ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE LLANTAS, DE UNA TONELADA POR HORA DE CAPACIDAD, PARA LA EMPRESA OPTRA-SEMBRES

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

WLADIMIR SEBASTIÁN ESPINOSA SALGUERO

wladimir.espinosa@epn.edu.ec

RICARDO ANDRÉS TATAMUÉS POZO

ricardo.tatamues@epn.edu.ec

DIRECTOR:

ING. WILLIAN LEOPOLDO MONAR MONAR

CODIRECTOR:

ING. ESTEBAN JÁTIVA POZO MSc.

Quito, Marzo 2016

DECLARACIÓN

Nosotros, WLADIMIR SEBASTIÁN ESPINOSA SALGUERO y RICARDO ANDRÉS TATAMUÉS POZO, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____ _____

Wladimir Sebastián Espinosa Salguero Ricardo Andrés Tatamués Pozo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por WLADIMIR SEBASTIÁN ESPINOSA SALGUERO y RICARDO ANDRÉS TATAMUÉS POZO, bajo mi supervisión.

_____

ING. WILLIAN LEOPOLDO MONAR MONAR

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Es mi deseo agradecer a todas aquellas personas que influyeron en esta etapa universitaria, seguramente una de las más importantes de mi vida.

A mis padres Carlos y Cecilia, por haberme apoyado emocional y económicamente durante toda mi vida, por sus enseñanzas académicas y en valores, las que han sido una guía a lo largo de mi vida.

A mis hermanos por su infinita ayuda y por ser un ejemplo de superación en todas las actividades que han realizado en sus vidas. Siempre los mejores.

A mi familia, por brindarme su ayuda infinita, incondicional y desinteresada. Agradezco especialmente a mi abuelita Madaquito por todo el esfuerzo que hizo durante su vida de trabajo para que a mi familia no le faltara nada.

A Maribel por todo el apoyo brindado durante la mayor parte de mi vida universitaria.

A mis amigos por estar siempre a mi lado, en las buenas y en las malas. Gracias por su apoyo y compañía, especialmente a mi compañero de tesis por haber desarrollado este proyecto conmigo.

Al Ing. Willian Monar, director, y al Ing. Esteban Játiva, codirector, por el apoyo brindado durante la realización del presente proyecto.

Sebastián Espinosa Salguero.

“El Universo Tiene un diseño, y también lo tiene un libro. Pero a diferencia del universo, un libro no aparece de la nada. Requiere un creador, y ese papel no recae tan solo en los hombros de sus autores”.

Stephen Hawking

Quiero agradecer a todas las personas, que de una u otra manera estuvieron involucradas, tanto en el preámbulo, desarrollo, elaboración y conclusión de este proyecto que pone fin a esta etapa de mi vida universitaria.

Agradecer a mis padres Luis y Rosa, por el apoyo incondicional brindado a través de todos estos años, por su infinita paciencia, y cariño.

A mi hermano Esteban, el cual ha sido un ejemplo de éxito y superación, lo que me ha inspirado todos estos años. A mi hermana Katherine, su jacarandosa actitud y compañía me han impulsado a seguir adelante.

A mis tías Alba, Soledad; a mis primos Enrique, Sebastián, Nicolás, gracias por la confianza y por la clásica pregunta “¿ya te gradúas?” que me han traído hasta este punto. Gracias.

A Silvia por todo el apoyo brindado en mi vida universitaria.

A mis amigos de “la selección” proporcionaron no solo apoyo moral, sino también técnico y práctico, el cual ayudó a concluir este proyecto. Por otra parte siempre supieron dónde encontrar la mejor cervecería.

A mi compañero de tesis por su confianza a través del desarrollo de este proyecto.

Al Ing. William Monar; Director por todo el apoyo que sirvió para llevar a buen término este proyecto.

Ricardo Andrés Tatamués Pozo

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, Carlos y Cecilia y a mi abuelita Madaquito, en agradecimiento por todo lo que han hecho por mí y por los míos durante toda su vida, y asegurarles que este es el primer paso de un largo camino y lleno de éxitos.

Sebastián Espinosa Salguero

Este proyecto se lo dedico a mi madre Rosa, a mi hermano Esteban y mi hermana Katherine; en agradecimiento por siempre haber estado conmigo aunque las cosas a veces eran oscuras.

A esa fuerza suprema creadora de todo el universo. “Gravedad”.

Ricardo Andrés Tatamués Pozo

“Lo más incompresible del universo
es que sea comprensible”

Albert Einstein

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS X

ÍNDICE DE TABLAS XIII

RESUMEN XV

PRESENTACIÓN XVI

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES 1

1.1. INTRODUCCIÓN 1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 1
1.3. OBJETIVO GENERAL 2
1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2
1.4. FUNDAMENTO TEÓRICO 2
1.4.1. NEUMÁTICOS 3
1.4.2. HISTORIA 3
1.4.3. TIPOS DE NEUMÀTICOS 3
1.4.4. COMPOSICIÓN DE LOS NEUMÁTICOS 7
1.4.5. PROPIEDADES DE LOS NEUMÁTICOS 9
1.4.6. TRITURACIÓN 11
1.4.7. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA RECUPERACIÓN DE MATERIAL DE LOS NFU (NEUMÁTICOS FUERA DE USO) 14
1.4.8. PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 22
1.4.9. CANTIDAD DE NEUMÀTICOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. 25

CAPÍTULO 2. DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA 26

2.1. CASA DE LA CALIDAD 26
2.1.1. VOZ DEL CLIENTE 26
2.1.2. VOZ DEL INGENIERO 27
2.1.3. RESULTADOS DE LA CASA DE LA CALIDAD 28
2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 30

CAPÍTULO 3. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO 31

3.1. ANÁLISIS FUNCIONAL 31
3.2. DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS 33
3.3. SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO 34
3.3.1. MÓDULO 1: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE LA MÁQUINA 34
3.3.2. MÓDULO 2: SISTEMA DE TRITURACIÓN DE LA MÁQUINA 40
3.3.3. MÓDULO 3: SALIDA Y ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS 45

