μ m por lavado y tamizado seco.

1.7.6. Medidas De Granulometría.

La tabla 4, muestra los nombres de los diferentes tamaños que se obtiene del caucho.

Tabla 4.

Tamaño de granulometría.

Producto	Tamaño	Fuente	Tecnología
Neumático entero (W)		Neumáticos enteros coche-camión	Mecánica (M)
Trozos (X)	> 300mm	Todas	Mecánica (M)
Tiras (shred)(S)	50-300mm	Todas	Mecánica (M)/ reducción a temperatura ambiente (A)
Astillas (chips)(C)	10-50mm	Todas	Mecánica (M)/ reducción a temperatura ambiente (A)
Granulado (G)	1-10mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/ criogénico (C)
Polvo (P)	<1mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/ criogénico (C)
Polvo fino (F)	<500µm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/ criogénico (C)/ recuperación (R)/ desvulcanización (D)
Buffins (B)	0-40mm	Neumáticos pisados camión-coche	Buffing (B)
Recuperado (Recaliming)(R)	Normalmente se suministra en bloques	Todas y granulado	Recuperación (R)
Desvulcanizado (D)	Depende del tamaño del polvo	Polvo de todas las fuentes	Reducción a temperatura ambiente (A)/ criogénico (C)/ desvulcanización (D)
Pirolítico (Y)	<10mm	Todas	Pirólisis (P)/buffing (B)/ reducción criogénica (C)
Productos de Carbón (Z)	<500µm	Pirolítico	Otras tecnologías

Fuente: [22].

Capítulo 2. Metodología

2.1. Parámetros Para Diseño.

Para el diseño de la máquina se tiene en consideración dimensiones del pedazo de caucho que ingresará en la máquina, haciendo relación a las llantas desechadas que se encuentran en nuestro medio. Además se tomará como punto de referencia datos técnicos de otros diseños de trituradores neumáticos, por tanto la tabla 5, indica los parámetros que el triturador tendrá:

Tabla 5.

Parámetros de diseño.

Datos Técnicos	Diseño Propuesto
Boca de Trituración (mm)	700*202
Ancho de Cuchillas (mm)	10
Número de Cuchillas	36
Revoluciones a trabajar	28
Dimensiones de Ingreso caucho Máxima (mm)	200*100*15

2.2. Selección de Alternativas Para la Máquina

2.2.1. Análisis Funcional

Técnica propuesta por el ingeniero estadounidense Lawrence D. Miles, cuyo objetivo es buscar nuevas soluciones y la mejor alternativa a un mismo problema. Para encontrar el diseño óptimo se debe establecer funciones primarias y secundarias del producto. Funciones primarias son aquellas por la que el cliente compra el producto, que para este trabajo es triturar pedazos de caucho desechados. Funciones secundarias son las que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente, las cuales se determinarán mediante el análisis [23].

Cuando se definan todas las funciones secundarias se plantean varias soluciones, para luego establecer las más convenientes. De esta manera las funciones son agrupadas obteniendo un diseño

modular el cual se lleva a cabo mediante diagramas de flujo, en los que en cada recuadro aparece cada función, que puede tener 3 tipos de entradas y salidas: control, materia y energía. Los diagramas de flujo se presentan en diferentes niveles, empieza con nivel 0, y continua hasta el nivel que se estime conveniente, las funciones se desglosarán como sean necesarias para cumplir con el objetivo del proyecto que para este caso será triturar un pedazo de caucho, teniendo en cuenta que se implementarán acciones implícitas que no se especificaron en un nivel anterior, siendo fundamentales para un buen funcionamiento de la máquina [23].

2.2.2. Definición Modular con sus Respectivas Funciones

Figura 16 muestra nivel 0, comprende 3 entradas y 1 salida como se mira a continuación.

Nivel 0

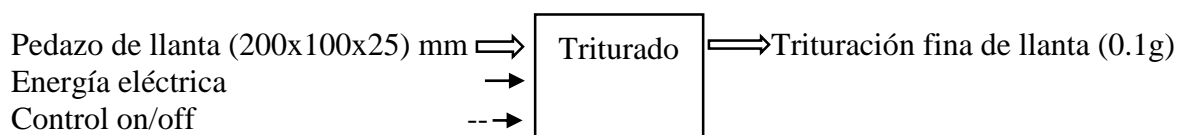


Figura 16. Diagrama de flujo nivel 0 máquina trituradora de caucho.

Figura 17 presenta nivel 1, indica 5 funciones con sus respectivas entradas y salidas.

Nivel 1

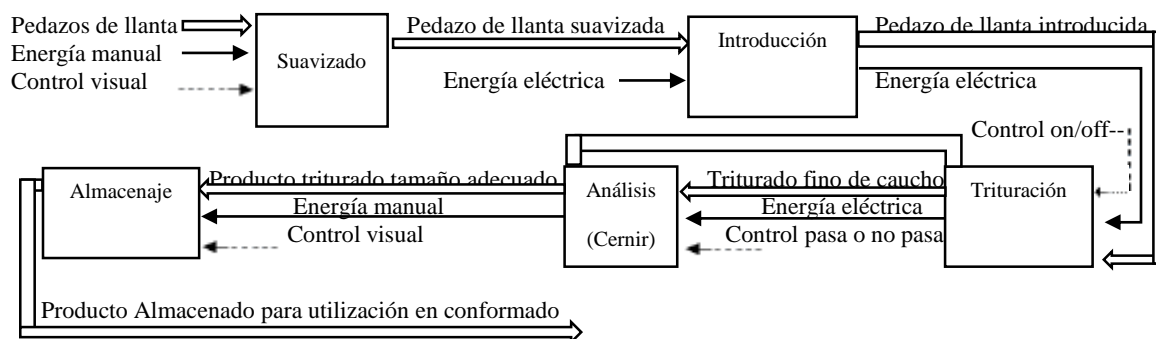


Figura 17. Diagrama de flujo nivel 1 máquina trituradora de caucho.

Figura 18 muestra nivel 2, a continuación se puede observar la distribución de la división modular.

Nivel 2

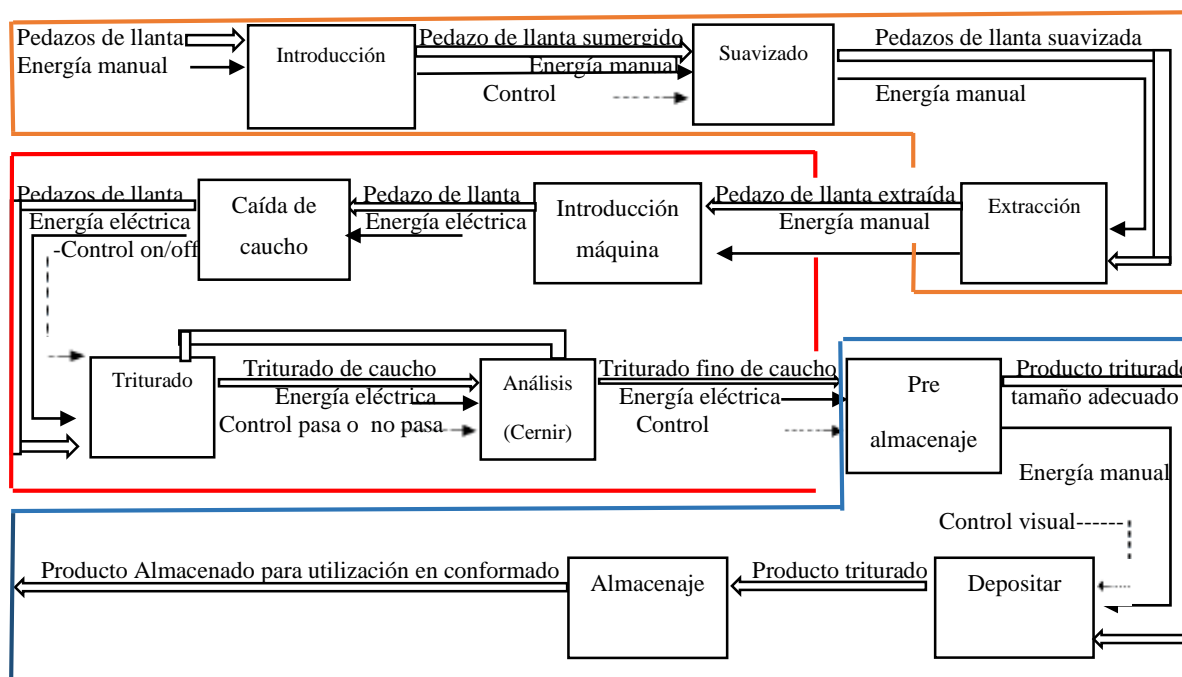


Figura 18. Diagrama de flujo nivel 2 máquina trituradora de caucho.

La tabla 6, indica la equivalencia de color según la división modular.

Tabla 6.

Equivalencia de división modular.

Color	Módulo
	1
	2
	3

2.2.2.1. División Modular.

Módulo 1: Suavizado

Este módulo cumple con las funciones de introducción, suavizado y extracción.

Introducción

Esta tarea se realiza de manera manual, consiste en tomar un pedazo de llanta con las dimensiones necesarias y colocar en un recipiente. Figura 19, indica la materia prima a introducir.



Figura 19. Ovillanta, trampa hecha de llantas para acabar con el zika [24].

Suavizado

Existen algunas opciones de suavizado que se exponen a continuación:

Agua caliente

La figura 20, muestra un recipiente con agua caliente.

Ventajas

- No es costoso.
- Es fácil de aplicar.
- Suaviza lo necesario según la actividad a realizar.

Desventajas

- Si no existe mucho cuidado la persona podría sufrir quemaduras.



Figura 20. Recipiente con agua caliente [25].

Queroseno

Figura 21, muestra un contenido de queroseno.

Ventajas

- Mejor suavizado.
- Es fácil de aplicar.
- Suaviza lo necesario según la actividad a realizar.

Desventajas

- Se realiza un pre-suavizado que comprende 3 días, para luego colocar el queroseno.
- Tiene un costo aproximado de 40\$ por 20 litros.



Figura 21. Queroseno [26].

Pintura y Combustible

Figura 22, muestra el combustible y figura 23, indica la pintura.

Ventajas

- Mejor suavizado.
- Es fácil de aplicar.
- Suaviza lo necesario según la actividad a realizar.

Desventajas

- Deben mezclarse una parte de pintura y combustible, además se debe tener a mano un rodillo y se debe aplicar 2 capas para lograr el suavizado.
- Se debe invertir en gastos como el de pintura, combustible y rodillo.



Figura 22. Bidones de combustible [27].



Figura 23. Pintura [28].

Aceite Ablandador

Figura 24, muestra el aceite WD-40.

Ventajas

- Es fácil de aplicar.
- Suaviza lo necesario según la actividad a realizar.

Desventajas

- Su costo es de 5 dólares americanos por cada 200ml.



Figura 24. Afloja todo WD-40 [29].

Extracción

Para cumplir con esta función el método manual es adecuado, donde él operario estará encargado de extraer la materia prima. Figura 25, muestra como el operario extrae la materia prima.



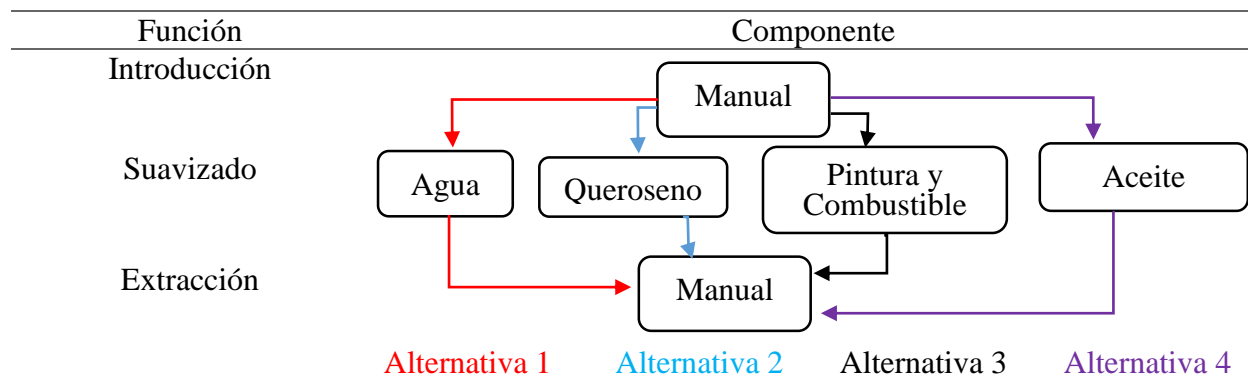
Figura 25. Alerta vival sobre mal uso de neumáticos [30].

Alternativas de Soluciones del Módulo 1

Tabla 7, presenta las alternativas de soluciones del módulo 1.

Tabla 7.

Alternativas de soluciones módulo 1 trituradora de caucho.



A continuación, se presenta las alternativas del módulo 1. Las figuras 26, 27, 28 y 29 muestran las alternativas 1, 2, 3 y 4 respectivamente.



Figura 26. Alternativa 1 módulo 1.



Figura 27. Alternativa 2 módulo 1.

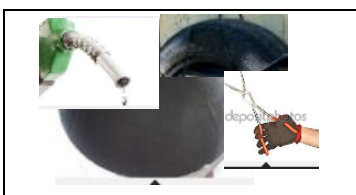


Figura 28. Alternativa 3 módulo 1.



Figura 29. Alternativa 4 módulo 1.

Evaluación y Selección de Módulos

Los criterios más determinantes son:

- Manejable, que pueda ser manipulado de fácil manera la materia prima.
- Costos, los cuales tienen que ver con el precio que tendrá cada solución.

- Fiabilidad, que tenga la debida suavidad según requerimientos para ser triturado.
- Medio ambiente, lo cual consiste en colaboración con el medio ambiente.

La tabla 8, presenta la evaluación y selección del módulo 1.

Tabla 8.

Evaluación de criterios módulo 1.

	Manejable	Costos	Fiabilidad	Medio Ambiente	$\Sigma+1$	Ponderación
Manejable		0	0	0	1	0,10
Costos	1		0,5	1	3,5	0,35
Fiabilidad	1	0,5		1	3,5	0,35
Medio Ambiente	1	0	0		2	0,20
				Suman	10	1
Costos = Fiabilidad > Medio Ambiente > Manejable						

Las Tablas 9, 10, 11, 12 y 13, muestran las soluciones para los criterios manejables, costos, fiabilidad y de medio ambiente respectivamente.

Tabla 9.

Evaluación de solución respecto al criterio manejable.

Manejable	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	0,5	3,5	0,35
Solución 2	0		1	0	2,0	0,20
Solución 3	0	0		0	1	0,10
Solución 4	0,5	1	1		3,5	0,35
				Suman	10	1
Solución 1 = Solución 4 > Solución 2 > Solución 3						

Tabla 10.*Evaluación de solución respecto al criterio de costos.*

Costos	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	1	4	0,40
Solución 2	0		1	0	2,0	0,20
Solución 3	0	0		0	1	0,10
Solución 4	0	1	1		3	0,30
				Suman	10	1
	Solución 1 > Solución 4 > Solución 2 > Solución 3					

Tabla 11.*Evaluación de solución respecto al criterio de fiabilidad.*

Fiabilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	1	4	0,40
Solución 2	0		1	0,5	2,5	0,25
Solución 3	0	0		0	1	0,10
Solución 4	0	0,5	1		2,5	0,25
				Suman	10	1
	Solución 1 > Solución 4 = Solución 2 > Solución 3					

Tabla 12.*Evaluación de solución respecto al criterio del medio ambiente.*

Medio Ambiente	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	1	4	0,40
Solución 2	0		0,5	0,5	2,0	0,20
Solución 3	0	0,5		0,5	2	0,20
Solución 4	0	0,5	0,5		2	0,20
				Suman	10	1
	Solución 1 > Solución 4 = Solución 2 = Solución 3					

La tabla 13, indica la conclusión final del módulo 1:

Tabla 13.

Conclusiones para el módulo 1.

Conclusiones	Manejable	Costos	Fiabilidad	Medio Ambiente	Σ	Prioridad
Solución 1	0,35*0,10	0,40*0,35	0,40*0,35	0,40*0,20	0,395	1
Solución 2	0,20*0,10	0,20*0,35	0,25*0,35	0,20*0,20	0,2175	3
Solución 3	0,10*0,10	0,10*0,35	0,10*0,35	0,20*0,20	0,12	4
Solución 4	0,35*0,10	0,30*0,35	0,25*0,35	0,20*0,20	0,2675	2

Según la tabla de conclusiones la solución ideal para el módulo 1 es la alternativa 1.

Módulo 2: Análisis y Triturado

Este módulo cumple con las funciones de introducción máquina, caída de caucho, triturado, cernir.

Introducción máquina

La manera más práctica de realizar esta tarea es de manera manual, lo cual consiste en tomar el pedazo de llanta suavizada y colocar en la máquina. Figura 30, indica que la materia prima a ingresar es una parte del neumático.



Figura 30. Los peligrosos pedazos de llanta en carreteras [31].

Caída de Caucho

Se pueden establecer tres posibles soluciones las cuales son:

Tolva Rectangular

Figura 31, representa una tolva rectangular.

Ventajas

- Permite el paso del material sin ningún inconveniente.
- Facilidad de construcción.

Desventajas

- El material llega de forma dispersa.

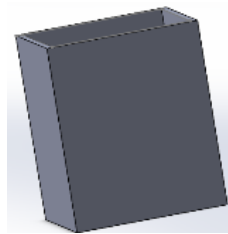


Figura 31. Tolva rectangular.

Tolva Trapezoidal

En la figura 32, muestra tolva trapezoidal.

Ventajas

- El material llega de una forma concentrada.
- Ayuda a una trituración más rápida.

Desventajas

- Necesita mayor tiempo para el mantenimiento.

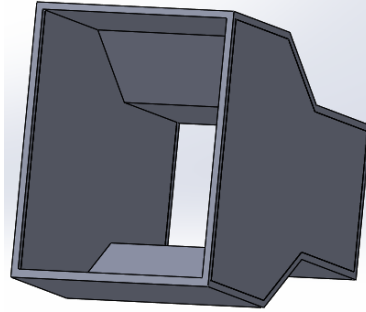


Figura 32. Tolva trapezoidal.

Tolva Mixta

Figura 33, muestra una tolva mixta.

Ventajas

- Su aspecto es más ergonómico.
- Ayuda a una trituración más rápida.
- Evita que las partículas trituradas salgan durante la alimentación de la materia prima.

Desventajas

- Necesita mayor tiempo para el mantenimiento.
- Su fabricación es complicada y costosa que los anteriores modelos.

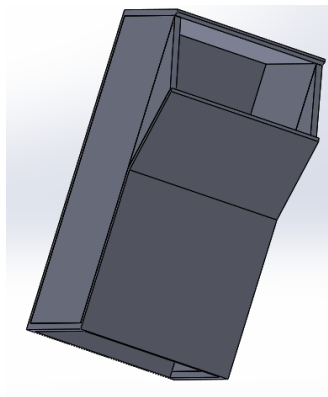


Figura 33. Tolva mixta.

Triturado

Se considerará 3 opciones para triturar, según cuchillas rotativas son las siguientes:

Sistema de corte de 1 eje

En la figura 34, se puede observar una trituradora de 1 eje.

Ventajas

- Su fabricación es menos costosa.

Desventajas

- La sección de corte no sería muy útil para la obtención de granulometría fina.
- Su trituración sería realizada en un tiempo relativamente alto.



Figura 34. Trituradora de 1 eje [32].

Sistema de corte de 2 ejes

Figura 35, muestra una trituradora de 2 ejes.

Ventajas

Dispositivo con cuchillas independientes.

- Soporta grandes esfuerzos en el momento de corte.
- Al trabajar con bajas revoluciones no generará modificaciones en los neumáticos.

Desventajas

- Su trituración sería en un tiempo alto.
- Requiere de un proceso de re trituración.



Figura 35. Trituradora de 2 ejes [33].

Sistema de corte de 4 ejes

Figura 36, presenta una trituradora de 4 ejes.

