

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

**“OBTENCIÓN DE FRAGMENTOS DE NEUMÁTICOS MEDIANTE UN PROTOTIPO
DE PRE-CORTE”**

AUTOR

LOLA LILI MORALES DÁVILA

DIRECTOR

ING. VICTOR ERAZO

IBARRA – ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	210061145-4		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Morales Davila Lola Lili		
DIRECCIÓN:	Ibarra, calles Agustín Rosales y San Luis #4-47		
EMAIL:	llmoralesd@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2 631-592	TELÉFONO MÓVIL:	0982341649

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	OBTENCIÓN DE FRAGMENTOS DE NEUMÁTICOS MEDIANTE UN PROTOTIPO DE PRE-CORTE
AUTOR (ES):	Morales Davila Lola Lili
FECHA: DD/MM/AAAA	22 de julio del 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Víctor Erazo. MSc.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 22 días del mes de julio de 2020

EL AUTOR:

.....
Lola Lili Morales Davila.

Declaración

Yo, Morales Davila Lola Lili, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

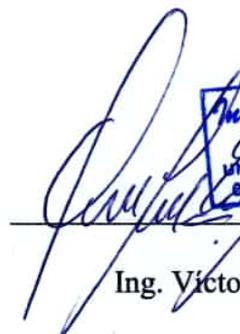


Morales Davila Lola Lili

210061145-4

Certificación

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: "OBTENCIÓN DE FRAGMENTOS DE NEUMÁTICOS MEDIANTE UN PROTOTIPO DE PRE-CORTE", certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el egresado Morales Davila Lola Lili, bajo mi supervisión.



Ing. Víctor Erazo. MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Agradecimiento

Agradezco a Dios, a mis padres por su trabajo, sacrificio y apoyo incondicional, a todos los docentes y técnicos docentes que compartieron sus conocimientos conmigo, pero en especial a mi tutor Ing. Víctor Erazo, por su apoyo, consejos, paciencia y dedicación a este trabajo. También, agradezco a mis amigos y compañeros quienes me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Lola Lili Morales Davila.

Dedicatoria

Este logro lo dedico a mis padres, por todo su esfuerzo, sacrificio, paciencia y amor.

Lola Lili Morales Davila.

Resumen

Los neumáticos usados son un medio de contaminación ambiental, debido a que tardan alrededor de 1000 años en degradarse y al desechados inadecuadamente son fuente de enfermedades infecciosas. En la ciudad de Ibarra, son desechados alrededor de 2000 neumáticos al año y para mitigar el problema se diseña un prototipo de máquina trituradora de neumáticos usados rin 14”.

En el marco teórico, se describe la investigación de la información necesaria para iniciar con el desarrollo del prototipo, posteriormente, se determinan los requisitos de diseño que son analizados con la metodología de la casa de la calidad (QFD), donde se obtienen las especificaciones técnicas que permiten realizar el análisis funcional para seleccionar la alternativa óptima.

Con las especificaciones técnicas se desarrolla el diseño de la propuesta, tomando en cuenta el Diseño para la Fabricación y Ensamble, mediante costos de fabricación, ensamblaje y disponibilidad de materiales en el mercado local, se obtiene el diseño CAD del sistema de trituración, la estructura de soporte, el sistema de transmisión de movimiento y las tolvas de ingreso y salida.

En el diseño mecánico de la propuesta, se realizan simulaciones de los elementos principales de la máquina, los mismos son verificadas mediante cálculos analíticos mostrando una tabla comparativa del error obtenido entre lo simulado y calculado. Con la finalidad de que pueda construirse el prototipo de máquina trituradora, con la respectiva la lista de materiales y planos detallados de construcción mecánica y ensamblaje.

Abstract

Used tires are a source of environmental pollution, because it takes about 1000 years to degrade and when improperly disposed of, they are a source of infectious diseases. In the Ibarra's city, around 2,000 tires a year are discarded and to mitigate the problem, will be design a machine crusher's prototype to tire used of size rin 14".

In the theoretical framework, the investigation of the information necessary to start with the development of the prototype is described, later, the design requirements are determined and analyzed with the methodology of the Quality Function Deployment, where the technical specifications are obtained that allow perform functional analysis to select optimal alternative.

With the technical specifications, the design of the proposal is developed, taking into account the Design for Manufacturing and Assembly, through manufacturing costs, assembly and availability of materials in the local market, through these, obtained the CAD design of the crushing system, the structure, support, movement transmission system and input and output hoppers.

In the mechanical design of the proposal, simulations of the main elements of the machine are performed, these are verified by analytical calculations showing a comparative table of the error obtained between one method and the other. In order that the crushing machine prototype, with the respective list of materials and detailed plans of mechanical construction and assembly.

Índice General

Agradecimiento.....	IV
Dedicatoria.....	V
Resumen.....	VI
Abstract.....	VII
Índice General.....	VIII
Índice de Figuras.....	XI
Índice de Anexos.....	XVI
Introducción	17
Planteamiento del problema	17
Objetivo General.....	18
Objetivos específicos.....	18
Justificación.....	18
Alcance.....	19
Estado del Arte.....	19
Capítulo I. Marco Teórico.....	20
1.1. Trituración de Neumáticos en el Ecuador.....	20
1.2. Características de los neumáticos.....	20
1.2.1. <i>Características Generales de los Neumáticos</i>	20
1.2.2. <i>Tipos de Neumáticos Existentes en el Mercado</i>	22
1.2.3. <i>Fabricación de los Neumáticos</i>	23
1.2.4. <i>Codificación de los Neumáticos</i>	24
1.3. Métodos de Trituración	24
1.3.1. <i>Etapas de Trituración</i>	24
1.3.2. <i>Tipos de Máquinas Trituradoras</i>	26
1.4. Granulometrías	27

Capítulo II. Marco Metodológico	28
2.1. Investigación	28
2.2. Análisis QFD.....	28
2.3. Selección de Alternativas	28
2.4. DFMA	28
2.5. Diseño Mecánico de la Propuesta	28
Capítulo III. Resultados	30
3.1. Análisis QFD.....	30
3.1.1. <i>Requerimientos del usuario.</i>	30
3.1.2. <i>La voz del cliente</i>	30
3.1.3. <i>La voz del Ingeniero</i>	30
3.2. Selección de Alternativas	31
3.2.1. <i>Diagramas funcionales</i>	31
3.2.2. <i>Análisis Modular</i>	34
3.2.2.1. Módulo 1: Ingreso del Neumático	34
3.2.2.1.1 <i>Análisis de Funciones Módulo 1</i>	34
3.2.2.1.2 <i>Análisis de Solución Modulo 1</i>	37
3.2.2.1.3 <i>Evaluación y Selección de Alternativas Módulo 1</i>	37
3.2.2.2. Módulo 2: Sistema de Control de Trituración	40
3.2.2.2.1 <i>Análisis de Funciones Módulo 2</i>	40
3.2.2.2.2 <i>Alternativas de Solución Módulo 2</i>	46
3.2.2.2.3 <i>Evaluación y Selección de Alternativas Módulo 2</i>	47
3.2.2.3. Módulo 3: Sistema de Corte.	49
3.2.2.3.1 <i>Análisis de Funciones Módulo 3</i>	49
3.2.2.3.2 <i>Alternativas de Solución Módulo 3</i>	55
3.2.2.3.3 <i>Evaluación y Selección de Alternativas Módulo 3</i>	55
3.2.2.4. Módulo 4: Salida del Neumático	57

3.2.2.4.1	<i>Análisis de Funciones Módulo 4</i>	57
3.2.2.4.2	<i>Alternativas de Solución Módulo 4</i>	59
3.2.2.4.3	<i>Evaluación y Selección de Alternativas Módulo 4</i>	59
3.3.	Diseño para la Fabricación y Montaje.....	62
3.4.	Diseño Mecánico de la Propuesta	66
3.4.1.	<i>Torque Requerido para la Trituración</i>	66
3.4.2.	<i>Diseño del Eje de Transmisión</i>	67
3.4.2.1.	Análisis de la Transmisión por Cadena	67
3.4.2.2.	Análisis de la Rueda Dentada	70
3.4.2.3.	Diagrama de Cuerpo Libre	73
3.4.2.4.	Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector.....	75
3.4.2.5.	Análisis de Factor de Seguridad	76
3.4.3.	<i>Selección de Rodamientos</i>	79
3.4.4.	<i>Simulación de la Estructura</i>	80
3.4.5.	<i>Simulación de la Tapa Frontal</i>	81
3.4.6.	<i>Simulación de la Cuchilla</i>	81
3.4.6.1.	Simulación Estática de la Cuchilla	82
3.4.6.2.	Simulación Dinámica de la Cuchilla	83
3.4.7.	<i>Selección de los Elementos de Control</i>	85
3.4.8.	<i>Diseño CAD del Prototipo de Máquina Trituradora</i>	86
3.4.9.	<i>Análisis de Costos</i>	88
Capítulo IV. Conclusiones y Recomendaciones		91
4.1.	Conclusiones	91
4.2.	Recomendaciones.....	92
Bibliografía:		93
Anexos		98

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Composición de un neumático.....	21
<i>Figura 2.</i> Estructura de un neumático.....	21
<i>Figura 3.</i> Tipos de Neumáticos	22
<i>Figura 4.</i> Las Mejores Marcas de Llantas del Mercado	23
<i>Figura 5.</i> Nomenclatura de un neumático	24
<i>Figura 6.</i> Extracción del aro de talón del neumático.....	25
<i>Figura 7.</i> Trituración primaria de un neumático	25
<i>Figura 8.</i> Neumático triturado en varios tamaños	26
<i>Figura 9.</i> Medidas de Granulometría.....	27
<i>Figura 10.</i> Diagrama de Funciones Nivel 0.....	32
<i>Figura 11.</i> Diagrama de Funciones Nivel 1.....	32
<i>Figura 12.</i> Diagrama de Funciones Nivel 2.....	33
<i>Figura 13.</i> Levantamiento manual de una carga	34
<i>Figura 14.</i> Transportación automática de una carga	35
<i>Figura 15.</i> Tolva Rectangular.....	35
<i>Figura 16.</i> Tolva Trapezoidal.....	36
<i>Figura 17.</i> Tolva Mixta.....	36
<i>Figura 18.</i> PLC SIEMENS LOGO.....	40
<i>Figura 19.</i> Raspberry Pi.....	41
<i>Figura 20.</i> Variador de Frecuencia.....	41
<i>Figura 21.</i> Sensor de corriente.....	42
<i>Figura 22.</i> Encoder	43
<i>Figura 23.</i> Final de Carrera	43
<i>Figura 24.</i> Motor Eléctrico	44
<i>Figura 25.</i> Motor Hidráulico	45
<i>Figura 26.</i> Motor Neumático.....	45
<i>Figura 27.</i> Transmisión por Cadena	49
<i>Figura 28.</i> Transmisión por Poleas.....	50
<i>Figura 29.</i> Engranés.....	51
<i>Figura 30.</i> Cuchillas Rotativas	52
<i>Figura 31.</i> Cuchillas Rectas.....	52
<i>Figura 32.</i> Triturador de 1 Eje.....	53

<i>Figura 33.</i> Triturador de 2 Ejes	53
<i>Figura 34.</i> Triturador de 4 Ejes	54
<i>Figura 35.</i> Recipiente Plástico.....	58
<i>Figura 36.</i> Recipiente Metálico	58
<i>Figura 37.</i> Resultado de Alternativa de Solución del Análisis Modular	61
<i>Figura 38.</i> Acción de corte de las cuchillas rotativas.....	62
<i>Figura 39.</i> Ángulos de corte de la cuchilla.....	62
<i>Figura 40.</i> Cuchilla Rotativa.	63
<i>Figura 41.</i> Sistema de Corte	63
<i>Figura 42.</i> Estructura Angular del Sistema de Corte.....	64
<i>Figura 43.</i> Sistema de Trituración con la Estructura de Soporte.....	64
<i>Figura 44.</i> Izquierda; Sistema de Transmisión. Derecha; Acople con la estructura.	65
<i>Figura 45.</i> Tolva de Ingreso.	65
<i>Figura 46.</i> Tolva de Salida.	66
<i>Figura 47.</i> Cuchillas en contacto con desfase de 20°.	67
<i>Figura 48.</i> Piezas que intervienen en la trituración del neumático.....	67
<i>Figura 49.</i> Transmisión de potencia por cadenas	68
<i>Figura 50.</i> Fuerzas en el Sistema de Transmisión por Cadena.....	70
<i>Figura 51.</i> Transmisión de movimiento en engranes rectos.....	70
<i>Figura 51.</i> Diámetro primitivo de los engranes.....	71
<i>Figura 53.</i> Fuerzas en la Rueda Dentada.....	71
<i>Figura 54.</i> Resistencia del diente en los engranajes	72
<i>Figura 55.</i> Simulación Engrane	73
<i>Figura 56.</i> Piezas que intervienen en la trituración del neumático.....	73
<i>Figura 57.</i> DCL en el plano XY.....	74
<i>Figura 58.</i> DCL en el plano XZ.....	74
<i>Figura 59.</i> DCL Resuelto.	74
<i>Figura 60.</i> Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector en el plano XY.....	75
<i>Figura 61.</i> Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector en el plano XZ.	75
<i>Figura 62.</i> Simulación del Factor de Seguridad del Eje.....	79
<i>Figura 63.</i> Simulación del esfuerzo flector máximo en el eje.....	79
<i>Figura 64.</i> Cálculo de vida del rodamiento YAR 212-2F.	80
<i>Figura 65.</i> Factor de Seguridad de la Estructura.	80

<i>Figura 66.</i> Simulación Tapa Frontal del Sistema de Corte.	81
<i>Figura 67.</i> Factor de Seguridad de la cuchilla.	82
<i>Figura 68.</i> Deformación de la cuchilla.	82
<i>Figura 69.</i> Piezas utilizadas para la simulación dinámica del sistema de corte	83
<i>Figura 70.</i> Simulación del sistema de trituración dinámica.	83
<i>Figura 71.</i> Deformación de la cuchilla en análisis dinámico.	84
<i>Figura 72.</i> Esfuerzo de la probeta de neumático en el análisis dinámico.....	84
<i>Figura 73.</i> Graficet de la Máquina Trituradora de Neumáticos.	86
<i>Figura 74.</i> Diseño CAD del Prototipo de Máquina Trituradora de Neumáticos.....	87

Índice de Tablas

Tabla 1. Especificaciones Técnicas	31
Tabla 2. Ventajas y Desventajas Alternativa "Manual"	34
Tabla 3. Ventajas y Desventajas Alternativa "Automática"	35
Tabla 4. Ventajas y Desventajas Alternativa "Tolva Rectangular"	36
Tabla 5. Ventajas y Desventajas Alternativa "Tolva Trapezoidal"	36
Tabla 6. Ventajas y Desventajas Alternativa "Tolva Mixta"	37
Tabla 7. Alternativas de Solución Módulo 1	37
Tabla 8. Evaluación de criterios módulo 1	38
Tabla 9. Evaluación de criterio "Costo"	38
Tabla 10. Evaluación de criterio "Mantenimiento"	39
Tabla 11. Evaluación de criterio "Seguridad"	39
Tabla 12. Evaluación de criterio "Instalación"	39
Tabla 13. Evaluación de criterio "Ingreso"	39
Tabla 14. Conclusiones para el Módulo 1	40
Tabla 15. Ventajas y Desventajas Alternativa "PLC "	40
Tabla 16. Ventajas y Desventajas Alternativa "Raspberry Pi"	41
Tabla 17. Ventajas y Desventajas Alternativa "Variador de Frecuencia "	42
Tabla 18. Ventajas y Desventajas Alternativa "Sensor de Corriente"	42
Tabla 19. Ventajas y Desventajas Alternativa "Encoder"	43
Tabla 20. Ventajas y Desventajas Alternativa "Final de Carrera"	43
Tabla 21. Ventajas y Desventajas Alternativa "Motor Eléctrico"	44
Tabla 22. Ventajas y Desventajas Alternativa "Motor Hidráulico"	45
Tabla 23. Ventajas y Desventajas Alternativa "Motor Neumático"	46
Tabla 24. Alternativas de Solución Módulo 2	46
Tabla 25. Evaluación de criterios módulo 2	47
Tabla 26. Evaluación de criterio "Costo"	47
Tabla 27. Evaluación de criterio "Capacidad"	48
Tabla 28. Evaluación de criterio "Mantenimiento"	48
Tabla 29. Evaluación de criterio "Giro"	48
Tabla 30. Evaluación de criterio "Control"	48
Tabla 31. Conclusiones para el Módulo 2	49
Tabla 32. Ventajas y Desventajas Alternativa "Cadenas y Catarinas"	50

Tabla 33. Ventajas y Desventajas Alternativa "Poleas"	50
Tabla 34. Ventajas y Desventajas Alternativa "Engranajes"	51
Tabla 35. Ventajas y Desventajas Alternativa "Cuchillas Rotativas"	52
Tabla 36. Ventajas y Desventajas Alternativa "Cuchillas Rectas"	52
Tabla 37. Ventajas y Desventajas Alternativa "Triturador de 1 Eje"	53
Tabla 38. Ventajas y Desventajas Alternativa "Triturador de 2 Ejes"	54
Tabla 39. Ventajas y Desventajas Alternativa "Triturador de 4 Ejes"	54
Tabla 40. Alternativas de Solución Módulo 3	55
Tabla 41. Evaluación de criterios módulo 3	56
Tabla 42. Evaluación de criterio "Costo"	56
Tabla 43. Evaluación de criterio "Mantenimiento"	56
Tabla 44. Evaluación de criterio "Instalación"	57
Tabla 45. Conclusiones para el Módulo 3	57
Tabla 46. Ventajas y Desventajas Alternativa "Recipiente Plástico"	58
Tabla 47. Ventajas y Desventajas Alternativa "Recipiente Metálico".	58
Tabla 48. Alternativas de Solución Módulo 4.	59
Tabla 49. Evaluación de criterios módulo 4	59
Tabla 50. Evaluación de criterio "Costo".	60
Tabla 51. Evaluación de criterio "Mantenimiento".	60
Tabla 52. Evaluación de criterio "Seguridad"	60
Tabla 53. Conclusiones para el Módulo 4	60
Tabla 54. Datos para el Análisis del Factor de Seguridad	76
Tabla 55. Comparación de Resultados de Simulaciones	85
Tabla 56. Costo de Materia Prima Mecánico.....	88
Tabla 57. Costo de Materia Prima Eléctrico.....	92
Tabla 58. Costo de Materia Prima Maquinado.	93
Tabla 59. Costo de Materia Prima Ensamble.....	93
Tabla 60. Costo de Fabricación.	93
Tabla 61. Inercia de las partes que intervienen en la trituración del neumático.....	103
Tabla 62. Factores de Servicio K4 para Transmisiones por Cadenas.....	105

Índice de Anexos

Anexo 1. Presión de los Neumáticos.	98
Anexo 2. Resultados Encuestas	99
Anexo 3. Casa de la Calidad	100
Anexo 4. Catálogo de Neumáticos.....	101
Anexo 5. Ángulos para Herramientas de Corte en función al material.	102
Anexo 6. Potencia del Motor	103
Anexo 7. Catálogo de Reductores Motive.	104
Anexo 8. Factores que intervienen en la Cadena	105
Anexo 9. Selección de la Cadena.....	106
Anexo 10. Dimensiones de las Catarinas.....	107
Anexo 11. Planos Eléctricos	108
Anexo 12. Protocolo de Pruebas	110
Anexo 13. Planos Mecánicos.....	115

Introducción

Planteamiento del problema

En Ecuador se descartan alrededor de 3'000.000 de neumáticos usados al año, según datos del Ministerio del Ambiente, los cuales se convierten en un medio de contaminación ambiental porque tardan en degradarse alrededor de 1000 años. Al ser desechados de forma inadecuada acumulan agua lluvia y se convierten en fuente de transmisión de enfermedades infecciosas como la encefalitis, zika, chikungunya, dengue, paludismo, entre otras. Además, al eliminar los neumáticos mediante incineración puede tener graves consecuencias para el medio ambiente, porque su composición química libera toxinas como el óxido de zinc en el suelo y el agua [1] [2] [3] [4].

Todos los distribuidores y fabricantes de neumáticos deben presentar un Plan de Gestión Integral de Neumáticos Usados [5], según indica el artículo 5 del instructivo para la gestión integral de neumáticos, porque “Los neumáticos usados son considerados desechos especiales según el Acuerdo Ministerial No. 142 de 11 de octubre del 2012, publicado en el Registro Oficial No. 856 de 21 de diciembre de 2012”. Pero, existe la falta de conciencia de los usuarios como de los distribuidores [6], como se evidencia en la ciudad de Ibarra, donde se desechan alrededor de 2.000 neumáticos al año [7].

En el año 2015, como una alternativa de solución, el Municipio de Ibarra firmó un convenio con la Asociación de Vulcanizadores de la Provincia de Imbabura, en el cual consta que un vehículo recolecta la mayor cantidad de neumáticos fuera de uso. Posteriormente son almacenados y trasladados a una planta de tratamiento en la ciudad de Quito [8]. Pero, este proceso genera una serie de gastos, desperdiciando una cantidad importante de recursos.

También, los costos de las máquinas para procesar neumáticos usados alcanzan aproximadamente 130.000 dólares, dependiendo de su procedencia y capacidad. Además, es importante adquirir este tipo de maquinaria, porque estudios demuestran que, al procesar 0,6 toneladas por hora, permite mitigar el problema de la contaminación en un 55%, ya que se obtiene neumático pulverizado que permite tener varias aplicaciones [9].

Algunas aplicaciones del neumático pulverizado son los escenarios deportivos artificiales como canchas sintéticas y pistas de atletismo, tejados, elaboración de pavimentos, asfaltados modificados y bujes automotrices [10] [11] [7]. También, existen

varios emprendimientos en los que se utiliza los neumáticos usados en artesanías, juegos infantiles, pero la demanda es insuficiente para la cantidad de neumáticos desechados [12].

Objetivo General.

Diseñar un prototipo de pre-corte para la obtención de fragmentos de neumáticos reciclados, destinada al proceso de trituración.

Objetivos específicos.

- Determinar las características de los neumáticos y los parámetros que intervienen en su corte.
- Diseñar un prototipo de máquina para el corte de neumáticos que cumpla con los parámetros obtenidos y fragmentos especificados.
- Simular el comportamiento de los diferentes elementos que conforman la máquina.

Justificación

Al desechar inadecuadamente los neumáticos, se convierten en fuentes de enfermedades, provocan contaminación en el suelo y el agua, igualmente al ser incinerados contaminan el aire porque liberan elementos tóxicos. En búsqueda de mitigar el problema, en la ciudad de Ibarra, existen varios emprendimientos, pero no existe un proceso eficiente para el reciclado de neumáticos y para procesarlos se necesita maquinaria que tiene un costo demasiado elevado.

Para solucionar este problema se han creado varias máquinas que trituran el neumático, pero estas resultan ineficientes, porque al no retirar la parte metálica del neumático exige una elevada potencia para su funcionamiento, que conlleva a un costo elevado, y en otros casos se requiere que el neumático ingrese en pedazos pequeños provocando tiempos muertos; por lo cual, para optimizar se ha dividido el proceso en varios recursos tecnológicos que permitan: retirar la pared lateral del neumático, fragmentarlo y tritarlo.

Este proyecto pretende construir la etapa del fragmentado, para lo cual se utilizará como materia prima del neumático sin su pared lateral, hasta rin 14.

Alcance

Diseñar una máquina de pre-corte para neumáticos usados de un tamaño máximo de aro de 355,6mm (rin 14), sin las caras laterales y sin presencia de acero en la banda de rodadura para obtener porciones aceptables de neumáticos triturados, dentro del proceso de reciclaje, para lo cual, incluyen los resultados de los estudios de simulación, lista de materiales, planos detallados de construcción mecánica y ensamblaje.

Estado del Arte

En el año 2010 se realiza el “diseño de triturador de neumáticos usados capacidad 1 ton/h, para la empresa municipal de aseo de Cuenca” que tiene dos motores de 74,6 KW a una velocidad angular de 20 rpm obteniendo trozos de 35 x 35 mm, posee inversión de giro ante sobrecarga y alcanza un costo semejante a 197.000 dólares. Esta máquina de pre-corte no posee un costo demasiado elevado [13].

En el año 2015, se realiza un trabajo teórico denominado “Implementación de un diseño mecánico para Triturar neumáticos reciclables” en el que se determinó la fuerza de desgarramiento del caucho bajo la norma ISO 34-1, dicha fuerza fue utilizada en el cálculo del torque y potencia máxima requerida para el accionamiento del triturador de neumáticos reciclables. Se diseñaron los elementos mediante un criterio de falla Von Mises Modificado y se utiliza un sistema de transmisión por moto-reductor y cadena, que llega a determinar que para ejecutar el proyecto se requiere de una inversión aproximada de 60.000 dólares. En este proyecto no se puede apreciar el funcionamiento de la máquina debido a que se trata de un planeamiento teórico [14].

En el año 2017, en la ciudad de Ibarra, se realiza una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría fina, por lo cual, se realizó una selección de alternativas y se determinó el material a utilizar con sus respectivas dimensiones, también se obtuvieron simulaciones en software, el motor posee inversión de giro al motor evitando el atascamiento de la máquina, se obtiene una granulometría fina de 60%, además, posee una efectividad de 90%, sin embargo se debe ingresar el neumático en pedazos pequeños [7].

Capítulo I. Marco Teórico

En el capítulo 1, se brinda las consideraciones generales para llegar a utilizar una metodología adecuada, partiendo desde perspectiva macro se da a conocer la trituración en el Ecuador, las características generales de los neumáticos, los métodos de trituración, etapas de trituración, tipos de máquinas existentes en el mercado local y las granulometrías de los neumáticos, los mismos que ayudan a tener una noción sobre la trituración de llantas.

1.1. Trituración de Neumáticos en el Ecuador

Existen varias empresas que trabajan en el reciclaje de llantas [12] y de acuerdo con el Ministerio del Ambiente, Gadere, Proneumacosa, Incinerox y Ecocaucho son empresas que lideran esta actividad.

En Cuenca, existe una empresa denominada Procaucho, que produce varios artículos de decoración a partir de llantas y realizan piletas de agua, sillas, jarrones, y vasijas que tienen buena aceptación entre el público. Durante varios años han trabajado en la fabricación de repuestos automotrices (bases para motor, empaques, entre otros).

En Quito, Ruberaction, corta, tritura y muele el caucho para obtener el grano reciclado que sirve para canchas sintéticas de fútbol, fabricación del asfalto modificado.

Proneumacosa, está ubicada en Cotopaxi, se dedica a la trituración y venta de granulado de caucho para adoquines y canchas sintéticas. Las demás empresas recolectan y almacenan neumáticos y/o desechos peligrosos. En la ciudad de Ibarra, no existe una planta trituradora, únicamente el trabajo de grado elaborado por el Ing. Stalin Mueses en la Universidad Técnica del Norte. [7]

1.2. Características de los neumáticos

1.2.1. Características Generales de los Neumáticos

Un neumático es un toroide con resistencia y solidez para soportar aire en altas presiones que varían dependiendo del fabricante, pero para un tamaño de rin 14" van aproximadamente entre 180 kPa y 440 kPa, ver Anexo 1, está compuesto mayoritariamente de un sólido deformable elásticamente, conocido como caucho;

además, tiene acero, fibra textil y otros químicos [13] [4], como se indica en la figura 1.



Figura 1. Composición de un neumático [4].

Los neumáticos están diseñados para soportar el peso del vehículo, resistir sobrecargas dinámicas, guiar al vehículo por cualquier tipo de terreno y amortiguar irregularidades [15]. Para soportar las características mencionadas, las llantas cuentan con componentes que tienen una función específica, como se muestra en la figura 2. [16] [4]



Figura 2. Estructura de un neumático [4].

1.2.2. Tipos de Neumáticos Existentes en el Mercado.

Existe una diversidad de llantas en el mercado, debido a sus características constructivas, modo de uso y temporada del año [7]. Las más comunes son dos tipos de neumáticos, los diagonales y radiales [15] [17] [13], como se muestra en la figura 3.