CAPÍTULO 4. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES 51

4.1. DISEÑO DEL EJE 51
4.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES 51
4.1.2. CARGAS PRESENTES EN EL EJE 53
4.1.3. CÁLCULO ESTÁTICO DEL EJE 58
4.1.4. CÁLCULO DINÁMICO DEL EJE 61
4.1.5. COMPROBACIÓN DEL DISEÑO DEL EJE 63
4.1.6. EQUIVALENCIA HEXAGONAL DEL EJE 64
4.2. DISEÑO DE LA CAJA DE TRITURACIÓN 65
4.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES 65
4.2.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS ACTUANTES 66
4.2.3. CÁLCULOS DE DISEÑO 66
4.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE 68
4.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES 68
4.3.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS ACTUANTES 68
4.3.3. CÁLCULOS DE DISEÑO 70
4.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES NOMALIZADOS 74
4.4.1. SELECCIÓN DEL MOTOR 74
4.4.2. SELECCIÓN DEL REDUCTOR 75
4.4.3. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS 75
4.4.4. SELECCIÓN DE ANILLOS DE RETENCIÓN 76
4.4.5. SELECCIÓN DE ACOPLE DE EJES 76
4.4.6. SELECCIÓN DE PERNOS Y TORNILLOS 76
4.4.7. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL 77
4.5. DISEÑO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN 77
4.6. SIMULACIÓN 78

4.6.1. SIMULACIÓN DEL CONJUNTO EJE-CUCHILLAS 78
4.6.2. SIMULACIÓN DE LAS TAPAS FRONTALES 83
4.6.3. SIMULACIÓN DEL BASTIDOR 85

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE COSTOS 90

5.1. COSTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN 90
5.1.1. COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS 90
5.1.2. COSTO DE MANO DE OBRA 91
5.1.3. COSTO DEL MATERIAL BASE 91
5.1.4. COSTO DEL MATERIAL PARA FABRICACIÓN 92
5.1.5. COSTO DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN 94
5.2. COSTO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN 95
5.2.1. COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS 95
5.2.2. COSTO DE MANO DE OBRA 95
5.2.3. COSTO DEL MATERIAL BASE 96
5.2.4. COSTO DEL MATERIAL PARA FABRICACIÓN 97
5.2.5. COSTO DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN 98
5.3. COSTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN 98
5.3.1. COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS 98
5.3.2. COSTO DE MANO DE OBRA 99
5.3.3. COSTO DEL MATERIAL BASE 100
5.3.4. COSTO DEL MATERIAL PARA FABRICACIÓN 100
5.3.5. COSTO DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN 101
5.4. COSTO DEL SISTEMA DE SOPORTE DE LA MÁQUINA 101
5.4.1. COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS 102
5.4.2. COSTO DE MANO DE OBRA 102
5.4.3. COSTO DEL MATERIAL BASE 102
5.4.4. COSTO DEL MATERIAL PARA FABRICACIÓN 103
5.4.5. COSTO DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE 104
5.5. COSTO FINAL DE LA MÁQUINA TRITURADORA DE NEUMÁTICOS 105

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 106

6.1. CONCLUSIONES 106
6.2. RECOMENDACIONES 107

ANEXOS 110

ANEXO 1: TABLAS 110
ANEXO 2: CASA DE LA CALIDAD 113
ANEXO 3: CATÁLOGOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS. 114
ANEXO 4: PLANOS 119
ANEXO 5: COSTOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS 120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Neumáticos diagonales y radiales 4
Figura 2: Neumáticos autoportantes 4
Figura 3: Neumáticos tubetype 5
Figura 4: Neumáticos tubeless 6
Figura 5: Neumáticos sin amortiguamiento de fluido 6
Figura 6: Ruedas semi neumáticas 7
Figura 7: Componentes de los neumáticos tubeless. 7
Figura 8: Trituradora de un eje 12
Figura 9: Trituradora de dos ejes 13
Figura 10: Trituradoras de cuatro ejes 14
Figura 11: Nivel de tratamiento de reciclaje 15
Figura 12: Proceso de pirólisis 17
Figura 13: Evolución histórica del parque automotor en el Ecuador, en miles de unidades 23
Figura 14: Vehículos matriculados según provincias en el 2013 24
Figura 15: Análisis funcional (Nivel 0). 31
Figura 16: Análisis funcional (Nivel 1). 32
Figura 17: Análisis funcional (Nivel 2).. 32
Figura 18: Módulos de la máquina. 33
Figura 19: Cargadora.. 34
Figura 20: Banda transportadora. 35
Figura 21: Tolva trapezoidal. 36
Figura 22: Tolva mixta. 36
Figura 23: Un solo eje de trituración. 41
Figura 24: Dos ejes de trituración. 41
Figura 25: Cuatro ejes de trituración. 42
Figura 26: Recipiente fijo. 46
Figura 27: Recipiente móvil, ... 46
Figura 28: Geometría del eje, vista isométrica. 52
Figura 29: Primer contacto neumático-eje. 53