Ventajas

- Dispositivo con cuchillas independientes.
- Soporta grandes esfuerzos en el momento de corte.
- Su tiempo de trituración es el mínimo posible y obtiene granulometría fina.
- Al trabajar con bajas revoluciones no generará modificaciones en los neumáticos.

Desventajas

- Necesita mayor tiempo para el mantenimiento.
- Su fabricación es complicada y costosa que los anteriores modelos.



Figura 36. Trituradora de 4 ejes [34].

Cernir

Se pueden establecer tres posibles soluciones las cuales son:

Criba plana

En la figura 37, se muestra una criba plana.

Ventajas

- Fácil fabricación.
- Manejable en el montaje y desmontaje de la criba.

Desventajas

- El material podría taparse en los extremos más lejanos del eje o ejes.
- No existe recirculación.



Figura 37. Criba plana [7].

Criba media luna

Figura 38, muestra una criba media luna.

Ventajas

- No se desperdicia el material debido a su geometría circular.
- Existe recirculación.
- Manejable en el montaje y desmontaje de la criba.

Desventajas

- La separación entre eje y criba debe estar bien definida.
- Debe estar correctamente centrado.



Figura 38. Criba media luna.

Criba de cuádruple media luna

En la figura 39, se puede observar una criba cuádruple de media luna.

Ventajas

- Mayor velocidad de trituración.
- Existe mayor recirculación respecto a las demás cribas.
- Manejable en el montaje y desmontaje de la criba.

Desventajas

- La separación entre eje y criba debe estar bien definida.
- Debe estar correctamente centrado.
- Mayor dificultad de construcción.

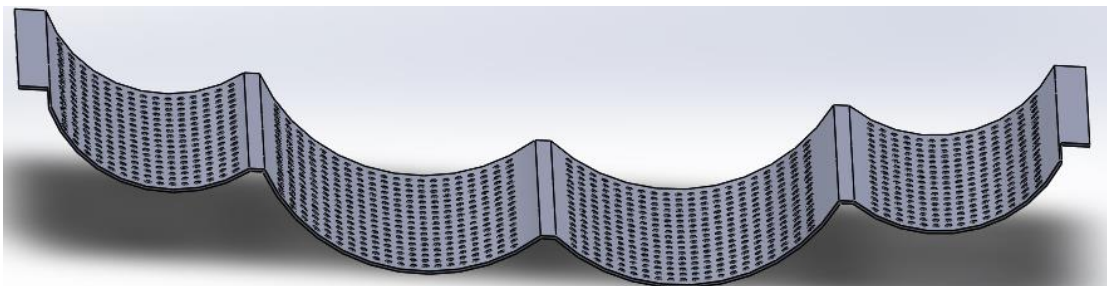


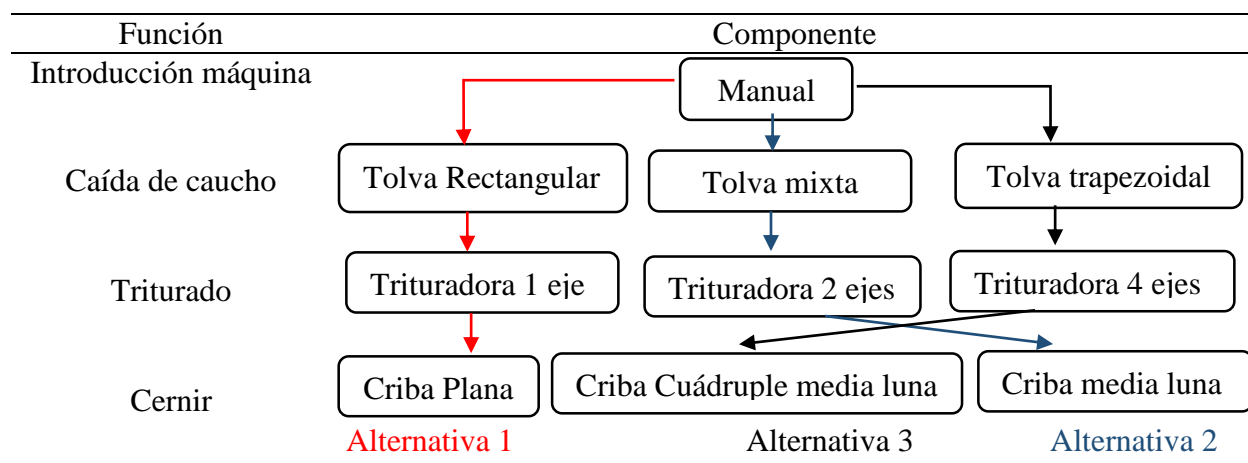
Figura 39. Criba cuádruple media luna.

Alternativas de soluciones del módulo 2

Tabla 14, presenta las alternativas de soluciones del módulo 2

Tabla 14.

Alternativas de soluciones módulo 2 trituradora de caucho.



A continuación, se presenta las alternativas del módulo 2. Las figuras 40, 41, y 42 muestran las alternativas 1, 2, y 3 respectivamente.

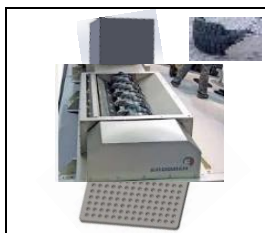


Figura 40. Alternativa 1 módulo 2.

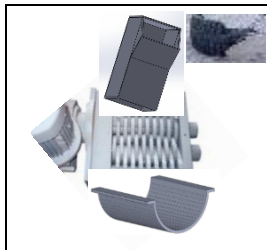


Figura 41. Alternativa 2 módulo 2.

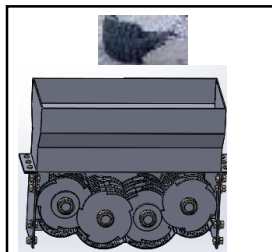


Figura 42. Alternativa 3 módulo 2.

Evaluación y Selección de Módulos

Los criterios más determinantes son:

- Velocidad, que pueda triturar en el menor tiempo posible la materia prima ingresada a la cámara de trituración.
- Alcance, tamaño adecuado de granulometría para el proceso de trituración y ser utilizado en la conformación de productos.
- Utilidad, aprovecha al máximo su materia prima con proceso de recirculación y sin desperdicio.
- Mantenimiento, lo cual consiste en la frecuencia que se debe hacer una limpieza a los diferentes elementos que comprenden este módulo.

Tabla 15, representa la evaluación de criterios del módulo 2.

Tabla 15.*Evaluación de criterios módulo 2.*

	Velocidad	Alcance	Utilidad	Mantenimiento	$\sum+1$	Ponderación
Velocidad		0	0	1	2	0,20
Alcance	1		0,5	1	3,5	0,35
Utilidad	1	0,5		1	3,5	0,35
Mantenimiento	0	0	0		1	0,10
				Suman	10	1
Utilidad = Alcance > Velocidad > Mantenimiento						

Las tablas 16, 17, 18 y 19 presentan la evaluación de soluciones para los criterios de velocidad, alcance, utilidad y mantenimiento respectivamente.

Tabla 16.*Evaluación de solución respecto al criterio de velocidad.*

Velocidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		0	2	0,33
Solución 3	1	1		3	0,50
			Suman	6	1
Solución 3 > Solución 2 > Solución 1					

Tabla 17.*Evaluación de solución respecto al criterio de alcance.*

Alcance	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		0	2	0,33
Solución 3	1	1		3	0,50
			Suman	6	1
Solución 3 > Solución 2 > Solución 1					

Tabla 18.*Evaluación de solución respecto al criterio de utilidad.*

Utilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,16
Solución 2	1		0,5	2,5	0,42
Solución 3	1	0,5		2,5	0,42
			Suman	6	1
Solución 3 = Solución 2 > Solución 1					

Tabla 19.*Evaluación de solución respecto al criterio de mantenimiento.*

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,50
Solución 2	0		0,5	1,5	0,25
Solución 3	0	0,5		1,5	0,25
			Suman	6	1
Solución 1 > Solución 2 = Solución 3					

Se presenta la tabla 20 con la conclusión final del módulo 2.

Tabla 20.*Conclusiones para el módulo 2.*

Conclusiones	Velocidad	Alcance	Utilidad	Mantenimiento	\sum	Prioridad
Solución 1	0,17*0,20	0,17*0,35	0,16*0,35	0,50*0,10	0,1995	3
Solución 2	0,33*0,20	0,33*0,35	0,42*0,35	0,25*0,10	0,3535	2
Solución 3	0,50*0,20	0,50*0,35	0,42*0,35	0,25*0,10	0,447	1

Según la tabla de conclusiones la solución ideal para el módulo 3 es la alternativa 3.

Módulo 3: Almacenaje

Este módulo cumple con las funciones de pre almacenaje, depositar y almacenaje.

Pre almacenaje

Para esta actividad se tiene lo siguiente:

Almacenamiento Fijo

Figura 43, muestra un recipiente de almacenamiento fijo.

Ventajas

- Fácil diseño.
- Gran capacidad de almacenamiento.

Desventajas

- No permite la movilidad del recipiente.

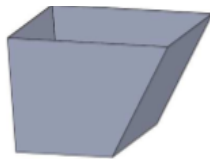


Figura 43. Almacenamiento fijo [7].

Almacenamiento con Ruedas

En la figura 44, se puede observar un recipiente con almacenaje de ruedas.

Ventajas

- Gran capacidad de almacenamiento.
- Facilidad de transportar

Desventajas

- Mayor esfuerzo para transportar el material triturado.



Figura 44. Almacenamiento con ruedas [7].

Almacenamiento con Rieles

Figura 45, muestra un recipiente con rieles para el almacenaje del producto final.

Ventajas

- Gran capacidad de almacenamiento.
- Facilidad de transportar

Desventajas

- Mayor costo al fabricar.
- Ocupa espacio adicional.
- Mantenimiento con mayor frecuencia.

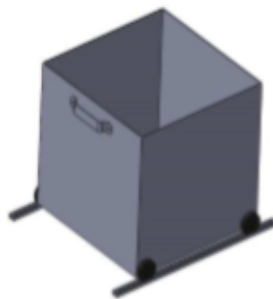


Figura 45. Almacenamiento con rieles [7].

Depositatar

Esta tarea se realiza manualmente, y consiste en tomar el material triturado para depositar en el recipiente de almacenaje final. Figura 46, muestra el granulado en un recipiente.



Figura 46. Granulado en recipiente [35].

Almacenaje

En esta actividad se tomará 3 formas de almacenarlas las cuales son las siguientes:

Recipiente cilíndrico

En la figura 47, se puede observar un recipiente cilíndrico.

Ventajas

- Gran capacidad de almacenamiento.
- Fácil diseño.
- Fácil mantenimiento.

Desventajas

- Poca colaboración con la ergonomía del ser humano.

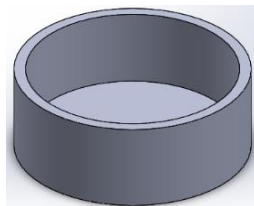


Figura 47. Recipiente cilíndrico.

Recipiente rectangular

Figura 48, muestra un recipiente rectangular.

Ventajas

- Gran capacidad de almacenamiento.
- Fácil diseño.
- Fácil mantenimiento.

Desventajas

- Poca colaboración con la ergonomía del ser humano.
- En sus extremos el producto final sería un poco tedioso extraer el material para ser utilizado en el proceso de conformado.

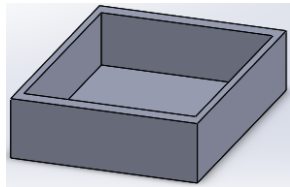


Figura 48. Recipiente rectangular.

Recipiente Trapezoidal

En la figura 49, se puede observar un recipiente trapezoidal.

Ventajas

- Gran capacidad de almacenamiento.
- Colaboración con la ergonomía del ser humano.

Desventajas

- Mayor tiempo en el mantenimiento del recipiente.

- En sus extremos el producto final sería un poco tedioso extraer el material para ser utilizado en el proceso de conformado.



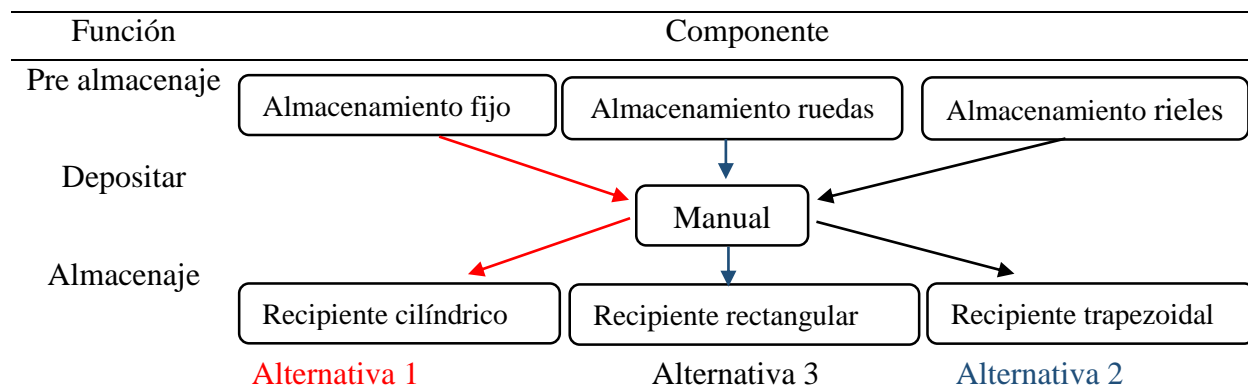
Figura 49. Recipiente trapezoidal.

Alternativas de soluciones del módulo 3

Tabla 21, muestra las alternativas de soluciones para el módulo 3.

Tabla 21.

Alternativas de soluciones módulo 3 trituradora de caucho.



A continuación, se presenta las alternativas del módulo 3. Las figuras 50, 51, y 52 muestran las alternativas 1, 2, y 3 respectivamente.

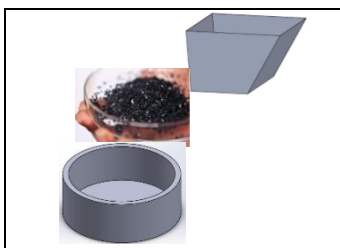


Figura 50. Alternativa 1 módulo 3.

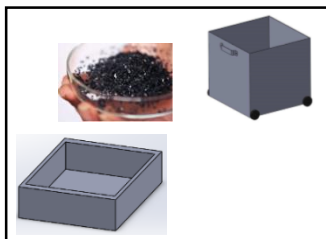


Figura 51. Alternativa 2 módulo 3.



Figura 52. Alternativa 3 módulo 3.

Evaluación y Selección de Módulos

Los criterios más determinantes son:

- Velocidad, con la que se pueda almacenar y extraer en el recipiente el producto final.
- Alcance, capacidad de almacenaje.
- Mantenimiento, lo cual consiste en la frecuencia que se debe hacer una limpieza.

Tabla 22, presenta la evaluación de criterios del módulo 3.

Tabla 22.

Evaluación de criterios módulo 3.

	Velocidad	Alcance	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Velocidad		0	0	1	0,17
Alcance	1		1	3	0,50
Mantenimiento	1	0		2	0,33
			Suman	6	1
	Alcance > Mantenimiento > Velocidad				

Las tablas 23,24 y 25 representan las evaluaciones respecto a los criterios de velocidad, alcance y mantenimiento.

Tabla 23.

Evaluación de solución respecto al criterio de velocidad.

Velocidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1	2,5	0,42
Solución 2	0,5		1	2,5	0,42
Solución 3	0	0		1	0,16
			Suman	6	1
	Solución 2 = Solución 1 > Solución 3				

Tabla 24.

Evaluación de solución respecto al criterio de alcance.

Alcance	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1	2,5	0,42
Solución 2	0,5		1	2,5	0,42
Solución 3	0	0		1	0,16
			Suman	6	1
	Solución 1 = Solución 2 > Solución 3				

Tabla 25.

Evaluación de solución respecto al criterio de mantenimiento.

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,50
Solución 2	0		1	2	0,33
Solución 3	0	0		1	0,17
			Suman	6	1
	Solución 1 > Solución 2 > Solución 3				

En la tabla 26 se encuentra la conclusión final para el módulo 3.

Tabla 26.

Conclusiones para el módulo 3.

Conclusiones	Velocidad	Alcance	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Solución 1	0,42*0,17	0,42*0,50	0,50*0,33	0,4464	1
Solución 2	0,42*0,17	0,42*0,50	0,33*0,33	0,3903	2
Solución 3	0,16*0,17	0,16*0,50	0,17*0,33	0,1633	3

Según la tabla de conclusiones la solución ideal para el módulo 3 es la alternativa 1.

Finalmente la solución óptima para el proceso se muestra en la tabla 27.

Tabla 27.

Solución para construcción de trituradora de caucho.

Alternativa 1 Módulo 1	Alternativa 3 Módulo 2	Alternativa 1 Módulo 3
		

Figura 53, muestra la máquina ensamblada según la opción óptima.

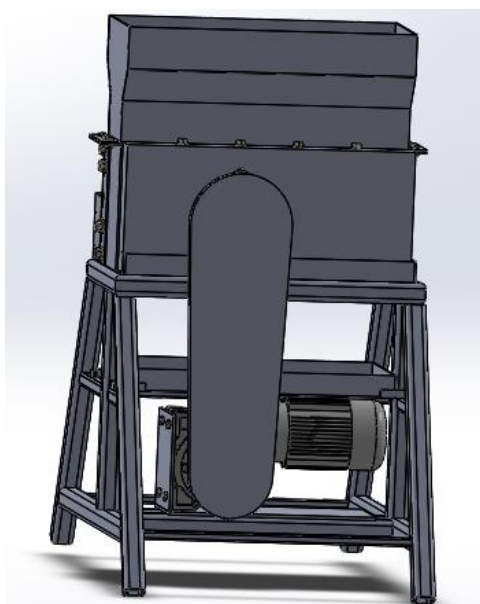


Figura 53. Diseño de máquina trituradora.

2.3. Diseño de Elementos Mecánicos Para la Trituración de Caucho

2.3.1. Determinación de Torque Requerido

Para encontrar el torque requerido se tomó el dato de la fuerza según el ensayo desgarro tipo pantalón realizado en el Laboratorio LEMAT (ESPOL) $F_{cizalla} = 558.91 \text{ N}$ [4], la cual será necesaria para desgarrar caucho; se considero $\rho_{neumático} = 930 \text{ kg/m}^3$, $m_{neumático} = 1.4 \text{ kg}$ y $V_{neumático} = 0.002 \text{ m}^3$; además se considerará el área de las cuchillas $A_{cuch} = 0.035 \text{ m}^2$ y el número de las mismas alojadas en el eje. De esta manera se reemplazará en la ecuación (1) [36].

$$T = F * d \quad (1)$$

Se obtuvo un torque de $218.151 \text{ N} * \text{m}$, este dato será tomado para encontrar la potencia requerida del motor, además se tomará como referencia la velocidad a la que debe trabajar la máquina según los fabricantes, la velocidad puede ser desde 15 hasta 32 rpm [9], [4]. Para lo cual esta máquina trabajará a una velocidad de 26 rpm y utilizará la fórmula (2) [36].

$$P_{\text{máx}} = T * W \quad (2)$$

Se obtuvo como resultado una potencia de motor de $0.797 \text{ hp} = 593.962 \text{ Watt}$.

2.3.2. Diseño de Eje Transmisión

Se tomará en cuenta material a utilizar, forma geométrica, rigidez y resistencia. Para la selección de material se tomó la referencia de otros fabricantes, y lo que existe en el mercado nacional. Por lo tanto se eligió el Acero AISI 4340, también conocido como E705.

Tabla 28.

Propiedades mecánicas del acero 4340.

Diámetro (mm)	Límite de fluencia (N/mm^2)	Resistencia a la tracción (N/mm^2)
≤ 16	1000	1200 – 1400
$\leq 16 \leq 40$	900	1100 – 1300
$\leq 40 \leq 100$	800	1000 – 1200

Fuente: [37].