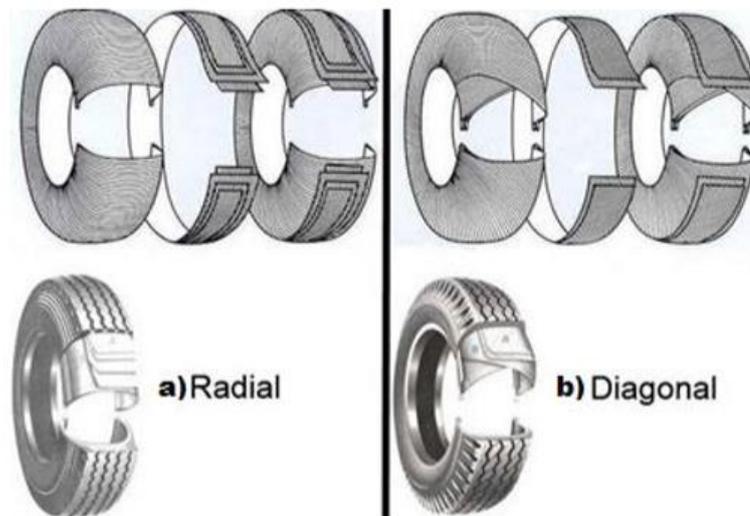


Figura 3. Tipos de Neumáticos [7]

- **Diagonales:** Se caracteriza por tener el tejido alterno y cruzado dispuesto en forma diagonal en la carcasa, formando un ángulo entre 25° y 40° . Tienen cuerdas de refuerzo de forma diagonal.
- **Radiales:** Está compuesto de unas capas de tejido en forma radial, desde un talón a otro del neumático. Se caracteriza por capas de tejido en forma radial, suelen tener una o dos bandas de acero entrelazadas para mejorar la resistencia a los pinchazos.

Tanto las llantas radiales como diagonales se utilizan de forma convencional, este tipo de llantas las fabrican diferentes empresas o marcas conocidas en el mercado local como MAXXIS, YOKOHAMA, GOOD YEAR, MICHELIN, TOYO TIRES, GT RADIAL, CONTINENTAL, HANKOOK, BARUM, FIRESTONE, BRIDGESTONE, DUNLOP, entre otras [18] [19] [20]. Existen preferencias de marcas como lo menciona la publicación de JD Power, como se indica en la figura 4.

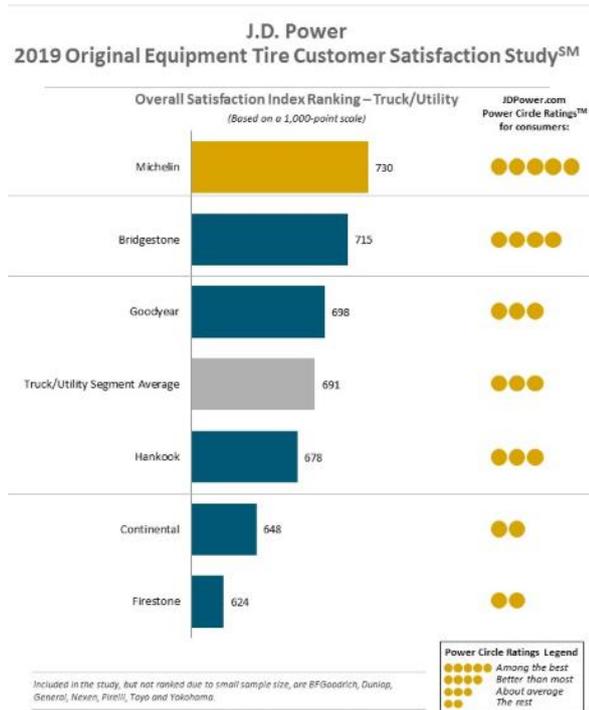


Figura 4. Las Mejores Marcas de Llantas del Mercado [21]

1.2.3. Fabricación de los Neumáticos

El proceso de manufactura de un neumático comienza en la fase inicial del proceso que es la preparación del caucho, este se inicia con la mezcla de los componentes conforme a una fórmula científica y paralelamente se elaboran los diferentes componentes de la llanta [22].

En los neumáticos, la calidad asegura la tracción en carretera, la ergonomía, características de eficiencia energética, la frenada en superficie mojada y el nivel de ruido. Existen ensayos de control de calidad de la producción de neumáticos, donde antes de producirse son sometidos a pruebas de resistencia al rodamiento; de desgaste; de ruido y de confort; de frenado y adherencia; y de comportamiento. Con la finalidad, de cumplir con los límites de carga, dimensiones y velocidades, contenidas en las normas INEN utilizadas en el Ecuador [23] [24].

En el país los documentos normativos que certifican a los neumáticos son RTE INEN 011:2013, NTE INEN 2099:2013, NTE INEN 2100:2013, las cuales, se aplican a casi todos los neumáticos para vehículos de cuatro ruedas [24].

1.2.4. Codificación de los Neumáticos

La codificación se utiliza para identificar los neumáticos, está ubicada en la cara lateral del mismo y se expresa en letras y números, como se muestra en la figura 5 [7]. Dentro de esta nomenclatura se obtiene las dimensiones de los neumáticos, tomando en cuenta el ejemplo P 215/65 R15 [17]:



Figura 5. Nomenclatura de un neumático [17].

- P, indica que es destinado vehículos de pasajeros.
- 215, es el ancho del neumático en milímetros.
- 65, es la “relación de aspecto” entre la altura del perfil y la anchura del neumático, como un porcentaje.
- R, indica el tipo de construcción de la carcasa del neumático, explicado en el punto H. Si no se incluye el dato se considera que el neumático es de cintas cruzadas.
- 15, es el diámetro de la llanta en pulgadas.

Con estos datos se calcula el Diámetro total = $(215\text{mm} \times 65\%) \times 2 + (15 \times 25.4\text{mm}) = 635.1\text{mm}$.

1.3. Métodos de Trituración

1.3.1. Etapas de Trituración

Para el triturado del se utiliza un proceso de diferentes etapas o fases [15], como se muestra a continuación:

- ***Fase de Desprendimiento del Alambre***

El aro de talón es la parte más resistente de un neumático, debido a que está formado por cordones de acero que brindan rigidez a la llanta donde se extrae los alambres mediante cilindros neumáticos, como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Extracción del aro de talón del neumático [15].

- ***Fase de Trituración***

Se realiza una trituración primaria, donde ingresa un neumático del tamaño original y lo reduce en partes más pequeñas, donde se obtienen tamaños mayores a 1 pulgada, aproximadamente.



Figura 7. Trituración primaria de un neumático [13].

- ***Fase de Granulado***

En esta fase ingresan tamaños inferiores a 1 pulgada, donde se trituran hasta llegar a una granulometría inferior a 15mm, como se indican en la figura 8.

- ***Fase de Pulverizado***

Es la fase final de este proceso donde se obtiene como producto polvo de caucho de aproximadamente 400 micras. Este proceso depende de la aplicación a la cual está destinada, los tamaños en la figura 8.

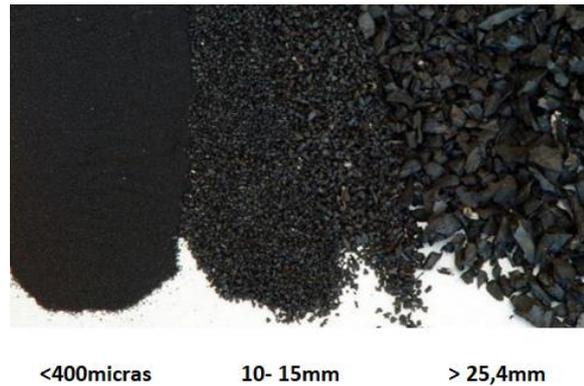


Figura 8. Neumático triturado en varios tamaños.

1.3.2. Tipos de Máquinas Trituradoras

Existen 2 tipos, la trituración criogénica y mecánica.

La criogénica, consiste en congelar el neumático con nitrógeno líquido para separar el aro de talón del resto del neumático, este método es muy costoso, contaminante y complejo, razón por la cual, es poco utilizado. [15] [25] [26]

La mecánica, consiste en triturar y reducir el tamaño del neumático, mediante un sistema de corte que logra disminuir el volumen de salida del caucho y reutilizar el mismo [15] [25]; dentro de la molienda mecánica se encuentran las máquinas para realizar cizallamiento mediante el giro de las cuchillas ubicadas a lo largo del eje que se clasifican en [13] [15] [14] [25]:

- ***Triturador de 1 eje***

Este triturador utiliza un eje que gira y realiza el corte del neumático presando con la pared de contacto, por la acción de cizallamiento de las cuchillas.

- ***Triturador de 2 ejes***

Se compone por dos ejes con cuchillas rotativas, que al girar en sentido contrario desgarran el material hasta transformarlo pequeños fragmentos [27]; permite triturar cualquier tipo de material como chatarra electrónica, metales, neumáticos, residuos peligrosos o papel.

- ***Triturador de 4 ejes***

Tiene cuatro ejes que combinan la fuerza de las trituradoras de doble eje para controlar el tamaño del material de salida.

1.4. Granulometrías

En el proceso de trituración de los neumáticos ingresa un neumático entero y en la salida se obtienen fragmentos de varios tamaños, como se muestra en la figura 9 [7] [26].

Producto	Tamaño
Neumático entero (W)	
Trozos (X)	> 300 mm
Tiras (shred) (S)	50-300 mm
Astillas (chips) (C)	10-50 mm
Granulado (G)	1-10 mm
Polvo (P)	< 1 mm
Polvo fino (F)	<500 μm

Figura 9. Medidas de Granulometría

Además, es importante realizar una asignación de tamaños debido a que mediante procesos de triturado y granulado se transforma los neumáticos en materiales constructivos aplicables a pistas deportivas, parques infantiles, carreteras, entre otras aplicaciones [28].

Capítulo II. Marco Metodológico

2.1. Investigación

Se obtiene la información necesaria sobre la trituración de neumáticos, como las características generales de los neumáticos, métodos y etapas de trituración tipos de máquinas trituradoras que existen en el mercado local; con la finalidad de realizar el diseño conceptual de la máquina. Además, la investigación se introduce de principio a fin [29], es decir, está presente a lo largo del desarrollo del proyecto.

2.2. Análisis QFD

Se obtiene los requerimientos de diseño mediante encuestas dirigidas a los involucrados del proyecto de investigación; mediante el análisis QFD se traduce las demandas de los usuarios (o voz del cliente) en requerimientos técnicos del producto [30], es así como se obtiene las especificaciones técnicas del proyecto.

2.3. Selección de Alternativas

Se realiza un análisis funcional del sistema de trituración, obteniendo los módulos 1: Ingreso del Neumático, 2: Control de Trituración, 3: Sistema de Trituración y 4: Salida del Neumático; cada módulo con distintas funciones y para cada función se tiene alrededor de 3 alternativas. Para cada módulo se realiza el análisis de criterios ponderados y considerando el orden de importancia de las especificaciones técnicas, se obtiene la solución óptima para la máquina trituradora.

2.4. DFMA

El Diseño para la Fabricación y Montaje (DFMA), permite diseñar la propuesta tomando en cuenta los aspectos de manufactura, ensamblaje y costos de la máquina, mediante la disponibilidad del mercado [31]. Es así que se obtiene el diseño conceptual del prototipo de máquina trituradora, partiendo desde el diseño de la cuchilla con los respectivos ángulos de corte, es así que se obtiene el diseño conceptual del sistema de trituración, las tolvas de ingreso y salida, la estructura de soporte y el sistema de transmisión de movimiento.

2.5. Diseño Mecánico de la Propuesta

Se inicia con la recopilación de información de la fuerza para triturar el neumático, donde se obtiene que se necesita 2630N, y con un desfase en las cuchillas de 20° se obtiene un motor de 7,5 kW. Considerando el DFMA se selecciona las catarinas, rueda

dentada y chumaceras, es así que se obtiene el Diagrama de Cuerpo Libre (DCL), el cual, permite dimensionar el eje de transmisión y demás elementos.

Los elementos de máquina se dimensionan y seleccionan mediante el análisis de elementos finitos, las mismas son verificados mediante cálculos analíticos. También, se realiza una simulación dinámica del sistema de trituración (dos cuchillas invertidas con 1 probeta), para obtener la deformación en la cuchilla, el esfuerzo necesario para producir el corte en el neumático y apreciar el proceso de trituración en general.

Además, se calculan los demás elementos a través de simulaciones, con la finalidad de llegar a obtener el diseño de prototipo de máquina trituradora, con la respectiva de lista de materiales y planos mecánicos.

Capítulo III. Resultados

En este capítulo se muestra el análisis QDF y de funciones, donde se obtiene la alternativa de solución óptima para llegar al diseño mecánico de la propuesta y comparar los resultados simulados y calculados. Con la finalidad de llegar a obtener el diseño del prototipo de máquina trituradora, con la respectiva la lista de materiales y planos detallados de construcción mecánica y ensamblaje.

3.1. Análisis QFD

3.1.1. Requerimientos del usuario.

La obtención de los requerimientos del usuario se realizó mediante encuestas, que estuvieron dirigidas a las personas involucradas con el proyecto de investigación, ver Anexo 2. De donde se infiere los siguientes requerimientos:

- La máquina debe triturar 1 neumático rin 14” a la vez.
- Al retirar los fragmentos de neumáticos triturados debe retirarse fácilmente, para ser transportada al siguiente proceso de trituración fina.
- La máquina debe tener inversión de giro para evitar atascamientos.
- La máquina debe evitar riesgos mecánicos y ergonómicos, es decir, debe ser segura al momento de realizar la operación.
- La máquina debe ser de bajo costo.
- Al momento de construir la máquina debe ser fácil y rápida su instalación y operación
- Debe existir una capacidad de producción de aproximadamente 100kg/h.
- Realizar un diseño donde la máquina tenga facilidad para realizar mantenimiento.

3.1.2. La voz del cliente

La voz del cliente está directamente relacionada con los requerimientos del usuario que se mencionan en el apartado 3.1.1

3.1.3. La voz del Ingeniero

Se traduce la voz del cliente a la voz del ingeniero, mediante el análisis de la casa de la calidad (Ver Anexo 3), donde se obtiene una ponderación de los

requisitos de diseño, en los cuales se identifican las especificaciones técnicas en orden de prioridad, siendo de mayor porcentaje el Costo, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Especificaciones Técnicas

Cliente: GIDSIM		Proyecto: Obtención de fragmentos de neumático mediante un prototipo de pre-corte		Fecha inicio: 27/06/2019
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Costo	27/06/2019	C	R	El costo está limitado a los materiales en el mercado local y de menor costo.
Que no se atasque	27/06/2019	C	R	Control de inversión de giro con sensor de corriente.
Mantenimiento	27/06/2019	C	R	Disponibilidad de herramientas.
Fácil de usar	27/06/2019	C+I	R	Selector ON/OFF y luces indicadoras del funcionamiento, atascamiento y peligro.
Capacidad de 100 kg/h	27/06/2019	C	R	Tolva de ingreso para un neumático rin 14".
Que sea segura	27/06/2019	C+I	R	Cubrir la transmisión de potencia de la máquina y finales de carrera en las tolvas.
Energía	27/06/2019	I	R	Alimentación trifásica.
Salida	27/06/2019	C	D	Tolva de salida lateral.

Propone: C=Cliente, I=Ingeniería Parámetro: R=Requerimiento, D=Deseo

3.2. Selección de Alternativas

3.2.1. Diagramas funcionales

Este método permite determinar las funciones del sistema por medio de diagramas de flujo [30], obteniendo los niveles 0, 1 y 2.

En el nivel cero se representa el funcionamiento básico de la máquina, donde, al ser accionados por una señal, energía e ingreso del neumático entero, atraviesa

por la función de trituración se obtiene los fragmentos de neumático, como se indica en la figura 1.



Figura 10. Diagrama de Funciones Nivel 0

En el nivel 1, se considera la forma de ingreso del neumático y el encendido del sistema motriz en paralelo, los cuales permiten la trituración del neumático y obtener el neumático triturado a la salida. Pero, si existe una señal de corriente que detecte un atascamiento, provoca la inversión de giro de motor que conlleva a apagar y encender nuevamente el sistema motriz, como se puede observar en el análisis de funciones de la figura 11.

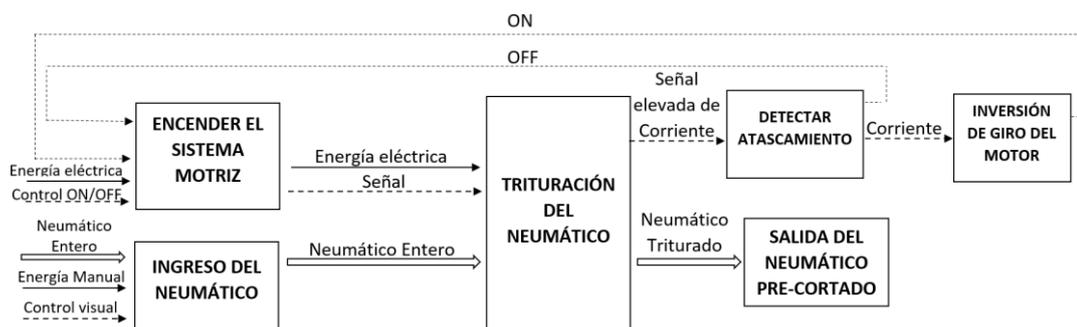


Figura 11. Diagrama de Funciones Nivel 1

En el nivel 2, se desglosa el diagrama funcional del nivel 1 con la finalidad de llegar a conocer las funciones que actúan en el proceso de trituración del neumático, en la figura 12, se muestran las funciones de ingreso del neumático, caída del neumático, para llegar a la trituración se considera el control de la misma que permite el encendido del motor, provocando la transmisión de potencia y mecanismo de corte que arroja el neumático triturado a una salida.

Además, se considera la dificultad para triturar en el mecanismo de corte, para el cual se utiliza un sensor de corriente, proporcionando una señal en caso de existir el atascamiento, que mediante el control de trituración exige que el motor se apague e inicie mediante una inversión de giro del motor.

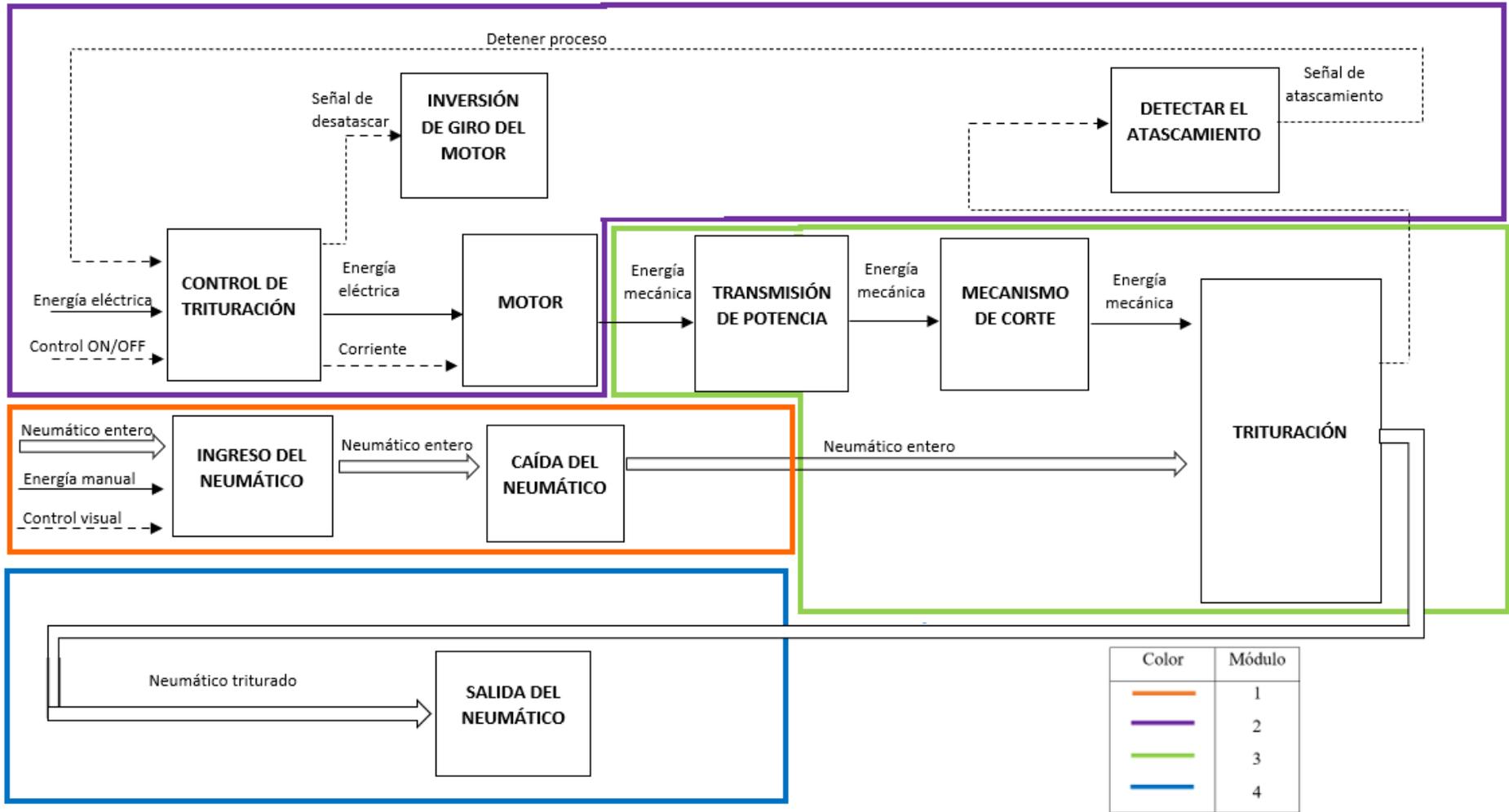


Figura 12. Diagrama de Funciones Nivel 2.

3.2.2. Análisis Modular

A partir del diagrama de funciones del nivel 2, se realiza el análisis modular de los 4 módulos, siendo el Módulo 1: Ingreso del neumático, el Módulo 2: Sistema de Control, el Módulo 3: Sistema de Corte y Módulo 4 de Salida del Neumático.

3.2.2.1. Módulo 1: Ingreso del Neumático

Este módulo tiene las funciones de “Ingreso del Neumático” y “Caída del Neumático”.

3.2.2.1.1 Análisis de Funciones Módulo 1

Ingreso del Neumático

- Manual:

El ingreso del neumático es manual cuando se realiza por acción de un operario, como se muestra en la figura 13 y la respectiva ventaja y desventaja en la tabla 2.



Figura 13. Levantamiento manual de una carga [32].

Tabla 2.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Manual"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Costo bajo	Riesgo ergonómico

- Automático:

El neumático ingresa y es trasladado mediante una banda transportadora accionada por un motor y reductor de velocidad, como se muestra en la figura 14, este tipo de mecanismo es ideal para producción en masa, las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 3.



Figura 14. Transportación automática de una carga.

Tabla 3.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Automática".

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sin el riesgo ergonómico.	Costo elevado
Velocidad controlada	-
Transporta cualquier tipo de material	-
Velocidad controlada	-

Caída del Neumático

Las opciones para la caída del neumático están relacionadas con la forma de la tolva, donde se consideran las formas “Tolva Rectangular”, “Tolva Trapezoidal” y finalmente la unión entre una tolva rectangular y trapezoidal, llamada “Tolva Mixta”.

- Tolva Rectangular:

La tolva tiene forma rectangular forma de la tolva, como se muestra en la figura 15 y las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 4.

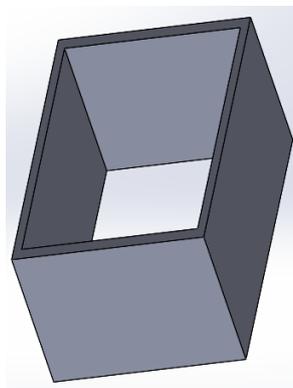


Figura 15. Tolva Rectangular [7].

Tabla 4.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Tolva Rectangular"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo costo de fabricación	Inestabilidad en la caída del material.
Fácil fabricación	Elevado riesgo de salpique de material

- Tolva Trapezoidal:

La tolva tiene forma de un trapecio, como se muestra en la figura 16 y las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 5.

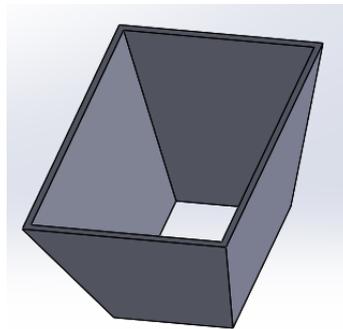


Figura 16. Tolva Trapezoidal

Tabla 5.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Tolva Trapezoidal"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
El material cae ligeramente inclinado.	Requiere mayor material, por lo tanto, mayor costo para la fabricación
Fácil construcción	-
Fácil mantenimiento	-

- Tolva Mixta:

La forma de la tolva mixta es la unión del trapecio y rectángulo, como se indica en la figura 17 y las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 6.

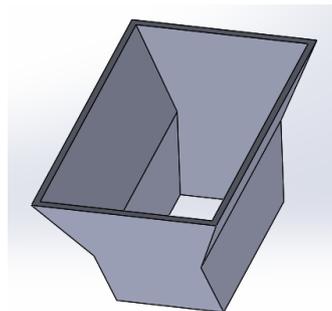


Figura 17. Tolva Mixta

Tabla 6.

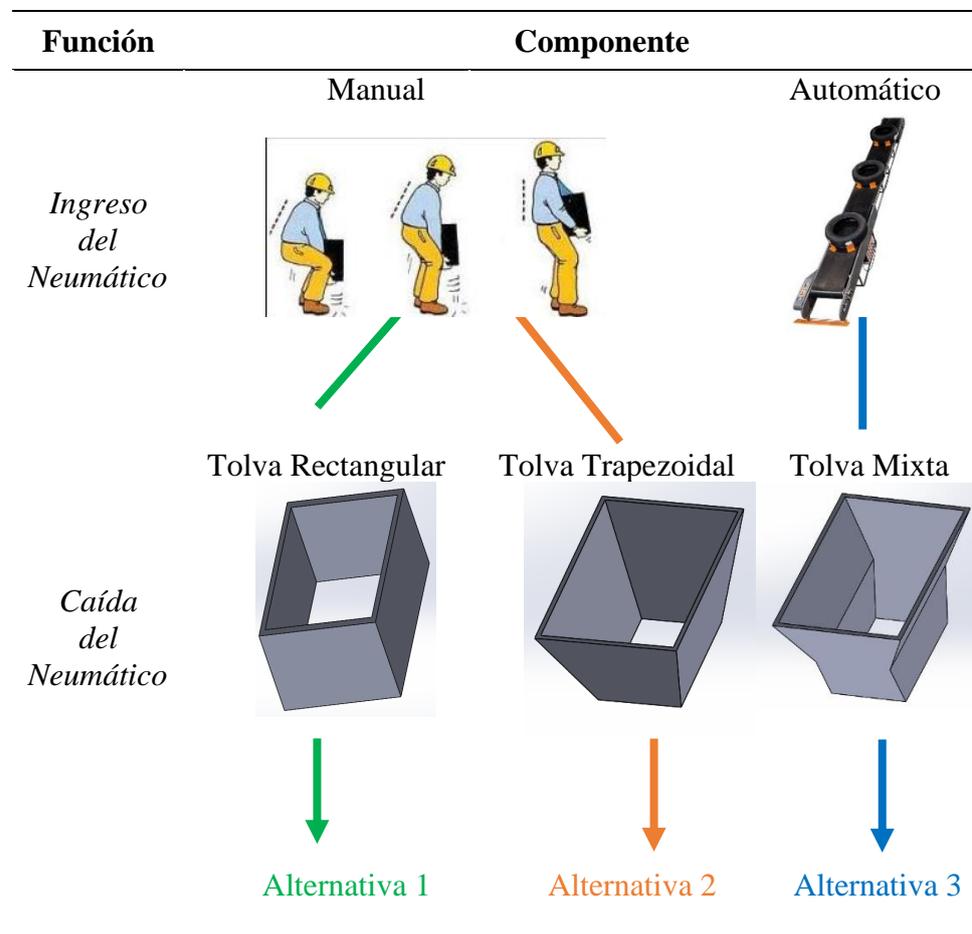
Ventajas y Desventajas Alternativa "Tolva Mixta".