Figura 30: Contacto en la zona media del neumático. 53
Figura 31: Esquema de trituración y espacio entre cuchillas. 54
Figura 32: Esquema eje-cuchillas-separadores. 55
Figura 33: Diagrama del cuerpo libre. 57
Figura 34: Cargas presentes en el eje 57
Figura 35: Diagrama de fuerzas cortantes sobre el eje 58
Figura 36: Diagrama de momento flector. 58
Figura 37: Diagrama de momento torsor 59
Figura 38: Comprobación del diseño del eje. 64
Figura 39: Equivalencia hexagonal del eje. 65
Figura 40: Propiedades del conjunto de trituración. 66
Figura 41: Diagrama del cuerpo libre de cargas actuantes sobre la sección crítica 69
Figura 42: Diagrama del cuerpo libre de cargas sobre elementos (2) y (3) de la sección crítica. 70
Figura 43: Propiedades del sub conjunto de trituración. 71
Figura 44: Diagrama de fuerzas cortantes en la viga horizontal de soporte 72
Figura 45: Diagrama de momentos flectores en la viga horizontal de soporte. 72
Figura 46: Esquema de tolva de alimentación. 78
Figura 47: Aplicación de la restricción de movimiento en la punta de una cuchilla 79
Figura 48: Fijación de las dos cuchillas en la zona donde van a tener contacto con el alambre. 79
Figura 49: Sujeción de rodamiento en uno de los extremos del eje 79
Figura 50 Aplicación de sujeciones de rodamientos a los extremos del eje. 80
Figura 51: Torque de entrada de 45600 $\mathrm{N_m}$ proveniente del motor.. 80
Figura 52 Selección del tamaño de malla. 80
Figura 53: Rango de esfuerzos de Von Misses en el conjunto eje-cuchillas 81
Figura 54: Lugares donde los esfuerzos son mayores, ranuras para anillos de retención.. 81
Figura 55: Gráfica del factor de seguridad en el conjunto eje-cuchillas.. 82
Figura 56: Lugares donde el factor de seguridad es más alto, junto con los rangos.. 82

Figura 57: Fijación de la base de la tapa frontal.. 83
Figura 58: Aplicación de la carga producto del peso del conjunto eje-cuchillas sobre la tapa frontal.. 84
Figura 59: Esfuerzos de Von Misses entregados por la simulación del elemento.. 84
Figura 60: Factor de seguridad a lo largo del elemento.. 85
Figura 61: Máquina trituradora. 86
Figura 62: Aplicación de restricciones y cargas sobre el bastidor 87
Figura 63: Mallado del bastidor. 87
Figura 64: Esfuerzos de Von Misses resultantes en el bastidor 88
Figura 65: Deformaciones en el bastidor 88
Figura 66: Factor de seguridad en el bastidor. 89
Figura 67: Tendencia de deformación del bastidor. 89
Figura 68: Casa de la calidad. 113
Figura 69: Sección del catálogo de motores eléctricos SIEMENS 2016 114
Figura 70: Sección del catálogo de REGGIANA RIDUTTORI 115
Figura 71: Sección del catálogo de rodamientos SKF 116
Figura 72: Secciones del catálogo ORIGINAL SEGGER 117
Figura 73: Sección del catálogo REXNORD couplings 118
Figura 74: Costo por kilogramo de acero estructural. 120
Figura 75: Costo del litro de pintura anticorrosiva 120
Figura 76: Cotización motor de 125 hp. 121
Figura 77: Cotización precio de acero de transmisión por kilogramo 122
Figura 78: Cotización cuchillas. 122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje de materiales que componen los neumáticos. 9
Tabla 2: Propiedades del caucho estireno butiadeno. 10
Tabla 3. Número de vehículos matriculados por uso según provincias 24
Tabla 4: Matriz de necesidades y deseos del cliente. 27
Tabla 5: Matriz de criterios del diseñador. 27
Tabla 6. Necesidades y deseos del cliente ordenadas según su importancia. 29
Tabla 7. Criterios técnicos ordenados según importancia. 29
Tabla 8. Especificaciones técnicas de la máquina. 30
Tabla 9: Alternativa para el módulo 1. 37
Tabla 10: Evaluación de criterios para el módulo 1. 38
Tabla 11: Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de ingreso del material. 38
Tabla 12: Evaluación de las soluciones respecto a la capacidad de alimentación a la máquina. 39
Tabla 13: Evaluación de las soluciones respecto al costo operativo. 39
Tabla 14: Conclusiones del módulo 1. 40
Tabla 15: Alternativas para el módulo 2. 42
Tabla 16: Evaluación de cada criterio. 43
Tabla 17: Evaluación de las soluciones respecto a capacidad de trituración del material. 43
Tabla 18: Evaluación de las soluciones respecto al menor tamaño. 44
Tabla 19: Evaluación de las soluciones respecto al costo. 44
Tabla 20: Conclusiones del módulo 2. 44
Tabla 21: Alternativas para el módulo 4 47
Tabla 22: Evaluación de los criterios para el módulo 4. 48
Tabla 23: Evaluación de las soluciones respecto a la capacidad de extracción del triturado. 48
Tabla 24: Evaluación de las soluciones respecto a la versatilidad de recolección 49
Tabla 25: Evaluación de las soluciones respeto al costo del sistema 49
Tabla 26: Conclusiones del módulo 4. 50
Tabla 27: Costo de elementos normalizados del sistema de alimentación 90

Tabla 28: Costo de mano de obra para fabricación del sistema de alimentación. 91
Tabla 29: Costo de materiales base usados en el sistema de alimentación 92
Tabla 30: Costos del material para fabricación del sistema de alimentación 94
Tabla 31: Coto de fabricación del sistema de alimentación..... 94
Tabla 32: Costo de elementos normalizados del sistema de trituración..... 95
Tabla 33: Costo de mano de obra para el sistema de trituración 96
Tabla 34: Costo del material base necesario para el sistema de trituración 96
Tabla 35: Costo del material para fabricación del sistema de trituración 97
Tabla 36: Costo final del sistema de trituración..... 98
Tabla 37: Costo de elementos normalizados del sistema de transmisión 99
Tabla 38: Costo de la mano de obra necesaria para la fabricación del sistema de transmisión..... 99
Tabla 39: Costo del material base necesario para el sistema de transmisión.... 100
Tabla 40: Costo del material para fabricación del sistema de trituración 101
Tabla 41: Costo final de fabricación del sistema de transmisión..... 101
Tabla 42: Costo de mano de obra para la fabricación del sistema de soporte... 102
Tabla 43: Costo del material base para la fabricación del sistema de soporte... 103
Tabla 44: Costo del material de fabricación necesario para el sistema de soporte 104
Tabla 45: Costo final de fabricación del sistema de soporte 105
Tabla 46: Costos finales de Máquina trituradora de neumáticos..... 105
Tabla 47: Propiedades de los aceros de alto contenido de carbono (kg/$mm2$).. 110
Tabla 48: Características de los productos según la tecnología utilizada 111
Tabla 49: Resumen de las tecnologías empleadas para el reciclaje de NFU. ... 112
Tabla 50: Costo de varios elementos. 122
Tabla 51: Costo de elementos normalizados. 123