En el cálculo de masa de cuchillas se tomará la densidad de acero del material a utilizar, DF-2 o Böhler K460 (Acero AISI 1045 estirado en frío) $\delta_{\text{acero}} = 7860 \text{ kg/m}^3$. También se considera las dimensiones de cuchillas $D_{\text{ext}}=214 \text{ mm}$, $D_{\text{int}}=40 \text{ mm}$, $\text{espcuch}=10 \text{ mm}$, y total de las mismas (9 cuchillas) en el eje, para emplear en la ecuación (3) [36]:

$$m = \delta * V \quad (3)$$

La masa total de cuchillas al emplear la fórmula dio un resultado de $m_{\text{tcuch}} = 24.555 \text{ kg}$.

En el cálculo de masa de los separadores se tomará la densidad de acero del material a utilizar, DF-2 o Böhler K460 (Acero AISI 1045 estirado en frío) $\delta_{\text{acero}} = 7860 \text{ kg/m}^3$. También se considera las dimensiones de los separadores $D_{\text{ext}}=106 \text{ mm}$, $D_{\text{int}}=40 \text{ mm}$, $\text{esps}=10 \text{ mm}$, y total de los mismos (9 separadores) en el eje, para emplear en la ecuación (3). De esta manera se obtuvo una masa total de los separadores igual a $m_{\text{ts}} = 5.472 \text{ kg}$.

Con el resultado de masas de cuchillas y separadores al sumar estos ($m_{\text{total}} = 30.027 \text{ kg}$) se procederá a obtener el peso total el cual se obtendrá con la fórmula (4) [36]:

$$w = m * g \quad (4)$$

Se obtuvo un peso total de $w_{\text{total}} = 294.264 \text{ N}$. Este peso total se tomará para la carga distribuida. Donde L_1 es la longitud del eje $L_1 = 0.182 \text{ m}$. Con estos datos se procede a aplicar la fórmula (5) [36]:

$$q = w/L \quad (5)$$

Al reemplazar los datos de esta fórmula se obtuvo $q = 1.617 * 10^3 \text{ N/m}$

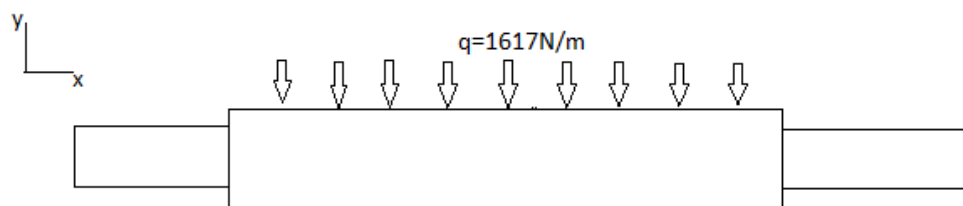


Figura 54. Diagrama de carga separadores y cuchillas.

2.3.2.1. Análisis Sistema de Transmisión.

El sistema contará con motorreductor conectado a una transmisión de cadena con rueda dentada. Selección del motorreductor se debe tomar en cuenta:

- Potencia 0.797 hp = 0.594 kWatt
- Torque requerido 218.151 N * m.
- Velocidad requerida n=31 rpm.
- Condiciones de trabajo (Máquina Trituradora).
 - Temperatura de trabajo 15-40°C.
 - Trabajo al día 8 horas diarias.

Eficiencia Dinámica

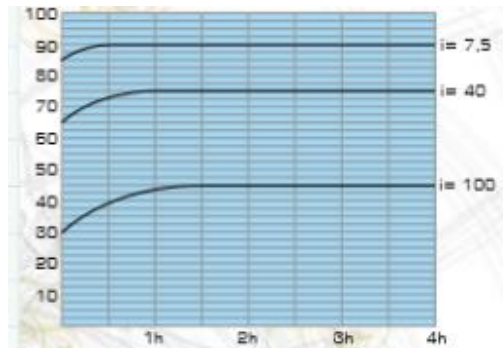


Figura 55. Rendimiento dinámico [38].

Para determinar la eficiencia dinámica se utilizará la fórmula (6) obtenida en [38].

$$efd = P_{m\acute{a}x} * 1.40 \quad (6)$$

De esta manera se obtuvo una eficiencia dinámica de $efd = 0.832$ kW , además se tendrá un factor de servicio $F_s = 1.25$, finalmente para encontrar la potencia máxima y torque máximo total con la que se seleccionará el motorreductor se aplicará las siguientes fórmulas:

$$P = F_s * efd \quad (7)$$

$$T_{total} = F_s * T \quad (8)$$

Ecuación (7) indica $P_{\text{máxtotal}} = 1.039 \text{ kW}$, y (8) indica $T_{\text{máxtotal}} = 272.688 \text{ N} \cdot \text{m}$. Al tener torque y potencia se procede a la selección del motorreductor el cual se encuentra en el anexo 6. Al revisar este anexo se determinó un motorreductor con una potencia de 1,1 kW o 1,5 hp, torque 274.3 N*m y velocidad 28 rpm.

Factores para potencia corregida fórmulas y gráficos en [36], [39]. Donde $Z_1=27$, número de dientes para piñón de salida del motor. $Z_2=31$, número de dientes para piñón de entrada del eje.

Coeficiente K_1

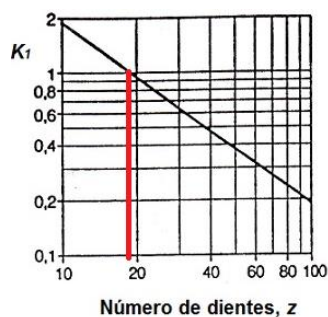


Figura 56. Coeficiente k_1 factores de potencia corregida [39].

Mediante la figura 56, se puede determinar el coeficiente k_1 , sin embargo para obtener un valor con mayor exactitud se aplicará la fórmula (9) [39].

$$K_1 = 19/Z_1 \quad (9)$$

Al aplicar esta fórmula se obtiene un valor de $K_1 = 0.704$.

Coeficiente K_2

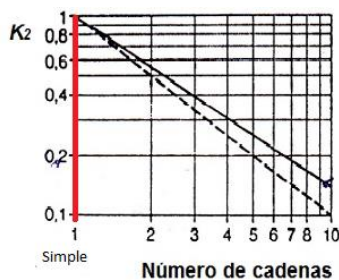


Figura 57. Coeficiente k_2 factores de potencia corregida [39].

La figura 57 indica, que la línea punteada es para cadena triple, línea de color negro es para una cadena doble y que la simple será 1. Al escoger una cadena simple $K_2=1$.

Coefficiente K_3

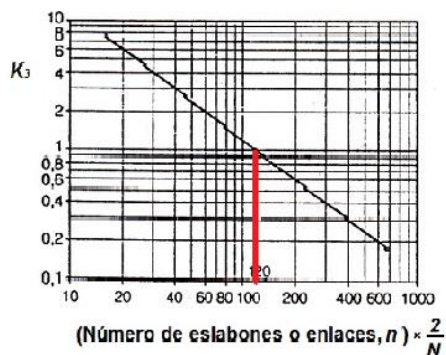


Figura 58. Coeficiente k_3 factores de potencia corregida [39].

Al observar la figura 58, se puede determinar que aproximadamente $K_3 = 1.04$.

Coefficiente K_4

Para este coeficiente se observará en el anexo 5 el cual nos indica que $K_4 = 1.3$.

Coefficiente K_5

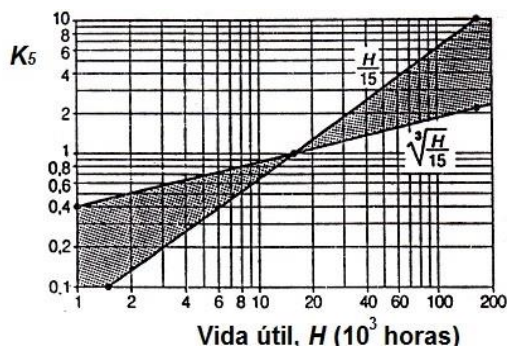


Figura 59. Coeficiente k_5 factores de potencia corregida [39].

En el gráfico 59, se puede determinar que $K_5 = 1$. Por tanto se procederá a encontrar la potencia corregida con la fórmula (10) [39]:

$$P_c = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * P \quad (10)$$

Potencia corregida $P_c = 1.047 \text{ kW}$ ó 1.403 hp .P es potencia del motor seleccionado.

2.3.2.2. Selección de Cadena.

En la figura 60, se puede observar la clasificación de las cadenas.

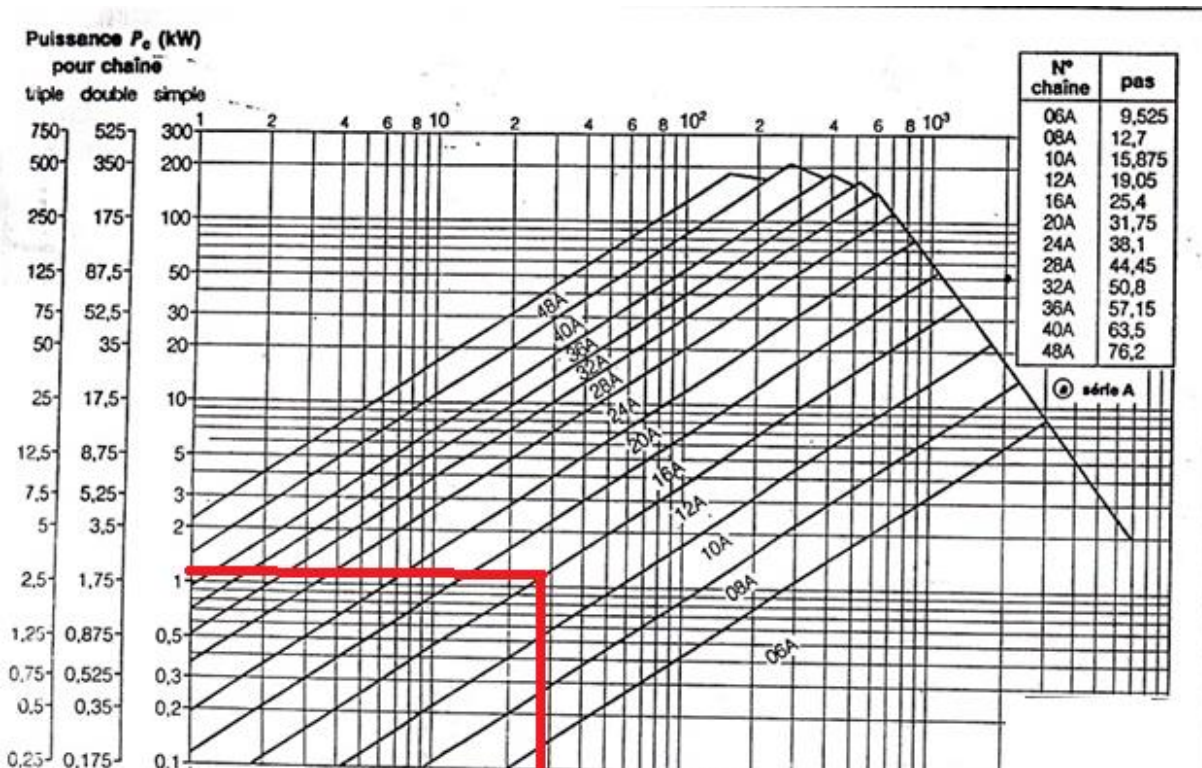


Figura 60. Diagrama de selección de cadenas de transmisión de potencia serie americana [39].

Según el gráfico 60 la cadena a utilizar es 12A la cual tiene un paso (Pas) de 19.05mm, el cual en norma ANSI sería una cadena número 60 [40]. La siguiente fórmula se encuentra en [39].

$$Dp = \frac{\text{Pas}}{\sin(\pi/Z)} \quad (11)$$

Al aplicar esta fórmula se obtiene $Dprp = 164.093\text{mm}$ y $Dprg = 188.3\text{mm}$. La relación torque y velocidad respecto a ruedas obtenidas por cadena de transmisión según fórmulas [36].

$$T_{cor} = \frac{T * Dp1}{Dp2} \quad (12)$$

El resultado del torque corregido es $T_{cor} = 314.765 \text{ N} * \text{m}$.

$$n_{cor} = (n * T) / T_{cor} \quad (13)$$

El resultado de la velocidad corregida es $n_{cor} = 27.015 \text{ rpm}$.

Cálculo de longitud de cadena

La distancia entre centros $O_{102} = 771.43\text{mm}$, además se toma los radios de rueda mayor $R_{rg} = 94.15\text{mm}$ y menor $R_{rp} = 82.05\text{mm}$, luego se aplicará las siguientes fórmula [39]:

$$\beta = \sin\left(\frac{R_{rp} - R_{rg}}{O_{102}}\right)^{-1} \quad (14)$$

$$L_{cad} = \left(\frac{Z_1 + Z_2}{2}\right) + \left((Z_2 - Z_1) * \left(\frac{\beta}{\pi}\right)\right) + (O_{102}) * (\cos(\beta)) * \left(\frac{2}{Pas}\right) * Pas \quad (15)$$

Fórmula (14) indica $\beta = 0.02\text{rad}$, se procede a reemplazar los parámetros en la fórmula (15) la cual indica longitud de cadena $L_{cad} = 1.754\text{m} = 1754\text{mm}$, por tanto $N_{eslabones} = 92$.

Velocidad lineal de la cadena según el piñón [39].

$$V_{cad} = Pas * Z_1 * n/60 \quad (16)$$

Fórmula (16) indica $V_{cad} = 0.266\text{m/s}$. Esta velocidad puede soportar la cadena como se observa en el anexo 7. Se procede a encontrar esfuerzo útil y fuerza centrífuga, fórmulas en [39].

$$F_{uc} = P/V_{cad} \quad (17)$$

Esfuerzo útil $F_{uc} = 3938\text{N}$, del anexo 8 se tomará $M_{cad} = 1.25\text{kg/m}$, y $CR = 28910\text{N}$.

$$F_{cc} = M_{cad} * V_{cad}^2 \quad (18)$$

Fórmula (18) indica $F_{cc} = 0.09\text{N}$. Esfuerzo total comprende fuerza centrífuga y esfuerzo útil ($F_{otc} = 3938.09\text{N}$). Con dicho dato se encontrará el coeficiente de seguridad de cadena [39].

$$C_{scad} = CR/F_{otc} \quad (19)$$

Se tiene un coeficiente de seguridad de 7.34. Se toma del anexo 8 $D_{percad} = 5.72\text{mm}$, $I_{percad} = 22.70\text{mm}$ y se utiliza en la siguiente fórmula [39].

$$P_s = F_{otc}/(D_{percad} * I_{percad}) \quad (20)$$

Al ser $P_s = 30.33\text{MPa}$ menor que la presión máxima de la cadena la cual es de 45MPa según lo indicado en el anexo 9, nos indica que es la cadena ideal para esta actividad.

2.3.2.3. Diseño de Engranajes.

El diente de un engranaje trabaja a flexión, por lo tanto se calculará como si un solo diente soportará el esfuerzo tangencial, para resolver cálculos en casos normales de engranajes se tomará las fórmulas generales, siendo suficientes para este trabajo considerando que están basados en los principios generales de Lewis [41]. Por facilidad de fabricación se utilizará un ángulo de presión ($\beta_1=20^\circ$). Se tiene $d_c=160.5\text{mm}$, tomado del diseño de carcasa. $D_p=d_p$, ya que no habrá aumento de torque o velocidad. Con los valores expuestos se procede a utilizar la siguiente fórmula [42]:

$$d_c = D_p + d_p/2 \quad (21)$$

Fórmula (21) indica $d_c = 160.5\text{mm}$. Debido a la construcción se escoge un módulo $m=5$ el cuál puede fabricarse sin ningún inconveniente, para esto se utiliza la siguiente fórmula [42]:

$$Z_3 = D_p/m \quad (22)$$

Se obtuvo que $Z_3 = 32.1$, al aproximar el valor obtenemos un valor $Z_3=32$ dientes.

Medidas de cubo para engranaje.

Diámetro del eje $D_{ej} = 30\text{mm}$, el cual será utilizado en las siguientes fórmulas [43]:

$$D_{cubo} = (1.8 * D_{ej}) + D_{ej} \quad (23)$$

$$L_{cubo} = 1.5 * D_{ej} \quad (24)$$

Fórmula (23) indica $D_{cubo} = 84\text{mm}$ y con fórmula (24) se obtuvo $L_{cubo} = 45\text{mm}$.

Resistencia del diente

Con fórmula (2) $P_1 = 203\text{Watt}$, el cual se suma a potencia de motor para obtener P_{total} que soportará el engrane, con las siguientes fórmulas [41] se determinará material para fabricación del mismo.

$$V_{leng} = \frac{(Dp * Z3 * n_{cor})}{60} \quad (25)$$

$$FCV = \frac{(P_{total})}{CV} \quad (26)$$

$$P_{tan} = \frac{(75 * FCV)}{V_{leng}} \quad (27)$$

$$C_{seng} = \frac{P_{tan}}{(m^2 * 1.52)} \quad (28)$$

Fórmula (25) indica $V_{leng} = 2.30$ m/s, (26) indica $FCV = 1.78$ kg * m/s, con (27) se obtuvo $P_{tan} = 57.76$ kg, (28) indica carga de seguridad $C_{seng} = 1.52$ kgs/mm², con este valor se procede a buscar en la tabla 29, la cual indica material idóneo para fabricación del engrane.

Tabla 29.

Resistencia del diente en los engranajes.

Materiales	C = kgs * mm ²
Fundición 18 a 19 kgs, mm²	4 – 5
Acero moldeado	9 – 10
Acero al carbono	
C= 0.15 – 0.25%	14 – 17
C= 0.40 – 0.50%	24 – 27
Acero al níquel	
Ni= 3.25 – 3.75%	27 – 31
Acero al cromo níquel	
Cr= 0.45 Ni= 1%	24 – 28
Cr= 0.75 Ni= 1.5%	31 – 42
Bronce fosforoso	5 – 6
Duraluminio	10
Cuproaluminio	16
Aluminio	3
Materias plásticas, fenolita, etc.	1.5
Valores C, basados en los límites de elasticidad de los diversos materiales a emplear, y están comprendido entre 70 a 80 % de la resistencia a la tracción.	

Fuente: [41].

Según el resultado obtenido de 1.52 se puede observar en la tabla 29 que el material plástico no sería útil ya que excede el coeficiente de trabajo, el ideal sería aluminio pero debido a sus costos, se optó por elegir la fundición 18 a 19 kgs, que comprende hierro entre otros.

2.3.2.4. Diagrama Fuerza Cortante y Momento Flector.

Las fórmulas se encuentran en [36].

$$r = 0.107\text{m}$$

$$F_c = \frac{T}{r} \quad (29)$$

$$W_t = \frac{2 * T}{Dp} \quad (30)$$

$$W_r = W_t * \tan(20^\circ) \quad (31)$$

$$F_c = \sqrt{(W_t)^2 + (W_r)^2} \quad (32)$$

Fórmula (29) indica $F_c = 226.532\text{ N}$, la cual será la fuerza empleada para el desgarrado en cada cuchilla, (30) indica $W_{tA} = 3343\text{ N}$ y $W_{tB} = 3922\text{ N}$, con (31) se obtuvo $W_{rA} = 1217\text{ N}$ y $W_{rB} = 1428\text{ N}$, se utiliza (32) la cual indica $F_{cA} = 3588\text{ N}$ y $F_{cB} = 4174\text{ N}$. Con estos datos se procede a representar el diagrama de cuerpo libre (DCL).