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Evita que el material salga durante la trituración	Mayor costo de fabricación.
-	Requiere mayor tiempo de mantenimiento.

3.2.2.1.2 *Análisis de Solución Modulo 1*

Tabla 7.

Alternativas de Solución Módulo 1



3.2.2.1.3 *Evaluación y Selección de Alternativas Módulo 1*

Para la selección de alternativas se realiza una evaluación en base a las ponderaciones mostradas en las especificaciones técnicas de la tabla 1, donde, se consideran relevantes para este módulo son:

- Costo, los materiales que se utilizan en la respectiva función deben ser de fácil adquisición en el mercado local y de costo bajo.
- Mantenimiento, debe ser de fácil montaje y desmontaje para realizar mantenimientos de manera más fácil y eficaz.
- Seguridad, se debe evitar riesgos ergonómicos y mecánicos
- Instalación, debe ser de fácil instalación al momento de la construcción de la máquina.
- Ingreso, debe ingresar 1 neumático a la vez para ser triturado.

En la tabla 8, se muestra la evaluación y valoración de los criterios del módulo 1.

Tabla 8.

Evaluación de criterios módulo 1

	Costo	Mtto	Seguridad	Instalación	Ingreso	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	1	1	5	0,45
Mtto	0		1	1	1	4	0,36
Seguridad	0	0		1	1	3	0,27
Instalación	0	0	0		1	2	0,18
Ingreso	0	0	0	0		1	0,09
					Suma	11	1
Costo > Mantenimiento > Seguridad > Instalación > Ingreso							

Las Tablas 9, 10, 11, 12 y 13 muestran las alternativas de solución para los criterios más relevantes para este módulo, costos, mantenimiento, seguridad, instalación e ingreso.

Tabla 9.

Evaluación de criterio "Costo"

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	2	0,29
Alternativa 2	1		0	2	0,29
Alternativa 3	1	1		3	0,43
			Suma	7	1
Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1					

Tabla 10.

Evaluación de criterio “Mantenimiento”

Mtto	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,42
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,42
Alternativa 3	0	0		1	0,17
			Suma	6	1
Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3					

Tabla 11.

Evaluación de criterio “Seguridad”

Seguridad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		0	2	0,33
Alternativa 3	1	1		3	0,50
			Suma	6	1
Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1					

Tabla 12.

Evaluación de criterio “Instalación”

Instalación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,40
Alternativa 2	0		1	2	0,40
Alternativa 3	0	0		1	0,20
			Suma	5	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3					

Tabla 13.

Evaluación de criterio “Ingreso”

Ingreso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,33
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,33
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,33
			Suma	6	1
Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					

En la Tabla 14, se muestra las conclusiones del módulo 1, donde, según la misma, las conclusiones para el módulo 1 es la alternativa 2.

Tabla 14.

Conclusiones para el Módulo 1

Conclusión	Costo	Mtto	Seguridad	Instalación	Ingreso	$\Sigma+1$	Prioridad
Altn 1	0,29*0,45	0,42*0,36	0,17*0,27	0,40*0,18	,33*0,09	1,43	3
Altn 2	0,29*0,45	0,42*0,36	0,33*0,27	0,40*0,18	,33*0,09	1,47	1
Altn 3	0,43*0,45	0,17*0,36	0,50*0,27	0,20*0,18	,33*0,09	1,45	2

3.2.2.2. Módulo 2: Sistema de Control de Trituración

Este módulo tiene las funciones de Control de Trituración, Detectar Atascamiento, Inversión de Giro y Motor.

*3.2.2.2.1 Análisis de Funciones Módulo 2**Control de trituración*

Se consideran las opciones a un PLC, Microprocesador Raspberry Pi y Variador de Frecuencia.

- PLC

Un controlador lógico programable (PLC), es un dispositivo utilizado en la automatización y control de motores, válvulas, actuadores, entre otros [33]. Tiene entradas y salidas como se indica en la figura 18, las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 15.



Figura 18. PLC SIEMENS LOGO [34].

Tabla 15.

Ventajas y Desventajas Alternativa "PLC "

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Entradas analógicas y digitales y salidas de relé	Costo elevado
Fácil programación	-
Soporta altas potencias	-
Fácil instalación	-

- Microprocesador RASPBERRY PI

Es un ordenador de placa reducida con entradas USD, ethernet y salida HDMI, como se representa en la figura 19, permiten conectar el miniordenador a otros dispositivos, teclados, ratones y pantallas [35]. Las ventajas y desventajas se detallan en la tabla 16.



Figura 19. Raspberry Pi [36]

Tabla 16.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Raspberry Pi"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo costo	Se necesita una placa de acoplamiento para AC.
Acceso a internet	No soporta altas potencias
-	Difícil programación.

- Variador de Frecuencia

Un variador de frecuencia utiliza la energía de la red del variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos [37], como se muestra en la figura 20 y las ventajas y desventajas en la tabla 17.



Figura 20. Variador de Frecuencia [38].

Tabla 17.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Variador de Frecuencia "

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Maneja entradas y salidas analógicas y digitales	Alto costo
Soporta potencias elevadas	-

Detectar atascamiento

Para detectar el atascamiento se consideran 3 opciones: Sensor de Corriente, Encoder y Final de Carrera.

- Sensor de Corriente

Tiene un funcionamiento similar a un transformador, donde el sensor mide corriente alterna y en la salida arroja valores de voltaje o corriente proporcional a la que ingresa por la bobina [39]. En sensor se muestra en la figura 22 y las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 18.



Figura 21. Sensor de corriente [40].

Tabla 18.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Sensor de Corriente"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo costo	Difícil programación
Fácil adquisición en el mercado local	-
Fácil instalación	-

- Encoder

Es un dispositivo electromecánico que permite codificar el movimiento mecánico en distintos tipos de impulsos eléctricos [41].

El encoder se muestra en la figura 22 y las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 19.



Figura 22. Encoder [42].

Tabla 19.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Encoder"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fácil adquisición en el mercado local.	Costo más alto que el sensor de corriente.

- Final de Carrera

Es un dispositivo que detecta la posición de un elemento móvil mediante accionamiento mecánico, su forma se muestra en la figura 23 y las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 20.



Figura 23. Final de Carrera [43]

Tabla 20.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Final de Carrera"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fácil adquisición en el mercado local	Vida útil a mediano plazo
Fácil programación	Se necesita un final de carrera para cada posición del elemento a sensar.
Bajo costo	-
Alimentación AC	-

Inversión del giro del motor

La inversión de giro del motor está directamente relacionada con el control de trituración y el sensor a utilizar, porque dependiendo de las entradas o salidas que se manejen se hace directamente el control de la inversión de giro. Sin embargo, se considera necesario resaltar la relación del controlador con el sensor:

- PLC: Tiene entradas para acoplar únicamente el final de carrera.
- Microprocesador Raspberry Pi: - No tiene entradas para los 3 sensores, porque necesita una placa para control de potencia.
- Variador de Frecuencia: - Acoplamiento con sensor, encoder y/o final de carrera.

Motor

- Motor eléctrico

Transforman una energía eléctrica en energía mecánica de rotación en un eje, por la acción de los campos magnéticos que se generan las bobinas [44], el motor se muestra en la figura 24 y las respectiva ventajas y desventajas en la tabla 21.



Figura 24. Motor Eléctrico [45].

Tabla 21.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Motor Eléctrico"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fácil adquisición en el mercado local.	Requiere instalación trifásica para su montaje.
Amplia gama de potencia	-
Poco ruido.	-
Costo bajo en relación al neumático.	-
Velocidad de trabajo moderada.	-

- Motor hidráulico

Transforma la energía cinética del fluido en energía mecánica rotativa aplicada a un eje. El motor hidráulico se muestra en la figura 25 y las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 22 [46].



Figura 25. Motor Hidráulico [47]

Tabla 22.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Motor Hidráulico"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Maneja potencias más altas que el motor eléctrico y neumático	Difícil adquisición en el mercado local
Velocidad de trabajo moderada	Costo elevado
-	Mantenimiento costoso

- Motor neumático

Convierte la energía del aire comprimido en trabajo mecánico mediante un movimiento lineal o giratorio [48]. El motor neumático se observa en la figura 27 y las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 23.



Figura 26. Motor Neumático [48].

Tabla 23.

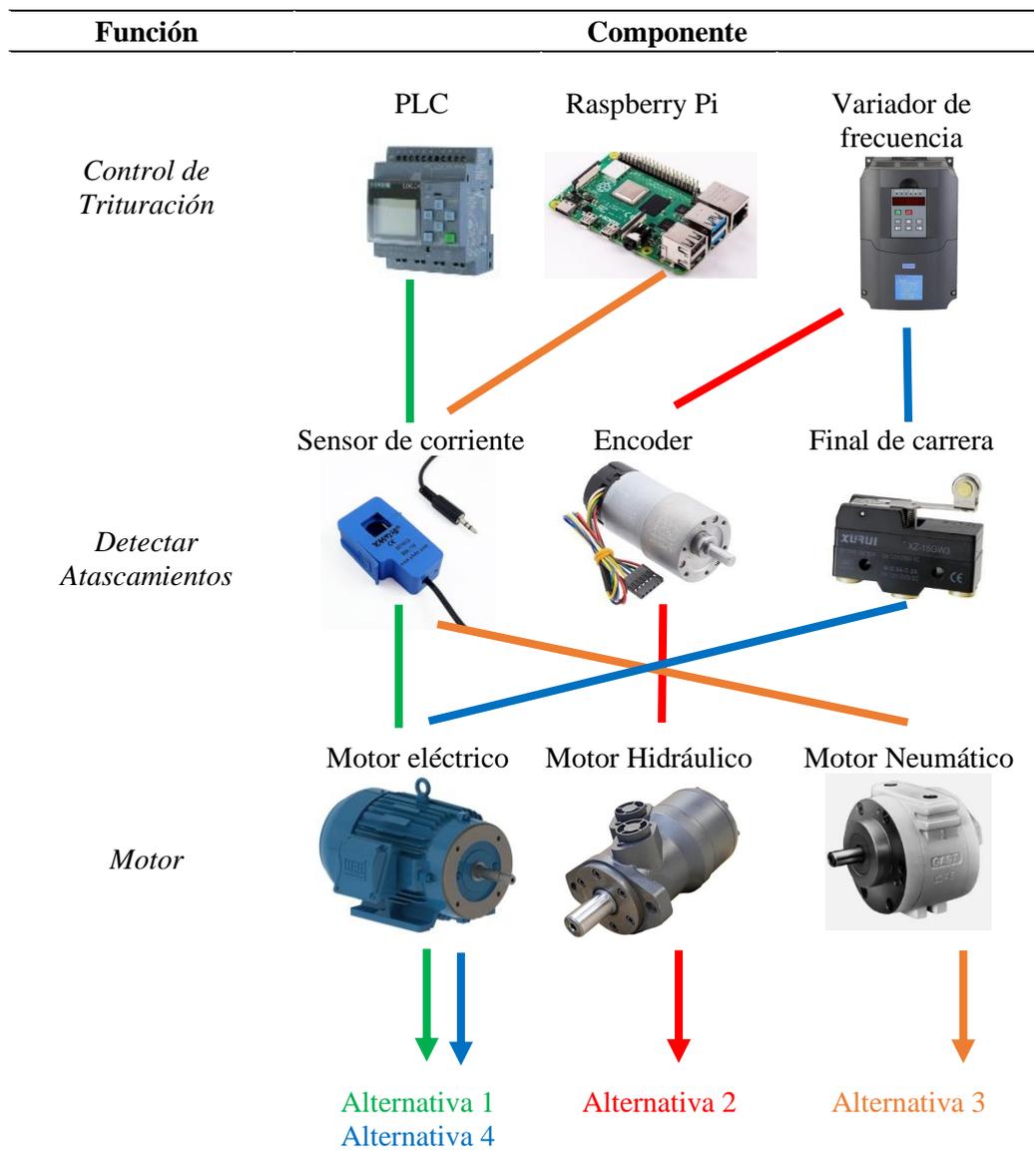
Ventajas y Desventajas Alternativa "Motor Neumático"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Amplia gama de potencia	Difícil adquisición en el mercado local
Óptimo para trabajos repetitivos	Necesita sistema de inyección de aire
Altas velocidades de trabajo	Costo elevado
Tiene mejor par de arranque	Ruido elevado

3.2.2.2.2 *Alternativas de Solución Módulo 2*

Tabla 24.

Alternativas de Solución Módulo 2



3.2.2.2.3 Evaluación y Selección de Alternativas Módulo 2

Se consideran relevantes para este módulo son:

- Costo, los materiales deben ser de fácil adquisición en el mercado local y de costo bajo.
- Velocidad de trituración, se debe alcanzar una velocidad de 100kg/h
- Mantenimiento, adquirir los repuestos en el mercado local.
- Giro, debe haber inversión de giro del motor para evitar atascamientos.
- Control, debe ser de fácil y rápida operación

La tabla 25, se muestra la evaluación y valoración de los criterios del módulo 2.

Tabla 25.

Evaluación de criterios módulo 2

	Costo	Capacidad	Mtto	Giro	Control	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	1	1	5	0,33
Capacidad	0		0	0	0	1	0,07
Mtto	0	1		0	0,5	2,5	0,17
Giro	0	1	1		1	4	0,27
Control	0	1	0,5	0		2,5	0,17
					Suma	15	1
Costo > Giro > Mantenimiento = Control > Capacidad							

Las Tablas 26, 27, 28, 29 y 30 muestran las alternativas de solución para los criterios más relevantes para este módulo, donde, se analiza el costo, capacidad, mantenimiento, giro y control.

Tabla 26.

Evaluación de criterio "Costo"

Costo	Altn 1	Altn 2	Altn 3	Altn 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Altn 1		1	1	1	4	0,40
Altn 2	0		0	0	1	0,10
Altn 3	0	1		0	2	0,20
Altn 4	0	1	1		3	0,30
			Suma		10	1
Alternativa 1 > Alternativa 4 > Alternativa 3 > Alternativa 2						

Tabla 27.

Evaluación de criterio "Capacidad"

Capacidad	Altn 1	Altn 2	Altn 3	Altn 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Altn 1		0,5	0,5	0,5	2,5	0,25
Altn 2	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Altn 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Altn 4	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
			Suma		10	1

Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3 = Alternativa 4

Tabla 28.

Evaluación de criterio "Mantenimiento"

Mtto	Altn 1	Altn 2	Altn 3	Altn 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Altn 1		1	1	1	4	0,40
Altn 2	0		0	0	1	0,10
Altn 3	0	1		0	2	0,20
Altn 4	0	1	1		3	0,30
			Suma		10	1

Alternativa 1 > Alternativa 4 > Alternativa 3 > Alternativa 2

Tabla 29.

Evaluación de criterio "Giro"

Giro	Altn 1	Altn 2	Altn 3	Altn 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Altn 1		0,5	0,5	0,5	2,5	0,25
Altn 2	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Altn 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Altn 4	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
			Suma		10	1

Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3 = Alternativa 4

Tabla 30.

Evaluación de criterio "Control"

Control	Altn 1	Altn 2	Altn 3	Altn 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Altn 1		1	1	1	4	0,4
Altn 2	0		1	0,5	2,5	0,25
Altn 3	0	0		0	1	0,10
Altn 4	0	0,5	1		2,5	0,25
			Suma		10	1

Alternativa 1 > Alternativa 4 = Alternativa 2 > Alternativa 3

En la Tabla 31, se muestra las conclusiones finales del módulo 2.

Tabla 31.

Conclusiones para el Módulo 2

Conclusión	Costo	Capacidad	Mtto	Giro	Control	$\sum+1$	Prioridad
Altn 1	0,40*0,33	0,25*0,07	0,40*0,17	0,25*0,27	0,40*0,17	1,35	1
Altn 2	0,10*0,33	0,25*0,07	0,10*0,17	0,25*0,27	0,25*0,17	1,18	4
Altn 3	0,20*0,33	0,25*0,07	0,20*0,17	0,25*0,27	0,10*0,17	1,20	3
Altn 4	0,30*0,33	0,25*0,07	0,30*0,17	0,25*0,27	0,25*0,17	1,28	2

Según la Tabla 31, las conclusiones para el módulo 2 es la alternativa 1.

3.2.2.3. Módulo 3: Sistema de Corte.*3.2.2.3.1 Análisis de Funciones Módulo 3*

En el módulo 3, se analizan las funciones de transmisión de potencia, el mecanismo de corte y el sistema de trituración.

Transmisión de Potencia

Se consideran a las siguientes opciones: “Cadenas”, “Poleas” y “Engranés”.

- Cadenas

Transmitir la potencia mediante ejes de transmisión que se muevan en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas [49], el mecanismo está conformado por la cadena, el piñón pequeño o motriz y el piñón conducido como se indica en la figura 27, con las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 32.

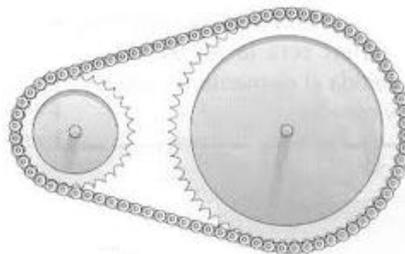


Figura 27. Transmisión por Cadena [49].

Tabla 32.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Cadenas y Catarinas"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No presentan deslizamiento	Es ruidoso
Relación de transmisión constante	Necesita lubricación adecuada
La separación entre ejes está limitada por el tamaño de la cadena.	Son más costosas que las correas
Se emplea para transmitir grandes potencias	Necesita mantenimiento periódico.

- Poleas

Es un sistema de pares de ruedas o poleas situadas a cierta distancia, con ejes normalmente paralelos que giran simultáneamente, transmitiendo el movimiento desde el eje de entrada o motriz hasta el eje de salida o conducido [50], como se muestra en la figura 28, con las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 33.

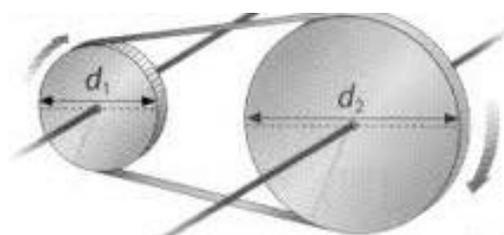


Figura 28. Transmisión por Poleas [49].

Tabla 33.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Poleas"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No es ruidoso	Limitación para transmitir grandes potencias
Es menos costosa que las cadenas	Presenta deslizamiento elástico
La separación entre ejes está limitada por el tamaño de la polea	Se pierde potencia por fricción
-	Baja vida útil
-	Difícil instalación

- Engranés

Las transmisiones por engranajes están formadas por dos ruedas dentadas que se acoplan diente a diente y reciben el nombre de corona como piñón motriz y piñón como conducido, como se muestra en la figura 29, con las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 34.



Figura 29. Engranés [51]

Tabla 34.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Engranés"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No tiene posibilidad de deslizamiento.	Costo elevado de fabricación
Es menos costosa que las cadenas	Son ruidosos
La separación entre ejes está limitada por el tamaño de la polea	-
Transmiten grandes potencias	-
Bajo mantenimiento	-

Mecanismo de Corte

Para los mecanismos de corte se consideran relevantes “Cuchillas Rotativas” y “Cuchillas Rectas”.

- Cuchillas Rotativas

Está formada por dientes alrededor de su forma semicircular, dispuestas en dos ejes que giran en sentido contrario para aprovecharla forma de los dientes para desgarrar el material, su forma característica se muestra en la figura 31, con las respectivas ventajas y desventajas en la tabla 35.



Figura 30. Cuchillas Rotativas [52]

Tabla 35.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Cuchillas Rotativas"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Resisten elevados torques.	Alto costo de fabricación
Se utiliza para corte por troceado	-
Se puede manipular la disposición de las cuchillas	-
Se puede estimar el tamaño del troceado mediante los separadores	-
Tienen alta dureza.	-

- Cuchillas Rectas

Las cuchillas rectas van dispuestas de tal forma que simulan un corte por cizallamiento, la forma se muestra en la figura 32 las ventajas y desventajas en la tabla 36.



Figura 31. Cuchillas Rectas [53].

Tabla 36.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Cuchillas Rectas"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Se utilizan para cizallamiento	Costo elevado
Se pueden realizar cuchillas de 2 o 4 cortes diferentes.	Difícil manipulación de disposición en varios ejes
Se puede cortar hasta 4m de longitud.	-

Trituración

- 1 eje

Es un eje con cuchillas en su alrededor, como se indica en la figura 32, con sus respectivas ventajas y desventajas en la tabla 37.

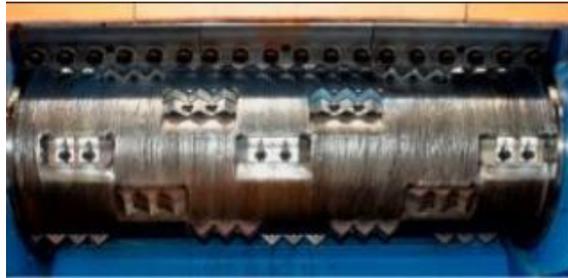


Figura 32. Triturador de 1 Eje [15]

Tabla 37.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Triturador de 1 Eje"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cuchillas configurables en grosor y número de dientes	Costo elevado de fabricación por ser un rodillo dentado
-	Requiere un impulsador
-	Requiere pared de alta resistencia

- 2 ejes

Son 2 ejes que giran en sentido contrario, como se muestra en la figura 33, con sus respectivas ventajas y desventajas en la tabla 38.

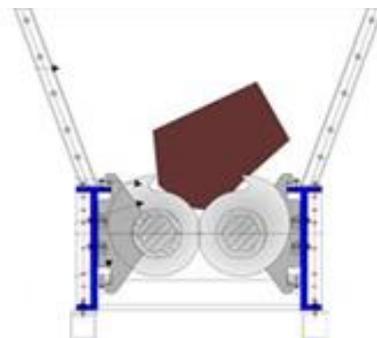


Figura 33. Triturador de 2 Ejes [15].

Tabla 38.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Triturador de 2 Ejes"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alta capacidad de corte con baja velocidad.	Utiliza mayor número de cuchillas que el de 1 eje
Soporta cargas excesivas.	-
Menos costosa que la de 1 rodillo.	-
Ejes contra giratorios aportan mayor potencia de trituración.	-
Permite triturar cualquier tipo de material.	-

- 4 ejes

Su definición se muestra en el apartado 1.2.5.2.3, la forma del eje se muestra en la figura 34, con sus respectivas ventajas y desventajas en la tabla 39.

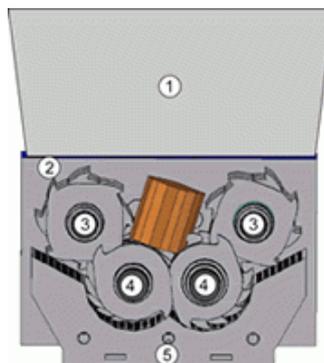


Figura 34. Triturador de 4 Ejes [15].

Tabla 39.

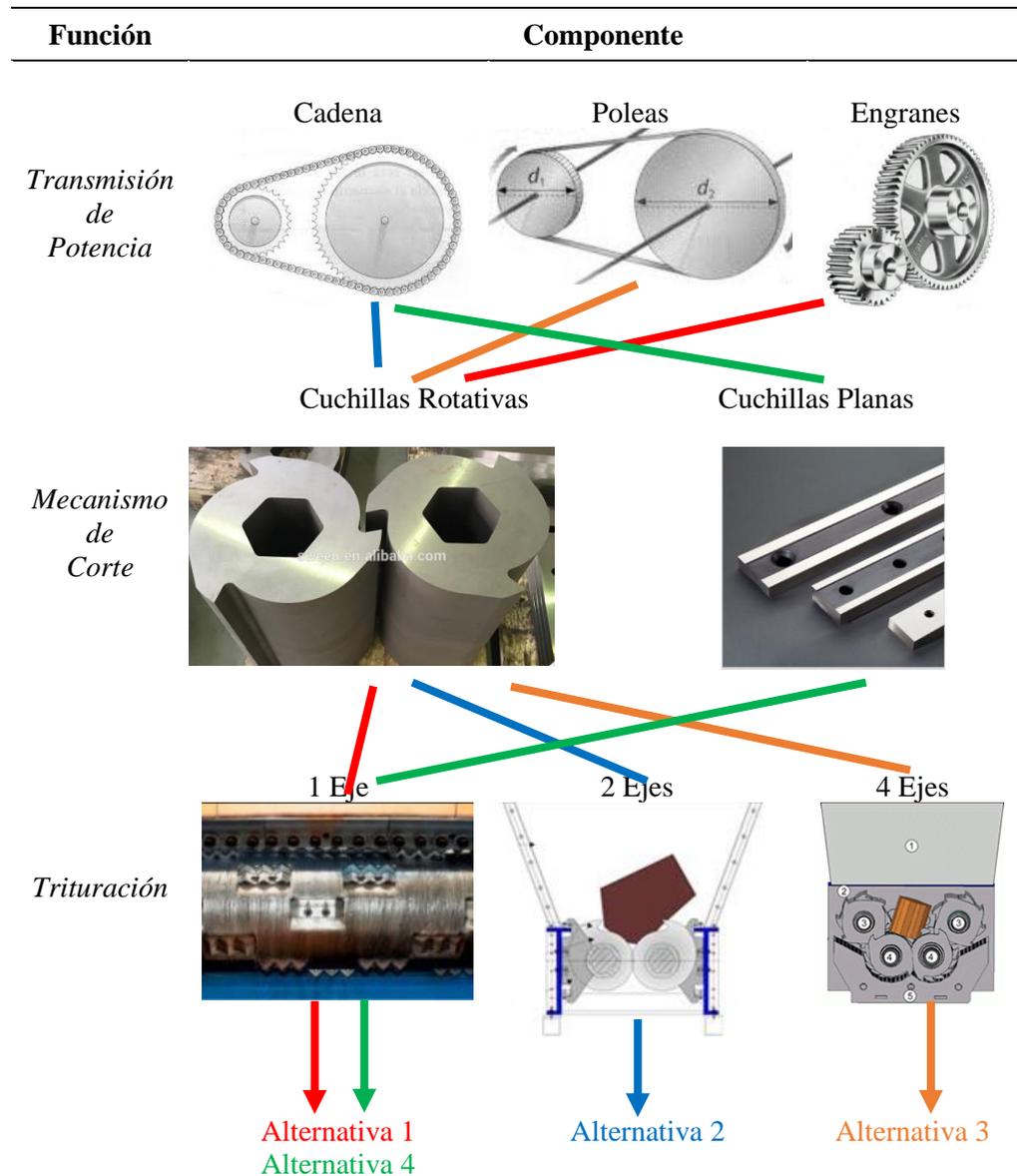
Ventajas y Desventajas Alternativa "Triturador de 4 Ejes"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Se obtiene granulometrías finas	Utiliza mayor número de cuchillas que el de 2 ejes.
Mayor agarre del neumático	Al tener 4 ejes se eleva el costo de fabricación
-	Mayor tiempo de mantenimiento.

3.2.2.3.2 Alternativas de Solución Módulo 3

Tabla 40.

Alternativas de Solución Módulo 3



3.2.2.3.3 Evaluación y Selección de Alternativas Módulo 3

Se consideran relevantes para este módulo los siguientes requisitos:

- Costo, los materiales deben ser de fácil adquisición en el mercado local.
- Mantenimiento, los repuestos deben ser de fácil adquisición en el mercado local.

- Instalación, debe ser fácil de instalar.
- Control, debe ser de fácil y rápida operación

La tabla 41, se muestra la evaluación y valoración de los criterios del módulo 3.

Tabla 41.

Evaluación de criterios módulo 3.

	Costo	Mtto	Instalación	Control	$\sum+1$	Ponderación
Costo		1	1	1	4	0,53
Mtto	0		1	0,5	2,5	0,33
Instalación	0	0		0	1	0,13
				Suma	7,5	1
Costo > Mantenimiento > Instalación						

Las Tablas 42, 43 y 44 muestran las alternativas de solución para los criterios más relevantes para este módulo, costo, mantenimiento e instalación.