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue realizar el diseño de una máquina trituradora de capacidad 1 ton/hora, la cual contribuya a solucionar la problemática de la acumulación de desechos sólidos, específicamente neumáticos fuera de uso (NFU). Este proyecto fue elaborado para satisfacer las necesidades de la empresa OPTRA-SEMBRES, que ha encontrado que la acumulación de NFU es un problema creciente, no solo a nivel regional si no mundial, debido a que su almacenamiento requiere de espacios grandes al igual que su transporte, además de ser un foco de proliferación de enfermedades. Para esto se diseñó una máquina, la cual permite reducir el volumen de dichos NFU mediante trituración mecánica.

Siguiendo la metodología del diseño concurrente, se realizó en primer lugar una investigación para conocer las propiedades del producto a tratar (Neumáticos), se continuo realizando una búsqueda acerca de los equipos y maquinas existentes, para poder definir sus métodos de funcionamiento, se determinó las especificaciones de la máquina, se realizó un análisis funcional de la misma y se procedió a diseñar los elementos de los cuales está compuesta.

Mediante la utilización del software SOLIDWORKS se realizó el modelado en 3D de la máquina, se simulo los elementos principales de la misma mediante el método de elementos finitos (FEA) para corroborar la resistencia de estos, y se genero la documentación necesaria (Planos conjunto y taller).

Finalmente se realizó un análisis de costos, lo cual llevo a concluir que el 80% de elementos que componen la maquina son de fabricación propia o que pueden adquirirse en el país, mientras que el 20% lo componen las cuchillas de corte, el reductor planetario y el acople falk los cuales deben adquirirse en el extranjero.

Se logró diseñar una máquina que cumple con los requisitos propuestos, dando así una solución no solo para la empresa auspiciante si no al problema del almacenamiento en general de los NFU; además de contribuir con el desarrollo nacional de este tipo de tecnologías al obtener un producto cuyo precio de fabricación es relativamente bueno en comparación con máquinas fabricadas en el extranjero.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto consiste en el diseño y simulación de una máquina trituradora de neumáticos usados, para los requerimientos de la empresa OPTRA-SEMBRES. El documento presentado contiene seis capítulos, entre los que se encuentra dividida la información correspondiente.

El capítulo uno, de generalidades, contiene la introducción del proyecto, objetivos, justificación del problema y el fundamento teórico respectivo, en el cual se presenta la información correspondiente a propiedades de os neumáticos, información necesaria para el diseño posterior, cantidad de neumáticos en la ciudad de Quito, la teoría correspondiente a los diferentes tipos de trituradoras.

El segundo capítulo corresponde a la determinación de las especificaciones de la máquina, en donde se considerarán los deseos y necesidades del cliente, junto con el criterio técnico de los diseñadores. Estos datos convergen en la casa de la calidad para determinar dichas especificaciones.

El capítulo tres corresponde a la selección de las alternativas de diseño, mediante ponderaciones técnicas se encontrarán las soluciones a cada uno de los módulos, las mismas que juntas resultan en la máquina final.

El cuarto capítulo, contiene los cálculos de diseño, selección de componentes normalizados, planos, animación del funcionamiento total y simulación de cargas, esfuerzos y factor de seguridad de los elementos críticos.

El capítulo cinco corresponde al análisis del costo de fabricación de la máquina, lo que incluye mano de obra para la fabricación de componentes, costo de elementos normalizados, costo de materiales consumibles, y el costo del material base utilizado en la fabricación de elementos y la maquina final.

En el sexto y último capítulo están planteadas las concusiones y recomendaciones con respecto al diseño, simulación y fabricación de la máquina así como las del proyecto escrito en sí mismo.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación viene enfocado a la adaptación de la ingeniería en las nuevas necesidades humanas, de entre las cuales se puede destacar el desarrollo sostenible y sustentable del planeta, para cual los procesos de reciclaje y reutilización de desechos son parte fundamental. La trituración de un neumático es el primer paso que se debe realizar antes de poder aprovechar nuevamente sus componentes, de entre los cuales los principales son el acero y el caucho.

La utilización del concepto de diseño concurrente nos llevará a la elección de la mejor opción de máquina trituradora basado en la aplicación de la ingeniería considerando los requerimientos del cliente, las necesidades de la sociedad y el criterio que tienen ya bien formado los futuros ingenieros autores del presente proyecto de titulación.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El parque automotor en el Ecuador ha crecido de manera significativa en los últimos 20 años, incrementando de manera masiva la utilización de llantas para vehículos y maquinaria pesada, y por ende el número de neumáticos fuera de circulación; existiendo gran dificultad para darles un tratamiento final adecuado, convirtiéndose en un grave problema ambiental. Con frecuencia, se queman provocando polución debido a la emisiones de gases tóxicos nocivos para el entorno.

Las montañas de neumáticos almacenadas en los botaderos, rellenos sanitarios y hasta en terrenos baldíos, se convierten en focos proliferación de roedores, insectos y otros vectores contaminantes. Este problema es más crítico en la región Costa y la región Oriental, donde se reproducen ciertos mosquitos, que transmiten fiebres y encefalitis.

Existen métodos para una adecuada disposición de estos residuos pero faltan políticas que favorezcan la recolección e implementación de industrias con tecnología apropiada para reciclar estos desechos.

Las operaciones de reutilización, rencauchutado y reciclado de los neumáticos fuera de uso representan una importante oportunidad para la creación de industria y el desarrollo de tecnología local, así como una importante fuente de generación de empleos.