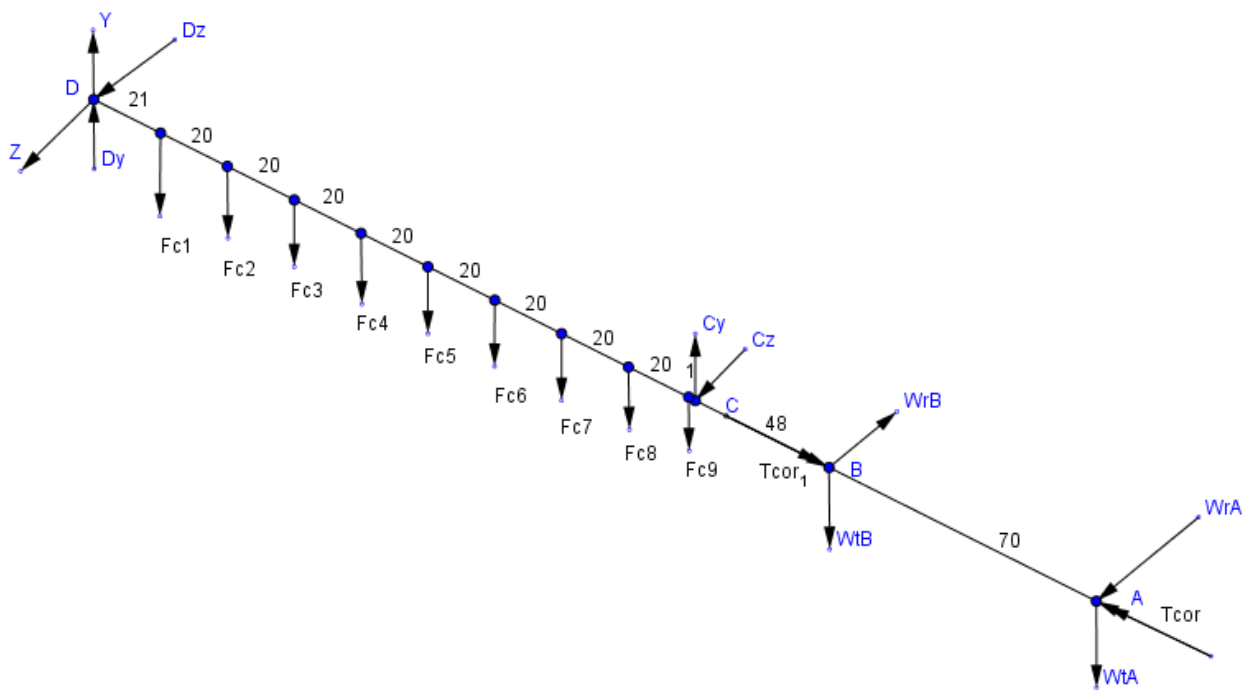


Figura 61. Diagrama de cuerpo libre.

Al aplicar las ecuaciones de equilibrio [36] se establecerá el momento flector y cortante.

$$+\sum M = 0 \quad (33)$$

$$+\sum F = 0 \quad (34)$$

Con la fórmula (33) se encontró reacciones $D_z = 412.43 \text{ N}$ y $D_y = -2109 \text{ N}$, fórmula (34) indica reacciones $C_y = 11410 \text{ N}$ y $C_z = -201.66 \text{ N}$. Se procede a realizar los diagramas de cargas.

Diagrama de Cargas (x-y)

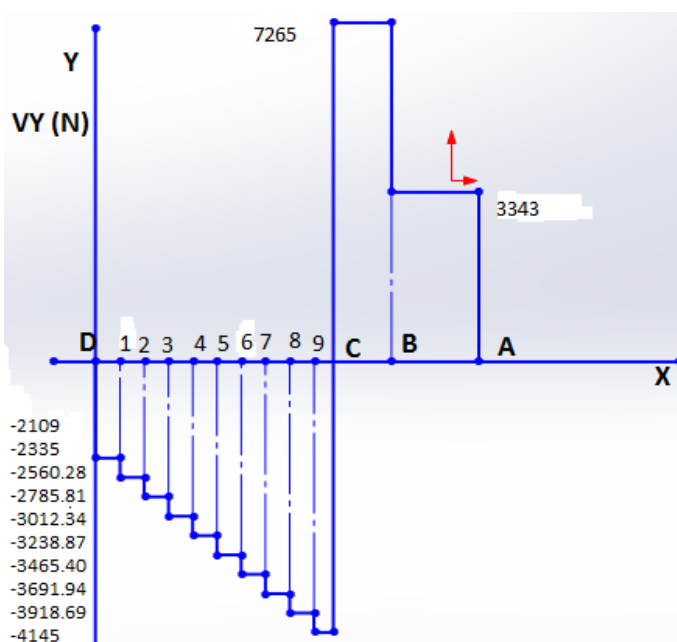


Figura 62. Diagrama de carga cortante (VY).

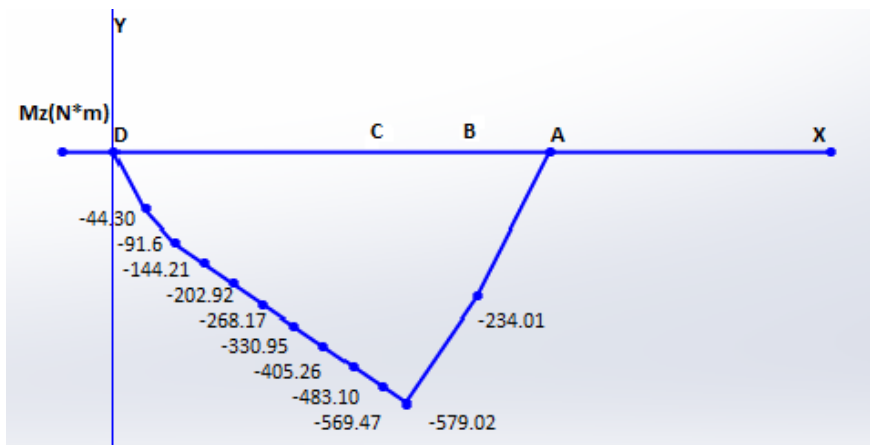


Figura 63. Diagrama de carga momento flector (MZ).

Diagrama de Cargas (z-x)

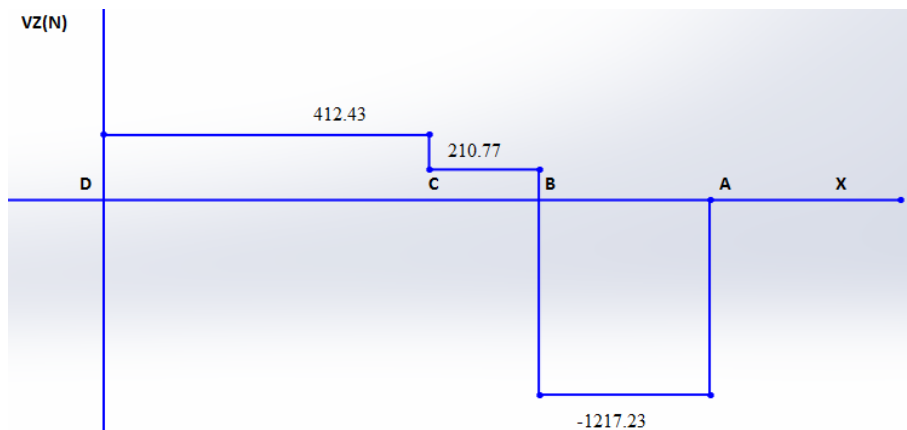


Figura 64. Diagrama de carga cortante (VZ).

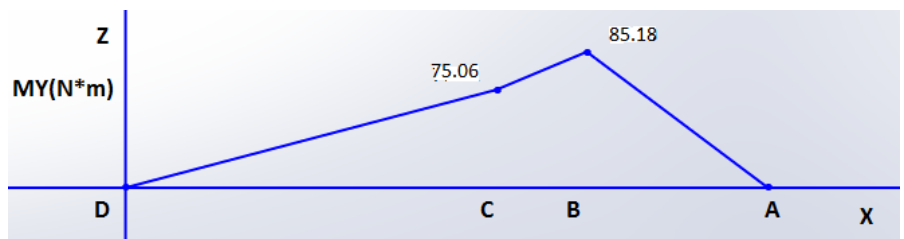


Figura 65. Diagrama de carga momento flector (MY).

S_n = Límite de resistencia sin corregir

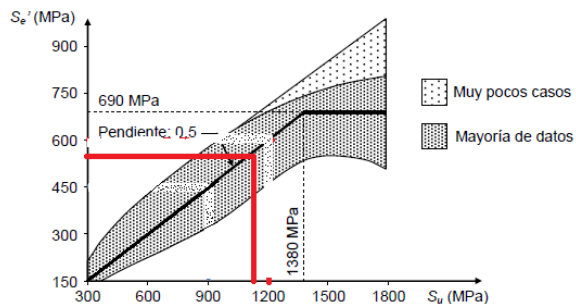


Figura 66. Relación entre límite de fatiga y esfuerzo último (Acero AISI 4340) [44] .

Donde $S_u = 1100$ MPa, $S_y = 800$ MPa.

$$S_n = 0.5 * S_u$$

(35)

Fórmula (35) indica $S_n = 550$ MPa.

Factores que afectan a la resistencia a la fatiga

Tabla 30.

Factor de confiabilidad.

Confiabilidad	CR
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Fuente: [36].

Al escoger un factor de confiabilidad de 99.9, Cr=0.75

Tabla 31.

Factores de tamaño.

Rango de tamaño	Para D en mm
$D \leq 7.62$	$C_s = 1.0$
$7.62 < D \leq 50$	$C_s = (D/7.62)^{-0.11}$
$50 < D \leq 250$	$C_s = 0.859 - 0.000837D$

Nota. Unidades en sistema internacional. Fuente: [36].

Después de observar la tabla 31 se determinó, Cs=0.84

Tabla 32.

Factor de esfuerzo.

Esfuerzo	Cst
Flexión y Torsión	1
Axial	0.80

Fuente: [36].

Al trabajar nuestro eje de transmisión en flexión y torsión Cst= 1

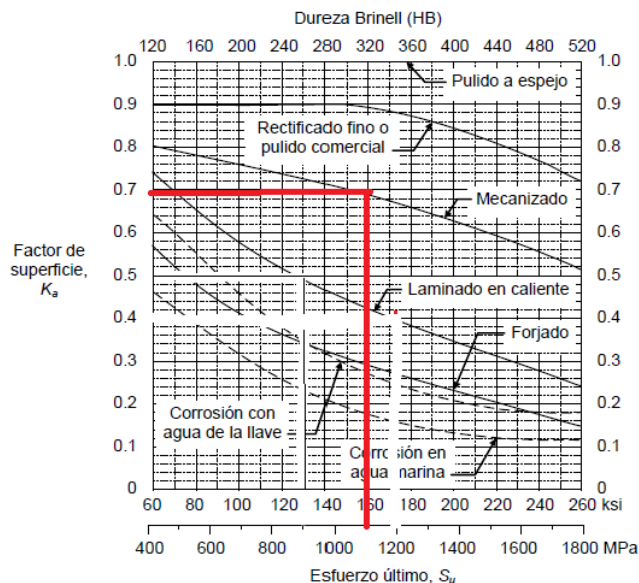


Figura 67. Factor de tamaño o superficie [44].

Para este factor y tener un dato más exacto se optó por $K_a = C_m = 0.70$.

$$S_n' = S_n * C_s * C_{st} * C_r * C_m \quad (36)$$

Fórmula (36) indica $S_n' = 241.011 \text{ MPa}$.

Tabla 33.

Rango de factor de seguridad.

Tipo o Clase de Carga	Acero, Metales Dúctiles	
	Basado en la resistencia máxima	Basado en la resistencia de la fluencia
Carga muerta o Carga variable bajo análisis por fatiga	3 – 4	1.5 – 2

Fuente: [44].

Donde se escogió a $N=3.5$ ya que se encuentra en el rango según la tabla 33.

La ecuación (37) se utilizará para encontrar los diámetros [36].

$$D = \sqrt[3]{\left(\frac{32 * N}{\pi}\right) \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S_n''}\right)^2 + \left(\frac{3}{4}\right) \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}} \quad (37)$$

Fórmula (37) indica el diámetro para eje de transmisión donde serán ubicadas las cuchillas $D = 54$ mm, la misma fórmula indica diámetro para lugar donde se alojarán piñones $D1 = 30$ mm.

Cálculo para el factor de Seguridad por Von Mises usando Goodman Modificado [36].

$$I = \frac{\pi * D^4}{64} \quad (38)$$

$$C = \frac{D}{2} \quad (39)$$

Fórmula (38) indica $I = 4.04 * 10^{-7} \text{ m}^4$, (39) indica $C = 0.027\text{m}$. Datos a reemplazar en las siguientes fórmulas [36].

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M * C}{I} \quad (40)$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{16 * T}{\pi * D^3} \quad (41)$$

Fórmula (40) indica $\sigma_{\text{máx}} = \sigma_a = 34.43 \text{ MPa}$, (41) indica $\tau_{\text{máx}} = \tau_a = 10.43 \text{ MPa}$, además se tiene $S_u = 1000 \text{ MPa}$, estos parámetros se reemplazan en la siguiente fórmula [44].

$$N = \frac{S_u * S_n''}{(S_n'' * \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}) + (S_u * \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2})} \quad (42)$$

Fórmula (42) indica $N_{\text{eje}} = 4.59$, lo cual indica que el eje soportará las diferentes cargas.

2.3.2.5. Equivalencia A Diámetro Hexagonal.

En el eje de transmisión se colocarán cuchillas con diámetro interno hexagonal, con esto se eliminará concentradores de esfuerzos a lo largo del eje.

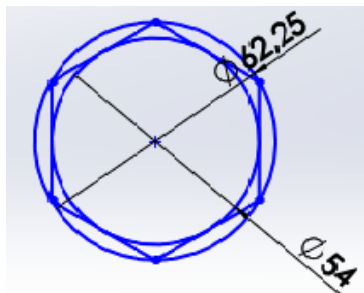


Figura 68. Equivalencia diámetro hexagonal.

2.3.2.6. Análisis de Chaveta y Chavetero.

Para análisis de chaveta y chavetero se revisará anexo 10, el cual indica que en la sección del eje donde se alojará la chaveta sus dimensiones son $8 * 7$ mm y de chavetero 4 mm interno y externo $D + 3.2$ mm. Con la siguiente fórmula se encontrará la longitud de la chaveta [43].

$$L = 1.5 * D \quad (43)$$

La fórmula (43) indica que longitud de la chaveta es igual a $L1 = 44$ mm.

2.3.3. Análisis de Rodamientos

El rodamiento cilíndrico doble es ideal porque permite movimientos axiales, son desarmables y gran capacidad de carga, sin embargo debido a que en el mercado nacional no se encuentran con facilidad y por el costo se optó por elegir rodamiento de bolas. Para el cálculo de vida útil del rodamiento se tomaron referencias de catálogos [45], [46]. Al aplicar la fórmula (37) se obtuvo la sección donde estarán alojados los rodamientos en el eje de transmisión $D2 = 35$ mm.

Cálculo de la vida del rodamiento.

Se toma $Cr = 20000$ y $Cor = 10100$, pertenecientes a rodamiento seleccionado en anexo 11 capaz de soportar las cargas aplicadas en el eje, luego se aplica tablas y fórmulas como indica [46], para poder obtener los diferentes factores y mediante estos encontrar el tiempo de vida del mismo.

a_{fi} = Factor de ajuste de la vida por fiabilidad

a_{fu} = Factor de ajuste por condiciones de funcionamiento

Cr = Capacidad de carga dinámica en newton

Cor = Carga dinámica en newton

n = Exponente para ecuación

$n = 3$, para rodamientos de bolas y $n = 10/3$, para rodamientos cilíndricos.

Factor de ajuste por fiabilidad (afi)

Tabla 34.

Ajuste de vida por fiabilidad de rodamientos.

Fiabilidad %	Lna	afi
90	L1na	1
95	L5a	0.62
96	L4a	0.53
97	L3a	0.44
98	L2a	0.33
99	L1a	0.21

Fuente: [47].

Se toma un factor de ajuste de 96%, lo cual indica $afi=0.53$.

Factor de ajuste condiciones de funcionamiento (afu)

Tabla 35.

Factor de ajuste por condiciones de funcionamiento en rodamientos.

Condiciones de Funcionamiento	Aplicaciones Típicas	Afu
Funcionamiento suave libre de impactos.	Motores eléctricos, máquinas herramienta, acondicionadores de aire.	1.0 – 1.2
Funcionamiento normal	Ventiladores, compresores, ascensores, grúas, máquinas para fabricación de papel.	1.2 – 1.5
Funcionamiento acompañado de impactos y vibraciones	Maquinaria para la construcción, trituradoras, cribas, trenes de laminación	1.5 – 3.0

Fuente: [47].

Factor de ajuste en tabla 35, indica que va desde 1.5 hasta 3, se escogió $afu=2.5$ ya que se encuentra en el rango de la tabla. La siguiente fórmula indica período de vida del rodamiento [46].

$$Lna = a_{fi} * a_{fu} * \left(\left(\frac{C_r}{C_{or}} \right)^n \right) * (1 * 10^6) * rpm \quad (44)$$

Al aplicar la fórmula (44) se obtuvo $Lna = 1.29 * 10^7$ rpm.

Sistema De Corte

Para determinar el factor de seguridad del sistema de corte se procede a utilizar las siguientes fórmulas [44].

$$\lambda_{\text{corte}} = \frac{F_c T}{A} \quad (45)$$

Al aplicar la fórmula (45) se obtuvo $\lambda_{\text{corte}} = 78.42 \text{MPa}$. Además se considerará el $S_{\text{ycorte}} = 530 \text{MPa}$, con estos datos se procede a utilizar en la siguiente fórmula [44].

$$N_{\text{corte}} = \frac{S_{\text{ycorte}}}{\lambda_{\text{corte}}} \quad (46)$$

La fórmula (46) indica $N_{\text{corte}} = 6.8$, lo cual indica que el material y dimensiones escogidas son las adecuadas.

2.4. Validación de Elementos en Software

Al terminar los cálculos utilizando teorías mecánicas, se da paso a la simulación de elementos en un software, donde se comprobará los resultados obtenidos, para esto en la tabla 36 se puede observar la comparativa. En el Anexo 14 se encuentran los gráficos correspondientes a la simulación.

Tabla 36.

Comparación de elementos según factor de seguridad.

Elemento	Cálculo Manual	Cálculo en Software	Error
Cuchilla Rotativa	6.8	7.1	0.3
Eje de Transmisión	4.59	3.9	0.69
Engrane	4	4	-

2.5. Módulo de Control

Este módulo cumple con las funciones de sensor, controlar y vigilar.

Sensar

Para esta actividad se tiene lo siguiente:

Encoder

Figura 69, muestra un enconder óptico.

Ventajas

- Mantenimiento sencillo.
- Bajo costo.

Desventajas

- Necesita de otro artefacto para poder realizar la operación.



Figura 69. Enconder óptico [48].

Sensor Infrarrojo

En la figura 70, se puede observar un sensor infrarrojo.

Ventajas

- Bajo costo.
- Mantenimiento sencillo.

Desventajas

- Necesita de otro artefacto para poder realizar la operación.
- Ocupa espacio adicional.

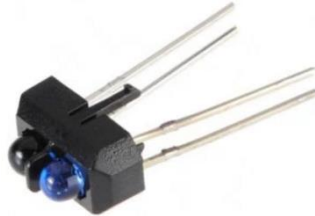


Figura 70. Sensor óptico [49].

Sensor Efecto Hall

Figura 71, muestra un sensor efecto hall.

Ventajas

- Envío de señal adecuada.
- Bajo costo.
- Mantenimiento sencillo.

Desventajas

- Configuración considerable.

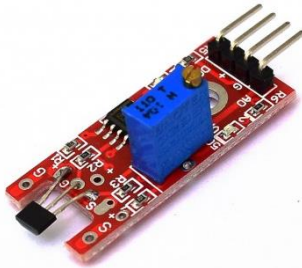


Figura 71. Sensor efecto hall [50].

Controlar

Para realizar esta actividad se tomará 3 formas de controlarlas las cuales son las siguientes:

PLC

En la figura 72, se puede observar un PLC.

Ventajas

- Gran capacidad de almacenamiento.
- Configuración sencilla.

Desventajas

- Mantenimiento complejo.
- Costo considerable.



Figura 72. PLC [51].

Arduino

Figura 73, muestra un arduino.

Ventajas

- Mantenimiento sencillo.
- Bajo Costo.

Desventajas

- Configuración considerable.
- Capacidad de almacenamiento menor.



Figura 73. Arduino [52].

Atmega

En la figura 74, se puede observar un atmega.

Ventajas

- Mantenimiento sencillo.
- Bajo Costo.
- Ocupa poco espacio.