Tabla 42.

Evaluación de criterio "Costo"

Costo	Altn 1	Altn 2	Altn 3	Altn 4	$\sum+1$	Ponderación
Altn 1		0,5	1	1	3,5	0,35
Altn 2	0,5		1	1	3,5	0,35
Altn 3	0	0		0,5	1,5	0,15
Altn 4	0	0	0,5		1,5	0,15
			Suma		10	1
Alternativa 1= Alternativa 2 > Alternativa 3 = Alternativa 4						

Tabla 43.

Evaluación de criterio "Mantenimiento"

Mtto	Altn 1	Altn 2	Altn 3	Altn 4	$\sum+1$	Ponderación
Altn 1		0	1	1	3	0,30
Altn 2	1		1	1	4	0,40
Altn 3	0	0		1	2	0,20
Altn 4	0	0	0		1	0,10
			Suma		10	1
Alternativa 2 > Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 4						

Tabla 44.

Evaluación de criterio “Instalación”

Instalación	Altn 1	Altn 2	Altn 3	Altn 4	$\sum+1$	Ponderación
Altn 1		0,5	1	1	3,5	0,35
Altn 2	0,5		1	1	3,5	0,35
Altn 3	0	0		0	1	0,10
Altn 4	0	0	1		2	0,20
			Suma		10	1
Alternativa 1=Alternativa 2 > Alternativa 4 > Alternativa 3						

Tabla 45, se muestra las conclusiones del módulo 3, donde, la solución óptima para el módulo 3 es la alternativa 2.

Tabla 45.

Conclusiones para el Módulo 3

Conclusiones	Costo	Mtto	Instalación	$\sum+1$	Prioridad
Alternativa 1	0,35*0,53	0,30*0,33	0,35*0,13	1,33	2
Alternativa 2	0,35*0,53	0,40*0,33	0,35*0,13	1,37	1
Alternativa 3	1,5*0,53	0,20*0,33	1*0,13	1,16	3
Alternativa 4	1,5*0,53	0,10*0,33	2*0,13	1,14	4

3.2.2.4. Módulo 4: Salida del Neumático*3.2.2.4.1 Análisis de Funciones Módulo 4*

En este módulo se analiza la función de Salida del Neumático

Salida del Neumático

Se consideran a las siguientes opciones: “Recipiente Plástico” y “Recipiente metálico”.

- Recipiente Plástico

El recipiente es de material plástico, con un manubrio alargado y ruedas para facilitar el movimiento, como se muestra en la figura 36, con sus respectivas ventajas y desventajas en la tabla 43.



Figura 35. Recipiente Plástico [54].

Tabla 46.

Ventajas y Desventajas Alternativa "Recipiente Plástico"

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo costo	Menor vida útil que el recipiente metálico
Transportable	-

- Recipiente Metálico

El recipiente es de material metálico, con ruedas para facilitar el movimiento, como se muestra en la figura 36, con sus respectivas ventajas y desventajas en la tabla 47.



Figura 36. Recipiente Metálico [55].

Tabla 47.

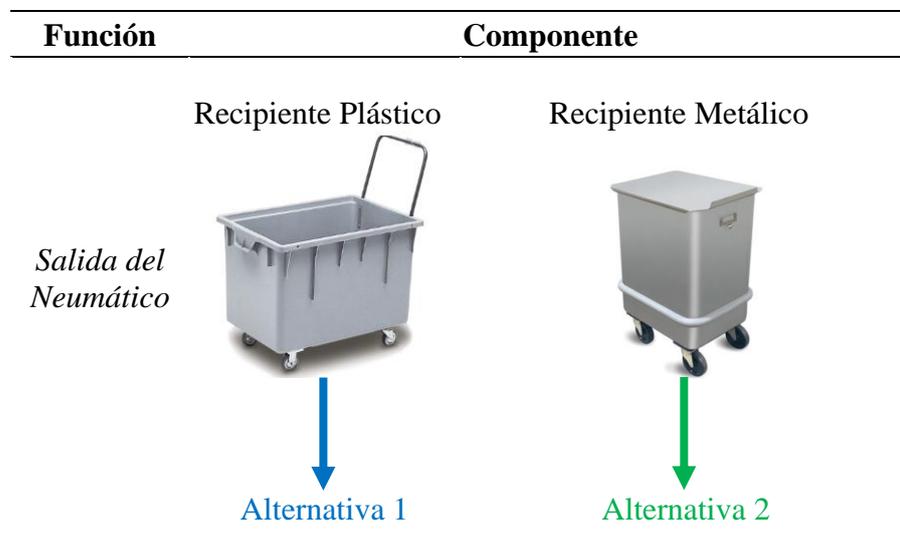
Ventajas y Desventajas Alternativa "Recipiente Metálico".

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mayor vida útil que el recipiente plástico	Mayor costo que el recipiente plástico
Transportable	-

3.2.2.4.2 Alternativas de Solución Módulo 4

Tabla 48.

Alternativas de Solución Módulo 4.



3.2.2.4.3 Evaluación y Selección de Alternativas Módulo 4.

Se consideran relevantes para este módulo son:

- Costo, los materiales deben ser de fácil adquisición en el mercado local.
- Mantenimiento, los repuestos deben ser de fácil adquisición en el mercado local.
- Seguridad, debe evitar riesgos ergonómicos y mecánicos

La tabla 49, presenta la evaluación y valoración de los criterios del módulo 4.

Tabla 49.

Evaluación de criterios módulo 4

	Costo	Mtto	Seguridad	Control	$\sum+1$	Ponderación
Costo		1	1	1	4	0,67
Mtto	0		1	1	3	0,33
Seguridad	0	0		0	1	0
				Suma	8	1
Costo > Mantenimiento > Seguridad						

Las Tablas 50, 51 y 52 indican las alternativas de solución para los criterios más relevantes para este módulo: costo, mantenimiento e instalación.

Tabla 50.

Evaluación de criterio "Costo".

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,33
Alternativa 2	1		2	0,67
		Suma	3	1
Alternativa 2 > Alternativa 1				

Tabla 51.

Evaluación de criterio "Mantenimiento".

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1,5	0,50
Alternativa 2	0,5		1,5	0,50
		Suma	3	1
Alternativa 1 = Alternativa 2				

Tabla 52.

Evaluación de criterio "Seguridad".

Seguridad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
		Suma	3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Tabla 53, se muestra las conclusiones finales del módulo 4, donde la solución óptima para el módulo es la alternativa 2.

Tabla 53.

Conclusiones para el Módulo 4

Conclusión	Costo	Mantenimiento	Seguridad	$\sum+1$	Prioridad
Altn 1	0,33*0,50	0,50*0,38	0,67*0,13	1,44	2
Altn 2	0,67*0,50	0,50*0,38	0,33*0,13	1,56	1

En la figura 37, se indica la alternativa general de acuerdo a la mejor solución para cada módulo.

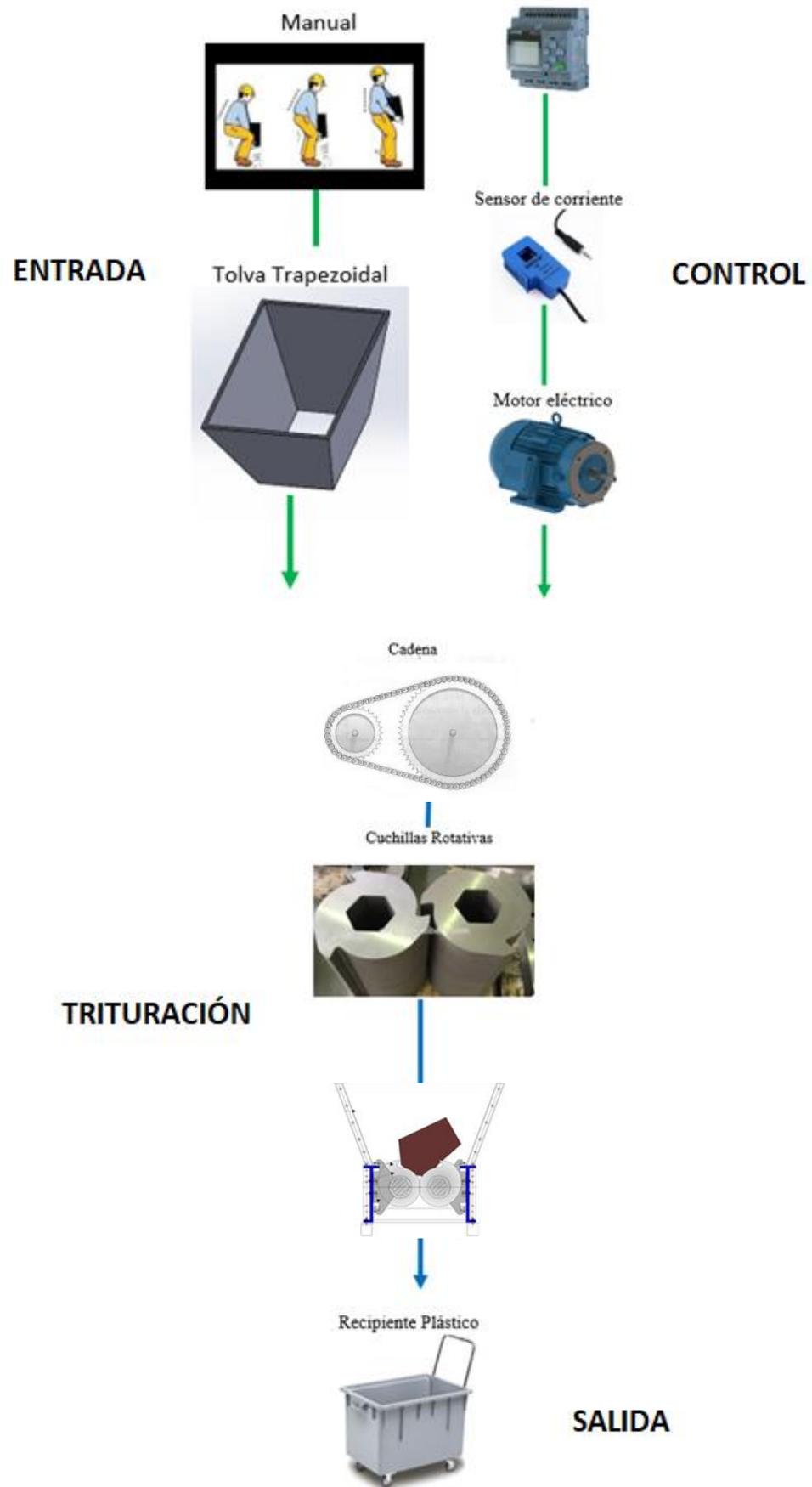


Figura 37. Resultado de Alternativas de Solución del Análisis Modular.

3.3. Diseño para la Fabricación y Montaje.

Según la figura 37, para el sistema de corte se utilizan cuchillas rotativas dispuestas en sentido contrario con dos ejes; la acción de corte de las dos cuchillas, se representa en la figura 38, donde se evidencia el corte por cizallamiento, debido a que se aplican fuerzas iguales, pero en sentido opuesto al neumático a triturar [27]. Para asegurar la trituración se debe tener ángulos que realicen el corte.

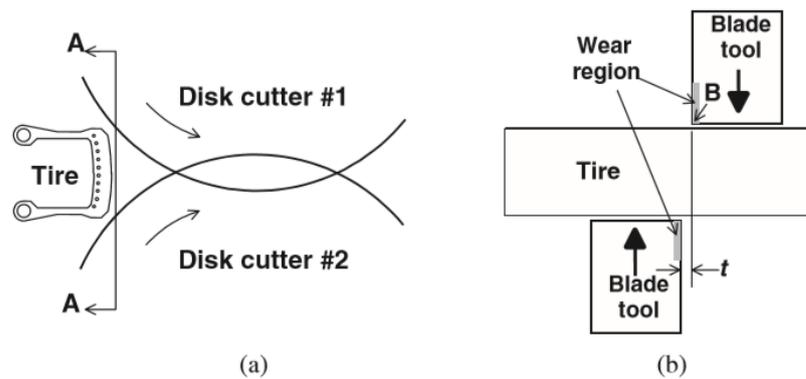


Figura 38. Acción de corte de las cuchillas rotativas.

El ángulo de corte en la cuchilla permite el desgarramiento del neumático, mediante la tabla mostrada en el Anexo 5, se considera el material de goma dura para dimensionar los ángulos de ataque, incidencia y desprendimiento, que se indican respectivamente en la figura 39.

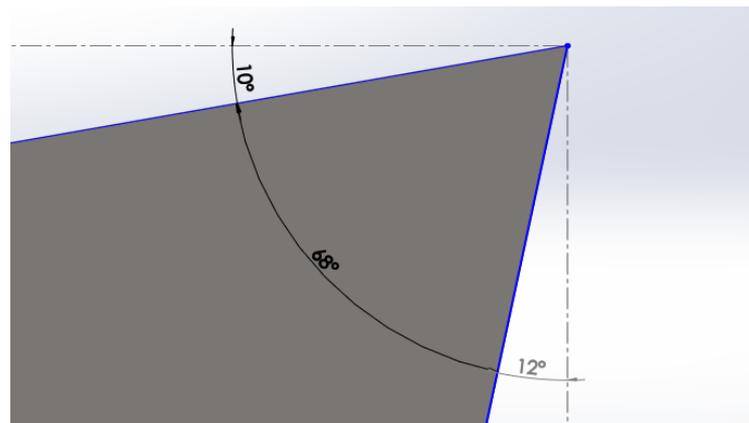


Figura 39. Ángulos de corte de la cuchilla

Tomando en cuenta las especificaciones técnicas mencionadas en la tabla 1, se realiza el diseño CAD del sistema de trituración en base al tamaño del neumático rin 14", por lo cual, se busca el neumático más grande en varios catálogos de las marcas

más utilizadas de neumáticos, mencionadas en el apartado 1.2.2, se tiene alrededor de 630 mm de largo y 205 mm de ancho, datos obtenidos del Anexo 4.

Los valores mencionados son los mínimos para el largo y ancho del sistema de trituración, así es que se decide un diámetro de la cuchilla de 200mm. Además, en cuanto mayor sea el número de dientes, los fragmentos obtenidos tendrán menor dimensión [56], al considerar el alcance del proyecto se decide una cuchilla rotativa con 3 dientes, como se muestra en la figura 40.



Figura 40. Cuchilla Rotativa.

La cantidad de cuchillas se determina en función al espesor y separación de las mismas, donde se requiere una dureza de aproximadamente 60RC [27], es así que se decide utilizar el material AISI O1 que posee de 63RC a 65RC, dato obtenido del catálogo de BOHLER. Entonces, se obtiene el sistema de corte con 13 cuchillas y separadores en los dos ejes y cubiertas, como se muestra en la figura 41.

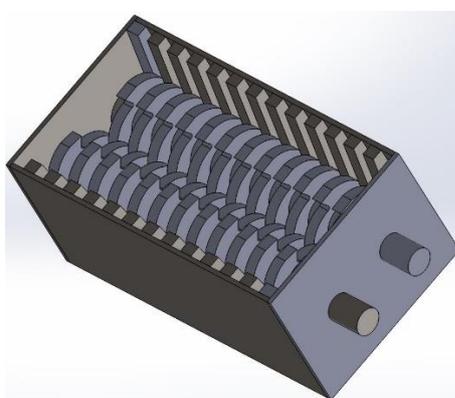


Figura 41. Sistema de Corte

Considerando el DFMA se toma en cuenta la facilidad de montaje y mantenimiento, es así que se consulta la disponibilidad del material en los catálogos de DIPAC, obteniendo una estructura angular con sujeciones de tornillos, como se observa en las figuras 42.

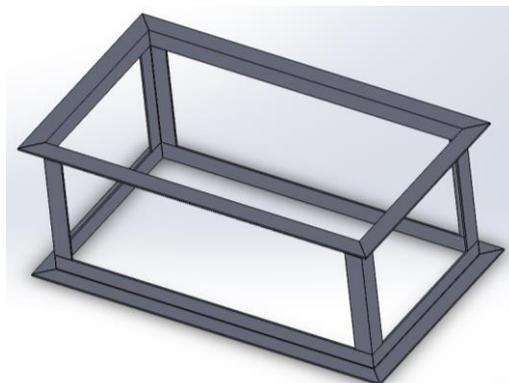


Figura 42. Estructura Angular del Sistema de Corte.

La estructura angular va sujeta con tornillos a la estructura de soporte, para el diseño CAD de la misma se revisa la disponibilidad en el mercado; además, se toma en cuenta los 1,75 m que es el alcance límite del levantamiento de cargas de una persona [57] y la posición del motor, es así que se decide utilizar un tubo cuadrado, como se muestra en la figura 43.

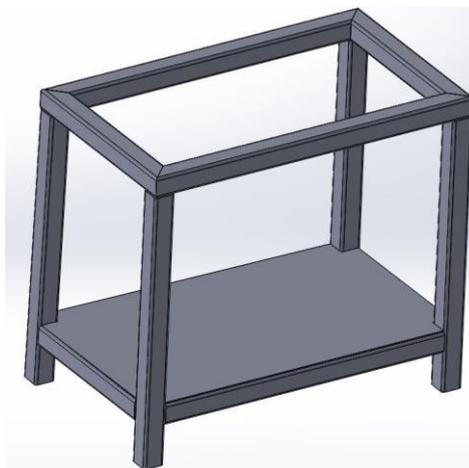


Figura 43. Sistema de Trituración con la Estructura de Soporte.

Es importante considerar el espacio donde se alojará el sistema de transmisión de movimiento, es decir, el motor eléctrico, la transmisión por cadena, engranajes y chumaceras, debido a que se manejan altas potencias y elementos rotativos que pueden provocar accidentes. Las mencionadas piezas son cubiertas por tapas que

evitan el acceso al operador, es así que se decide modificar el diseño CAD de la estructura y se lo representa en la figura 44.

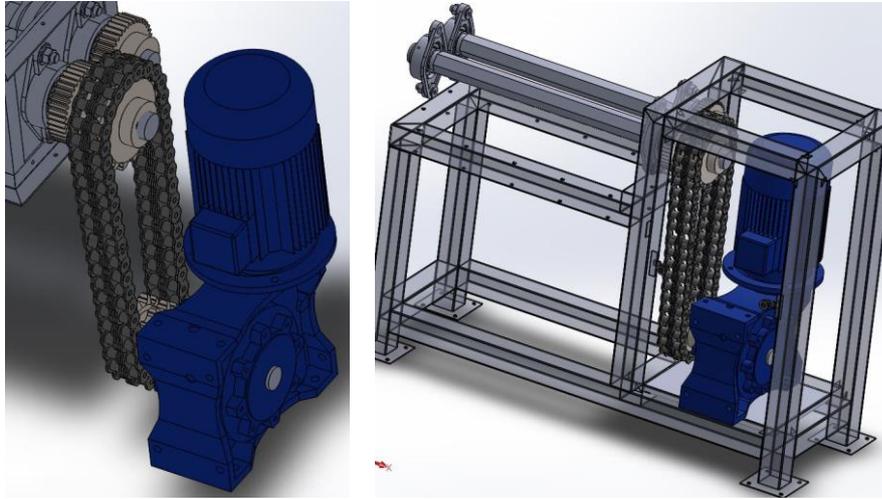


Figura 44. Izquierda; Sistema de Transmisión. Derecha; Acople con la estructura.

Además, se realiza el diseño CAD de las tolvas de ingreso, considerando un valor mayor al radio del neumático rin 14" para asegurar que el neumático ingrese al sistema de trituración, se realiza de forma preliminar la tolva de ingreso, como se indica en la figura 45. Para la tolva de salida se considera una inclinación lateral conforme exigen las especificaciones técnicas, se obtiene una pieza representada en la figura 46.

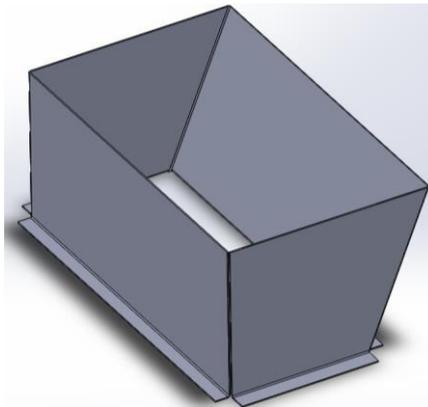


Figura 45. Tolva de Ingreso.

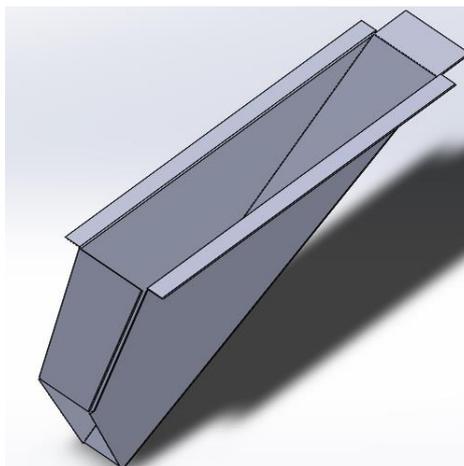


Figura 46. Tolva de Salida.

Cabe señalar que el diseño CAD propuesto está sujeto a cambios según lo exija los cálculos y simulaciones de las piezas del mismo.

3.4. Diseño Mecánico de la Propuesta

3.4.1. Torque Requerido para la Trituración

El torque T se escoge en función a la fuerza requerida para provocar el corte del neumático y la distancia desde el eje al punto de aplicación de la fuerza, como se indica en la ecuación 1. [58]

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

Donde,

F es la fuerza de cizallamiento,

r es la posición donde es aplicada la fuerza.

Según un poster “Estimación de la fuerza de corte en neumáticos usados Rin 14 para un proceso de trituración.”, la fuerza requerida es 2630 N (ver protocolo de pruebas en el Anexo 13) [59], y para asegurar la trituración del neumático se utiliza 2660 N. Donde, r es 100 mm, porque es el radio de las cuchillas que hacen contacto al momento de triturar el neumático.

Se asume que todas las cuchillas están en contacto y al aplicar la ecuación 1 se obtiene un torque de 6916 N·m, lo cual, conlleva a una potencia alta y un costo elevado del motor, para disminuir el mismo se realiza una disposición de las cuchillas con una abertura en forma de V, ratificando lo que expresa Martínez en su tesis, se decidió

hacer un desfase de 20° [60], donde, se obtiene el contacto en 6 cuchillas, como se muestra en la figura 47.

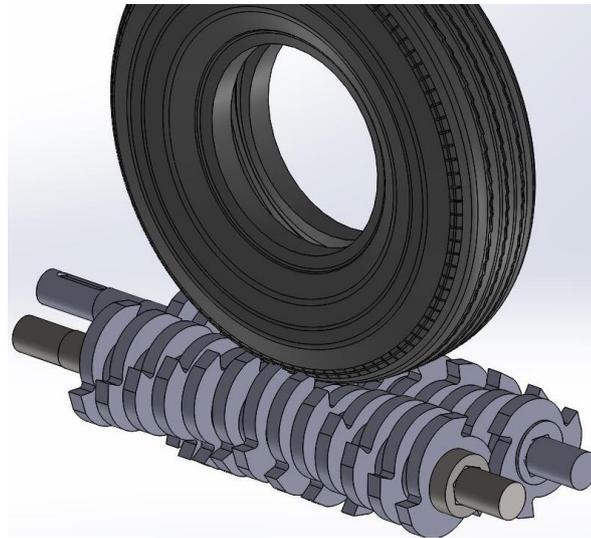


Figura 47. Cuchillas en contacto con desfase de 20° .

Por lo tanto, al reemplazar valores en la ecuación 1, necesario para producir el corte del neumático es $T = 1596 \text{ N} \cdot \text{m}$

3.4.2. Diseño del Eje de Transmisión

Para el diseño del eje es necesario analizar todas las reacciones de los componentes y fuerzas que intervienen a lo largo del eje, como en las chumaceras, cuchillas, rueda dentada y catarina, como se observa en la figura 48.

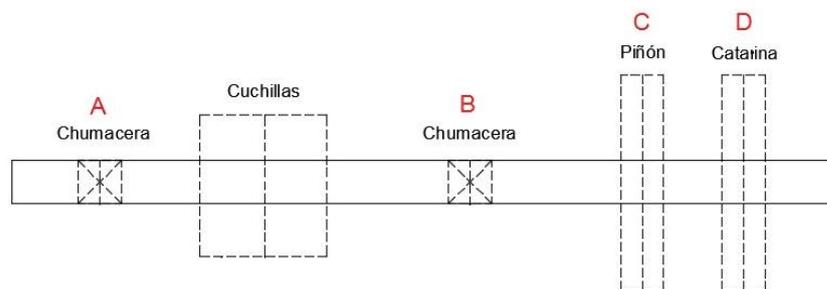


Figura 48. Piezas que intervienen en la trituración del neumático.

3.4.2.1. Análisis de la Transmisión por Cadena

Para seleccionar la cadena lo realizo en función de la potencia a transmitir P , como se muestra en la ecuación 2, donde el torque requerido para la trituración es 1596 N como se menciona en el apartado 2.1.2.

$$P = T * w \quad (2)$$

Donde,

T es el torque requerido para la trituración,

w es la velocidad de trituración

Las máquinas trituradoras de llantas según fabricantes, deben trabajar a la velocidad de 15 a 32 rpm [7], se considera la velocidad de 32 rpm, el rendimiento del motor y la potencia de inercia, dando $P = 7,5 \text{ kW}$ (ver Anexo 6). Sin embargo, al promediar 6 catálogos de motores con esta potencia, se tiene una velocidad de salida de aproximadamente 1750 rpm, es así que se decide utilizar un reductor de velocidad. El reductor de velocidad se calcula mediante la ecuación 3 [61].

$$I = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

Donde,

I es el índice de reducción del reductor

n_1 es la velocidad a la que se acciona el BOX, $n_1 = 1750 \text{ rpm}$

n_2 es la velocidad de salida en el eje del reductor

De acuerdo a la técnica del DFMA, se debe analizar la disponibilidad de los componentes en el mercado local [29], así se obtiene un reductor ortogonal, con índice de reducción $I=40$, ver Anexo 7. Donde, se tiene $n_2 = 43,75 \text{ rpm}$ y para llegar a la velocidad deseada $w = 32 \text{ rpm}$, se utiliza un sistema de transmisión por cadena, como se muestra en la figura 49.

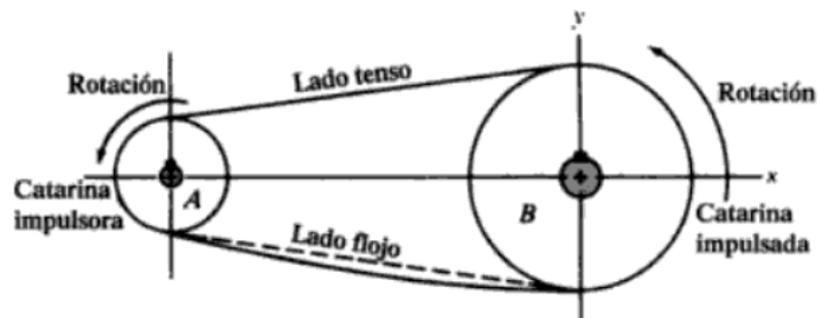


Figura 49. Transmisión de potencia por cadenas [62].

En la cadena, la Catarina impulsora es accionada por el eje del motorreductor permitiendo una relación de transmisión, indicada en la ecuación 4.

$$w_1 * N_1 = w_2 * N_2 \quad (4)$$

Donde, N_1 es la cantidad de dientes de la catarina impulsora o motriz, N_2 número de dientes de la catarina impulsada, $w = w_1 = 32 \text{ rpm}$ es la velocidad que ingresa a la Catarina motriz y $w_2 = n_2 = 43,75 \text{ rpm}$ a la salida del motorreductor.