La fundación sembrar esperanza (SEMBRES) interesada en esta problemática, plantea el diseño de una máquina trituradora de llantas que disminuya el volumen de almacenamiento en disposición final, brindando una solución a la vida útil de los rellenos sanitarios y abriendo la posibilidad de desarrollar tecnologías de reciclaje a partir del triturado de las llantas, logrando así, incursionar en este nuevo mercado y contribuir con el cambio de la matriz productiva mediante el desarrollo de tecnología (maquinaria) realizada con mano de obra y materiales existentes en el país.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular una máquina trituradora de llantas, para los requerimientos de la fundación sembrar esperanza (SEMBRES).

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar la información necesaria de los componentes de las llantas.
Generar las especificaciones técnicas de la máquina para la capacidad de 1ton/h.
Elaborar la casa de la calidad de la máquina.
Seleccionar la mejor alternativa de maquina mediante el análisis modular de acuerdo a las funciones que debe cumplir cada módulo y el cumplimiento de la capacidad deseada.
Diseñar y simular los elementos mecánicos que permitan a la máquina cumplir con las funciones para las cuales será diseñada de manera eficiente y segura.
Realizar un análisis económico de la viabilidad de construcción de la máquina y de los posibles beneficios que esta generaría.

1.4. FUNDAMENTO TEÓRICO

Se trata de explicar, en un inicio, las bases teóricas necesarias para el desarrollo del presente proyecto que posteriormente van a ser aplicables en los apartados de

diseño. El fundamento teórico está conformado por un estudio técnico sobre neumáticos, su historia, clasificación, composición y propiedades así como la teoría necesaria de procesos de trituración, tecnologías utilizadas en el proceso de recuperación de desechos de llantas así como la realidad actual de la ciudad de Quito en este aspecto.

1.4.1. NEUMÁTICOS

El neumático o llanta es una pieza toroidal (forma de dona) compuesta principalmente por caucho. Su principal función es la de proporcionar contacto entre el vehículo y el suelo con la fricción necesaria para que este pueda moverse y frenar. Las propiedades de los neumáticos van mejorando con cada avance científico para cumplir de mejor manera estas funciones y aumentar su tiempo de vida.

1.4.2. HISTORIA

Debido al problema del traqueteo que presentaban las ruedas de madera o de caucho macizo, un científico y veterinario llamado John Boyd Dunlop, en 1888 inventó el primer neumático con cámara de aire al inflar dos tubos de goma con una bomba para balones para que su hijo lo use en su triciclo y este fuera más cómodo. El 7 de Diciembre de 1887 patentó su idea. El neumático con cámara de Dunlop coincide con el momento crucial de crecimiento de la industria automovilística lo que le dio una apertura inmensa y un desarrollo inmediato a este invento.

1.4.3. TIPOS DE NEUMÀTICOS

Se los suele dividir en dos grandes grupos, el primero es por su construcción, ya sean diagonales o radiales según el acomodamiento de sus componentes principales, y el otro gran grupo es según su uso de cámara, es decir si tienen cámara de aire en su interior o no.

1.4.3.1. Por su construcción:

Cada neumático, como todo elemento que va a ser parte de una máquina, es fabricado con un proceso distinto que dependerá de la necesidad que estos deben cumplir y del método que cada industria decide aplicar, así como de la calidad,

costos y demás factores. Por su construcción, los neumáticos se clasifican en diagonales, radiales y autoportantes.

Los neumáticos diagonales son aquellos en los cuales sus componentes internos se colocan en forma diagonal lo que provoca un entrelazamiento de los mismos incrementando la rigidez, los radiales son aquellos en los que sus componentes internos se colocan en línea recta, sin inclinación lo que les da mayor estabilidad y resistencia en la cubierta mientras que los autoportantes los componentes se colocan en línea recta incluidos los flancos. Se ilustra el ordenamiento de los componentes según su construcción en las figuras 1 y 2.

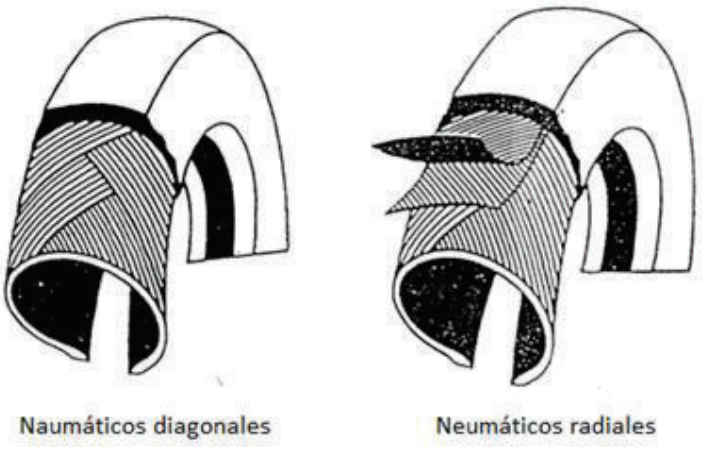


Figura 1: Neumáticos diagonales y radiales[1]

Figura 2: Neumáticos autoportantes[1]

[1] http://neumaticobarato.blogspot.com/

1.4.3.2. Según su uso de cámara

Existen neumáticos con o sin cámara, e incluso algunos que no utilizan un fluido para mantener sus propiedades sino que se valen más de la geometría que tienen y de las propiedades de los materiales. A continuación se describen los tipos de neumáticos según su uso de cámara.

Los neumáticos TT (tubetype) tienen cámara que puede ser llenada por aire, agua, espuma o mezcla entre estos dependiendo de la aplicación. En la actualidad se utilizan estos neumáticos para aplicaciones especiales como por ejemplo en maquinaria agrícola, vehículos 4 x 4, llantas de aviones, etc.

Figura 3: Neumáticos tubetype.[2]

En cambio, los neumáticos TL (tubeless) no tienen cámara, impiden que salga el aire gracias a un cierre hermético entre el neumático y el aro, producido por una parte llamada talón que contiene aros de acero en su interior. Este tipo de neumáticos son utilizados en la actualidad por casi todos los vehículos comunes gracias a su capacidad de no dejar escapar el aire después de que se incruste algún elemento en este.