Desventajas

- Configuración considerable.
- Capacidad de almacenamiento menor.



Figura 74. Atmega [53].

Vigilar

Esta tarea se realiza de manera manual, lo cual consiste presionar los pulsadores y estar atento a que ocurre con el funcionamiento de la máquina. Figura 75, muestra forma de vigilar.



Figura 75. Vigilancia [54].

Alternativas de soluciones del módulo de Control

En la tabla 37, se puede observar las alternativas de soluciones para el módulo de control.

Tabla 37.

Alternativas de soluciones módulo de control para trituradora de caucho.

Función	Componente		
Sensor	Sensor Infrarrojo	Encoder	Sensor Efecto Hall
Controlar	Arduino	PLC	Atmega
Vigilar	Manual		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

A continuación, se presenta las alternativas del módulo de control. Las figuras 76, 77, y 78 muestran las alternativas 1, 2, y 3 respectivamente.



Figura 76. Alternativa 1 módulo Control.



Figura 77. Alternativa 2 módulo Control.



Figura 78. Alternativa 3 módulo Control.

Evaluación y Selección de Módulos

Los criterios más determinantes son:

- Velocidad, con la que se pueda almacenar y recibir la señal hacia la máquina.
- Costo, precio que tiene los artefactos.
- Mantenimiento, consiste en la frecuencia de hacer una limpieza.

En la tabla 38, se puede observar la evaluación y selección del módulo de control.

Tabla 38.

Evaluación de criterios módulo de control.

	Velocidad	Alcance	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Velocidad		0	1	2	0,33
Costo	1		1	3	0,50
Mantenimiento	0	0		1	0,17
			Suman	6	1
	Costo > Velocidad > Mantenimiento				

Las tablas 39, 40 y 41 muestran las evaluaciones de soluciones para los criterios de velocidad, alcance y costo respectivamente.

Tabla 39.

Evaluación de solución respecto al criterio de velocidad.

Velocidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0	0,5	1,5	0,25
Solución 2	1		1	3	0,50
Solución 3	0,5	0		1,5	0,25
			Suman	6	1
	Solución 2 > Solución 1 = Solución 3				

Tabla 40.

Evaluación de solución respecto al criterio de costo.

Alcance	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		1	0	2	0,33
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	1	1		3	0,50
			Suman	6	1
	Solución 3 > Solución 1 > Solución 2				

Tabla 41.

Evaluación de solución respecto al criterio de mantenimiento.

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	2,5	0,42
Solución 2	0		0	1	0,16
Solución 3	0,5	1		2,5	0,42
			Suman	6	1
	Solución 1 = Solución 3 > Solución 2				

Se presenta la tabla 42 con la conclusión final del módulo de control.

Tabla 42.

Conclusiones para el módulo de control.

Conclusiones	Velocidad	Costo	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Solución 1	0,25*0,33	0,33*0,50	0,42*0,17	0,3189	2
Solución 2	0,50*0,33	0,17*0,50	0,16*0,17	0,2772	3
Solución 3	0,25*0,33	0,50*0,50	0,42*0,17	0,4039	1

Según tabla de conclusiones la solución ideal para el módulo de control es la alternativa 3.

2.6. Selección de Elementos para Control

En la selección de elementos para el control se procederá a elegir relés de potencia, guarda motor, cable, entre otros, siendo los antes mencionados los más importantes. Para la selección del cable se escogerá del anexo 12, el cual indica que el cable ideal para este proyecto es el número 14 ya que es capaz de soportar el amperaje con el cual la máquina trabajará. Además, para la selección del breaker se utiliza la siguiente fórmula [55].

$$IP = 1.25 * I \quad (47)$$

Para aplicar la fórmula (47) se tiene un $I = 7.62$ A, el cual hace referencia al amperaje que trabaja el motor cuando se encuentra con carga y no existe inconveniente alguno de traba, por lo tanto se procede a utilizar la fórmula antes mencionada, se obtuvo un $IP = 9.53$ A, de esta manera se utilizará un guarda motor de 10 A, el cual protegerá a la máquina de un posible daño, además se escogió dicho elemento ya que el motor es uno de tipo monofásico el cual se puede utilizar a 110 – 220 V, por dichas características se eligió el disyuntor antes mencionado, puesto que es ideal para cumplir su función.

Capítulo 3. Pruebas y Resultados

Para el capítulo de pruebas y resultados se realizará un protocolo de pruebas, el cual constará de parámetros de evaluación, para verificar el cumplimiento del alcance planteado al inicio del proyecto según la norma ASTM D-422. Además se realizará el mismo guiados en [56], [57].

3.1. Evaluación de la Máquina

Para evaluar el funcionamiento del proyecto se considerará 3 fases las cuales son: máquina sin carga, con carga y cuando exista atascamiento en la misma. Cada fase tendrá sus parámetros de evaluación los cuales serán expuestos en la tabla 43.

Tabla 43.

Fases de evaluación y sus respectivos parámetros.

Fase	Parámetros de Evaluación
Máquina sin Carga	-Visualizar que no exista rozamiento entre los elementos de cuchillas y separadores ^a . -Observar la velocidad con la que giran las cuchillas y observar si es la correcta para el desgarró del caucho ^b .
Máquina con Carga	-Prestar atención si el tiempo no excede lo expuesto en el alcance del proyecto ^c . -Mirar si se obtuvo la granulometría adecuada, según la criba colocada en la máquina ^d .
Máquina con Atascamiento	-Observar si la máquina pudo continuar triturando luego de la traba ^e . -Mirar si se obtuvo la granulometría adecuada, según la criba colocada en la máquina ^f .

Nota. Según los parámetros de evaluación se tomarán los siguientes nombres: ^a Sin rozamiento, ^b velocidad, ^c tiempo normal, ^{d,f} granulometría adecuada, ^e triturado normal.

3.1.1. Datos de protocolo de pruebas

En la tabla 44, se puede mostrar los equipos de medida para la instalación.

Tabla 44.

Equipos de medida utilizados en la instalación.

Equipos	Observaciones
Amperímetro	Se pudo observar que la máquina sin carga se establecía en 1.5 A, mientras con carga tenía una variación entre 5 A-7.5 A, además cuando existía una traba de la máquina esta excedía los 7.5 A. Estas mediciones se obtuvieron al utilizar 220V.
Multímetro	Ninguna.
Cronómetro	Ninguna.

3.1.1.1. Método.

El método para evaluar el funcionamiento de la máquina consiste en realizar una tabla en la cual se marcará errores y aciertos de cada parámetro, para esto se contará con 5 intentos, luego se realizará un promedio de estos valores, los cuales serán representados en gráficos de porcentajes y de esta manera se procederá a determinar el funcionamiento de la máquina con resultados reales.

Tabla 45, muestra fase de máquina sin carga y sus parámetros de evaluación.

Tabla 45.

Fase de máquina sin carga.

Parámetro de Evaluación	Número de Intentos					Total
	1	2	3	4	5	
Sin rozamiento	1	1	1	1	1	5
Velocidad	1	1	1	1	1	5
					Total Aciertos	10
					Total Porcentual	100%

Nota. Donde 1 indica acierto y 0 error.

En la tabla 46, se puede observar la fase de máquina con carga y sus respectivos parámetros de evaluación.

Tabla 46.

Fase de máquina con carga.

Parámetro de Evaluación	Número de Intentos					Total
	1	2	3	4	5	
Tiempo normal	1	1	1	1	1	5
Granulometría adecuada	1	0	1	1	1	4
					Total Aciertos	9
					Total Porcentual	90%

Nota. Donde 1 indica acierto y 0 error.

Tabla 47, muestra la fase de máquina con atascamiento y sus respectivos parámetros de evaluación.

Tabla 47.

Fase de máquina con atascamiento.

Parámetro de Evaluación	Número de Intentos					Total
	1	2	3	4	5	
Triturado normal	1	1	1	1	1	5
Granulometría adecuada	1	0	1	0	1	3
					Total Aciertos	8
					Total Porcentual	80%

Nota. Donde 1 indica acierto y 0 error.

3.1.1.1.1. Gráficos Porcentuales.

Con los resultados de las tablas se procederá a realizar los gráficos por cada fase y cada parámetro. A continuación, se graficará los datos de la tabla 45.

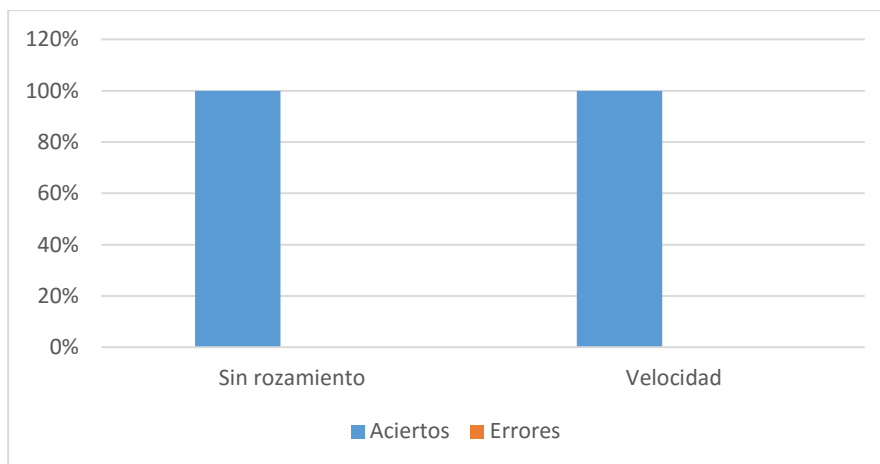


Figura 79. Parámetros para fase de máquina sin carga.

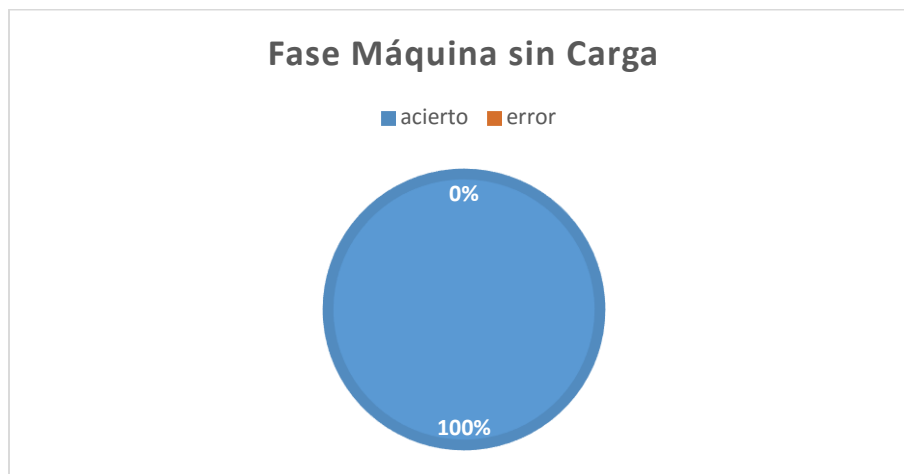


Figura 80. Funcionamiento fase de máquina sin carga.

En la figura 79, se puede observar que el parámetro sin rozamiento tiene un acierto de 100% y que de igual manera la velocidad cumple con las mismas características. Además, se tiene que en la figura 80 el acierto es 100% producto de que los parámetros de esta fase no tuvieron inconveniente alguno, por lo tanto se dice que la máquina en esta fase tiene un excelente funcionamiento.

A continuación, se procede a graficar según los datos obtenidos en la tabla 46.

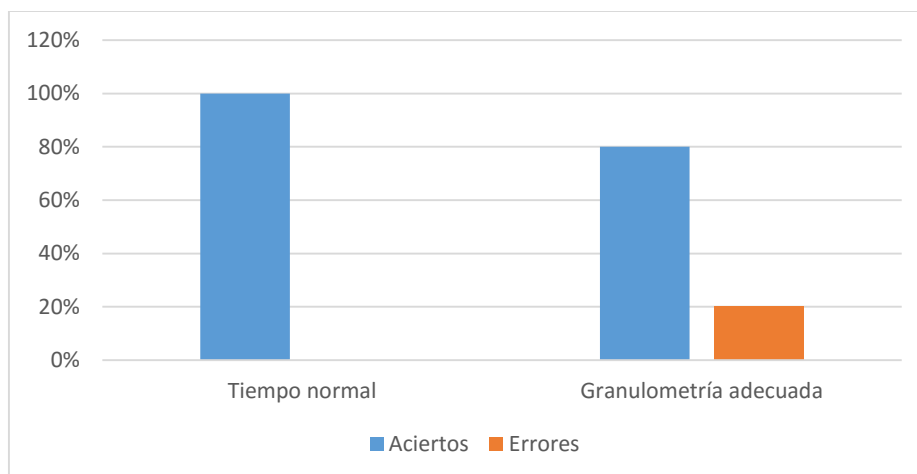


Figura 81. Parámetros para fase de máquina con carga.

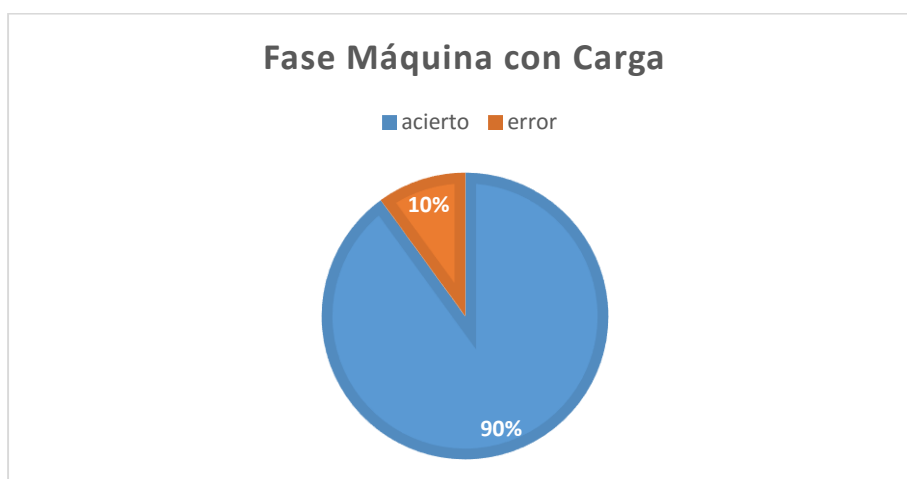


Figura 82. Funcionamiento fase de máquina con carga.

En la figura 81, se puede observar que el parámetro tiempo normal tiene un acierto de 100%, el de granulometría adecuada posee 80% de acierto y un 20% de error. Además, se tiene que en la figura 82 el acierto total sumados los parámetros es de 90% ya que se presentó que la máquina no logra triturar en el tamaño adecuado todo el producto, por lo tanto se dice que la máquina en esta fase tiene un buen funcionamiento.

En la figura 83 y 84, se representará los datos obtenidos en la tabla 47.

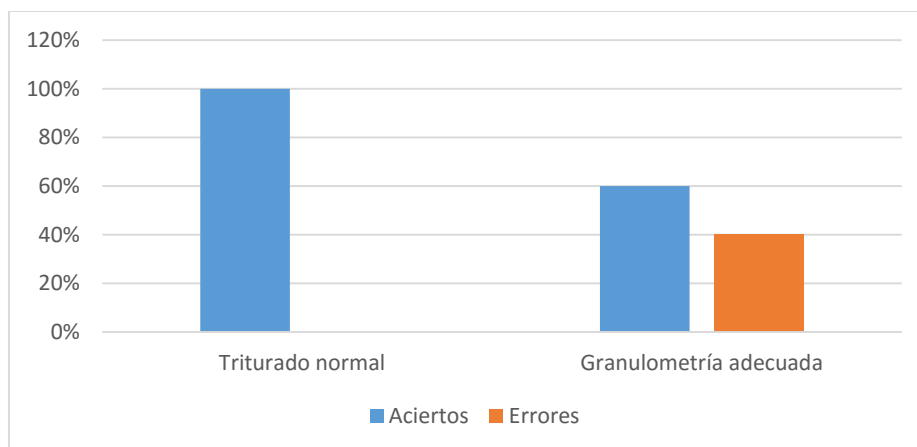


Figura 83. Parámetros para fase de máquina con atascamiento.

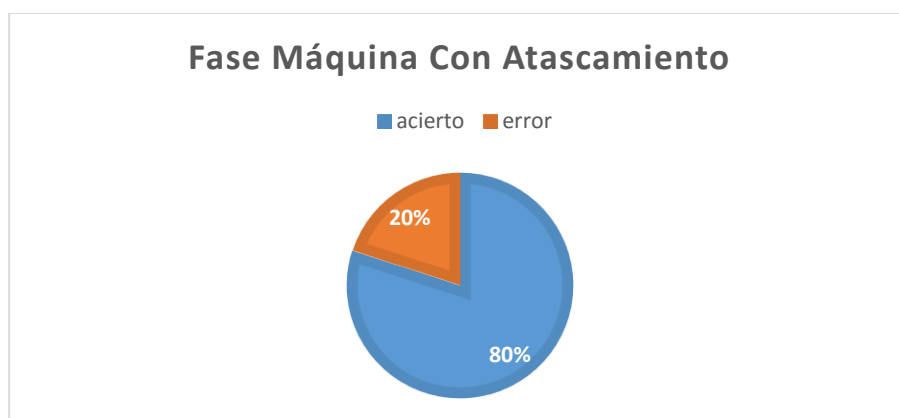


Figura 84. Funcionamiento fase de máquina con atascamiento.

Figura 83 indica, que el parámetro triturado normal tiene un acierto de 100%, el de granulometría adecuada posee 60% de acierto y un 40% de error. En la figura 84 el acierto total al sumar los parámetros es de 80% ya que se presentó que la máquina no logra triturar en el tamaño adecuado todo el producto, por tanto se dice que la máquina tiene un funcionamiento normal.

Con todas las fases graficadas se puede concluir que la máquina está en buenas condiciones para ser utilizada ya que su promedio de funcionamiento es de 90% sumados las 3 etapas de evaluación, por lo tanto es apta para cumplir con la función a la cual está destinada, siendo esta la de triturar caucho.

Capítulo 4. Análisis de Costos

Costos de Producción

En la tabla 48, se puede observar los costos de la materia prima principal.

Tabla 48.

Costos de materia prima principal.

Cuadro Auxiliar De Materia Prima Principal			
Cant.	Descripción	V.Unitario	V.Total
2	Tubo de hierro(2 x2x0.25)in	22	44
1	Ángulos(2x3x0.25)in	5	5
1	Platina	2	2
1	Tubo de hierro(1.25 x1.25x0.05)in	12	12
1	Tubo de hierro(1x1x0.05)in	7.5	7.5
1	Tubo de hierro(0.75x0.75x0.75)in	6.5	6.5
4	Acero AISI 4340 (30cmx65mm)	28	112
1	Acero AISI 01 (1000x2000x10)mm	150	150
1	Acero Chronit T1 (450x1000x10)mm	60	60
1	Acero ASTM A36(600x1400x20)mm	175	175
1	Acero ASTM A36(200x1000x6)mm	40	40
1	Acero ASTM A36(1200x2400x4)mm	60	60
1	Acero ASTM A36(1200x1200x2)mm	35	35
1	Acero ASTM A36(1200x1200x8)mm	58	58
1	Motorreductor (1.5hp, i=56)	775	750
1	Plancha de hierro(350x350x50)mm	57	57
1	Piñon 35 dientes #60	35	35
1	Piñon 17 dientes #60	15	15
8	Rodamientos 7007	8	64
1	Cadena #60	35	35
	Total Materia Prima Principal		1723

Tabla 49, muestra costos indirectos de fabricación.