Para el cálculo y diseño de las cadenas de transmisión se usará la potencia corregida de cálculo, obtenida a partir de la potencia transmitida (P), tomando en cuenta diversos aspectos del montaje y uso de la cadena mediante los coeficientes, que se muestran en la ecuación 5 [63].

$$P_C = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * P \quad (5)$$

Donde,

P_C es la potencia corregida

K_1 es el factor de selección, considera el índice de reducción de piñón

K_2 es el coeficiente de multiplicidad, considera el número de cadenas

K_3 es el factor de eslabones, considera los enlaces de la cadena.

K_4 es el factor de servicio, considera las condiciones de trabajo

K_5 es el coeficiente de duración, considera la vida útil de la cadena

Mediante las tablas mostradas en el Anexo 8, se obtiene $K_1 = 1,5$; $K_2 = 0,5$; $K_3 = 1$; $K_4 = 1,3$; $K_5 = 1$. Al aplicar la ecuación 5, se obtiene la $P_C = 7,3 \text{ kW}$; con este dato se analiza la tabla de selección de la cadena mostrada en el Anexo 9, donde se obtiene una cadena de doble hilera a un paso de 38,10 mm.

Al realizar la reducción de velocidad en la cadena se produce la fuerza F_c que se muestra en la figura 50. F_c se calcula mediante la ecuación 1, donde se conoce que el torque en el eje es $T = 2131,22 \text{ N} \cdot \text{m}$ y el diámetro de la Catarina conducida es $d = 214,4 \text{ mm}$ (ver el Anexo 10), se obtiene $F_c = 19880,8 \text{ N}$.

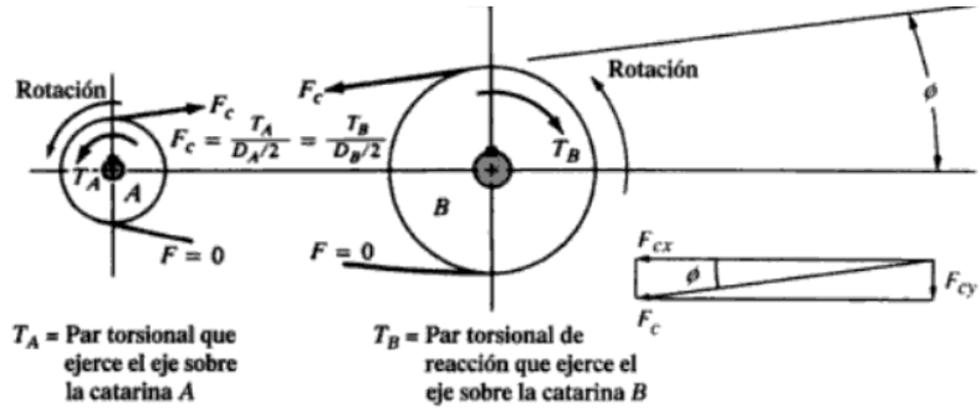


Figura 50. Fuerzas en el Sistema de Transmisión por Cadena [62]

3.4.2.2. Análisis de la Rueda Dentada

Los engranes cilíndricos rectos transmiten el movimiento en ejes paralelos, la rotación que ingresa por una rueda dentada hace girar al otro, en sentido contrario [64], como se muestra en la figura 51.

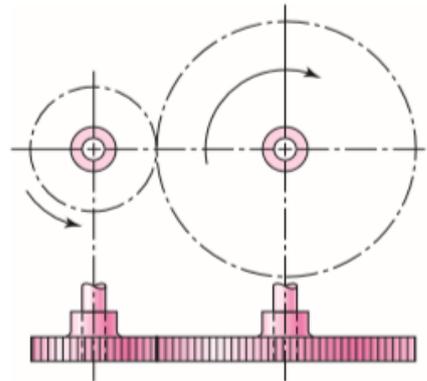


Figura 51. Transmisión de movimiento en engranes rectos [65].

Según lo que se indica en el libro de Casillas, para definir el tamaño de la rueda dentada se requiere el diámetro primitivo y paso circunferencial, que se calcula con la ecuación 6 [64].

$$P = \pi * \left(\frac{Dp}{N}\right) \quad (6)$$

Donde, P es el paso, Dp es el diámetro primitivo y N es el número de dientes.

En la figura 52, se evidencia que el diámetro primitivo está relacionado con la distancia entre centros, obteniendo $Dp = 160 \text{ mm}$. El número de dientes depende de la disponibilidad del mercado, donde se considera $N = 40$ y al aplicar la ecuación 6 se obtiene $P = 12,56 \text{ mm}$.

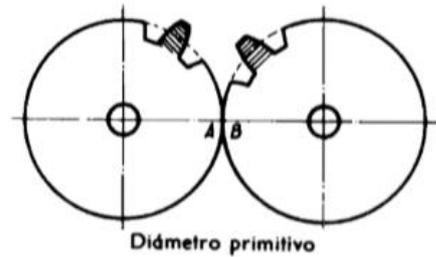


Figura 52. Diámetro primitivo de los engranes [64].

Cuando la rueda dentada transmite el movimiento, se producen las fuerzas que se muestran en la figura 53.

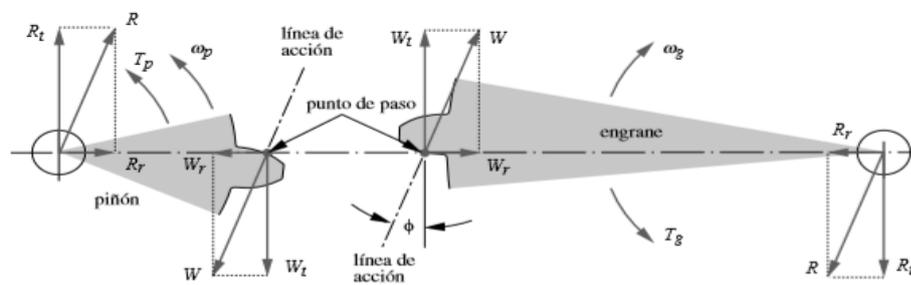


Figura 53. Fuerzas en la Rueda Dentada.

Para obtener la fuerza resultante y la respectiva descomposición se utiliza la ecuación 1 y 7.

$$W = \frac{Wt}{\cos\alpha} \quad (7)$$

Donde,

Wt es la magnitud tangencial

W es la fuerza resultante y

α es el ángulo de presión.

$F = W$ es la fuerza resultante

$d = rp$ es el radio del diámetro primitivo.

Los datos conocidos son $T = 2131,22 \text{ N} \cdot \text{m}$ y $\alpha = 20^\circ$, al aplicar las ecuaciones 1 y 7, se obtuvo un $W = 26640,3 \text{ N}$; $Wt = 10871,4 \text{ N}$ y $Wr = 24321,1 \text{ N}$.

La resistencia de una rueda dentada se analiza en el diente de contacto, parte donde soporta el esfuerzo a la carga [66], como se muestra en la figura 54. Para conocer si el engrane va a resistir la carga que va a soportar, se realiza un análisis mediante la ecuación 8, del esfuerzo de AGMA [65]:

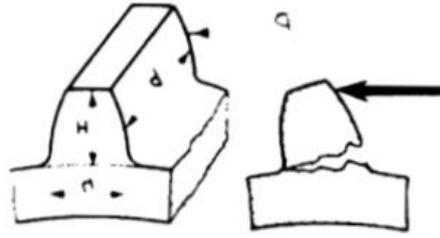


Figura 54. Resistencia del diente en los engranajes. [64]

$$\sigma = W^t K_0 K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J} \quad (8)$$

Donde,

W^t es la carga tangencial transmitida,

K_0 es el factor de sobrecarga,

K_v es el factor dinámico,

K_s es el factor de tamaño,

b es el ancho de cara,

m_t es el módulo métrico transversal,

K_H es el factor de distribución de carga,

K_B es el factor del espesor del aro,

Y_J es el factor geométrico de resistencia a la flexión.

Se conocen los datos: $W^t = 10871,4 \text{ N}$; $m_t = 0,004 \text{ m}$; $b = 0,04 \text{ m}$ y los factores son tomados de tablas del libro de Shigley [65], donde se obtuvo los siguientes valores, $K_0 = 1,5$; $K_v = 1,55$; $K_s = 1$; $K_H = 1,19$; $K_B = 1$ y $Y = 0,3892$. Finalmente, mediante la ecuación 8 se obtiene el esfuerzo de carga del engrane $\sigma = 482,0 \text{ MPa}$.

Se realiza la simulación de elementos finitos en software del esfuerzo de carga, donde se consideran algunos parámetros como cantidad de dientes a simular, fuerza que se aplica y partes fijas del engrane.

Según A.L Casillas [64]: “El diente de un engranaje trabaja por resistencia a la flexión, y debe ser calculado como un sólido encastrado en la base, soportando en la extremidad de la cabeza el esfuerzo o carga; por tanto, se calcula como si un solo diente soportara el esfuerzo tangencial”. Es así que se simula un solo diente, fijo en la base, con una la carga tangencial de la ecuación 8, $W = 26640,3 \text{ N}$, obteniendo $\sigma_{sim} = 480,3 \text{ MPa}$ como se muestra en la figura 55.

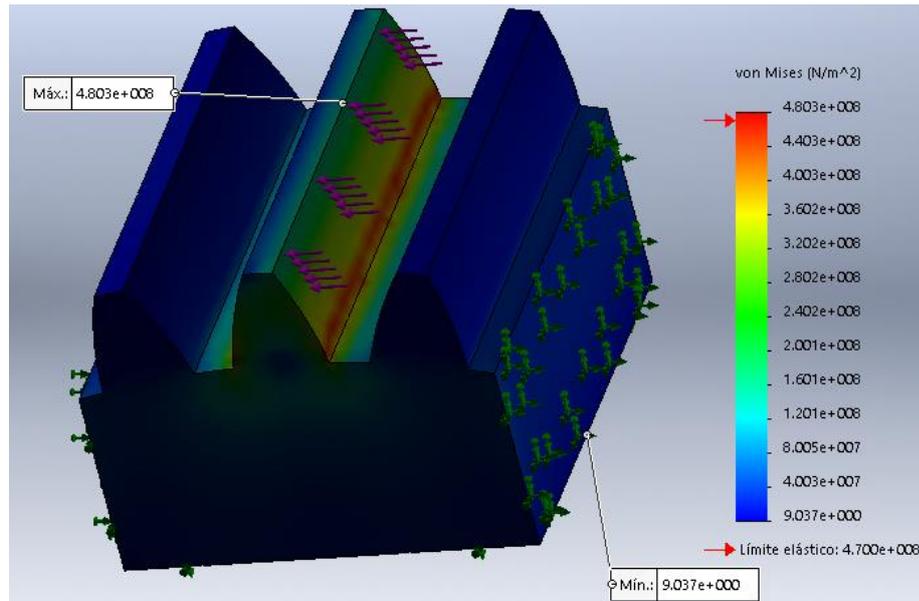


Figura 55. Simulación de la Rueda Dentada.

En la figura 55, se puede observar el diente simulado con valores de esfuerzo equivalente, donde se evidencia que la parte roja es la más crítica, donde se observa el esfuerzo máximo de la rueda dentada es $\sigma_{sim} = 480,3 \text{ MPa}$ y en el cálculo matemático es $\sigma = 482,0 \text{ MPa}$, mostrando la convergencia de los datos con un error de 0.35% que es aceptable.

3.4.2.3. Diagrama de Cuerpo Libre

En el diagrama de cuerpo libre (DCL), se realiza en función a los elementos que intervienen en el eje de transmisión, como se muestra en la figura 56.

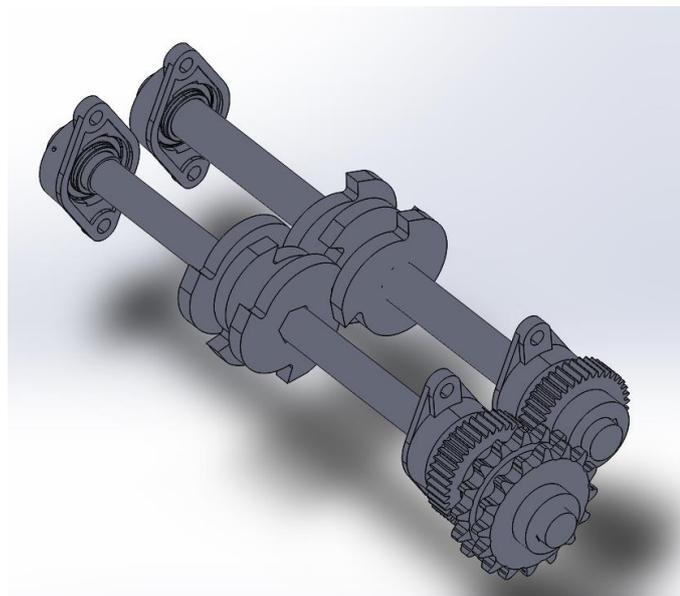


Figura 56. Piezas que intervienen en la trituración del neumático

En base al análisis obtenido de la Catarina y la rueda dentada se distribuyen las fuerzas en dos planos para facilitar el análisis, como se indica en la figura 57 y 58.

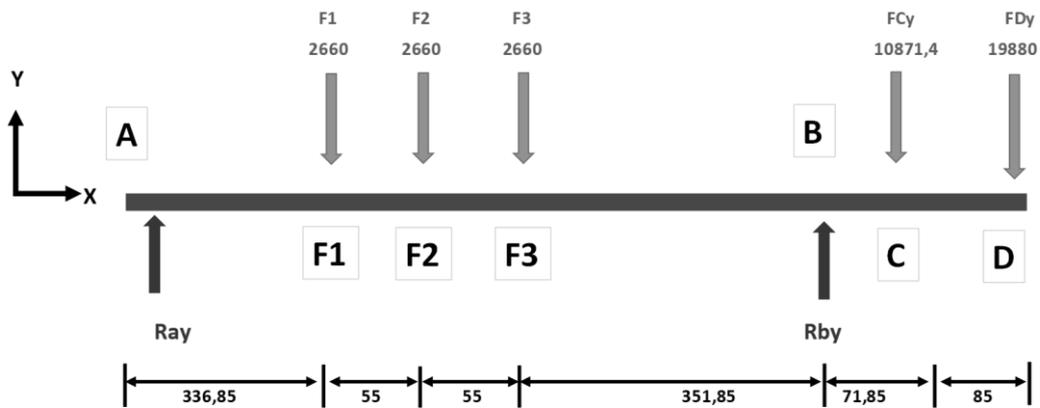


Figura 57. DCL en el plano XY.

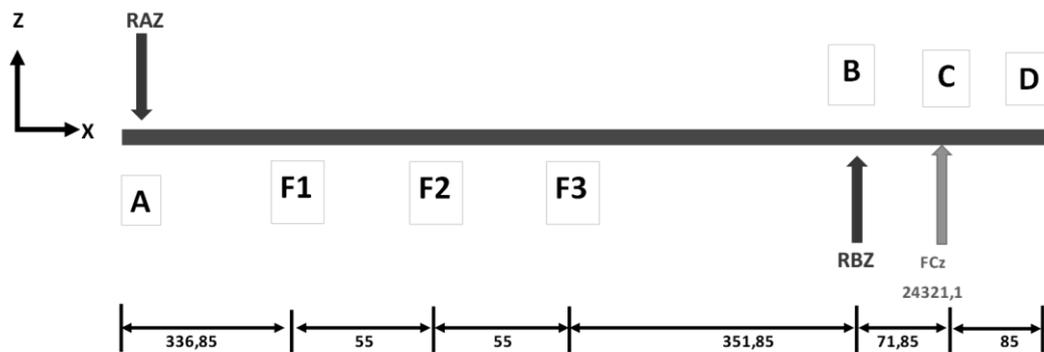


Figura 58. DCL en el plano XZ.

Para el plano XY, aplicando las sumatorias de fuerzas y momentos en el punto A se obtiene las reacciones $R_{Ay} = 817,27 \text{ N}$; $R_{By} = 39549,47 \text{ N}$; $R_{Az} = 2187,89 \text{ N}$; $R_{Bz} = 26508,99 \text{ N}$; como se muestra en la figura 59.

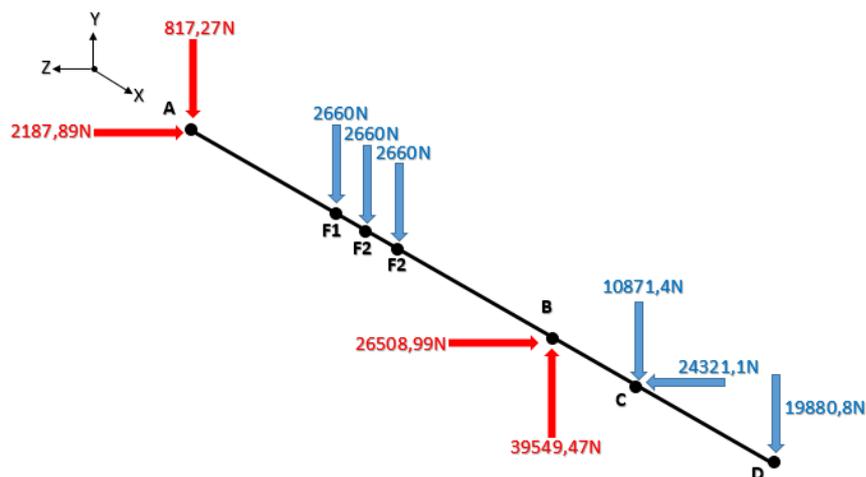


Figura 59. DCL Resuelto.

3.4.2.4. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector.

A partir del DCL resuelto de la figura 59, se realiza el diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector, como se muestra en la figura 60 y 61, donde se evidencia que el momento máximo está ubicado en el punto B.

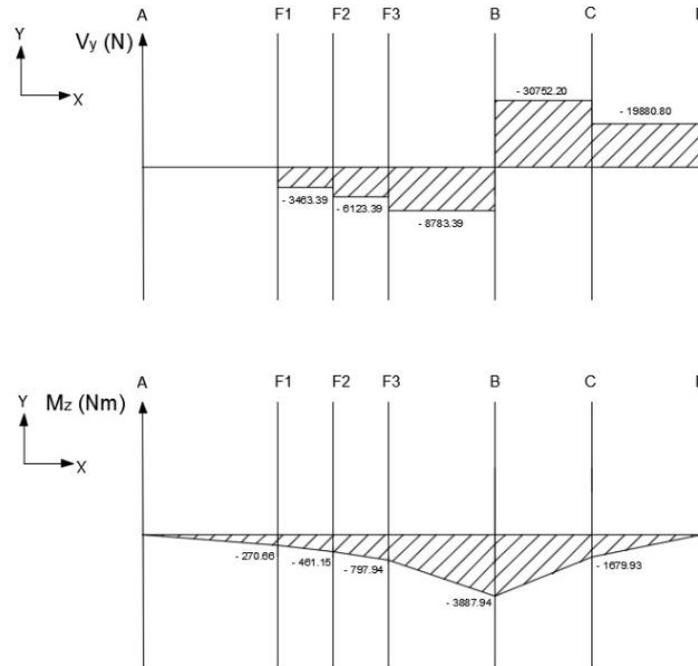


Figura 60. Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector en el plano XY.

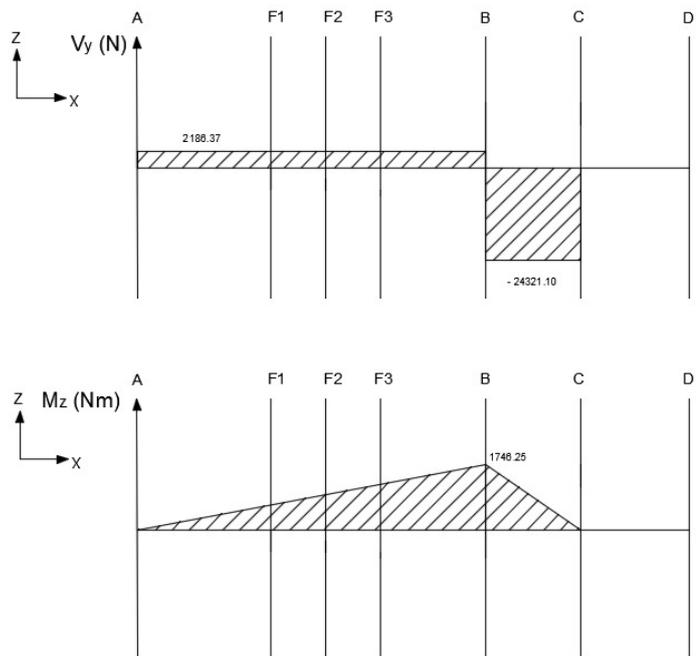


Figura 61. Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector en el plano XZ.

3.4.2.5. Análisis de Factor de Seguridad

En la tabla 54 se muestran los datos que se utilizarán en los análisis del factor de seguridad (F.S) por fluencia, estático y fatiga.

Tabla 54.

Datos para el Análisis del Factor de Seguridad

MOMENTO MÁXIMO				
MOMENTO FLECTOR	Plano XY	Mxy	3899,41	[N·m]
	Plano XZ	Mxz	1747,47	[N·m]
MOMENTO TORSOR	En el eje X	Tx	2131,22	[N·m]
DATOS GENERALES				
D=	60	[mm]	0,06	[m]
Sy=	70	[kg/mm ²]	686,46	[MPa]
r=	100	[mm]	0,1	[m]

- *Análisis de F.S por Fluencia*

Para obtener el factor de seguridad por fluencia se utilizan las siguientes ecuaciones 9, 10, 11, 12, 13 y 14 [65]:

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} \quad (9)$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{xy}^2 - \sigma_{xy} * \sigma_{xz} + \sigma_{xz}^2 + 3\tau} \quad (10)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{MC}{I} \quad (11)$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \quad (12)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{Tr}{J} \quad (13)$$

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad (14)$$

Donde,

N es el factor de seguridad,

S_y es el esfuerzo a la cedencia,

σ_{eq} es el esfuerzo equivalente,

$\sigma_{m\acute{a}x}$ es el esfuerzo flector máximo,

M es el momento flector máximo en el plano respectivo,

C es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra más alejada de la viga,

I es la inercia para la forma circular,

r es el radio del eje,

$\tau_{m\acute{a}x}$ es el esfuerzo torsor máximo,

T es el momento torsor máximo,

d es el diámetro del eje y

J es el momento polar de inercia.

Mediante las ecuaciones 10, 11, 12, 13 y 14 con los datos de la tabla 54, se obtiene los esfuerzos en cada plano $\sigma_{xy} = 183,9 \text{ MPa}$; $\sigma_{xz} = 82,4 \text{ MPa}$; $\tau_{m\acute{a}x} = 50,25 \text{ MPa}$; $\sigma_{equivalente} = 181,73 \text{ MPa}$ y reemplazando en la ecuación 9 el factor de seguridad $N = 3,78$.

- *Análisis de F.S Estático*

Para obtener el F.S estático se utilizan las ecuaciones 15 y 16 [67]:

$$M_R = (M_{xy}^2 + M_{xz}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$\frac{1}{N} = \frac{32}{\pi d^3 S_y} (M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

Donde,

M_R es el momento resultante que se obtiene de los momentos flectores máximos M_{xy} y M_{xz} .

d es el diámetro,

S_y es el esfuerzo a la cedencia,

T es el momento torsor máximo.

Mediante la ecuación 14 y los valores de la tabla 54, tenemos un $M_R = 4273,1 \text{ Nm}$. Luego, con la ecuación 15, donde $M = M_R$, se obtiene $N = 3,05$.

- *Análisis de F.S por Fatiga*

Para obtener el factor de seguridad por fatiga se utiliza la ecuación 17 de Goodman Modificada [65]:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{N} \quad (17)$$

Donde, σ_a es el esfuerzo alternante, σ_m es el esfuerzo medio, S_{ut} es el esfuerzo a la tracción y S_e es el límite de resistencia a la fatiga. Para obtener σ_a , σ_m y S_e se utiliza las ecuaciones 17 y 18 [65], donde $\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_{xy}$ y $\sigma_{m\acute{i}n} = \sigma_{xz}$.

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \right| \quad (18)$$

$$\sigma_m = \left| \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \right| \quad (19)$$

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e \quad (20)$$

Donde,

K_a es el factor de modificación de la condición superficial,

K_b es el factor de modificación del tamaño,

K_c es el factor de modificación de la carga,

K_d es el factor de modificación de la temperatura,

K_e es el factor de confiabilidad,

K_f es el factor de modificación de efectos varios,

S'_e es el límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Para la obtención de estos valores se utiliza tablas, gráficas y ecuaciones mostradas en el libro de Shigley [65], donde $K_a = 0,7474$; $K_b = 0,8001$; $K_c = 1$; $K_d = 1$; $K_e = 0,7$; $K_f = 1$; $S'_e = 441,3 \text{ MPa}$ y $S_e = 184,7 \text{ MPa}$. Para obtener el N se utiliza la ecuación 18 y 19 y se conoce que $\sigma_a = 50,7 \text{ MPa}$ y $\sigma_m = 133,1 \text{ MPa}$, con estos datos se reemplaza en la ecuación 20, donde resulta $N = 2,35$.

Al comparar los factores de seguridad, donde $N_{fluencia} = 3,78$; $N_{Estático} = 3,05$ y $N_{fatiga} = 2,35$; resalta el de fatiga porque tiene el menor valor, pero al ser mayor a 1,5 se considera aceptable.

También, se realiza el análisis de elementos finitos en el eje, donde, se analiza el eje con las cargas a las que está sometido, partiendo del DCL resuelto de la figura 59, se realiza la simulación que se observa en las figuras 62 y 63.

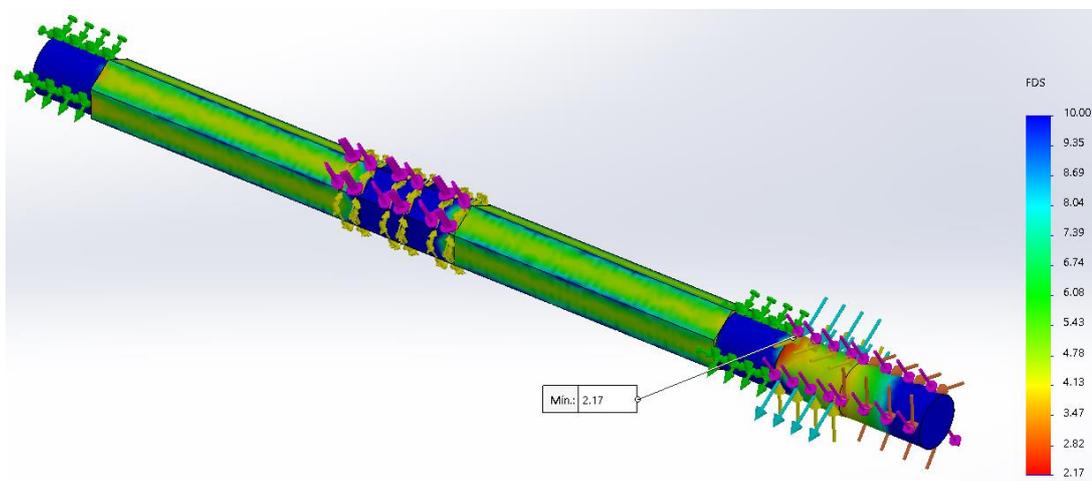


Figura 62. Simulación del Factor de Seguridad del Eje.

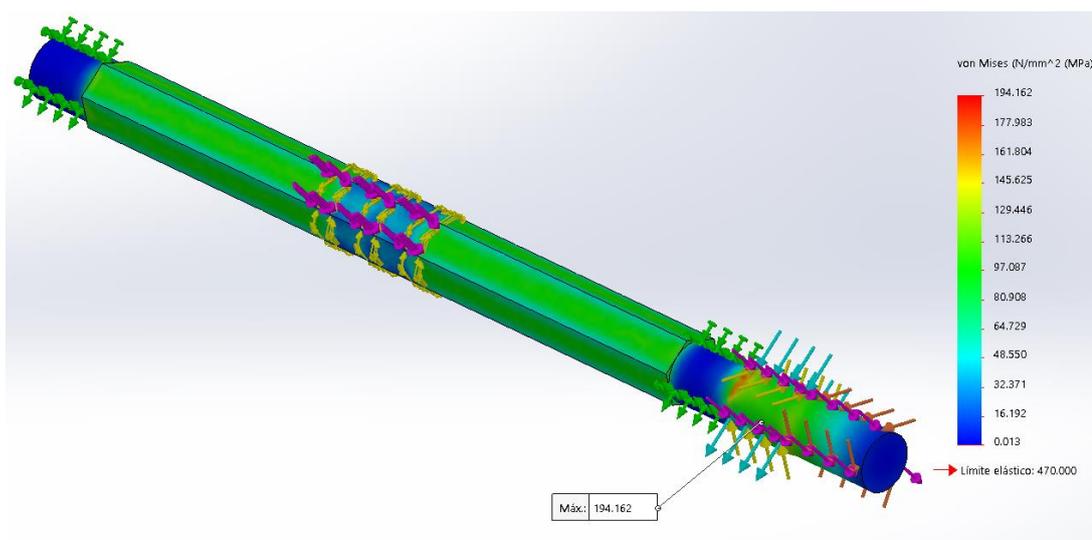


Figura 63. Simulación del esfuerzo flector máximo en el eje.