[2] http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/automovil/paginas/El_neumatico.htm

Figura 4: Neumáticos tubeless[3]

Además existen neumáticos que no utilizan aire, estos están compuestos sólo de caucho y acero. El amortiguamiento en este caso se logra por la geometría de los neumáticos, es más aplicable en vehículos livianos o semi pesados, para evitar cambios de neumático al entrar en contacto con un elemento cortante o que le pueda pinchar.

Figura 5: Neumáticos sin amortiguamiento de fluido[4]

Otro tipo de llantas son las ruedas semi-neumáticas, son sólo de goma, aplicado para vehículos pequeños como coches, triciclos, carritos de supermercado, entre otros.

[3] http://www.actiweb.es/donaire/neumaticos.html
[4] http://www.ikkaro.com/ruedas-sin-aire-no-neumaticas/

Figura 6: Ruedas semi neumáticas[5]

1.4.4. COMPOSICIÓN DE LOS NEUMÁTICOS

El alcance del presente proyecto excluye neumáticos rígidos, por tanto se utilizará como referencia los neumáticos tipo tubeless que están compuestos por banda de rodamiento, laterales, cinturones estabilizadores, relleno de cinturones, innerliner, tela de cuerpo y talón.

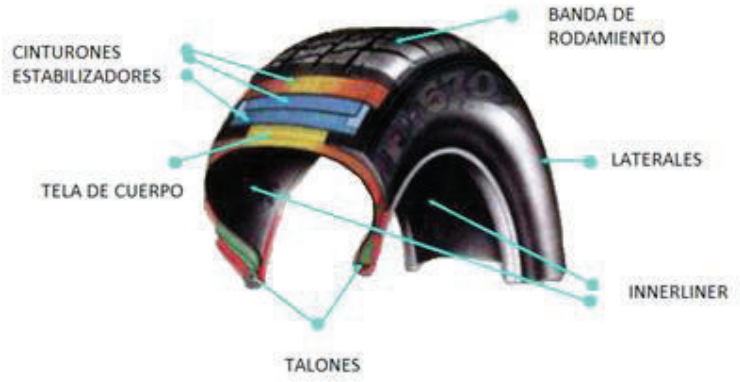


Figura 7: Componentes de los neumáticos tubeless. Fuente: propia

La banda rodamiento o banda de rodadura, provee la fricción necesaria entre el vehículo y el suelo para que el manejo y la seguridad sean óptimos. Esta debe ser capaz de soportar altas fuerzas de fricción así como temperaturas elevadas, su

[5] http://es.made-in-china.com/co_oceancham/product_Semi-Pneumatic-Rubber-Wheels-for-Hand-Truck_hryoseery.html

desgaste debe ser homogéneo y debe proporcionar la suficiente adherencia al suelo en condiciones secas o húmedas. La composición específica de la banda depende de cada fabricante pero generalmente es una mezcla de caucho, que proporcionará elasticidad, negro de humo o negro de carbón aporta resistencia a la abrasión, a la tensión y facilita la disipación del calor, plastificantes como aceites minerales, resinas, ceras, ácidos, etc., que sirven para facilitar las operaciones de fabricación, agentes protectores como aminas o parafinas que impiden la degradación prematura del caucho, azufre que es un agente vulcanizante, lo que le brinda al neumático mayor dureza y resistencia al frío, acelerantes que son sustancias diversas como peróxidos que aceleran el proceso de vulcanización.

Los laterales son las paredes que se encuentran a los costados del neumático, compuestas por los mismos materiales que la banda de rodamiento, así mismo su composición varía según el fabricante.

Los cinturones estabilizadores otorgan rigidez a la banda del neumático y ayudan a que este se fije mejor al suelo también brindándole mayor estabilidad, está compuesto principalmente de tela de acero.

Los rellenos de cinturones son bandas de goma que evitan el rozamiento entre capas de cinturones estabilizadores, aportan estabilidad al neumático y mayor resistencia al desgaste.

Otro elemento es el innerliner o carcasa que es la estructura que soporta el aire a presión y las cargas propias del manejo. Es una combinación de tejidos calandrados que se sumergen en una mezcla de caucho y pueden ser de rayón, nylon, fibras de poliéster o de vidrio.

La tela de cuerpo o cuerpo de telas es un conjunto de telas que ayudan al innerliner a soportar la presión de aire, además soporta cargas y aísla las irregularidades del camino, están compuestas por los mismos materiales que la carcasa.

Los talones son los encargados de asegurar el neumático al rin, evita el deslizamiento entre estos y la salida de aire. Compuesto por alambres de acero de alta tenacidad, que son los que se adquieren la forma del rin para cumplir con su

función, recubiertos por caucho. Dan mayor estabilidad, tenacidad y rigidez al neumático, así como la capacidad de soportar cargas cíclicas.

1.4.5. PROPIEDADES DE LOS NEUMÁTICOS

Los neumáticos son un conjunto de diferentes materiales, que van desde el acero hasta el caucho, por tanto se considerarán las propiedades más altas que tenga un neumático en sus componentes, los mismos que van a variar en sus proporciones según el fabricante y uso previsto. En la tabla 1 se presenta la composición de un neumático según sus materiales en promedio, es decir sin considerar variaciones por marcas.

Tabla 1: Porcentaje de materiales que componen los neumáticos.[6]

Material	Automóviles (%)	Camiones (%)
Caucho (sintético o natural)	49	44
Negro de humo	22	21
Metal (acero)	15	28
Material textil	5	0
Óxido de zinc	1	1
Aditivos	8	6

Con respecto a la resistencia al corte y a la tracción se tomarán en cuenta el acero del talón por sus propiedades mayores con respecto a los demás componentes. Ya que el negro de humo es un material derivado del carbón, y como los otros componentes se encuentran en pequeñísimas cantidades, el punto fusión considerado será el más bajo, es decir el del caucho.