Tabla 49.*Costos indirectos de fabricación.*

Cuadro Auxiliar De Costos Indirectos Fabricación (CIF)			
Cant.	Descripción	V.Unitario	V.Total
1	Sensor de Corriente 20 ^a	14	14
1	Atmega 8	5	5
2	relés 5v	1.5	3
2	relés 220v	14.5	29
3	resistencias 10k	0.05	0.15
2	resistencias 1k	0.05	0.1
1	Baquelita	1	1
1	Pulsador	0.75	0.75
1	Paro de emergencia	5	5
1	Luz piloto	2	2
5	Borneras	0.18	0.9
2	Transistores 2N3904	0.3	0.6
1	Regulador LM7805	1	1
1	Rollo de estaño	5	5
4	Diodos 5408 3A	1	4
3	Metros cable N. 14	0.7	2.1
2	Metros cable N.16	0.5	1
7	Metros cable sucre	1.1	7.7
1	Transformador 220V/110v	10	10
1	Condensador 220uf/5v	0.5	0.5
1	Condensador 0.01uf	0.1	0.1
1	Fusible	0.25	0.25
1	Porta fusible	0.2	0.2
1	Arduino nano	6.5	6.5
1	Guarda motor 10 ^a	32	32
1	LCD	12	12
8	Pernos M16	0.3	2.4
12	Pernos M14	0.24	2.88
6	PernosM10	0.2	1.2
12	Tornillos roscados M4	0.07	0.84
4	Tornillos roscados M3	0.04	0.16
1	Ácido	0.75	0.75
1	Final de carrera	1.5	1.5
2	Espadines	0.45	0.9
2	Pintura Sintética Automotriz Azul	3	6
1	Pintura Sintética Automotriz Amarilla	3	3
22	Cables para protoboard	0.1	2.2
1	Riel Din	2	2
1	Organizador de cables	2.75	2.75
Total Costos Indirectos Fabricación (CIF)			170.43

Tabla 50, muestra costos de producción empleados en la máquina, se considera la mano de obra directa empleando 4 horas diarias en 5 días de la semana durante 2 meses.

Tabla 50.

Costos de producción de máquina trituradora de caucho.

Costos	Operacional
Materia Prima principal	1,723.00
Mano de Obra directa (honorarios)	244.00
Costos Indirectos de Fabricación - CIF	818.43
Total Costos Producción	2,785.43

En la tabla 51, se puede observar los gastos en servicios básicos.

Tabla 51.

Costos de servicios básicos.

Consolidado Servicios Básicos			
Cant. (Meses)	Descripción	V.Unitario	V.Total
2	Energía Eléctrica	15	30
2	Agua Potable	4.5	9
2	Tel Celular	4.5	9
	Total Servicios Básicos		48

Tabla 52, muestra los gastos administrativos empleados en la investigación.

Tabla 52.

Costos empleados en gastos administrativos.

Cuadro Consolidado Gasto Administrativo			
Cant. (Meses)	Descripción	V.Unitario	V.Total
1	Investigación	80	80
1	Logística	220	220
	Total Gasto Administrativo		300
	Total Gasto Administrativo/ Tiempo		37.5

En la tabla 53, se puede observar los costos de operación de la máquina trituradora, en donde incluyen los costos administrativos, de producción y servicios básicos.

Tabla 53.

Costos de operación.

Gastos De Operación	
Fase	Valor
Nivel De Producción	
Costos Directos De Fabricación -CIF	818.43
Costo De Producción	2,785.43
Gastos Administrativo	300.00
Total Costos Operación	3,903.86
Total Costos Operación / Tiempo	3,903.86

Tabla 54, muestra el costo unitario de una máquina trituradora de caucho, obteniendo una utilidad de 20%.

Tabla 54.

Precio al público de máquina trituradora.

Fase	Valor
Costo Operación	3,903.86
Utilidad 20%	780.77
Precio Venta Público	4,684.63

El costo de la máquina para venta al público sería de 4,684.63 dólares, lo cual indica el beneficio de esta trituradora, ya que en otros países tienen costos mayores a 20,000.00 dólares debido a la capacidad que poseen, sin embargo la máquina presentada en este documento abastecería la recolección mensual en la ciudad de Ibarra.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se logró determinar que al utilizar 4 ejes con cuchillas rotativas y una criba, se contribuye con la obtención de granulometría fina.
- Se determinó que los materiales utilizados son ideales para la trituración ya que poseen gran resistencia, considerando que se encuentran en mercado nacional y son de costo accesible en comparación a otros materiales utilizados en estas máquinas.
- El sistema de inversión de giro contribuyó a que la máquina no tenga inconvenientes respecto a atascamientos.
- Al realizar un promedio del protocolo de pruebas esta cumple con un 90%, lo cual significa que es apta para su funcionamiento triturando la materia prima según el tamaño planteado en los requerimientos de diseño.

Recomendaciones

- Se sugiere investigar más acerca de los productos nacionales antes de elegir los mismos, ya que algunas dimensiones no son de fácil acceso en el medio.
- Se recomienda realizar un ensayo de desgarro para determinar la fuerza para desgarrar el neumático, ya que el dato tomado no resultó beneficioso para este proyecto, ya que se necesitó implementar una inversión de giro para triturar pedazos de mayor espesor.
- Se aconseja implementar un contador en la máquina en conjunto con un mensaje en la LCD, el cual indique a que componente de la trituradora deberá darse mantenimiento.
- Es recomendable tener un área adecuada para la instalación de la máquina, ya que ayudaría a que disminuya la vibración.

Bibliografía

- [1] A. M. 2. Registro Oficial 937, *Instructivo Para la Gestión Integral Neumáticos Usados*, Quito: Acuerdo Ministerial de la República de Ecuador, 2013.
- [2] F. Salazar, *Centros de Acopio de Neumáticos*, Ibarra: Municipio de Ibarra, 2016.
- [3] Méndez, C. y Solano, F., *Diseño de Triturador de Neumáticos Usados, Capacidad 1TON/h, Para la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca(EMAC)*, Cuenca: (Trabajo de Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, 2010.
- [4] A. Veintimilla, *Implementación de un Diseño Mecánico Para Triturar Neumáticos Reciclables*, Guayaquil: (Trabajo de Pregrado) Universidad Politécnica del Litoral, 2015.
- [5] k. Kylans y V. Shulman, *Civil Engineering Applications of Tyres*, Crowthorne: TRL Limited, 2003.
- [6] H. Botasso, *El Uso de Caucho de Cubiertas en Mezclas Asfálticas*, La Plata Buenos Aires: (Trabajo de Pregrado) Universidad Tecnológica Nacional, 2006.
- [7] A. Vásquez, *Diseño y Simulación de una Máquina Trituradora de Plásticos de 15Kg/h Para el Laboratorio de Conformado de Ingeniería Mecánica*, Quito: (Trabajo de Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, 2013.
- [8] V. Yepes, «Poli (Blogs),» 04 Agosto 2014. [En línea]. Available: <http://victoryepes.blogs.upv.es/2014/08/04/trituradora-de-cono/>.
- [9] F. Palacios, *Diseño de un reductor de velocidad para una trituradora de neumáticos de 15CV*, Jaén: (Trabajo de Pregrado) Universidad de Jaén, 2014.

- [10] H. Ziheng, «Trituradora de caucho para neumáticos». China Patente CN101077599A, 22 06 2007.
- [11] F. Yan, «Máquina trituradora de residuos de caucho». China Patente CN203331291U, 26 06 2013.
- [12] E. Z. S. C. W. Light, «Trituradora de caucho y método de trituración de caucho». China Patente CN103962200A, 22 05 2014.
- [13] COGUANOR , «Método de Ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso.,» Guatemala, 1962.
- [14] Solo Mantenimiento, «Solo Mantenimiento.com,» 11 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.solomantenimiento.com/articulos/caracteristicas-neumaticos.htm>.
- [15] G. García, «Prueba de Ruta.com,» 11 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.pruebaderuta.com/tipos-de-llantas-neumaticos-segun-su-estructura.php>.
- [16] E. d. I. Rosa, «Automotores,» 12 03 2016. [En línea]. Available: <http://conmecanicos.com/>.
- [17] A. Martínez, «Manual de Información Técnica de Neumáticos.,» Crédito Constructor, 04920, México D.F., S.f.
- [18] MotorGiga, «diccionario.motorgiga.com,» S.f. S.f. 1998. [En línea]. Available: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/carcasa-de-neumatico-definicion-significado/gmx-niv15-con193416.htm>.
- [19] General Technical Information, «Bridgestone Medium & Light Truck Price List and Data Book Effective,» COPLEY, OH 44321, Montrose, 1996.

- [20] INEN, «Elastómeros, caucho, vulcanizado o termoplástico. Determinación de la resistencia al desgarro. parte 1: probetas tipo pantalón, angular y de media luna (ISO 34-1:2010,IDT),» Norma Técnica Ecuatoriana, Quito, 2014.
- [21] Análisis Granulométrico, «Análisis Granulométrico de Agregado Fino Y grueso,» Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, 2016.
- [22] Serrano, A., «Tamaño de la granulometría,» 2012.
- [23] Cuatín, M. y Corzo, D., Diseño de una Máquina Semiautomática Para la Fabricación de Adoquines y Bloques, Quito: (Trabajo de Pregrado) Universidad Politécnica Nacional, 2011.
- [24] Wysocky, «BBC MUNDO,» 16 05 2016. [En línea]. Available: http://www.bbc.com/mundo/especial/vert_aut/2016/05/160428_vert_ciencia_salud_trampa_llantas_mosquito_zika_yv. [Último acceso: 10 10 2016].
- [25] Recipiente con Agua Caliente, «Maceración,» [En línea]. Available: <http://www.cervezadeargentina.com.ar/procesos/imagenes/aguacaliente.jpg>. [Último acceso: 10 10 2016].
- [26] Laura Tabares, «Emaze,» [En línea]. Available: <https://www.emaze.com/@AZLRQZCI/QUEROSENO>. [Último acceso: 10 10 2016].
- [27] Volodymyr Horbovyi, «123RF,» [En línea]. Available: http://es.123rf.com/photo_27485236_bidones-de-combustible-o-gas-puede-vector.html. [Último acceso: 10 10 2016].
- [28] Horgamania, «Horgamania,» [En línea]. Available: <http://www.hogarmania.com>. [Último acceso: 10 10 2016].

- [29] Solminsa, «Corporación Solminsa SACProveedor Industrial,» 2016. [En línea]. Available: <http://solminsa.com/productos/adhesivos-y-aditivos-peru/wd-40-peru/>. [Último acceso: 10 10 2016].
- [30] Magazine, «Magazine,» 2014. [En línea]. Available: https://revistamagazine.com/sites/default/files/styles/node-detail/public/field/image/captura_de_pantalla_2014-07-24_a_las_13.25.03.png?itok=Vhg_DqQo. [Último acceso: 10 10 2016].
- [31] Dogguie, «Como Hacer Sandalias de un Neumático,» [En línea]. Available: <http://www.dogguie.net/como-hacer-sandalias-de-un-neumatico/>. [Último acceso: 11 10 2016].
- [32] Izaro, «Izaro,» 14 Julio 2016. [En línea]. Available: <http://www.izaro.com/contenidos/ver.php?id=es&se=5&su=52&co=1373018771>.
- [33] Enviro Global, «Interempresas,» [En línea]. Available: https://www.google.com.ec/search?q=enviroglobal&rlz=1C1NHXL_esEC685EC685&espv=2&biw=1366&bih=613&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjgs-LBkarSAhXL7SYKHV6kA9IQ_AUICCGD#tbn=isch&q=enviroglobal+trituradora+2+ej es&*&imgsrc=ygBgTKCC_YD2TM:. [Último acceso: 12 10 2016].
- [34] Brentwood , «Soyu,» 11 04 2015. [En línea]. Available: <http://es.shredder3e.com/>. [Último acceso: 11 10 2016].
- [35] Lans , «Césped Artificial,» 2015. [En línea]. Available: <http://tienda.cespedartificialbarato.com/113-caucho-sbr-granulado.html>. [Último acceso: 11 10 2016].
- [36] R. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas., México: Prentice Hall, 2006.

- [37] Manual de Aceros Böhler, «Manual de Aceros Especiales,» Quito, 2007.
- [38] Motive, «REDUCTOR SIN FIN CORONA SERIE BOX,» 25014 Castenedolo, Campobasso, 2012.
- [39] Ingemecánica, «Transmisión por Cadenas, Cálculos y Diseño,» 28 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>.
- [40] SKF, «Cadenas de transmisión SKF,» S.f S.f. [En línea]. Available: <http://www.skf.com/binary/87-133515/46.Chain>. [Último acceso: 12 11 2016].
- [41] A. Casillas, Cálculos de Taller, Madrid: Palacios, 1997.
- [42] H. y. S. E. y. L. R. Jütz, Tablas para la insutria Metalurgica, Barcelona: Reverté, 1990.
- [43] K. Gieck, Manual de Fórmulas Técnicas, Salamanca: Marcombo S.A., 2003.
- [44] V. Faires, Diseño De Elementos De Máquinas, Barcelona: Montaner y Simon S.A. , 2011.
- [45] NTN, «Precision Rolling Bearings,» Ntn Corporation, 2012.
- [46] SEIKO, «Vida Útil y Capacidad De Carga Del Rodamiento,» S.f.. [En línea]. Available: <http://www.nose-seiko.co.jp/esp/image/pdf/s01.pdf>. [Último acceso: 11 11 2016].
- [47] HIVIMAR, «Componentes Y Servicios Automotrices e Industriales,» S.f.. [En línea]. Available: <http://www.hivimar.com/productos/rodamientos-y-afines/>. [Último acceso: 10 10 2016].

- [48] LBA Industrial Mining y Compañía .S. DER.L DE.C.V., «Qué es un Encoder Absoluto,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-un-encoder-absoluto/>. [Último acceso: 20 02 2017].
- [49] Electronilab, «Sensor óptico reflectivo Infrarrojo TCRT5000L,» S.f.. [En línea]. Available: <https://electronilab.co/tienda/tcrt5000l-sensor-optico-reflectivo-infrarrojo/>. [Último acceso: 20 02 2017].
- [50] Naylamp Mechatronics, «Sensor de efecto Hall SS49E,» S.f.. [En línea]. Available: <http://www.naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/232-sensor-de-efecto-hall-ss49e.html>. [Último acceso: 20 02 2017].
- [51] IEEE Paraguay , «Rama Estudiantil Del IEEE de la UCSA,» 31 01 2011. [En línea]. Available: <https://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31/concepto-plc-controlador-logico-programable/>. [Último acceso: 20 02 2017].
- [52] Arduino, «Arduino,» S.f.. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Último acceso: 20 02 2017].
- [53] Microchip Atmel, «Microcontrollers,» [En línea]. Available: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/megaavr.aspx>. [Último acceso: 21 02 2017].
- [54] Trending, «Renovarse o Morir como las Águilas,» S.f.. [En línea]. Available: <http://www.bonsaisgigantes.net/zen/%C2%BFa-donde-mirar/ocultando-ojos-mano-con-ojos/>. [Último acceso: 21 02 2017].
- [55] F. d. Herrera, «SlidePlayer,» 2014. [En línea]. Available: <http://slideplayer.es/slide/17919/>. [Último acceso: 28 02 2017].

- [56] K. Espíndola, Protocolo de Pruebas, Bogotá: (Trabajo de Pregrado) Pontificia Universidad Javeriana , 2015.
- [57] PLC Inboliría, «Protocolo de Pruebas para una ICT,» S.f.. [En línea]. Available: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbm9uZXN0aW9uZGVwcm95ZW50b3Myc3RpfGd4OmU3NzEzNTJmYjE2NTUyNQ>. [Último acceso: 28 02 2017].
- [58] Opac, «Elementos y Accesorios Normalizados,» [En línea]. Available: <http://www.tosuga.com/pdf/pespeciales/Chavetas.pdf>. [Último acceso: 11 11 2016].
- [59] S. Eliseo, «Consultor en Gestión de Medio Ambiente,» 22 04 2013. [En línea]. Available: <http://eliseosebastian.com/calcular-cables-conductores-para-paneles-fotovoltaicos-3/>. [Último acceso: 25 02 2017].
- [60] Especificaciones Pernos, «Marcado de Pernos de Aceros Grado SAE,» [En línea]. Available: http://www.k2construcciones.com/documentos/especificaciones_ Pernos.pdf. [Último acceso: 02 03 2017].
- [61] L. Cuartas, «¿Qué es Mantenimiento?,» 2008. [En línea]. Available: http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso_concurso/area3/QUE_ES_EL_MANTENIMIENTO_MECANICO.pdf. [Último acceso: 09 05 2017].

Anexos

Anexo 1. Símbolo de Velocidad

SIMBOLO DE VELOCIDAD		
El código de velocidad indica la velocidad que el neumático puede operar bajo las condiciones especificadas por el fabricante		
Símbolo	Velocidad	
Velocidad	MPH	Km/ h
F	50	80
G	55	90
J	62	100
K	68	110
L	75	120
M	80	130
N	87	140
P	93	150
Q	99	160
R	105	170
S	112	180
T	118	190
U	124	200
H	130	210
V	150	240
Z	150	240 ó más

Fuente: [17].

Anexo 2. Clasificación de Capas

Clasificación de Capas	
El código de capas representa el número de capas en el neumático	
4	B
6	C
8	D
10	E
12	F
14	G
16	H
18	J
20	K

Fuente: [17].

Anexo 3. Presión de Inflado

<p style="text-align: center;">Presión de Inflado TABLA DE CONVERSIÓN Para convertir libras/pulg² a kilopascales multiplíquese las primeras por 6.89 (Ejemplo 26lb/pulg² X 6.89 = 179 kPa)</p> <p style="text-align: center;">Para convertir las lbs/pulg² a bares divida las primeras entre 14.5 (Ejemplo: 65lb/pulg² /14.5 = 4.5 bares)</p>						
l.p.c.	bar	kPa		l.p.c.	bar	kPa
15	1.0	100		116	7.5	800
22	1.5	150		123	8.0	850
29	2.0	200		131	8.5	900
36	2.5	250		138	9.0	950
44	3.0	300		145	9.4	1000
51	3.5	350		152	9.9	1050
58	4.0	400		160	10.4	1100
65	4.5	450		167	10.8	1150
73	5.0	500		174	11.3	1200
80	5.5	550		181	11.8	1250
87	6.0	600		189	12.3	1300
94	6.5	650		196	12.7	1350
102	7.0	700		203	13.2	1400
109	7.5	750				

Fuente: [17].

Anexo 4. Índice de Carga

Índice de carga					
El código numérico indica la máxima carga que el neumático puede soportar con la velocidad especificada por el símbolo de velocidad. Si llegará a excederse esta velocidad, la carga del neumático se verá reducida según las especificaciones del fabricante					
Indice			Indice		
Carga	lbs.	Kg.	Carga	lbs.	Kg.
74	830	375	124	3539	1600
75	850	387	125	3640	1650
76	880	400	126	3750	1700
77	910	402	127	3860	1750
78	940	425	128	3970	1800
79	960	437	129	4080	1850
80	990	450	130	4190	1900
81	1020	462	131	4300	1950
82	1050	475	132	4410	2000
83	1070	487	133	4540	2060
84	1100	500	134	4670	2120
85	1130	515	135	4810	2180
86	1170	530	136	4940	2240
87	1200	545	137	5070	2300
88	1230	560	138	5200	2360
89	1280	580	139	5360	2430
90	1320	600	140	5510	2500
91	1360	615	141	5680	2575
92	1390	630	142	5840	2650
93	1430	650	143	6010	2725
94	1480	670	144	6170	2800
95	1520	690	145	6390	2900
96	1560	710	146	6610	3000
97	1610	730	147	6780	3075
98	1650	750	148	6950	3150
99	1710	775	149	7170	3250
100	1760	800	150	7390	3350
101	1820	825	151	7610	3450
102	1870	850	152	7830	3550
103	1930	875	153	8050	3650
104	1980	900	154	8270	3750
105	2040	925	155	8540	3875
106	2090	950	156	8820	4000
107	2150	975	157	9090	4125
108	2200	1000	158	9370	4250
109	2270	1030	159	9650	4375
110	2340	1060	160	9920	4500
111	2400	1090	161	10200	4625
112	2470	1120	162	10470	4750
113	2530	1150	163	10750	4875
114	2600	1180	164	11020	5000
115	2680	1215	165	11350	5150
116	2760	1250	166	11690	5300
117	2830	1285	167	12020	5450
118	2910	1320	168	12350	5600
119	3000	1360	169	12790	5800



Fuente: [17].