Al comparar los datos obtenidos en la simulación y el cálculo manual se evidencian errores de 3.64% para el esfuerzo máximo y 4.34% para el F.S, demostrando que los datos convergen, lo cual implica que el eje va a resistir las cargas aplicadas.

3.4.3. Selección de Rodamientos

Para la selección de rodamientos, se considera como dato fundamental el diámetro del eje y el espacio de montaje. Tomando en cuenta el eje a utilizar $D=60$ mm y de

anclaje a la pared por la forma de la máquina, se considera la chumacera UCFL 212 conformada por el rodamiento de bolas de contacto angular YAR 212 – 2F [68].

Designation	Life model	
	Basic	SKF life
	L_{10h}	L_{10mh}
	h	
<hr/>		
► YAR 212-2F	5680	8680

Figura 64. Cálculo de vida del rodamiento YAR 212-2F.

Sin embargo, es fundamental saber que va a soportar las cargas a las que está sometido, debido a que el momento máximo está presente en la chumacera B. Para el cálculo de vida de los rodamientos se utiliza la página web de SKF donde se obtiene una vida útil de 8680h, con funcionamiento de 8 horas diarias, se tiene duración de aproximadamente 3 años, como se muestra en la figura 64.

3.4.4. Simulación de la Estructura

Para conocer si el tubo seleccionado va a soportar el peso de la máquina, se considera las cargas en la parte superior e inferior. En la parte superior, incluye los elementos que intervienen en el sistema de trituración, ruedas dentadas y Catarina conducida y cubiertas frontales y tolva superior; el peso total de arriba es $P_{arriba} = 3432,9 \text{ kg}$. En la parte inferior, está el motor, reductor, piñón motriz y eje del motorreductor, en total $P_{abajo} = 212 \text{ kg}$.

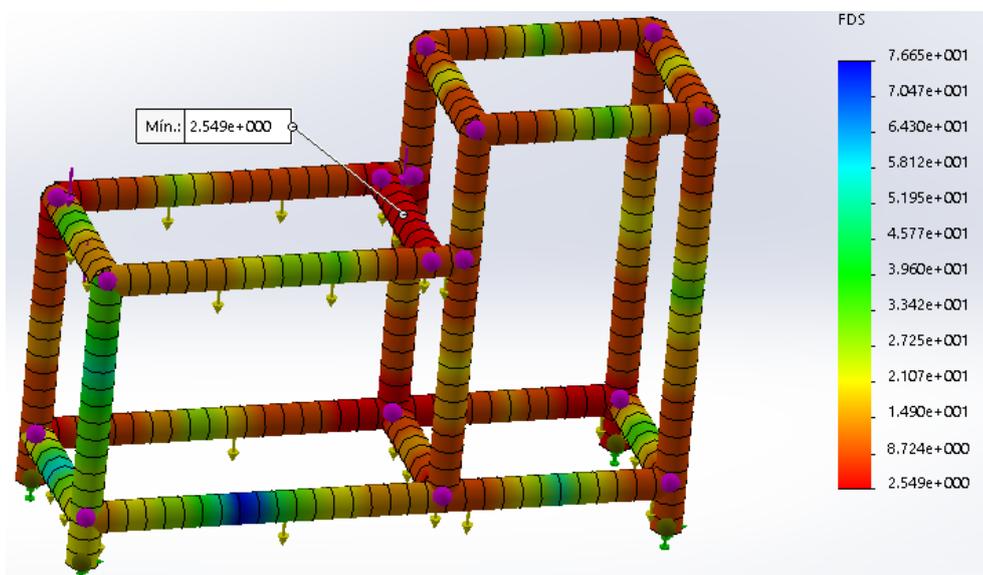


Figura 65. Factor de Seguridad de la Estructura.

Además, las cargas del eje se trasladan en la parte superior de la estructura, como la fuerza de corte de la cuchilla $F_C = 2660 \text{ N}$ y las reacciones de las chumaceras $R_{Ay} = 817,27 \text{ N}$; $R_{By} = 39549,47 \text{ N}$. En la figura 65, se observa la simulación para el tubo cuadrado de $75 \times 75 \times 3 \text{ mm}$, obteniendo como factor de seguridad 2,55; demostrando que la estructura es óptima para resistir las cargas aplicadas.

3.4.5. Simulación de la Tapa Frontal

Según los diagramas de fuerza cortante y momento flector, se conoce que el momento crítico está ubicado en la chumacera B, así es que se realiza el análisis de elementos finitos en la tapa frontal del sistema de corte, donde las chumaceras se conectan mediante dos pernos.

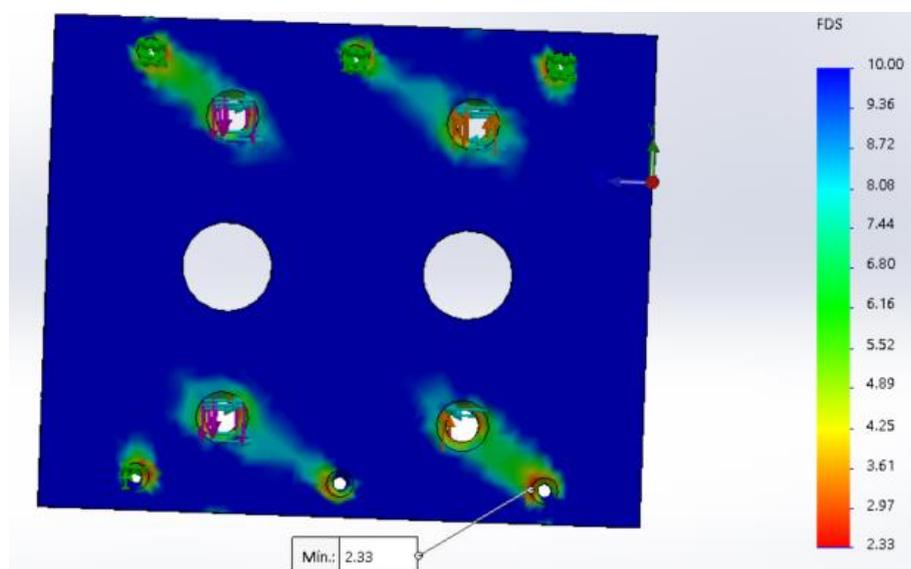


Figura 66. Simulación Tapa Frontal del Sistema de Corte.

En las perforaciones de los pernos se localizan las cargas del punto B, mostradas en el DCL de la figura 59. También se considera como fijo los pernos que sujetan a la tapa con la estructura, de este modo, se obtiene un factor de seguridad $N_{tapa} = 2,33$; cómo se observa en la figura 66, que indica que va a resistir las cargas aplicadas y se considera aceptable.

3.4.6. Simulación de la Cuchilla

El sistema de corte está basado en el diseño de la cuchilla, porque es la pieza que entra en contacto directo con el neumático a triturar, motivo por el cual se realiza la simulación estática y dinámica de la cuchilla, con la finalidad de analizar la resistencia y deformación de la misma.

3.4.6.1. Simulación Estática de la Cuchilla

Se analizó la cuchilla con la fuerza requerida para la trituración de 2660 N, dando como resultado $N=17,5$; como se muestra en la figura 67, que se considera aceptable. Además, se obtiene la deformación de la cuchilla de 0,004954 mm; como se muestra en la figura 68.

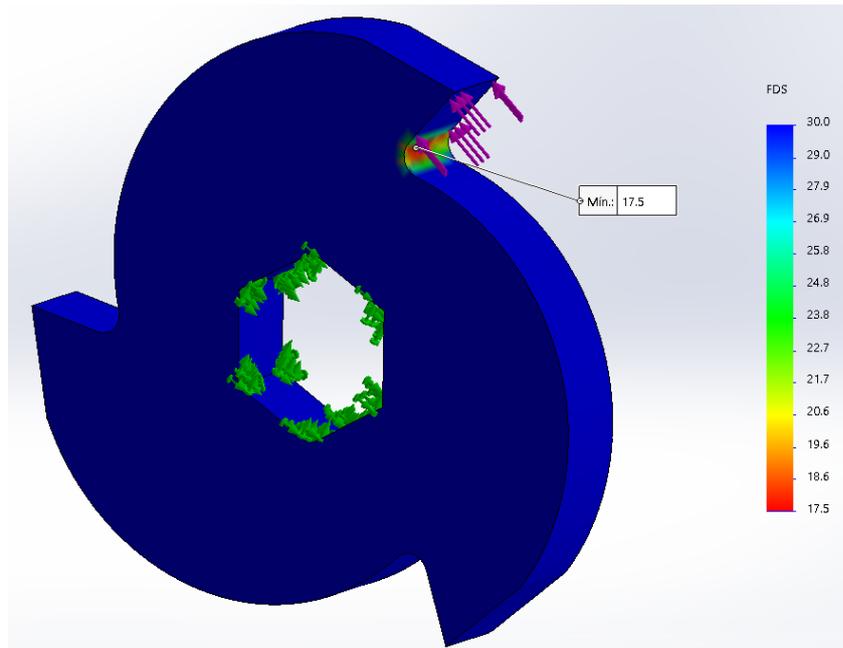


Figura 67. Factor de Seguridad de la cuchilla.

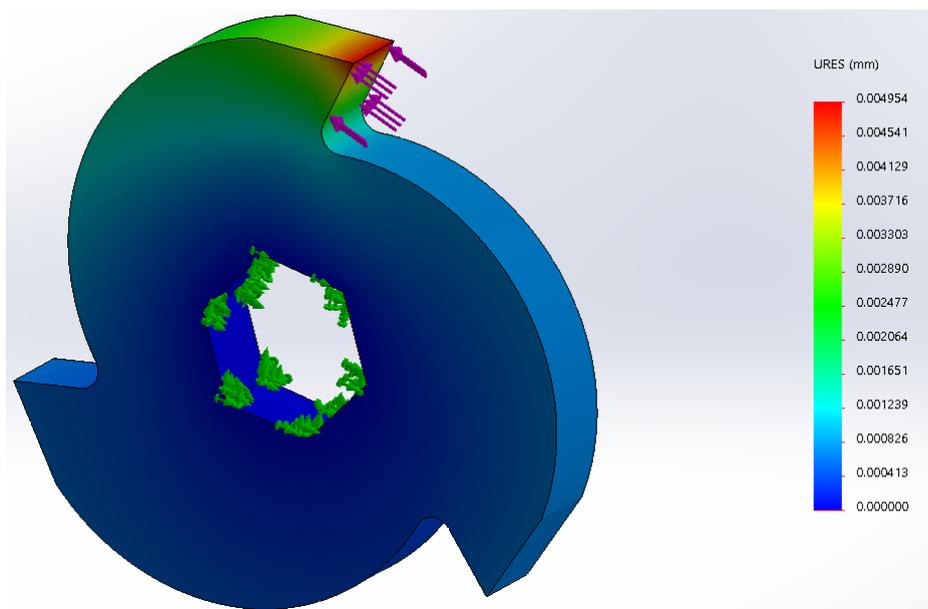


Figura 68. Deformación de la cuchilla.

3.4.6.2. Simulación Dinámica de la Cuchilla

Para la simulación dinámica se realiza con 2 cuchillas y la probeta de neumático para apreciar el proceso de trituración, como se muestra en la figura 69.

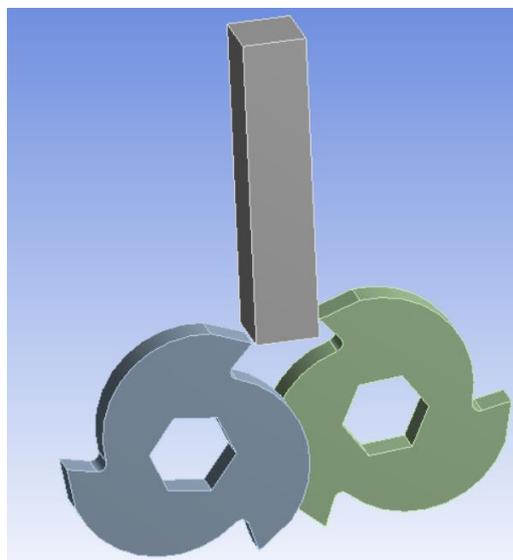


Figura 69. Piezas utilizadas para la simulación dinámica del sistema de corte

Se consideran los parámetros de material de la cuchilla AISI O1 y para la probeta el caucho, la velocidad angular de 32 *rpm* para cada cuchilla, la aceleración de la gravedad de 9,8 m/s^2 en todos los cuerpos y un desplazamiento de 50 mm de la probeta. El mallado por defecto permite simular diferentes dimensiones según la consideración automática del software y el tiempo de 0,5 s. Al finalizar la simulación, se observa gráficamente que las cuchillas han triturado la probeta, como se muestra en la figura 70.

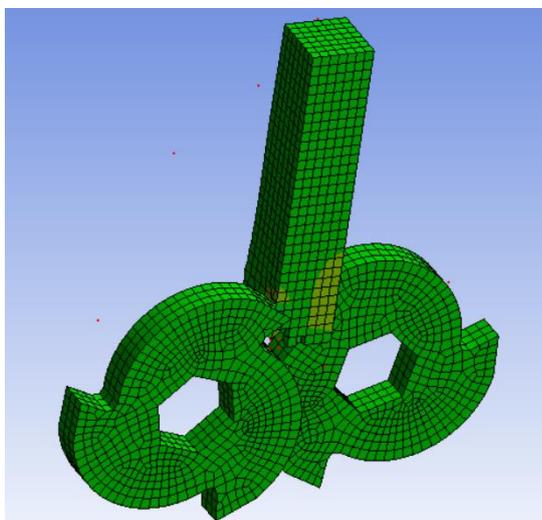


Figura 70. Simulación del sistema de trituración dinámica.

Se obtiene resultados de deformación en la cuchilla de 0,0049433 mm y un esfuerzo en la probeta de 2,0337 MPa, como se observa en la figura 71 y 72.

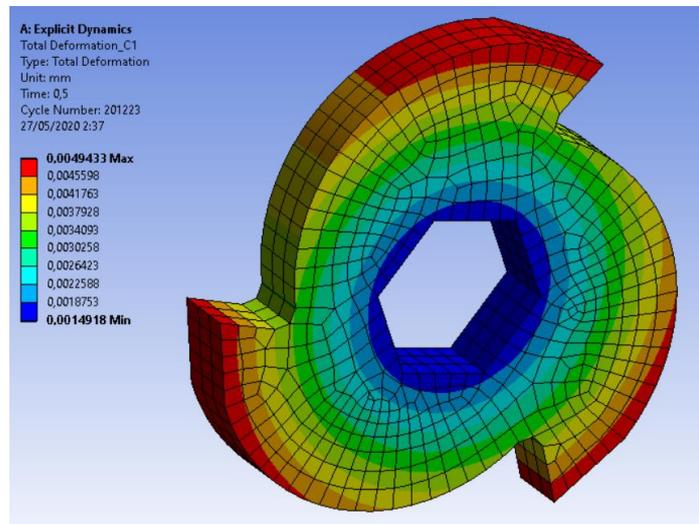


Figura 71. Deformación de la cuchilla en análisis dinámico.

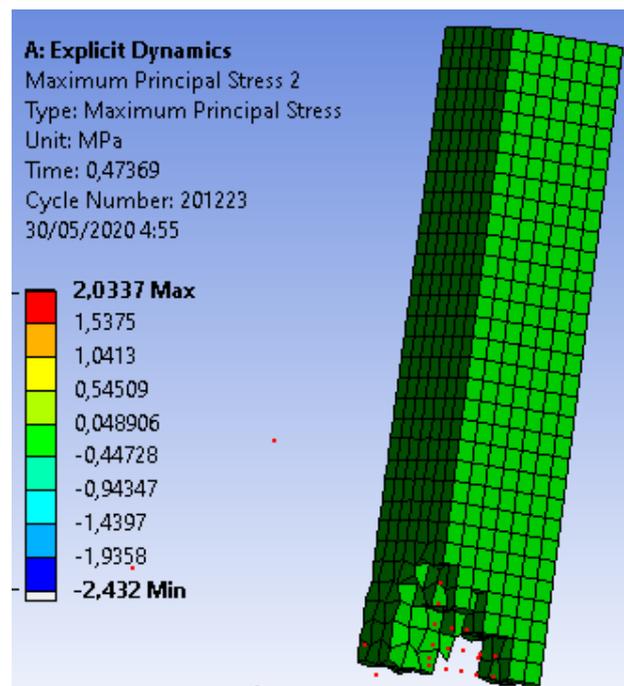


Figura 72. Esfuerzo de la probeta de neumático en el análisis dinámico.

Al comparar la simulación estática y dinámica, en la tabla 55, se muestra un error de 0,216%. Además, se analiza el factor de seguridad de la máquina mediante una comparación de resultados en la tabla 55, donde, resulta como mínimo el factor de seguridad de 2,2 y al ser mayor a 1.5 se considera aceptable.

Tabla 55.

Comparación de Resultados de las Simulaciones

PIEZA	DATO	SIMULACIÓN	CÁLCULO	% ERROR
EJE	$\sigma_{m\acute{a}x}$	194,16 MPa	201,51 MPa	3,64%
	N_{eje}	2,2	2,3	4,34%
RUEDA DENTADA	$\sigma_{m\acute{a}x}$	480,3 MPa	482,0 MPa	3,64%
ESTRUCTURA	N	2,55	-	-
TAPA FRONTAL	N	2,33	-	-
CUCHILLA	N	17,5	-	-
	Def-estática	0,004954 mm	-	0,216%
	Def-dinámica	0,004943 mm	-	
	$\sigma_{m\acute{a}x}$	2,3069 MPa	-	-

3.4.7. Selección de los Elementos de Control

La elección de los elementos de control se realiza en función a los procesos a automatizar, descritos en las especificaciones técnicas de la tabla 1.

Descripción del Procedimiento:

1. Se enciende el sistema, si las tolvas están en la posición correcta.
2. Empieza la trituración normal y enciende la luz verde funcionamiento normal.
3. Al detectar el atascamiento, se enciende la luz amarilla e invierte el giro del motor por un tiempo de aproximadamente 10 segundos.
4. Si vuelve a detectar el atascamiento y es mayor a 4, enciende una sirena de emergencia y se apaga la máquina.
5. Si no detecta atascamiento, vuelve a triturar normalmente hasta que se apague la máquina.

En base al funcionamiento de la máquina trituradora, se realiza un graficet que cumpla con el procedimiento mencionado, como se indica en la figura 73.

En función al graficet se realiza un diagrama unifilar de fuerza y control que se muestra en el Anexo 11. En base a los planos eléctricos, se elabora la lista de materiales, donde, los dispositivos eléctricos empleados se escogieron considerando la corriente del motor y demás elementos.

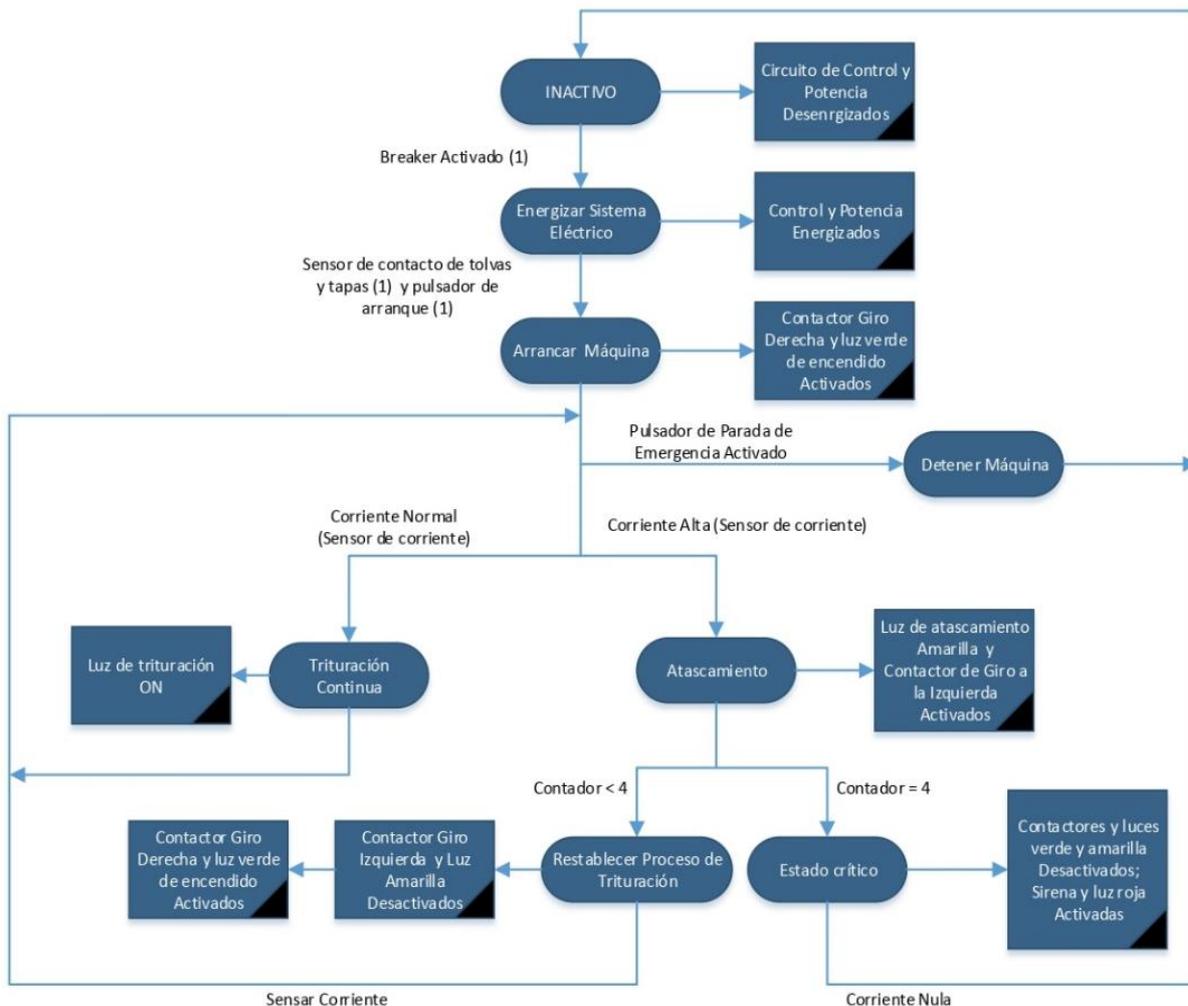


Figura 73. Grafcet de la Máquina Trituradora de Neumáticos.

3.4.8. Diseño CAD del Prototipo de Máquina Trituradora

Con la metodología aplicada, casa de la calidad, se consideran los requisitos del cliente, tomando en cuenta la voz del ingeniero y para obtener las especificaciones técnicas, este dato permite analizar las funciones que realiza la máquina y seleccionar la alternativa de solución adecuada para este proyecto.

La técnica del DFMA fue fundamental al momento de seleccionar los materiales y elaborar los planos mecánicos de la máquina (ver Anexo 14), porque se considera la forma de fabricación y la disponibilidad del mercado, es así que se llega a obtener el diseño CAD preliminar. También, se realizaron cálculos matemáticos que al converger con las simulaciones se ratifica que los materiales utilizados en el diseño del prototipo mostrado en la figura 74 soporta las cargas aplicadas, es decir, cumple con la función de triturar el neumático.

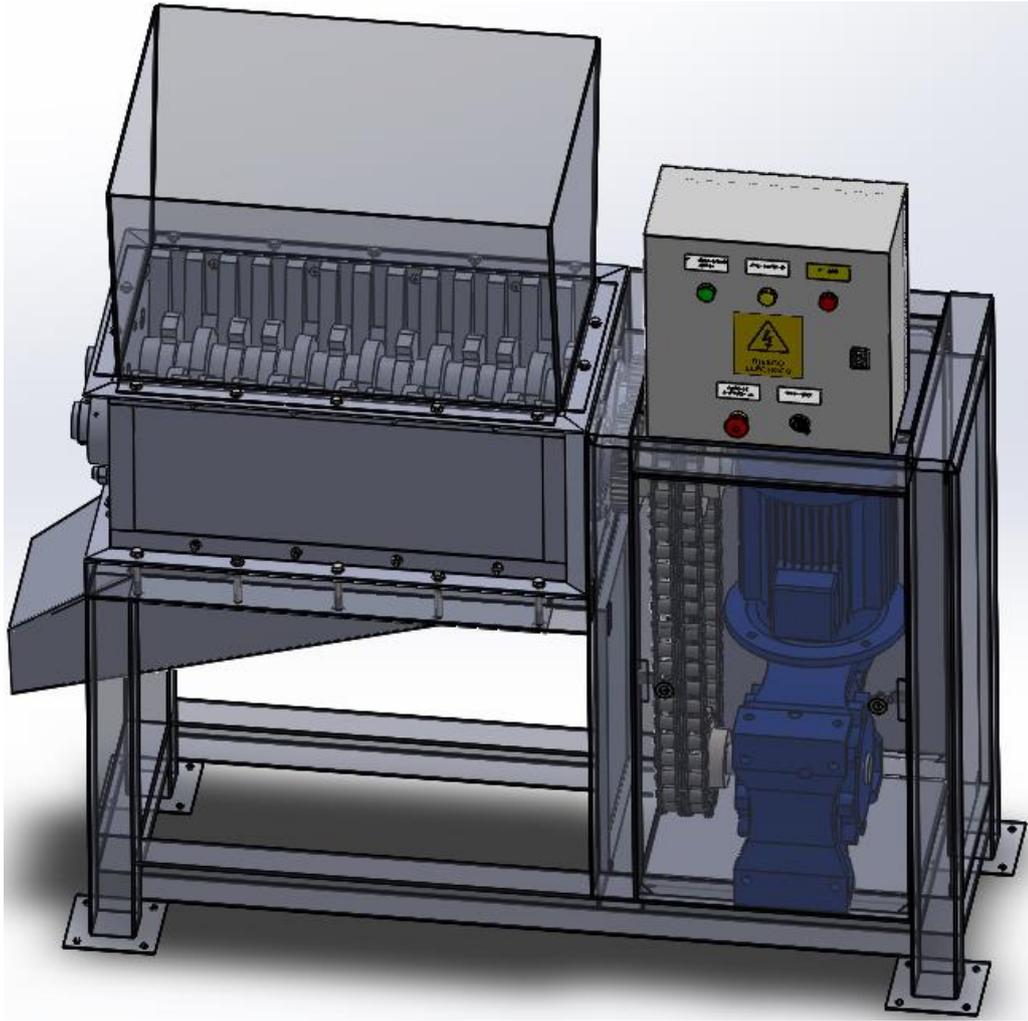


Figura 74. Diseño CAD del Prototipo de Máquina Trituradora de Neumáticos.

3.4.9. Análisis de Costos

Costos de Materia Prima:

Tabla 56.

Costo de Materia Prima Mecánico.