1.4.5.1. Propiedades del acero para neumáticos:

Para la realización de neumáticos, se utilizan aceros de alto contenido de carbono (entre 0.6% y 1.67% de carbono). Las propiedades de algunos aceros de este tipo se presentan en la tabla 47 (anexo 1).

[6] http://www.tiresspa.com/es/descripcion-tratamiento-neumaticos.html

1.4.5.2. Propiedades del caucho

El caucho usado en neumáticos se conoce como caucho estireno-butadieno. "Es un elastómero sintético obtenido mediante la polimerización de una mezcla de estireno y butiadeno"[7]. El término elastómero se refiere a la propiedad de volver a su forma original después de ser deformada, esto debido a la forma en espiral de sus moléculas. Este caucho se desarrolla al buscar un reemplazo del caucho natural, que por su puesto es limitado, sus propiedades se presentan en la tabla 2:

Tabla 2: Propiedades del caucho estireno butiadeno. Fuente: propia

Propiedad	**Característica**
Dureza	10 ShA a 35 ShA (Productos micro porosos) 40 ShA a 90 ShA (Productos rígidos)
Temperatura de servicio	Rango de -10º C hasta 70 º C
Propiedades mecánicas	Resistencia a la abrasión. Alta resistencia al impacto Moderada resistencia al desgarro Productos rígidos tienen baja resistencia a la flexión y baja deformación unitaria. Productos micro porosos tienen alta resistencia a la flexión, alta deformación unitaria.
Físicas	Degradación rápida ante la intemperie. Baja conductividad térmica Alta resistencia eléctrica. Baja permeabilidad.
Químicas	Buena resistencia al agua. Baja resistencia a aceites. Baja resistencia a ácidos diluidos (Alifáticos, aromáticos, clorados) Resistencia nula a hidrocarburos

[7] http://es.wikipedia.org/wiki/Caucho_estireno-butadieno#Propiedades

1.4.6. TRITURACIÓN

Proceso por el cual se divide un elemento sólido en otros más pequeños pero sin llegar a hacerlos polvo (pulverización), mediante la aplicación de fuerzas de corte, compresión, tracción y flexión. Un elemento se rompe cuando se le aplica un esfuerzo superior al que puede soportar. Este se conoce como esfuerzo de rotura y se puede determinar mediante ensayos de tracción, compresión, corte, flexión y torsión.

El tamaño de los restos, la capacidad, la separación previa de los materiales o no, etc., vienen en función de las necesidades que se tienen y de la maquinaria disponible. Por esto existen diferentes tipos de trituradoras y diferentes formas de realizar el proceso de triturado. Cuando ya se ha decidido el tipo de neumáticos que se van a triturar, la cantidad y tamaño final que se desea que los elementos tengan se comienza el proceso de triturado que consiste en dos fases principales:

La primera consiste en la separación de materiales que puede comenzar a hacerse antes de la trituración cortando los costados del neumático para separar el acero o utilizando una destalonadora. Así también este proceso se lo puede realizar después de la trituración mediante un separador magnético. Las fibras se eliminan mediante zarandas vibratorias y tamices de viento.

La segunda fase es la de reducción del tamaño en uno o varios pasos. Mientras mayor sea en número de pasos (por un proceso de triturado), el tamaño de los residuos será cada vez menor y estos podrán utilizarse para diferentes aplicaciones. Este proceso se realizará hasta tener un tamaño de restos deseado.

1.4.6.1. Tipos de trituradoras para neumáticos

Existe variación en los tipos de trituradoras para satisfacer diferentes necesidades, las cuales van desde triturar neumáticos pequeños como los de bicicleta hasta neumáticos de tractor. Para el cumplimiento de estas necesidades se han clasificado a las trituradoras según el número de ejes que tenga, uno, dos o más.

Las trituradoras de un eje se caracterizan por tener un solo eje sobre el que van a ir acopladas las cuchillas, funciona de tal forma que las cuchillas atrapan el neumático y separan parte del material, estas se encuentran acomodadas de tal

manera que el neumático siempre va a estar en contacto con una de ellas, lo que facilita el proceso de triturado y evita que el neumático salga de la tolva. Utiliza contra cuchillas fijas para que se pueda producir el corte y limpiadores que retienen el material que puede salir expulsado para que vuelva al proceso de triturado como se aprecia en la figura 8. El tamaño de los residuos viene dado por la distancia entre las cuchillas y contracuchillas, así como de la velocidad de la máquina.

Entre las ventajas que presentan las trituradoras de un eje están que el sistema de transmisión es muy sencillo, el peligro de atascamiento de la máquina es menor, mantenimiento y limpieza es más fácil, puede trabajar a velocidades mayores.

Así mismo, existen inconvenientes que tienen las trituradoras de un eje como que se necesita de mayor tamaño y/o velocidad de los ejes para triturar la misma cantidad de neumáticos que con una cortadora de doble eje o más de menor tamaño, desgaste más seguido de cuchillas y contra cuchillas.

La mayoría de trituradoras comparten varios sistemas entre los cuales están el sistema captador de material (tolva), sistema de control, sistema de transmisión de movimiento (del motor a los ejes), motor (eléctrico o de combustión interna).

Existen sistemas complementarios que suelen ser utilizados en algunas máquinas, como por ejemplo separador magnético, múltiples pasos de trituración para reducir el tamaño de los residuos, sistema de criogenia, sistema de transporte de material de entrada y restos, reguladores de velocidad y torque, destalonadoras, desvulcanizadoras.

Figura 8: Trituradora de un eje[8]

[8] https://www.ssiworld.com/en/products/single_shaft_shredders/uni_shear_sr500

En las trituradoras de dos ejes dos ejes la rotación de los ejes es en sentido contrario el uno con respecto al otro de tal manera que el neumático es atrapado y atraído hacia la trituradora. A modo de contracuchilla funcionan los mismos ejes y cuchillas opuestas, lo que genera que, por sus bajas velocidades se genere una especie de molino más que una cortadora, así las partes son separadas por tracción, aplastamiento y corte.