Anexo 5. Tipo de Carga

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna
Uniforme (agitadores, ventiladores, con carga ligera y uniforme).	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladores de alimento y molinos).	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos).	1.4	1.5	1.7

Fuente: [36].

Anexo 6. Tabla Selección de Motorreductor

TABLAS DE SELECCION BOX						
P ₁ 1,1 kW						
n ₂ [rpm]	M ₂ [Nm]	f _s	i			
878,8	25,0	2,1	7,5	BOX050	80B-2	
280,0	32,8	1,6	10		80B-2	
186,7	46,0	1,2	15		80B-2	
140,0	60,2	0,9	20		80B-2	
186,7	46,4	2,1	15	BOX063	80B-2	
186,7	50,1	2,6	7,5		90S-4	
140,0	61,4	1,6	20		80B-2	
140,0	66,5	2,0	10		90S-4	
120,0	78,0	2,0	7,5		90L-6	
112,0	74,8	1,2	25		80B-2	
93,8	81,4	1,4	30		80B-2	
93,8	92,7	1,5	15		90S-4	
90,0	103,4	1,5	10		90L-6	
70,0	106,0	1,0	40		80B-2	
70,0	122,8	1,1	20		90S-4	
60,0	144,3	1,1	15		90L-6	
56,0	149,5	0,9	25		90S-4	
46,7	162,8	1,0	30		90S-4	
45,0	191,0	0,8	20	90L-6		
112,0	76,8	1,9	25	BOX075	80B-2	
93,8	85,3	1,9	30		80B-2	
93,8	95,9	2,1	15		90S-4	
90,0	104,6	2,3	10		90L-6	
70,0	110,8	1,4	40		80B-2	
70,0	125,3	1,7	20		90S-4	
56,0	132,6	1,1	50		80B-2	
60,0	149,2	1,6	15		90L-6	
56,0	153,6	1,3	25		90S-4	
46,7	147,4	0,9	60		80B-2	
46,7	170,6	1,3	30		90S-4	
45,0	194,9	1,3	20		90L-6	
35,0	221,5	1,0	40		90S-4	
36,0	239,0	1,0	25		90L-6	
30,0	265,4	1,0	30	90L-6		
35,0	184,3	1,1	80	BOX090	80B-2	
35,0	222,1	1,6	40		90S-4	
36,0	243,7	1,6	25		90L-6	
28,0	221,4	0,8	100		80B-2	
30,0	282,9	1,8	30		90L-6	
28,0	274,3	1,3	50		90S-4	
23,3	313,3	1,0	60		90S-4	
22,5	345,5	1,2	40		90L-6	
18,0	426,6	1,0	50		90L-6	
15,0	430,0	0,8	60		90L-6	
28,0	275,8	2,3	50		BOX110	90S-4
23,3	317,9	1,9	60			90S-4
22,5	360,4	2,3	40			90L-6
17,5	390,2	1,3	80			90S-4
18,0	429,0	1,8	50	90L-6		
14,0	469,7	1,0	100	90S-4		
15,0	494,4	1,4	60	90L-6		
11,3	607,0	1,0	80	90L-6		

Fuente: [38].

Anexo 7. Velocidad de Cadena

Vitesse maximale de la chaîne.		
Pas mm	Vitesse de rotation tr/min	Vitesse linéaire m/s
9,525	10 000	30
12,7	7 000	28
15,875	5 000	24
19,05	4 000	24
25,4	2 500	18
31,75	1 600	16
38,1	1 300	16
44,45	1 000	14
50,8	700	11
63,5	500	10
76,2	400	9,5

Fuente: [39].

Anexo 8. Especificaciones de Cadena

CADENA SIMPLE

Cotas en mm.

REFERENCIAS		Paso	Ancho interior	Ø rodillo	● eje	Ancho eslabón interior	Ancho sobre remache	Longitud eje unión	Ancho malla	Superf. articul.	Peso	Carga rotura
BEMSA	DIN-ISO	p	b ₁	d ₁	d ₂	b ₂	a	G	g	cm ²	Kg/m	Kp
R- 6-1	04B-1	6,00	2,80	4,00	1,85	4,10	7,40	10,30	5,00	0,07	0,12	300
R- 8-1	05B-1	8,00	3,00	5,00	2,31	4,77	8,60	11,70	7,11	0,10	0,18	460
R- 9-1	06B-1	9,525	5,72	6,35	3,28	8,53	13,50	16,80	8,26	0,28	0,40	910
R-102	081-1	12,70	3,30	7,75	3,66	5,80	10,20	11,70	9,91	0,21	0,28	820
R-110	082-1	12,70	2,38	7,75	3,66	4,60	8,20	-	9,91	0,16	0,26	820
R-46N	083-1	12,70	4,88	7,75	4,09	7,90	12,90	14,40	10,20	0,32	0,42	1400
R-17 A	084-1	12,70	4,88	7,75	4,09	8,80	14,80	16,30	11,15	0,35	0,59	1600
R-41 A	085-1	12,70	6,38	7,77	3,58	9,07	14,00	16,00	9,91	0,32	0,38	680
R- 12-1	08B-1	12,70	7,75	8,51	4,45	11,30	17,00	20,90	11,81	0,50	0,70	1820
R- 15-1	10B-1	15,875	9,65	10,16	5,08	13,28	19,60	23,70	14,73	0,67	0,95	2270
R-19-1	12B-1	19,05	11,68	12,07	5,72	15,62	22,70	27,30	16,13	0,89	1,25	2950

Fuente: [39].

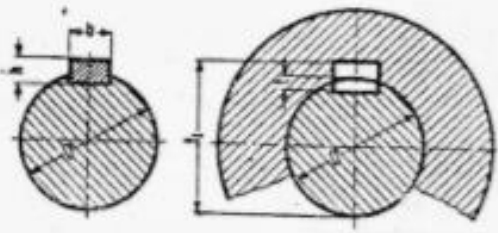
Anexo 9. Presión Máxima Articulaciones de Cadena

<i>Pression conventionnelle maximale dans les articulations (en MPa).</i>				
<i>p (mm)</i>	9,525-12,7	15,875 19,05-25,4	31,75-38,1 44,45-50,8	63,5-76,2
<i>N (tr/min) (1)</i>				
10	64	51	45	38
25	57	45	39	33
50	48	39	34	29
75	44	35	30	26
100	39	31	27	23
150	35	28	24	21
200	33	26	23	19
250	31	25	22	18
300	30	24	21	17
400	28	22	19	16
500	27	21	18	
750	24	19	17	
1 000	22	18	15	
1 500	20	16		
2 000	17	14		
2 500	15	12		
3 000	14	11		
4 000	10			
5 000	7			

(1) *N* : vitesse de rotation d'un pignon de 19 dents.

Fuente: [39].

Anexo 10. Chavetas y Chaveteros



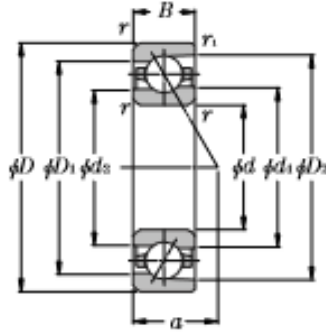
EJE Grupos de diámetros D mm	CHAVETA b × h mm	CHAVETEROS	
		t mm	r mm
de 10 a 12	4 × 4	2,5	D + 1,7
más de 12 a 17	5 × 5	3	D + 2,2
más de 17 a 22	6 × 6	3,5	D + 2,7
más de 22 a 30	8 × 7	4	D + 3,2
más de 30 a 38	10 × 8	4,5	D + 3,7
más de 38 a 44	12 × 8	4,5	D + 3,7
más de 44 a 50	14 × 9	5	D + 4,2
más de 50 a 58	16 × 10	5	D + 5,2
más de 58 a 68	18 × 11	6	D + 5,3
más de 68 a 78	20 × 12	6	D + 6,3
más de 78 a 92	24 × 14	7	D + 7,3
más de 92 a 110	28 × 16	8	D + 8,3
más de 110 a 130	32 × 18	9	D + 9,3
más de 130 a 150	36 × 20	10	D + 10,3
más de 150 a 170	40 × 22	11	D + 11,3
más de 180 a 200	45 × 25	13	D + 12,3
más de 200 a 230	50 × 29	14	D + 14,3
más de 230 a 260	55 × 30	15	D + 15,3
más de 260 a 290	60 × 32	16	D + 16,4
más de 290 a 330	70 × 36	18	D + 18,4
más de 330 a 380	80 × 40	20	D + 20,4
más de 380 a 440	90 × 45	23	D + 22,4
más de 440 a 500	100 × 55	25	D + 25,4

Fuente: [58].

Anexo 11. Rodamientos

Standard angular contact ball bearings (ceramic ball type) 5S-70 series

Contact angle 15° d 10~130mm



Part number	Boundary dimensions					Basic load ratings				Static axial load capacity		Factor f_0	Limiting speed	
	mm					dynamic kN		dynamic kgf		kN			min ⁻¹	
	a	D	B	r_7 mm ^①	r_{15} mm ^②	C_r	C_{or}	C_r	C_{or}	kN	kgf		grease lubrication	oil lubrication
5S-7000UC	10	26	8	0.3	0.15	5.30	1.72	540	175	2.88	293	8.7	75 500	123 000
5S-7001UC	12	28	8	0.3	0.15	5.80	2.03	595	207	3.40	350	9.3	65 500	106 800
5S-7002UC	15	32	9	0.3	0.15	6.60	2.56	675	261	4.35	440	9.7	57 200	93 200
5S-7003UC	17	35	10	0.3	0.15	8.25	3.15	840	320	5.30	540	9.6	51 700	84 200
5S-7004UC	20	42	12	0.6	0.3	11.1	4.55	1 130	465	7.70	785	9.8	42 700	69 500
5S-7005UC	25	47	12	0.6	0.3	12.3	5.55	1 250	565	9.40	960	10.2	37 300	60 800
5S-7006UC	30	55	13	1	0.6	15.8	7.65	1 620	780	13.0	1 320	10.3	31 200	50 900
5S-7007UC	35	62	14	1	0.6	20.0	10.1	2 040	1 030	17.2	1 750	10.4	27 700	45 100








Fuente: [45].

Anexo 12. Especificación de Cables

Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

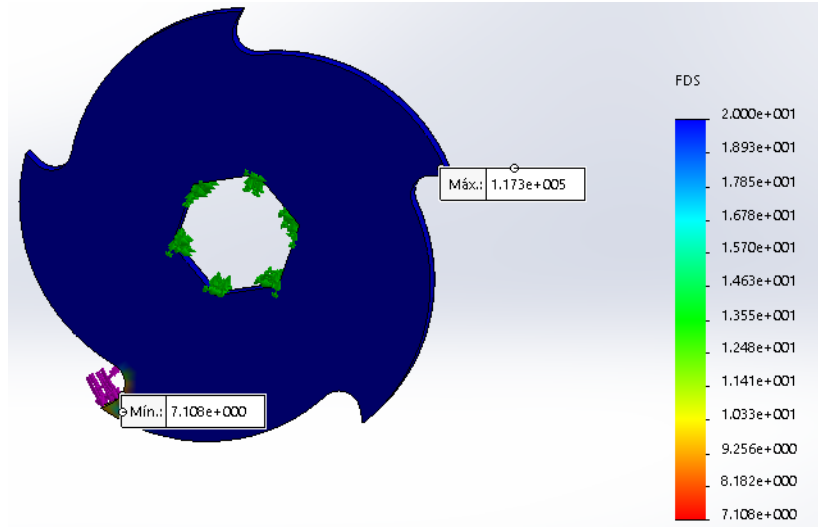
Fuente: [59].

Anexo 13. Especificación de Pernos

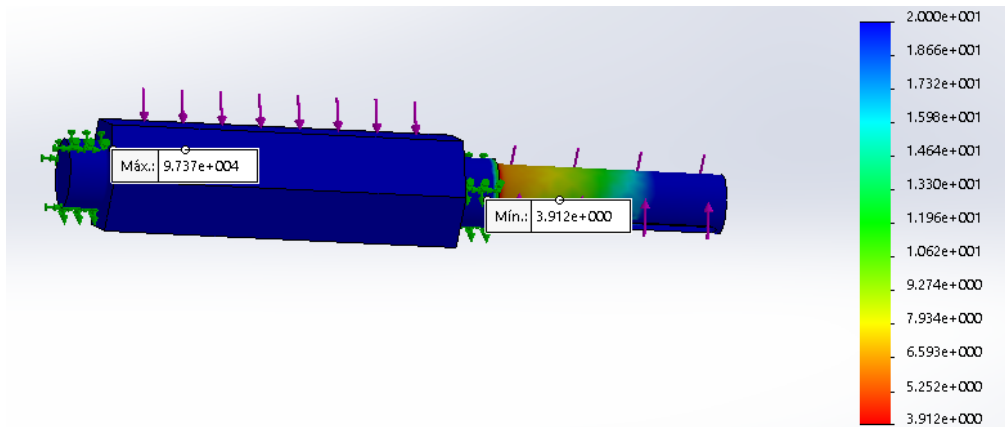
Propiedades mecánicas de elementos roscados de clase métrica					
Clase	Rango del diámetro	Carga de prueba [MPa]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Material	Marcado de la cabeza
4.6	M5 - M36	225	400	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
4.8	M1.6 - M16	310	420	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
5.8	M5 - M24	380	520	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
8.8	M16 - M36	600	830	Acero al carbono, Templado y Revenido	
9.8	M1.6 - M16	650	900	Acero al carbono, Templado y Revenido	
10.9	M5 - M36	830	1040	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	
12.9	M1.6 - M36	970	1220	Acero aleado, Templado y Revenido	

Fuente: [60].

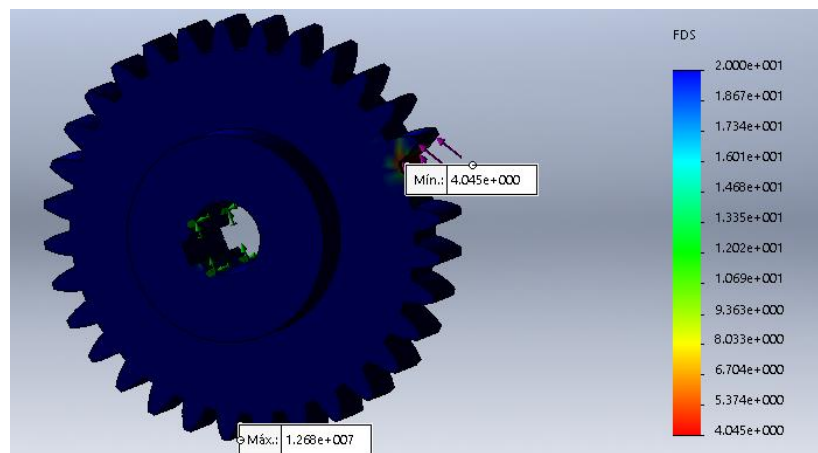
Anexo 14. Simulación Factor de Seguridad



Nota: Factor de Seguridad Cuchilla Rotativa.

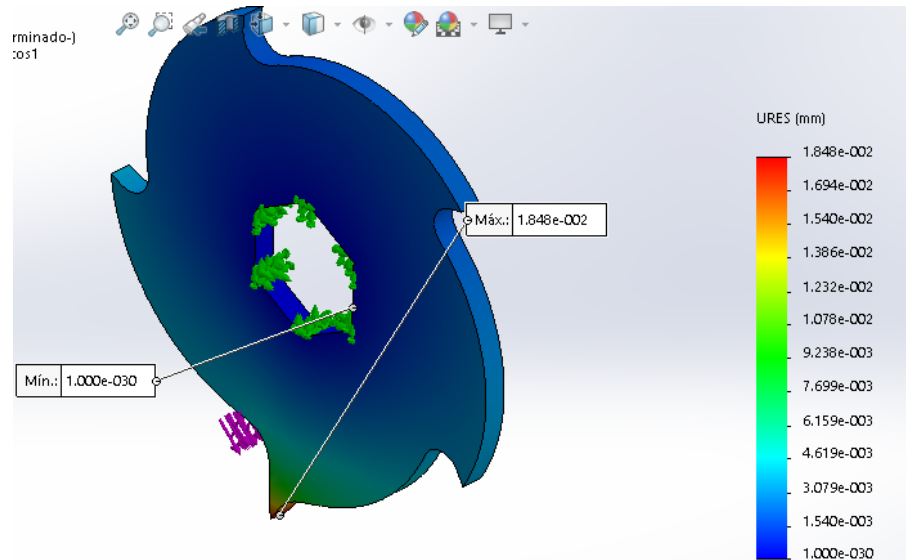


Nota: Factor de Seguridad Eje Motriz.

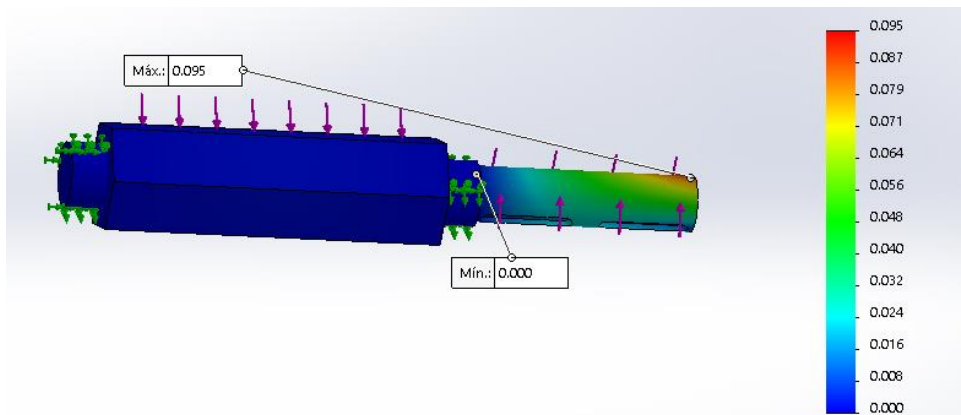


Nota: Factor de Seguridad Engrane.

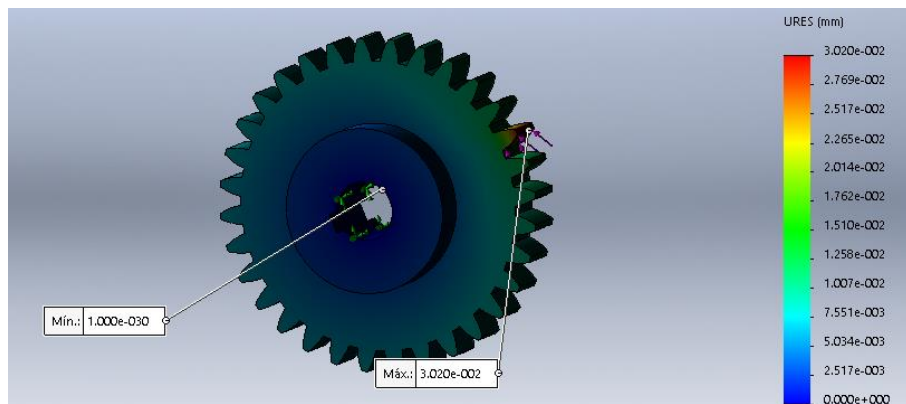
Anexo 15. Simulación Desplazamientos



Nota: Desplazamiento Cuchilla Rotativa.



Nota: Desplazamiento de Eje.



Nota: Desplazamiento de Engrane.

Anexo 16. Instrucciones de Uso

- 1.** Se debe utilizar protectores auditivos para evitar daños a futuro.
- 2.** Inspeccionar que en la máquina no exista objetos los cuales puedan afectar al funcionamiento de la misma tales como: destornilladores, piedras, etc.
- 3.** Para accionar la máquina se presionará el botón ON del guardamotor el cual permite energizar a la máquina, luego se procede a oprimir el botón INICIO/FIN el cual permitirá que las cuchillas empiecen a girar, lo cual nos indica que esta lista para triturar.
- 4.** La materia prima debe ser colocada en la parte superior de la tolva.
- 5.** Se debe tener un seguimiento del funcionamiento de la máquina por si existe algún inconveniente para poder ser atendido por el respectivo operario utilizando el paro de emergencia (STOP).
- 6.** Al retirar el material triturado se debe tener cuidado de que la bandeja en el cual se encuentra no interfiera con la actividad de la máquina.
- 7.** Al terminar de triturar la cantidad deseada por el usuario se debe presionar el botón INICIO/FIN obteniendo de esta manera que las cuchillas dejen de girar, seguido de esta acción se procede a oprimir el botón OFF del guardamotor consiguiendo el apagado de la máquina.
- 8.** Para realizar mantenimiento a la máquina se deberá desconectar la misma para evitar riesgo eléctrico.
- 9.** Después de realizar el mantenimiento a la máquina se deberá constatar que los elementos se encuentren bien colocados para que no exista problemas con el funcionamiento de la trituradora.