COSTOS MECÁNICOS				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
motorreductor I=40, BOX 150	unidad	1	2953,44	2953,44
Eje hexagonal de 2" 1/2 AISI 4340	metros	2,1	150	315
Eje de transmisión AISI 1018, 4", e=30mm	metros	0,8	135	108
Angulo AL40x4 ASTM A36 (largo normal 6m)	metros	2	18	36
Tubo cuadrado 75x75x3, ASTM A36(largo normal 6m)	metros	3	177,6	532,8
Plancha ACERO ASTM-36 (1220x2440mm, e=4mm)	plancha (1220x2440)	2	90	180
Acero BOHLER K460, e=25mm(200x25x200mm)	unidades	26	85,94192308	2234,49
ASTM A36, e=29mm	plancha (1220x2440)	1	685,44	685,44
plancha 1018, tol e=10mm	plancha (1220x2440)	1	221,76	221,76
eje AISI 4340, D=50mm	KG/MT	10,8	2,74	29,592
plancha ASTM A36 e=1,5mm	plancha (1220x2440)	1	55	55
Chumaceras UCFL 212	unidad	4	60	240
Catarinas	unidad	1	2011,74	2011,74
Cadena	caja	1	310	310
Rueda dentada	unidad	2	200	400
Arandela simple	M8x1.25	14	0,05	0,7
Arandela simple	D=10mm	14	0,07	0,98
Tuerca hexagonal	M20x1.5	8	0,2	1,6
Tuerca hexagonal	M8x1.25	42	0,1	4,2
Tuerca hexagonal	M10x1.5	14	0,12	1,68
Tornillo avellanado con hueco hexagonal	M20x2.5x60	8	0,5	4
Tornillo hexagonal	M8x1.25x25	14	0,2	2,8
Tornillo avellanado con hueco hexagonal	M8x1.25x30	24	0,22	5,28
Tornillo hexagonal	M10x1.5x90	14	0,3	4,2
			TOTAL	10338,702

Tabla 57.
Costo de Materia Prima Eléctrico.

COSTOS ELÉCTRICOS				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
PLC Siemens Logo 12/24RC	unidad	1	201,6	201,6
Botón de paro de emergencia ZJWZJH	unidad	1	5	5
Luz piloto led verde AC/DC	unidad	1	1,7024	1,7024
Luz piloto led amarilla AC/DC	unidad	1	1,7024	1,7024
Luz piloto led roja AC/DC	unidad	1	1,7024	1,7024
Sensor de corriente SCT-013	unidad	1	20	20
Interruptor selector Schneider Electric B4BD21	unidad	1	5,6	5,6
Contactador CHINT NXC-18	unidad	4	12,0848	48,3392
Guardamotor DZ518-M21	unidad	1	42,1456	42,1456
Breaker RGS DZ47-20.	unidad	1	60	60
Transformador de voltaje 110/220 a 12-0-12 Vac	unidad	1	15	15
cable	metros	100	0,4	40
gabinete electrico 40x40x200mm	unidad	1	59,5056	59,5056
chapa para gabinete electrico	unidad	2	8	16
Riel din	metros	1	2,4864	2,4864
Canaleta Ranurada	metros	2	5	10
			TOTAL	530,784

Costos de Mano de Obra:

Tabla 58.
Costo de Materia Prima Maquinado.

MAQUINADO	
Operación	Costo (USD)
Taladrado	50
Torneado	200
Fresado	500
Soldadura	150
Corte	700
Plegadora	150
Pintura	50
Total	1800

Tabla 59.

Costo de Materia Prima Ensamble.

ENSAMBLE				
Personal	Cantidad	Horas de trabajo	Costo (usd/h)	Costo Total
Técnico mecánico	1	60	3	180
Ayudante mecanico	1	60	2	120
Ayudante eléctrico	1	60	2	120
Total				420

Costo Total

Tabla 60.

Costo de Fabricación.

COSTO DE FABRICACIÓN	
Operación	Costo (USD)
Costo mecánico	10338,702
Costo eléctrico	530,784
Costo de maquinado	1800
Costo de ensamble	420
Total	13089,49

Capítulo IV. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

Con la investigación de las características como composición, partes y fabricación de los neumáticos de mayor uso, se llegó a determinar que la fuerza de corte es de 2630 N, lo que provoca un esfuerzo máximo en las cuchillas de corte de aproximadamente 13 MPa, es así que se puede concluir que el material ideal para este tipo de herramientas es el acero AISI O1.

Se determinó que, con la fuerza de corte de 2630 N el torque necesario para triturar el neumático entero rin 14" es de 6916 N·m, obteniendo una potencia de aproximadamente 30 kW, lo cual conlleva a un costo de materia prima elevado. Para reducir la potencia se utiliza una desviación en las cuchillas con un ángulo de 20° disminuyendo el torque en un 76,92%, que a la vez repercute en la potencia del motor.

La metodología del diseño mediante ponderaciones brinda la alternativa de solución adecuada, donde es ideal una máquina de dos ejes, cuchillas rotativas, sistema de transmisión por cadena, y demás mostrados en la figura 37. Aplicando la técnica del DFMA se averigua la disponibilidad de materiales en el mercado local y con análisis de costos, se demuestra que la construcción de esta máquina es de aproximadamente USD 13000, siendo mayor a la oferta del mercado.

Se simulan los elementos más críticos del prototipo de máquina analizando el eje de transmisión, rueda dentada, estructura, tapa frontal y el sistema de corte; donde los cálculos y simulaciones de factor de seguridad y esfuerzos máximos tienen un error de aproximadamente 3,5%; también, se tiene un 0,216% en la deformación de la cuchilla mostrando que los valores convergen e indica que la simulación es segura y fiable.

Se demostró que el esfuerzo necesario para producir el corte en el neumático es de aproximadamente 13 MPa y en la simulación dinámica del proceso de corte se obtiene un valor de 2,04 MPa, los cuales difieren totalmente el uno del otro. Se puede concluir que esta diferencia se debe a que el neumático es un material compuesto, mientras que el programa utiliza caucho vulcanizado.

4.2. Recomendaciones

Realizar una investigación del desgaste de las cuchillas rotativas que trituran los neumáticos usados y tratamientos térmicos que pueden ser aplicados al material de la cuchilla, para considerar alternativas y lograr disminuir el costo del AISI O1.

Realizar diferentes protocolos de pruebas con disposiciones de cuchillas rotativas, con ángulos diferentes al desfase de 20° y analizar diferentes formas de ensamble con los ejes, con la finalidad de utilizar ejes octogonales o cuadrados.

Se sugiere importar una máquina trituradora de neumáticos y aplicar ingeniería inversa para analizar el tipo de materiales, forma de ensamble y acabados de la misma, entre otros, con el propósito de disminuir los costos de la máquina.

Se recomienda realizar un estudio en los neumáticos mediante ensayos, donde se analice la composición, propiedades mecánicas de tracción, compresión e inclusive el desgarre, para estudiar la posibilidad de un suavizado de la llanta y lograr disminuir la fuerza de trituración.

Plantear un proyecto con una Universidad de Antioquia – Colombia o en otras que demuestren interés por este tema, donde se ha ejecutado el proceso de reciclaje de llantas, para potencializar este trabajo realizado, comparar resultados con máquinas construidas en dicha localidad y que están en funcionamiento.

Bibliografía:

- [1] C. D. Poma Vélez y J. F. Ochoa Alfaro, ESTUDIO Y PROPUESTA PARA EL RECICLAJE DE NEUMÁTICOS PROCEDENTES DE LOS VEHÍCULOS DE LA CIUDAD DE LOJA, Loja: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, 2019.
- [2] El telegrafo, «www.eltelegrafo.com.ec,» 31 OCTUBRE 2018. [En línea]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/llantasusadas-reciclaje-ecuador-llantaton2018>.
- [3] ECO Green Equipment, «ecogreenequipment.com,» 22 Enero 2018. [En línea]. Available: <http://ecogreenequipment.com/es/conoce-cuales-peligros-pueden-ocacionar-los-neumaticos-fuera-de-uso-nfu/>.
- [4] tnu, «www.tnu.es,» [En línea]. Available: <https://www.tnu.es/w/138/-como-es-un-neumatico-/lang/es>.
- [5] L. Tapia Núñez, «INSTRUCTIVO PARA LA GESTION INTEGRAL DE NEUMATICOS USADOS, Registro Oficial 937,» Ministerio del ambiente del Ecuador, Quito, 2013.
- [6] Diario el universo, «www.eluniverso.com,» 30 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/vida/2018/06/03/nota/6790121/24-millones-neumaticos-se-desechan-cada-ano-pais>.
- [7] S. F. Mueses Flores, MÁQUINA TRITURADORA DE CAUCHO PARA LA OBTENCIÓN DE GRANULOMETRÍA FINA, Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2017.
- [8] Diario el norte, «www.elnorte.ec,» 4 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.elnorte.ec/ibarra/reciclaron-mas-de-mil-neumaticos-BDEN55056>.
- [9] S. Vásquez Pozo, Estudio de factibilidad para la reutilización, reciclaje y procesamiento de neumáticos fuera de uso en la ciudad de Ibarra, Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2017.
- [10] «TOYO TIRES,» [En línea]. Available: <https://www.toyotires.es/news/item/id/9864>.
- [11] Diario El comercio, «www.espol.edu.ec,» 2 Septiembre 2014. [En línea]. Available: http://www.espol.edu.ec/sites/default/files/docs_escrbe/3525.pdf.
- [12] S. Ochoa, «EL UNIVERSO,» 23 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/01/23/nota/5360908/llantas-se-reinventan-reciclaje>.
- [13] C. V. Mendez Peñaloza y F. V. Solano Arias, DISEÑO DE TRITURADOR DE NEUMATICOS USADOS; CAPACIDAD 1 TON/h, PARA LA EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA (EMAC), Cuenca: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2010.
- [14] A. G. Veintimilla Vera, IMPLEMENTACIÓN DE UN DISEÑO MECÁNICO PARA TRITURAR NEUMÁTICOS RECICLABLES, Guayaquil: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, 2015.

- [15] R. R. Murcia C, *DISEÑO DE UN SISTEMA PRIMARIO EN EL PROCESO DE TRITURACIÓN DE LLANTAS USADAS DESALAMBRADAS*, Bogotá D.C, 2016.
- [16] TRATAMIENTO NEUMÁTICOS USADOS, S.L., «TNU - Tratamiento Neumáticos Usados,» [En línea]. Available: <https://www.tnu.es/w/138/-como-es-un-neumatico-/lang/es>.
- [17] T. R. Espinoza W, *Diseño y simulación de una máquina trituradora de llantas de una tonelada por hora de capacidad para las empresas OPTRA SEMBRES*, Quito, 2016.
- [18] «MANTA LLANTA,» 2018. [En línea]. Available: <https://mantallanta.com/llantas/marca/>.
- [19] «NEUMATICOS PORPOCO,» [En línea]. Available: <https://www.neumaticos-taller.com/marcas/top/>.
- [20] P. E. Acuña Soto, *Relación de nivel socioeconómico con la demanda de llantas nacionales e importadas para vehículos livianos en la ciudad de Guayaquil*, Guayaquil, 2016.
- [21] «J.D POWER,» 21 marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.jdpower.com/business/press-releases/2019-us-original-equipment-tire-customer-satisfaction-study>.
- [22] C. J. Dize, «Normas de Neumáticos,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/323184218/Normas-de-Neumaticos>.
- [23] Y. G. Liseth Brieva, «Calameo,» [En línea]. Available: <https://es.calameo.com/read/00471689106746249bb8b>. [Último acceso: 28 Marzo 2016].
- [24] «SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO,» [En línea]. Available: <https://www.acreditacion.gob.ec/requisitos-tecnicos-para-certificar-neumaticos/>. [Último acceso: 05 Junio 2018].
- [25] T. R. Salguero Wladimir, *Diseño y simulación de una máquina trituradora de llantas, de una tonelada por hora de capacidad, para la empresa Optra-Sembres*, Quito, 2016.
- [26] S. H. d. Cura, *INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN Y GRANULOMETRÍA DEL CAUCHO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO(NFU) Y DE LAS DIMENSIONES FÍSICAS EN LAS PROPIEDADES TÉRMICAS, ACÚSTICAS Y MECÁNICAS DE PLACAS DE MORTERO DE YESO-CAUCHO*, Madrid, 2016.
- [27] A. J. S. a. & R. C. McCall, «Kinematics and Wear of Tool Blades for Scrap Tire Shredding,» *Machining Science and Technology: An International Journal*, 2014.
- [28] «Gestores de RESIDUOS,» [En línea]. Available: <https://gestoresderesiduos.org/noticias/aplicaciones-de-los-neumaticos-reciclados>. [Último acceso: 20 Abril 2015].
- [29] V. F. M. C. y T. D. Erazo V., «Aplicación de ingeniería simultánea en la construcción de máquinas por parte de mipymes metalmecánicas del Ecuador,» *Revista de Investigación Corporación Universitaria Comfacauca*, p. 86, 2017.
- [30] C. R. Romeva, *Diseño Concurrente*, Barcelona: Ediciones UPC, 2002.
- [31] Bayoumi, *Design for manufacture and assembly (DFMA): Concepts, benefits and applications.*, Cairo, 2000.

- [32] «El insignia,» 26 mayo 2017. [En línea]. Available: <https://blog.elinsignia.com/2017/05/26/levantamiento-manual-de-carga/>.
- [33] «SINAIS control industrial,» [En línea]. Available: <https://sinais.es/ventajas-y-desventajas-de-un-plc-en-el-control-industrial/>.
- [34] «OLX,» [En línea]. Available: <https://www.olx.com.ec/item/aprende-y-certificaste-automatizacion-con-plc-logo-y-cont-de-temp-pid-iid-1100183267>.
- [35] «ABC tecnología,» [En línea]. Available: <https://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20130716/abci-raspberry-como-201307151936.html>.
- [36] «El Espanol,» 2016. [En línea]. Available: https://www.elespanol.com/omicro/tecnologia/20190624/nueva-raspberry-pi-video-potente-mismo-precio/408710320_0.html.
- [37] «ABB,» [En línea]. Available: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>.
- [38] «Mercado Libre,» [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-424411875-variador-de-frecuencia-de-4kw-220v-5hp-vfd-vsd-variable-_JM#position=1&type=item&tracking_id=c5d6bde7-5e17-4e31-8fe7-2b86166296f4.
- [39] «HETPRO Herramientas tecnológicas profesionales,» [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/sensor-de-corriente-sct-013-000-100a/>.
- [40] «NAYLAM MECHATRONICS,» [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivos.html.
- [41] «DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS,» 10 05 2017. [En línea]. Available: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/encoder-tipos>.
- [42] «Pololu,» [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/4756>.
- [43] «DYNAMO,» [En línea]. Available: <https://www.dynamoelectronics.com/tienda/final-de-carrera-industrial/>.
- [44] J. P. P. y. A. Gardey, «DEFINICION.DE,» 2019. [En línea]. Available: <https://definicion.de/motor-electrico/>.
- [45] «Mercado Libre,» [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-423981787-motor-weg-trifasico-de-10-hp-4-polos-motor-cerrado-220440-_JM?quantity=1#position=7&type=item&tracking_id=13386111-fa25-4e6c-a448-d127dbc9c833.
- [46] «Hydraulics&Pneumatics,» [En línea]. Available: <https://www.hydraulicspneumatics.com/hp-en-espanol/article/21886595/principios-ingenieriles-bsicos-motores-hidraulicos>.
- [47] «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/Hidráulico-ölmotor-gerotor-Hydraulic-slectable/dp/B073R3B95Q>.
- [48] «DirectIndustry,» [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/gast/product-7063-806457.html>.

- [49] «Google Sites,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/mecanismosbeatrizvn3oc/3-tipos-de-transmision-circular>.
- [50] A. E, «XUNTA DE GALICIA,» [En línea]. Available: https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/42_sistemas_de_polea_y_correa.html.
- [51] «XUNTA,» [En línea]. Available: https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43_engranajes.html.
- [52] «Alibaba,» [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/product-detail/good-price-double-shaft-shredder-blades-and-knives-for-plastic-rubber-tyre-recycling-60558237651.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.3.4fad353fJW0dDU.
- [53] «ZORROTZ,» [En línea]. Available: <http://www.zorrotz.com/wpcproduct/cuchillas-rectas-de-cizalla/>.
- [54] «Direct INDUSTRY,» [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/utz/product-15040-1892167.html>.
- [55] «Indiamart,» [En línea]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/garbage-trolley-14933303962.html>.
- [56] B. Tomalá, *Diseño de una estrategia de reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos de vehículos como combustible alternativo en fábricas para disminuir la contaminación ambiental al final de su vida útil, en el cantón Santa Elena.*, Santa Elena, 2013.
- [57] U. d. Málaga, *Manipulación Manual de Cargas ISO 11228-2*.
- [58] I. M. Bragado, «Física General,» [En línea]. Available: <https://fisicas.ucm.es/data/cont/media/www/pag-39686/fisica-general-libro-completo.pdf>. [Último acceso: 12 Febrero 2003].
- [59] V. A. M. L. F. M. O. D. M. W. Erazo V., *Estimación de la fuerza de corte en neumáticos usados Rin 14 para un proceso de trituración.*, Ibarra, 2019.
- [60] R. Martínez, *DISEÑO DE UNA MÁQUINA RECICLADORA DE BOTELLAS PLÁSTICAS PARA PROMOVER EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDADANÍA*, Ibarra, 2017.
- [61] «MOTIVE,» [En línea]. Available: https://www.motive.it/upload/documenti/cataloghi/BOX_catalogo_spa.pdf.
- [62] R. L. Mott, *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*, México: Pearson Educación, 2006.
- [63] «ingemecánica,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>.
- [64] A. Casillas, *MÁQUINAS Calculos de Taller*, España, 2008.
- [65] R. G. B. y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México: Mc Graw Hill, 2008.

- [66] R. L. Norton, *DISEÑO DE MÁQUINAS Un enfoque integrado*, México: Pearson Educación, 2011.
- [67] V. V. Useche, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Pereira: Editorial UTP, 2018.
- [68] «SKF,» [En línea]. Available: <https://skfbearingsselect.com/#/one-or-two>.
- [69] «Bridgestone,» [En línea]. Available: <https://www.bridgestone.com.mx/es/nosotros/noticias/presion-de-inflado-adecuada>.
- [70] «MICHELIN,» [En línea]. Available: <https://www.michelin.es/>.
- [71] «BRIDGESTONE,» [En línea]. Available: <https://www.bridgestone.com/>.
- [72] J. L. Pelizzoni, S. A. Fumagalli, R. Quarleri y E. R. Blanco, *AVANCES DE DISEÑO DE PROTOTIPO DE EQUIPO DE TROZADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO PROVENIENTES DE LA EXPLOTACIÓN MINERA*, 2016.
- [73] «RENOLD,» [En línea]. Available: <http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/cadena/renold.2.pdf>.

Anexos

Anexo 1. Presión de los Neumáticos.

Según Bridgestone, recomienda “calibrar la presión de inflado de las llantas de acuerdo a las especificaciones del fabricante del vehículo, mismas que se pueden encontrar en una etiqueta ubicada en el marco de la puerta del conductor o en la tapa del tanque del combustible” [69].

En la siguiente tabla se muestra las presiones para la marca FORD, expresadas en diferentes modelos y medidas de neumáticos [70].

Marca Modelo vehículo	Medidas neumát.	Presiones (bar)			
		mínima		máxima	
		del. tras.	del. tras.	del. tras.	del. tras.
FORD (continuación)					
Tous types	255/70 R16 109S	2.1	2.1	2.1	2.1
MAVERICK 3/5P (>06.96)					
Colorado	235/75 R15 105S	1.8	2.1	1.8	2.5
MAVERICK 3/5P (97>09.98)					
2.7TD Tous types	235/75 R15 105S	1.8	2.1	1.8	2.4
MAVERICK 3P (>06.96)					
GL/GLX	215/80 R15 102S	1.8	2.2	1.9	2.5
	235/75 R15 105S	1.8	2.2	1.9	2.5
Tous types	215/80 R15 102S	1.8	2.2	1.9	2.5
MAVERICK 3P (97>09.98)					
2.7TD GL 11CV	235/75 R15 105S	1.8	2.1	1.8	2.4
MAVERICK 5P (>06.96)					
Tous types	215/80 R15 102S	1.9	2.5	1.9	2.5
	235/75 R15 105S	1.9	2.5	1.9	2.5
MAVERICK FGT (>06.96)					
2.4 GL/GLX	215/ R15 102S	2.2	2.0	2.2	2.2
2.7 TD GL/GLX	215/ R15 102S	2.2	2.0	2.2	2.2
RANGER					
TD Double cabine XL	205/75 R14C 109P	2.0	2.0	2.2	4.4
TD Tous types	235/75 R15 105S	1.8	1.8	1.8	2.5
RANGER (>09.02)					
TD Colorado	205/ R16C 104T	1.8	1.8	2.0	4.4
	235/75 R15 105T	1.8	1.8	2.0	4.4
TD Strech XL	195/ R14C 102R	1.8	1.8	1.8	4.4
	205/65 R14C 102R	1.8	1.8	1.8	4.4

Fuente: [70]

Anexo 2. Resultados Encuestas

TEMA: “Trituradora de neumáticos”.

OBJETIVO: Recopilar información para obtener los requerimientos necesarios para el diseño de un sistema de trituración que consta de 3 etapas: Extracción de talón, Trituración primaria y Trituración secundaria.

RESULTADOS:

Pregunta 1: - ¿Qué capacidad de triturado considera conveniente?

La capacidad de triturado que se considera conveniente es de 100kg/h

Pregunta 2: - ¿Está de acuerdo que ingrese una llanta a la vez en el sistema de trituración?

Debe ingresar una llanta a la vez al sistema de trituración

Pregunta 3: - ¿Cómo considera que debe ser la descarga del producto terminado, en la etapa de trituración primaria y secundaria?

El aro de talón extraído, y el neumático triturado deben tener una descarga lateral

Pregunta 4: - ¿Cuál es el destino del producto final, en la etapa de trituración secundaria?

Los fragmentos de neumático en la última etapa de trituración deben oscilar entre 5 a 10mm

Pregunta 5: - ¿Considera que el sistema de triturado tenga inversión de giro?

El sistema de trituración debe tener inversión de giro para evitar atascamientos y sobrecalentamiento del motor.

Pregunta 6: - ¿Considera que se deba separar totalmente el alambre del talón del caucho, en la etapa de Extracción de talón?

Se considera que se debe separar totalmente el alambre del talón del caucho, en la etapa 1 del proceso.

Anexo 4. Catálogo de Neumáticos

Catálogo con la llanta Michelin

AGILIS						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ANCHO	SERIE	ARO	IC	CV
205-75R14C	MICH. 205-75R14C AGILIS 81	205	75	14	109	Q
195-R14C	MICHELIN 195-R14C AGILIS	195	80	14	106	R
185-R14C	MICH. 185-R14C 102R AGILIS 81	185	102	14	109	R
205-70R15C	MICH 205-70R15 AGILIS 81	205	70	15	112	R
225-70R15A	MICH. 225-70R15 AGILIS 81	225	70	15	112	S



Fuente: [70].

Catálogo con la llanta Bridgestone.

medida	índice de carga	velocidad Ind. / máx. (km/h)	revs. por km (60km/h)	ancho de llanta (pulgadas)	ancho de sección (mm)	diámetro ext. (mm)
165/70R13	79	T	190	5.83	170	562
175/70R13	82	T	190	5.69	177	576
P185/70R13	86	T	190	5.56	189	590
175/65R14	82	T	190	5.61	177	584
185/65R14	86	T	190	5.50	189	596
195/70R14	88	T	190	5.32	189	616
195/70R14	91	T	190	5.20	201	630

Fuente: [71]

Anexo 5. Ángulos para Herramientas de Corte en función al material.

Tabla 1: Valores de ángulos correspondientes a la herramienta de corte.

Material de la Pieza	Resistencia o dureza Kg/ mm ² o HB	Material de la Cuchilla					
		HSS			MD		
		α	γ	β	α	γ	β
Acero suave	45	6	20	64	5	12	73
Acero semiduro	60	6	18	66	5	10	75
Acero duro	80	6	16	68	5	8	77
Acero duro	90-110	6	10	74	5	6	79
Acero aleado	150	6	8	76	5	0	85
Acero fundido	50	6	15	69	5	10	75
Acero fundido duro	50-80	6	8	76	5	0	85
Fundición gris	180 HB	6	10	74	5	6	79
Fundición dura	220 HB	6	6	78	5	2	83
Cobre	60-80 HB	8	30	52	8	20	62
Latón	80-120 HB	8	12	70	8	10	72
Bronce	100 HB	8	12	70	8	12	70
Aluminio	20	10	30	50	10	20	60
Aluminio aleado	20-25	10	20	60	10	18	62
Aleación de magnesio	20	8	20	62	8	18	64
Goma dura	-	12	10	68	10	10	70
Porcelana	-	-	-	-	5	0	85

Nota: HSS corresponden a cuchillas de acero rápido (High Speed Steel) y MD de metal duro cerámico.

Fuente: [72]

Anexo 6. Potencia del Motor

$$P = T * w \quad (10.1)$$

Fuente: [62].

Donde,

T es el torque requerido para la trituración,

w es la velocidad de trituración, $w=32\text{rpm}$

Al aplicar la ecuación 10.1 se tiene $P = 5348,3W$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia consumida (teórica)}} \longrightarrow \eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{teórica}}} \quad (10.2)$$

Fuente: [62].

La potencia que es capaz de generar un motor se traduce en una determinada energía o trabajo que se pierde en calor disipado, así que no es entregada al 100%. De manera que se utiliza el rendimiento del motor de $\eta = 0.75$ y $P = P_{\text{útil}}$ mediante la ecuación 10.2, se obtiene $P = 7131W$. Además, se considera la potencia necesaria para romper la inercia:

$$P_i = \frac{\alpha * I}{t} \quad (10.3)$$

$$w = \alpha * t \quad (10.4)$$

Fuente: [62].

Donde,

P_i es potencia de inercia,

α es aceleración angular,

I es la inercia total,

t es el tiempo en que se tarda en romper la inercia.

Aplicando la ecuación 10.3 para un $t=1$ se tiene $\alpha = 3,35\text{rad/s}^2$; en la tabla 55 se muestra que la inercia total es $3,22\text{kg} - \text{m}^2$ y al aplicar las ecuaciones 3 y 4 se obtiene $P_i = 10,79W$, sumando las 2 potencias obtenemos la potencia requerida para el motor de $7141,8W$, que por disponibilidad del mercado se decide utilizar un motor de $7,5W$.

Tabla 61. Inercia de las partes que intervienen en la trituración del neumático

PARTE	INERCIAS	
	gr-mm2	kg-m2
Cuchillas	432872733,47	0,43287273
Eje	648980132,90	0,64898013
Separadores	167704334,21	0,16770433
Separadores pequeños	2576358,93	0,00257636
Rueda dentada	1968453720,00	1,96845372
Inercia total	3220587279,51	3,22

Anexo 7. Catálogo de Reductores Motive.

P_1	n_2 [rpm]	M_2 [Nm]	f_s	i		
7,5 kW	186,7	434,9	1,6	7,5	BOX110	132M-4
	140,0	466,6	1,3	10		132M-4
	93,3	678,4	1,0	15		132M-4
	186,7	345,3	2,1	7,5	BOX130	132M-4
	140,0	440,0	1,8	10		132M-4
	93,3	644,6	1,4	15		132M-4
	70,0	849,3	1,0	20		132M-4
	56,0	1036,0	0,9	25		132M-4
	46,7	1212,5	0,8	30		132M-4
	35,0	1534,8	0,7	40	132M-4	
	70,0	849,3	1,5	20	BOX150	132M-4
	56,0	1036,0	1,1	25		132M-4
	46,7	1212,5	0,9	30		132M-4
	35,0	1534,8	1,0	40		132M-4

Fuente: [61].

Par transmisible M_{n2} [Nm]

Par de salida transmisible bajo carga uniforme, referido a la velocidad de entrada n_1 y la correspondiente velocidad de salida n_2 . El par de salida se puede calcular con la siguiente formula:

$$M_{n2} = \frac{P_{n1} \text{ [kW]} \cdot 9550}{n_2} \cdot \eta_d$$

Fuente: [61].