Anexo 17. Manual de Mantenimiento

El mantenimiento es el conjunto de actividades que se debe realizar a instalaciones y equipos, con el propósito de prevenir o corregir fallas, obteniendo continuidad en la prestación de servicios para el cual se diseñó los antes mencionados [61].

Precauciones

- Para realizar mantenimiento a la máquina se deberá desconectar la misma para evitar riesgo eléctrico.
- La caja principal de la máquina se deberá desmontar de la estructura para de esta manera ir retirando los diferentes elementos mecánicos.
- Desconectar cuidadosamente y al realizar la limpieza de la caja de control, tener cuidado con el cableado y sensor.
- Si la placa electrónica debe ser manipulada, no tomar esta con la mano directamente, porque la estática del cuerpo humano puede provocar daños irreparables.
- Después de realizar el mantenimiento a la máquina se deberá constatar que los elementos se encuentren bien colocados para que no exista problemas con el funcionamiento de la trituradora.

Consideraciones

- Para realizar mantenimiento en elementos mecánicos se debe tener llaves hexagonales y mecánicas M4, M6, M8, M10, M14 y M16, además destornilladores estrella y plano.
- Llevar materiales para lubricación de la máquina en los elementos que lo requieran, además para la caja de control se llevará brochas pequeñas las cuales se utilizaran de ser necesario.

Tablas de Mantenimiento Preventivo

Mantenimiento Preventivo de Caja de Control			
Item	Actividad a Realizar	Posible Resultado de Actividad	Opciones de Solución
Sensor de Corriente	Verificar conexión a sensor.	Cables sueltos y área con polvo.	Limpiar con brocha, conectar cables o reemplazarlos de ser necesario.
	Pruebas de funcionamiento del sensor.	Máquina no realiza la inversión de giro.	Conectar cables al relé que activa inversión de giro y placa de control.
			Cambio de sensor si fuese necesario.
Relés de Potencia	Revisar conexión de los relés de potencia.	Elementos con polvo y Cableado suelto.	Conectar los cables que van al relé de activación e inversión, además realizar limpieza de dichos elementos.
	Pruebas de funcionamiento de dichos elementos.	No activación de relés.	Conexión de cableado a los respectivos elementos de la caja de control.
			Cambio de relé si fuese necesario.
Guarda motor	Revisar correcto funcionamiento.	Botón OFF se enclava.	Buena conexión del motor con elementos de la caja de control.
			Lijar platinas internas del motor.
Botón ON/OFF	Constatar funcionamiento.	Sistema no enciende.	Conectar los cables a la placa electrónica.
Placa electrónica	Comprobar funcionamiento.	Sistema no activado.	Conexión de los elementos a la placa.
			Cambiar elementos si fuese necesario.
Paro de emergencia	Verificar actividad.	Máquina sigue con su función.	Acoplamiento de cables hacia dicho elemento.
Luz piloto	Examinar función.	Luz no enciende.	Conectar cables en este elemento.
			Reemplazar luz piloto.
Fuente de alimentación	Constatar funcionamiento.	No realiza buena conversión.	Conexión de los cables a la fuente.
			Cambiar elementos de la fuente.
LCD	Revisar su actividad.	No muestra texto.	Conectar cables a la placa electrónica.
			Ajustar el potenciómetro.
			Cambiar LCD.
Final de carrera	Comprobar activación.	No se activa el final de carrera.	Conexión de cables al sensor.
			Cambiar final de carrera.

Nota: Elementos de Caja de Control.

Mantenimiento Preventivo de Elementos Mecánicos			
Ítem	Actividad a Realizar	Posible Resultado de Actividad	Opciones de Solución
Engranés	Revisar funcionamiento.	Encaje de dientes inadecuado.	Colocar de manera adecuada los engranes y ajustar los mismos.
		Falta de Lubricación.	Lubricar los engranes para un buen funcionamiento de la máquina.
Rodamientos	Constatar su actividad.	Rodamiento reseco.	Lubricación interna del rodamiento.
		Giro de rodamiento sin fricción.	Cambio de dicho elemento.
Ejes	Verificar su movimiento.	Chaveteros dañadas.	Cambiar los chaveteros.
Planchas de Acero	Visualizar Ajuste.	Elementos no coincidentes.	Ajustar las planchas de acero.
Estructura para Sistema de Corte	Revisar Resistencia.	Elemento de estructura plegado.	Cambiar elemento plegado o reemplazar el mismo.
Cuchillas y separadores	Examinar elementos.	Residuos de caucho triturado.	Limpiar los residuos.
Piñones y cadena	Revisar componentes.	Falta de lubricación.	Lubricar los piñones para cadena y aceitar la misma.
Criba, bandeja, pernos, tolva, cimiento, tuerca, cubierta de engranes, cadena y rodamientos.	Observar elementos.	Elementos con ajuste inadecuado.	Ajustar los elementos con la llave mecánica necesaria o los destornilladores estrella y plano.
		Piezas sin limpieza.	Limpiar las piezas para poder tener un correcto funcionamiento.

Nota: Elementos mecánicos.

Mantenimiento Preventivo del Motor			
Ítem	Actividad a Realizar	Posible Resultado de Actividad	Opciones de Solución
Bobinas	Revisión de bobinas.	Alambre de cobre sin barniz.	Barnizar bobinados.
		Bobinas con señal de rozamiento.	Cambiar rodamientos. Ajustar tornillos de carcasa.
Platinas	Inspeccionar platinas.	Platinas con chispas.	Lijar las platinas en la parte afectada.
Transmisión	Revisar transmisión.	Piñones sin lubricar.	Lubricar los piñones.
		Dientes de piñón incompleto.	Cambio de dicho elemento.
Rodamientos	Constatar su actividad.	Rodamiento reseco.	Lubricación interna.
		Giro de rodamiento sin fricción.	Cambio de dicho elemento.
Cableado	Revisar empalmes.	Empalmes inadecuados.	Empalmar correctamente o soldar si fuese necesario.
Condensadores	Verificar.	Condensadores calientes.	Cambiar condensadores.

Nota: Elementos del motor.

Check list de Mantenimiento Preventivo.

Check list de Caja de Control						
Ítem	Actividad Requerida	Frecuencia (mes)				Observaciones
		3	6	9	+12	
Sensor de Corriente	Verificar conexión a sensor.	X				
	Pruebas de funcionamiento del sensor.	X				
Relés de potencia	Revisar conexión de los relés de potencia.	X				
	Pruebas de funcionamiento de dichos elementos.	X				
Guarda motor	Revisar correcto funcionamiento.			X		
Botón ON/OFF	Constatar funcionamiento.		X			
Placa electrónica	Comprobar funcionamiento.	X				
Paro de emergencia	Verificar actividad.				X	
Luz piloto	Examinar función.				X	
Fuente de alimentación	Constatar funcionamiento.	X				
LCD	Revisar su actividad.		X			
Final de carrera	Comprobar activación		X			

Nota: Se utilizará (X) para indicar el tiempo en el cual se debe realizar el mantenimiento de la máquina, además en el casillero de observaciones se colocará cualquier imprevisto que ocurra con los elementos.

Check list del Motor						
Ítem	Actividad Requerida	Frecuencia (mes)				Observaciones
		3	6	9	+12	
Bobinas	Revisión de bobinas.	X				
Platinas	Inspeccionar platinas.	X				
Transmisión	Revisar transmisión.				X	
Rodamientos	Constatar su actividad.				X	
Cableado	Revisar empalmes.		X			
Condensadores	Verificar función.	X				

Nota: Se utilizará (X) para indicar el tiempo en el cual se debe realizar el mantenimiento de la máquina, además en el casillero de observaciones se colocará cualquier imprevisto que ocurra con los elementos.

Check list de Elementos Mecánicos						
Ítem	Actividad Requerida	Frecuencia (mes)				Observaciones
		3	6	9	+12	
Engranés	Revisar funcionamiento.		X			
Rodamientos	Constatar su actividad.				X	
Ejes	Verificar su movimiento.				X	
Planchas de Acero	Visualizar Ajuste.				X	
Estructura para Sistema de Corte	Revisar Resistencia.				X	
Cuchillas rotativas y separadores	Examinar elementos.	X				
Piñones y cadena	Revisar componentes.		X			
Criba, bandeja, pernos, tuercas, tolva, cimienta, cubierta de engranes, cadena y rodamientos.	Observar elementos.	X				

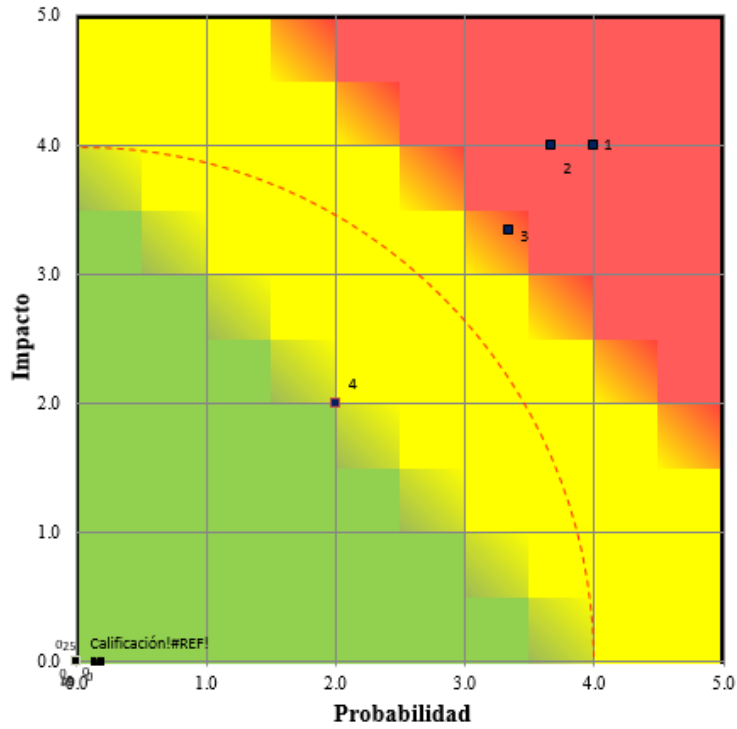
Nota: Se utilizará (X) para indicar el tiempo en el cual se debe realizar el mantenimiento de la máquina, además en el casillero de observaciones se colocará cualquier imprevisto que ocurra con los elementos.

Matriz de Riesgo

VALORACIÓN DE RIESGOS DE CAJA DE CONTROL				Mapa de Riesgo						
TIPIFICACIÓN RIESGO	RIESGO	Incidente/ problema identificado	Controles existentes identificados	CRITICIDAD	POSIBILIDAD	IMPACTO	VOTO / CARGOS	Calificación Opinión Nro. 1	Calificación Opinión Nro. 2	Calificación Opinión Nro. 3
1	Cableado desconectado o rotura de los mismos.	Manipulación inadecuada del cableado.	Se implementa un control según lo indicado en la tabla de mantenimiento preventivo.	Alto	4.0	4.0	VOTO IMPACTO	4.0	4.0	4.0
							VOTO VULNERABILIDAD	4.0	4.0	4.0
2	Sensores dañados.	Estática provocada por el operador.	Se deberá manipular adecuadamente los sensores.	Medio	3.7	4.0	VOTO IMPACTO	4.0	4.0	4.0
							VOTO VULNERABILIDAD	4.0	3.0	4.0
3	Relés sin activación.	Posibles cortos los cuales podrían dañar a los sensores.	Se deberá verificar los relés cada cierto tiempo como lo indica la tabla de prevención.	Medio	3.3	3.3	VOTO IMPACTO	4.0	3.0	3.0
							VOTO VULNERABILIDAD	4.0	3.0	3.0
4	Switch de guarda motor y encendido puede dañarse.	El switch del guarda motor puede enclavarse y de encendido podría no accionar la trituración.	Se realizará un control de las conexiones hacia los switch.	Bajo	2.0	2.0	VOTO IMPACTO	2.0	2.0	2.0
							VOTO VULNERABILIDAD	2.0	2.0	2.0

MATRIZ DE RIESGOS

Regresar



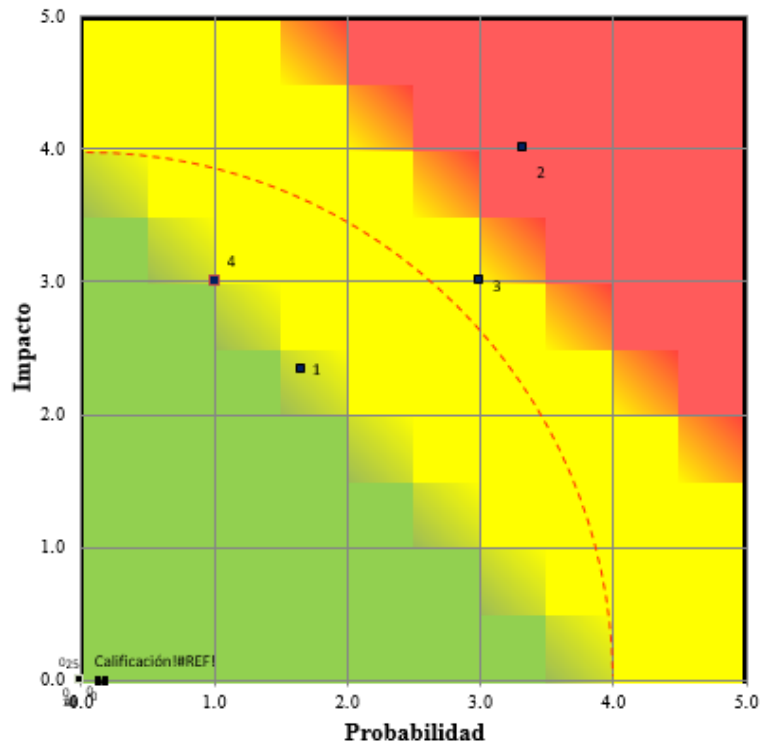
VALORACIÓN DE RIESGOS DE ELEMENTOS MECÁNICOS

Mapa de Riesgo

TIPIFICACIÓN RIESGO	RIESGO	Incidente/ problema identificado	Controles existentes identificados	CRITICIDAD	POSIBILIDAD	IMPACTO	VOTO / CARGOS	Calificación Opinión Nro. 1	Calificación Opinión Nro. 2	Calificación Opinión Nro. 3
1	Falla de los rodamientos.	Los rodamientos pueden llegar a desmontarse.	Se hara un mantenimiento programado en el cual se determinará el cambio de los rodamientos.	Bajo	1.7	2.3	VOTO IMPACTO	2.0	2.0	3.0
							VOTO VULNERABILIDAD	2.0	2.0	1.0
2	Desgaste de las propiedades del lubricante.	Debido a la utilización de la máquina los elementos se quedarán sin lubricación.	Se capacitará al operador para que realice la lubricación.	Medio	3.3	4.0	VOTO IMPACTO	4.0	4.0	4.0
							VOTO VULNERABILIDAD	4.0	3.0	3.0
3	Acumulación de material triturado.	Debido a la criba existirá acumulación de material grueso de trituración.	Se realizara un mantenimiento preventivo cada mes previniendo este inconveniente.	Medio	3.0	3.0	VOTO IMPACTO	3.0	3.0	3.0
							VOTO VULNERABILIDAD	3.0	3.0	3.0
4	Tuercas Flojas.	Debido a las vibraciones ocasionadas por la máquina.	Revisar el ajuste de las tuercas y de ser necesario ajustarlas.	Bajo	1.0	3.0	VOTO IMPACTO	3.0	3.0	3.0
							VOTO VULNERABILIDAD	1.0	1.0	1.0

MATRIZ DE RIESGOS

Regresar



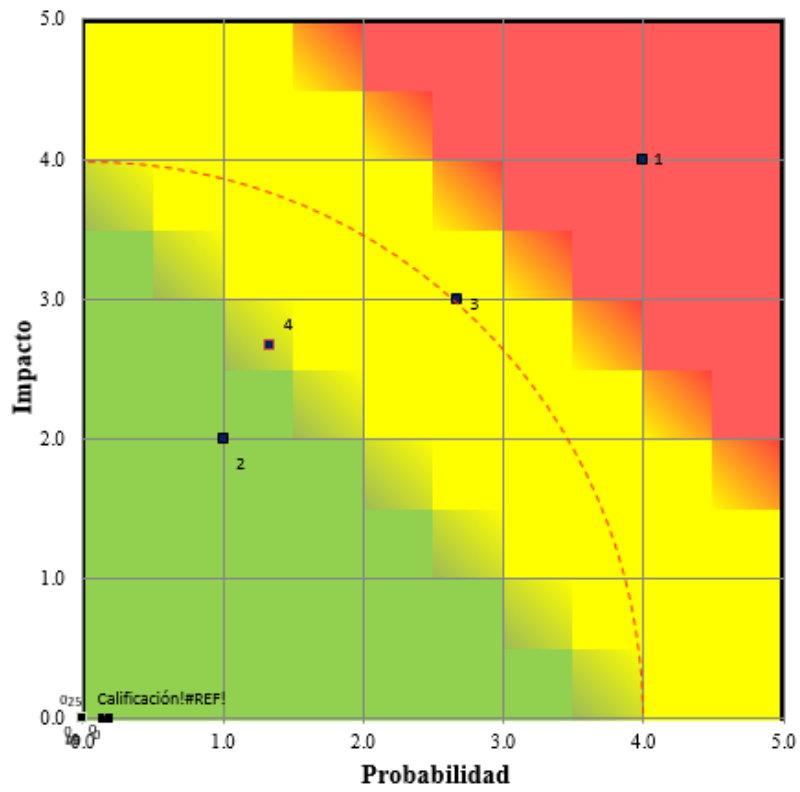
VALORACIÓN DE RIESGOS DEL MOTOR

Mapa de Riesgo

TIPIFICACIÓN RIESGO	RIESGO	Incidente/ problema identificado	Controles existentes identificados	CRITICIDAD	POSIBILIDAD	IMPACTO	VOTO / CARGOS	Calificación Opinión Nro. 1	Calificación Opinión Nro. 2	Calificación Opinión Nro. 3
1	Cableado de conexión deteriorado y condensadores.	Manipulación inadecuada del cableado y sobretensión.	Se implementa un control según la tabla de mantenimiento preventivo.	Alto	4.0	4.0	VOTO IMPACTO	4.0	4.0	4.0
							VOTO VULNERABILIDAD	4.0	4.0	4.0
2	Platinas internas de motor.	Indicaría una medida errónea al sensor de corriente.	Se deberá realizar lecturas de corriente cada 3 meses.	Bajo	1.0	2.0	VOTO IMPACTO	2.0	2.0	2.0
							VOTO VULNERABILIDAD	1.0	1.0	1.0
3	Bobinado.	Alambre de cobre sin barniz y bobinas con señal de rozamiento.	Implementar control cada 3 meses sobre este elemento.	Medio	2.7	3.0	VOTO IMPACTO	3.0	3.0	3.0
							VOTO VULNERABILIDAD	2.0	3.0	3.0
4	Sistema de transmisión.	Piñones sin lubricar y dientes de piñon incompleto.	Se realizará un control cada 3 meses.	Bajo	1.3	2.7	VOTO IMPACTO	3.0	3.0	2.0
							VOTO VULNERABILIDAD	1.0	1.0	2.0

MATRIZ DE RIESGOS

[Regresar](#)



Anexo 18. Máquina Trituradora Construida y Material Triturado



Anexo 19. Planos Estructurales de Máquina Trituradora