Donde, P_{n1} es la potencia de entrada $7,5kW$, al reemplazar los valores se obtiene el rendimiento dinámico de la caja $\eta_d = 0.75$

Anexo 8. Factores que intervienen en la Cadena

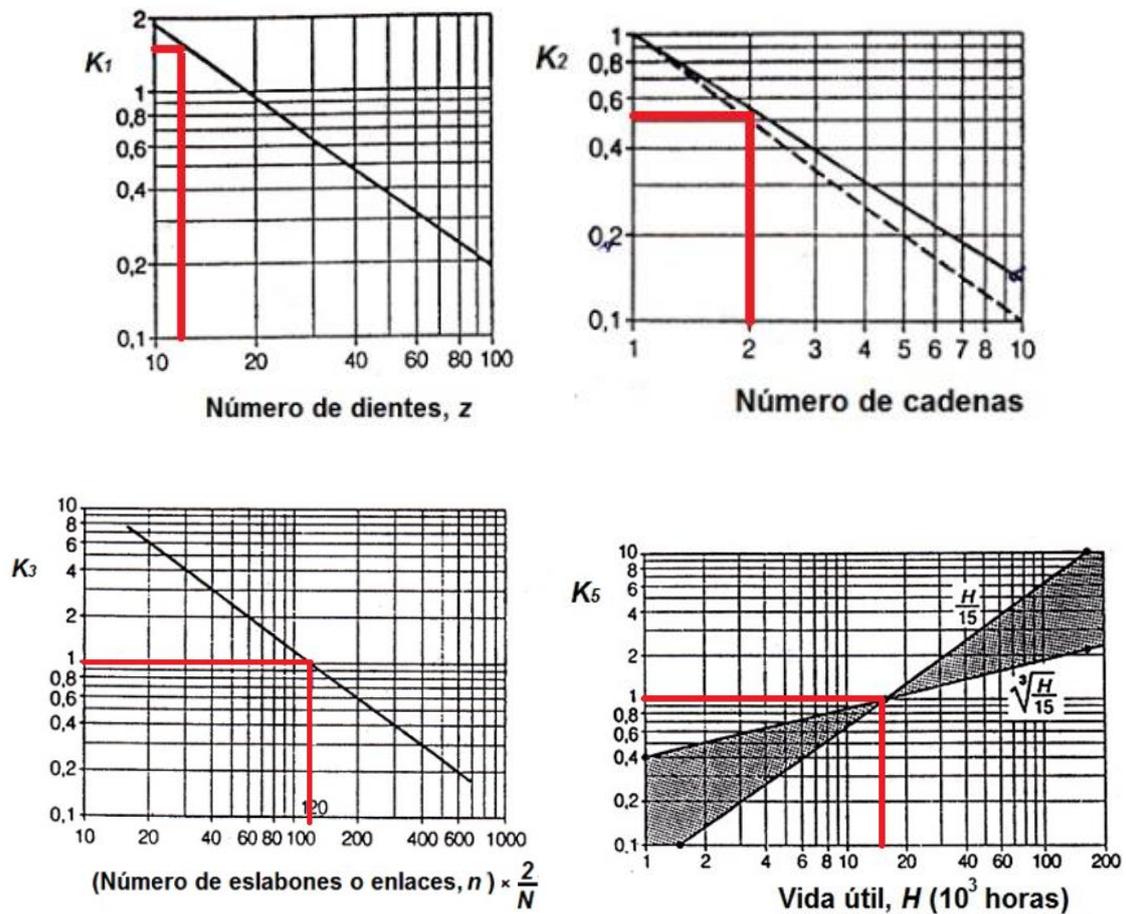
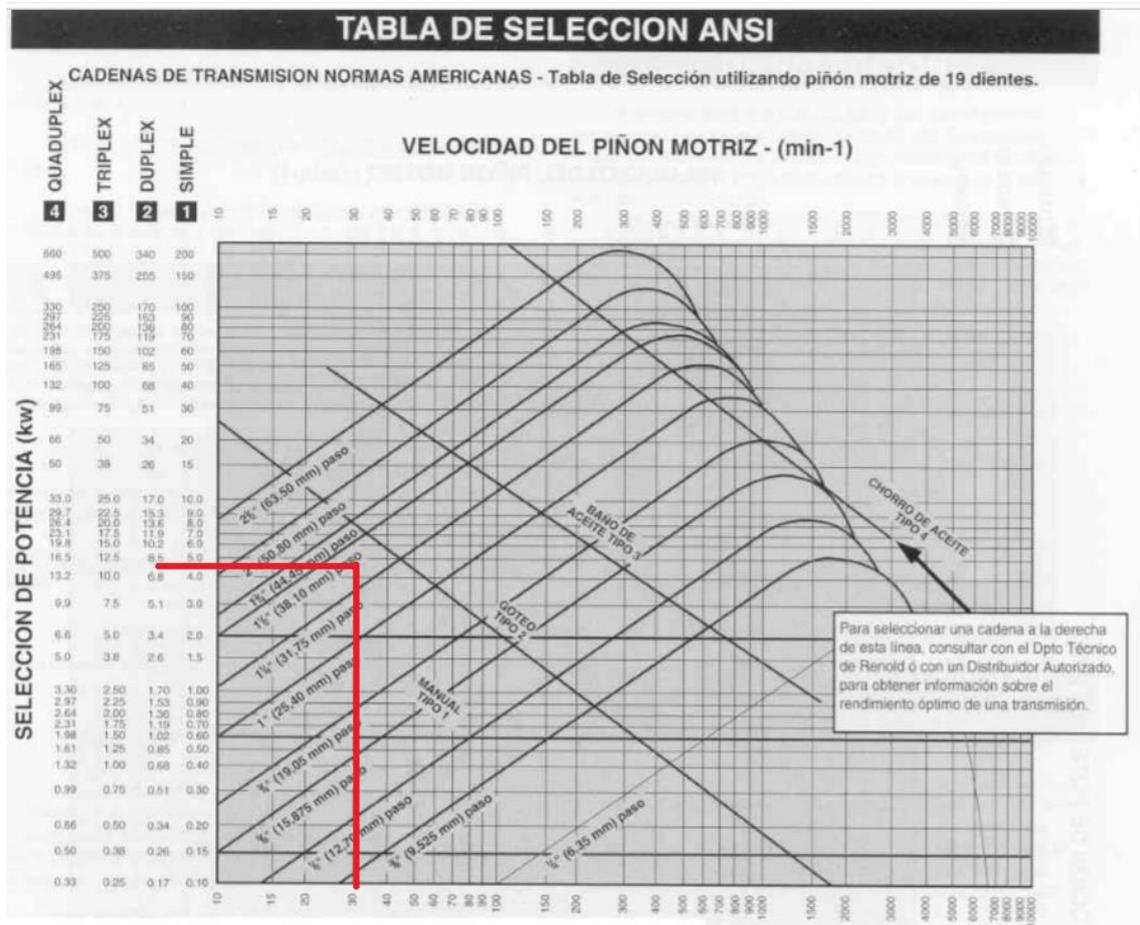


Tabla 62. Factores de servicio K_4 para transmisiones por cadenas

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras 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: [73]

Anexo 9. Selección de la Cadena



Fuente: [73]

Largo de la cadena:

Para calcular la cadena se utiliza como dato la distancia entre centros(C).

$$\text{Largo (L)} = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \times P + \frac{2C}{P} + \frac{\left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi}\right)^2 \times P}{C}$$

Fuente: [73]

Reemplazando valores en la ecuación dada se tiene L=45mm, donde L es la longitud de cadena expresada en pasos.

Anexo 10. Dimensiones de las Catarinas

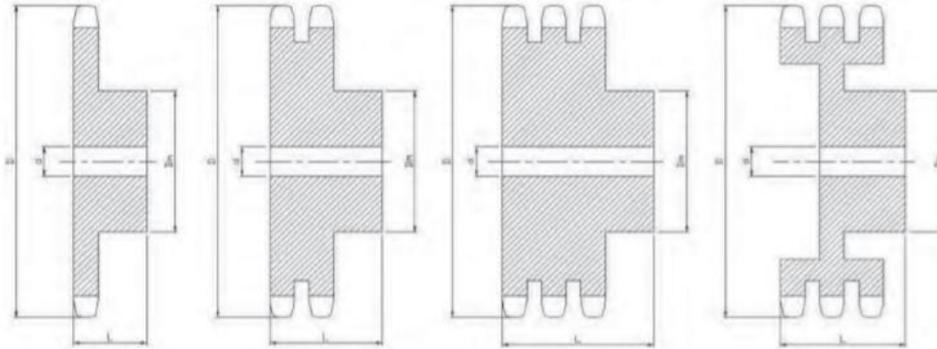
INTERMEC

www.intermec.com.co

PIÑONES
1 1/2"
(120)

TABLA DE DIMENSIONES
DE LOS PIÑONES INTERMEC PASO 1 1/2" (38.10 mm)
para Cadena ANSI No. 120 Tipo B Sencillos, Dobles y Triples

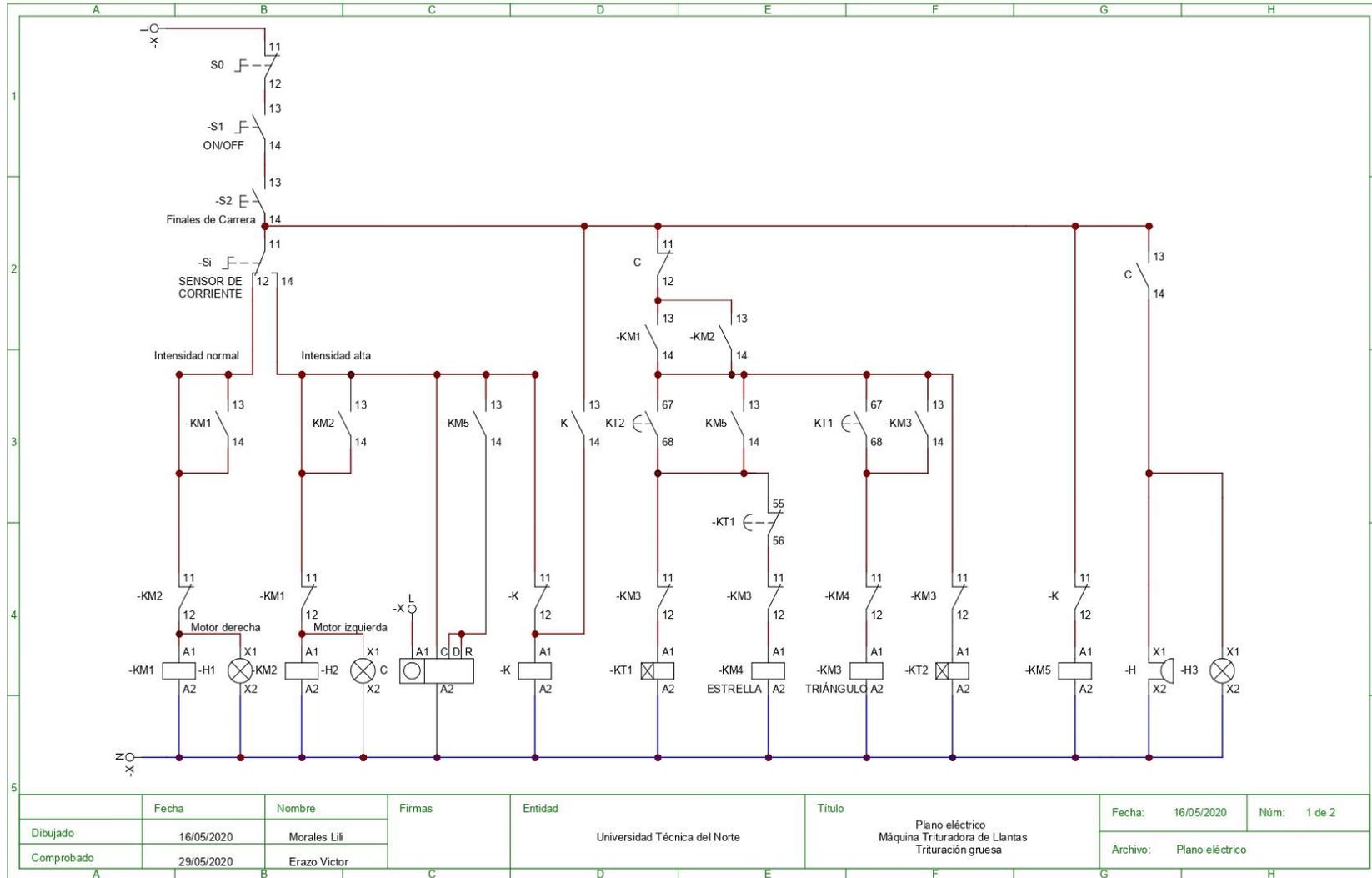
Dimensiones en Milímetros



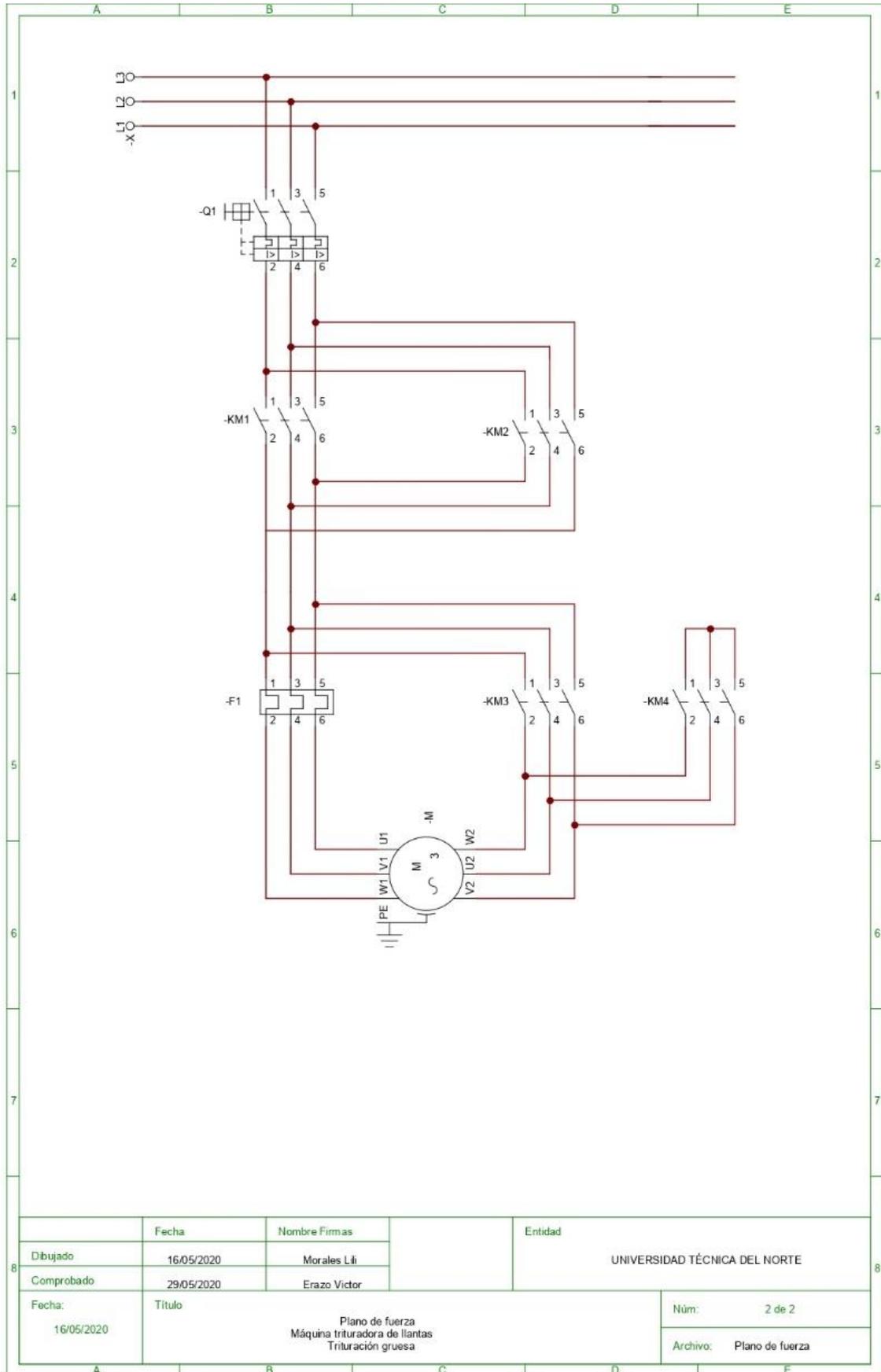
REF	D	SENCILLOS			REF	DOBLES			REF	TRIPLES		
		Øm	L	d		Øm	L	d		Øm	L	d
120B9 R	127,5	86	57	34,93	120-289	78	95	38,10	120-389	78	146	38,10
120B10 R	139,4	95	57	34,93	120-2810	78	95	38,10	120-3810	78	146	38,10
120B11	152,4	90	54	34,93	120-2811	91	96	38,10	120-3811	91	143	38,10
120B12	165,0	105	54	34,93	120-2812	91	96	38,10	120-3812	91	143	38,10
120B13	177,4	116	57	34,93	120-2813	114	96	38,10	120-3813	114	143	38,10
120B14	189,7	121	57	34,93	120-2814	127	96	38,10	120-3814	127	143	38,10
120B15	202,1	121	60	31,75	120-2815	133	95	38,10	120-3815	133	143	38,10
120B16	214,4	133	61	31,75	120-2816	133	95	38,10	120-3816	133	143	38,10
120B17	226,6	134	61	31,75	120-2817	133	95	38,10	120-3817	133	143	38,10
120B18	238,9	134	61	31,75	120-2818	133	95	38,10	120-3818	133	143	38,10

Fuente: [73]

Anexo 11. Planos Eléctricos



Plano Eléctrico de Control.



Plano Eléctrico de Fuerza.

Anexo 12. Protocolo de Pruebas

Tema: Estimación de la fuerza de corte en neumáticos usados Rin 14 para un proceso de trituración.

Objetivo: Determinar de la fuerza de corte en neumáticos usados Rin 14, mediante un ensayo experimental para un proceso de trituración.

Materiales:

- 10 probetas de diferentes marcas de neumáticos Rin 14” de aproximadamente 100 mm x 200 mm

Equipos:

- Prensa hidráulica de 400 bar, acoplada a un manómetro.
- 1 punzón de HSS, con diámetro 8 mm y longitud 35 mm.
- Calibrador Vernier
- 1 computadora
- 1 celular
- 1 marcador

Método:

1. Obtención de 10 probetas de neumáticos de diferentes neumáticos Rin 14” de aproximadamente 100 mm x 200 mm, de la banda de rodadura y de la cara lateral.
2. Etiquetar las probetas mediante numeración y dividir en 8 partes para realizar las perforaciones, a continuación, se observan las 10 probetas:



Figura 1.- Izquierda; Probeta 1. Derecha; Probeta 2



Figura 2.- Izquierda; Probeta 3. Derecha; Probeta 4



Figura 3.- Izquierda; Probeta 5. Derecha; Probeta 6.



Figura 4.- Izquierda; Probeta 7. Derecha; Probeta 8.



Figura 5.- Izquierda; Probeta 9. Derecha; Probeta 10.

En la Tabla 1 se puede observar las características de los neumáticos de acuerdo a la numeración asignada a las probetas.

3. Se coloca la probeta en la prensa como se observa en la figura 6 (Izquierda) y se acciona la palanca de la gata hidráulica hasta traspasar con el punzón.
4. El proceso es documentado en un video, donde se analiza la presión máxima marcada en el manómetro, como se indica en la figura 6 (Derecha)

Tabla 63. Características de las probetas.

Nro. MUESTRA	Fabricante	Descripción			
		Tamaño	Nro Rin	Treadwear	Indice de carga
1	Barum/Brillantis	185/60	R14	420	82H
2	General/Al timax	185/65	R14	440	86T
3	Barum/Brillantis	185/70	R14	280	88T
4	Kumho Ecsta SPT	185/65	R14	340	86H
5	Hankook Optimode02	175/70	R14	300	84H
6	Sportiva	185/60	R14	520	82T
7	Escapade/Maxxis	185/65	R14	720	86T
8	Brillantis/Barum	185/65	R14	420	86T
9	Continental	195	R14C	-	110/108S
10	Continental	165/60	R13	400	79T



Figura 6.- Izquierda; Ensayo. Derecha; Documentación del Ensayo.

5. Se midió el diámetro y el espesor de neumático perforado, además, se calculó el perímetro para obtener el área del corte vez, para utilizar la ecuación $P=F/A$, donde P =presión, F =fuerza, A =Área paralela y obtener la fuerza en newton [N]. El área está dada por el diámetro del punzón, como se observa en la figura 7.



Figura 7.- Izquierda; Perforaciones Banda de Rodadura. Derecha; Perforaciones Cara Lateral.

6. Se tabulan las 8 perforaciones en cada probeta, como se observa en la figura 8 y 9, la cual se representa por líneas de acuerdo al color asignado a la probeta, además se observa la fuerza de corte en cada perforación.

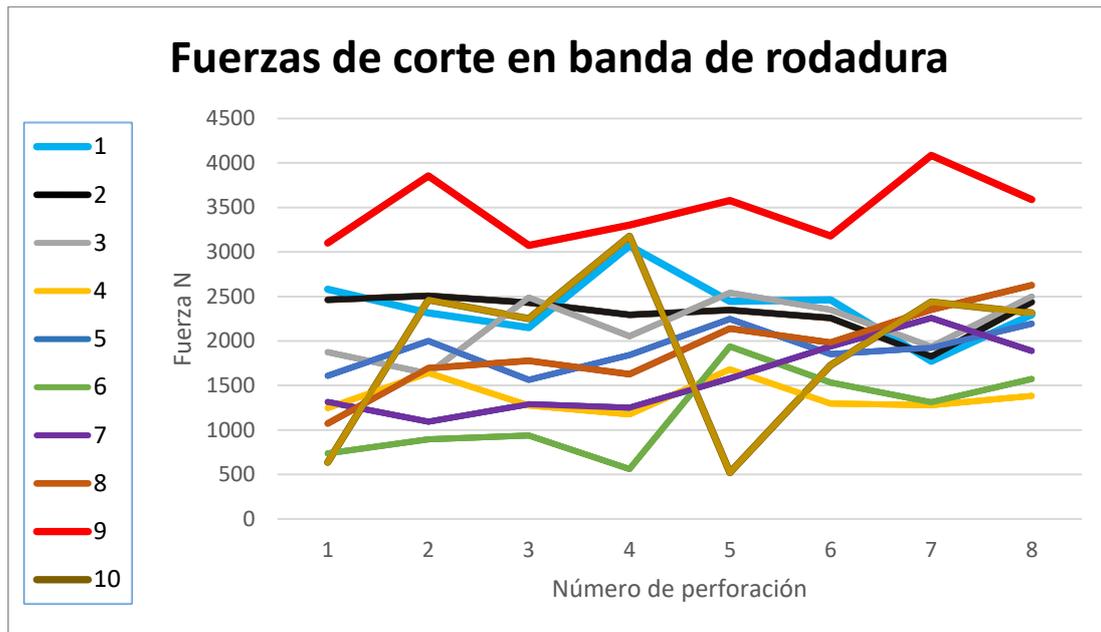


Figura 8.- Fuerzas presentes en la banda de rodadura.

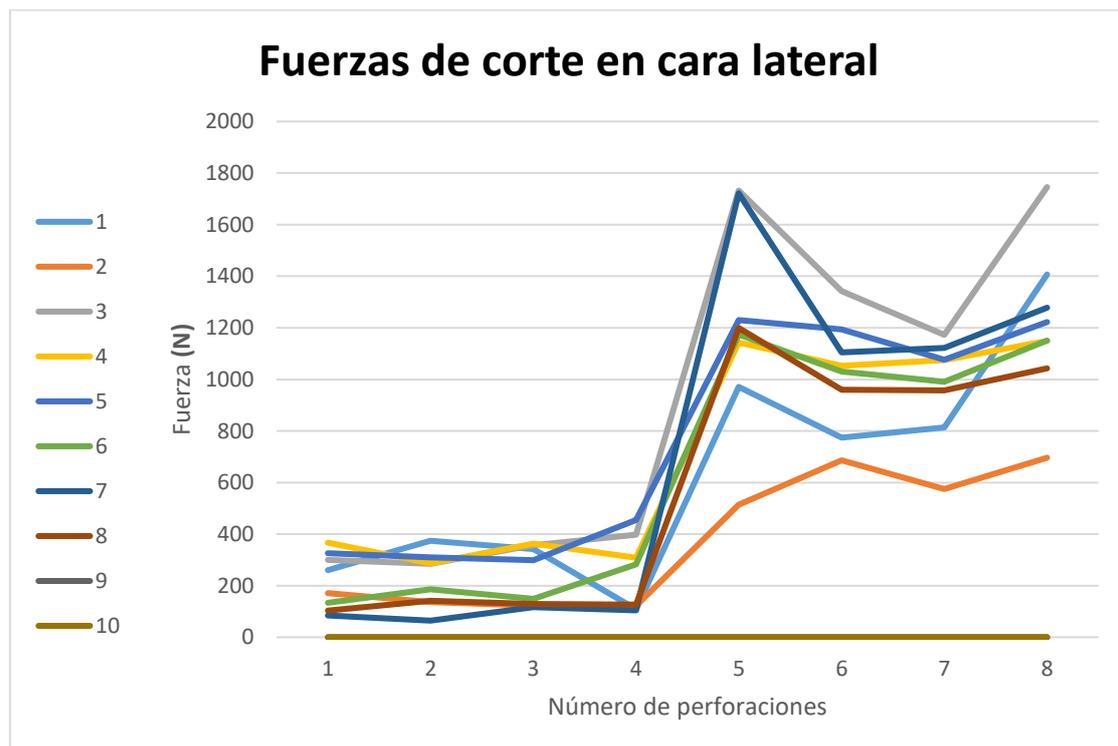


Figura 9.- Fuerzas presentes en la cara lateral.

Con los datos representados en las figuras 8 y 9, se obtiene para cada una de las muestras las fuerzas máximas y mínimas en la banda de rodadura y la cara lateral, así como la relación entre ellas. Los resultados se muestran en la tabla 2.

7. Análisis de datos de la fuerza mediante el percentil, media móvil.

Tabla 64. Fuerza promedio en las probetas.

Muestras	Fuerzas resultantes				Relación % fuerza máxima (CI/Br)
	Banda de rodadura (Br)		Cara Lateral (CI)		
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	
1	2579,56	1772,26	1407,03	108,57	54,55%
2	2507,91	1823,93	696,19	121,94	27,76%
3	2541,35	1633,72	1745,77	284,77	68,69%
4	1681,06	1175,13	1149,08	286,62	68,35%
5	2247,09	1563,37	1230,07	298,78	54,74%
6	1938,58	561,02	1173,83	133,54	60,55%
7	2258,2	1092,99	1721,62	64,36	76,24%
8	2626,46	1072,65	1199,5	103,36	45,67%
9	4085,61	3073,98	1249,52	233,91	30,58%
10	3176,68	521,12	1366,73	211,91	43,02%

Los datos se analizan mediante la jerarquía y percentil que se representa en la Tabla 3, en donde analiza los datos de la banda de rodadura al ser los más elevados. De acuerdo a la Tabla 3 los datos de las muestras 9 y 10 son atípicos, descartando del análisis, además la fuerza en el neumático 8 representa una importancia del 77,7 % y en referencia a ello se encuentra la fuerza necesaria mínima de 2626,46 N.

Tabla 65. Método de jerarquía y percentil.

Muestra	Fuerza	Jerarquía	Porcentaje
9	4085,61	1	100,00%
10	3176,68	2	88,80%
8	2626,46	3	77,70%
1	2579,56	4	66,60%
3	2541,35	5	55,50%
2	2507,91	6	44,40%
7	2258,2	7	33,30%
5	2247,09	8	22,20%
6	1938,58	9	11,10%
4	1681,06	10	0,00%

Conclusiones:

Según lo mostrado en la tabla 2 se puede concluir que; la fuerza promedio requerida para corte del neumático en la cara lateral es aproximadamente el 53% a la requerida por la banda de rodadura. En la figura 3 se puede observar que los datos arrojados por las 9 y diez son atípicos, con lo cual se puede concluir que la fuerza necesaria para cortar neumáticos Rin 14 será de 2630 N.

Anexo 13. Planos Mecánicos.