Una de las principales ventajas de este tipo de sistemas es que el material que salta de las cuchillas es poco, es decir, es más segura, con cuchillas y ejes de menor tamaño se pueden triturar los mismos neumáticos que con trituradoras de un solo eje de cuchillas y ejes grandes, el neumático una vez atrapado, pasa por las cuchillas rápidamente, en lugar de que entre pedazo por pedazo, lo que hace que este tipo de cortadoras tenga mayor capacidad.

Así mismo, existen inconvenientes al usar trituradoras de 2 ejes, entre los cuales están costo más alto que el sistema de un eje, sistema de transmisión más complejo, velocidades de trabajo más lentas, mayor costo de fabricación, diseño más complejo.

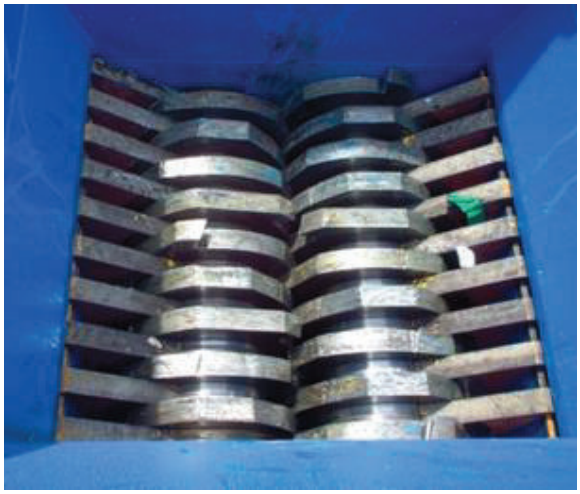


Figura 9: Trituradora de dos ejes[9]

Las trituradoras de más de dos ejes son utilizadas para neumáticos de gran tamaño, ya que por su disposición atrapan a todo el neumático para que empiece el proceso de trituración. Funcionan básicamente igual que la trituradora de dos ejes,

[9] https://www.logismarket.es/plasmaq/triturador-de-doble-eje/3727240128-2876294103-p.html

atrapando constantemente los neumáticos y triturándolos por corte, tracción y aplastamiento.

Las ventajas que proporciona la aplicación de este sistema son capacidad de triturar neumáticos de mayor tamaño, su disposición evita que los residuos salten, por tanto es más segura, en una sola operación puede triturar el neumático en pedazos más pequeños, quedando estos listos para la separación magnética, puede triturar mayor número de neumáticos al mismo tiempo.

Entre las desventajas de la aplicación de este sistema se tiene que complejidad es mayor, no solo en el sistema de transmisión sino también en el montaje, transporte, etc., su fabricación y mantenimiento son más costosos.

Figura 10: Trituradoras de cuatro ejes[10]

1.4.7. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA RECUPERACIÓN DE MATERIAL DE LOS NFU (NEUMÁTICOS FUERA DE USO)

Se entiende a la recuperación de los NFU como las acciones tomadas para aprovechar todos sus desechos. Esta recuperación se la puede realizar mediante algunas tecnologías, de entre las cuales, las principales son: tecnologías fuera de los sistemas de reciclado del material, tratamientos mecánicos, tecnologías de

[10] http://weima.com/es/produkte/zerkleinerer/zm-serie/zm30.html

reducción de tamaño, tecnologías de regeneración , otras tecnologías como pirólisis o termólisis.

En la figura 11 se muestra la clasificación de las distintas tecnologías de reciclaje según el nivel de tratamiento que reciben los NFUs. Cabe resaltar que dependiendo de la aplicación final que vayan a tener se aplicara uno o más procesos. Los datos se han obtenido de la Asociación Europea de Reciclaje de Neumáticos (ETRA)[11].

Figura 11: Nivel de tratamiento de reciclaje[11]

En la tabla 48[11] (anexo 1) se muestran los materiales obtenidos, tamaño en milímetros y tecnologías más empleadas. El término “Todas las fuentes” incluye; neumáticos enteros de camiones, autos, mezcla de estos, mezcla con otro tipo de neumáticos y cámara de aire del neumático.

1.4.7.1. Tratamientos Mecánicos

Proceso mecánico mediante el cual los neumáticos son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares. Entre ellos se encuentran fabricación de balas de goma, troceado (ripping), trituración (cutting).

Muchas de las posibles aplicaciones de los NFU requieren de una trituración hasta el tamaño adecuado al uso específico que se le vaya a dar. Este proceso

[11] ETRA (European Tyre Recycling Association), www.etra-eu.org

normalmente se realiza a través de trituradoras de dos ejes con cuchillas giratorias q trabajan entre 15 y 20 rpm[12].

Los tres mayores procesos empleados para producir polvo de caucho son: molienda mecánica a temperatura ambiente, molienda criogénica con el uso de nitrógeno líquido con temperaturas entre -60 ºC y – 70ºC, molienda en húmedo se obtiene un producto final más fino y homogéneo, con tamaño de grano inferior a 100 Mallas ASTM.

Actualmente, el potencial del mercado se centra en el granulado a temperatura ambiente, pues la calidad requerida del polvo para las distintas aplicaciones empleadas no justifica la duplicación del costo (en el caso de molienda criogénica).

1.4.7.2. Tecnologías de regeneración

Entre las principales tecnologías de este tipo se encuentran: desvulcanización, recuperación del caucho (reclaiming), modificación superficial, modificación biológica, de las cuales sólo se mencionarán las principales.

La desvulcanización es un proceso en el cual se invierte a vulcanización del caucho para aprovecharlo nuevamente mediante la adición de un agente modificador en un procesamiento químico-mecánico se rompen los enlaces S-S que permanecen en estado latente. Los procesos de desvulcanización se pueden clasificar en dos grandes grupos que son procesos físicos y químicos.

Los procesos físicos son en los cuales la desvulcanización se produce con la ayuda de una fuente de energía externa. Se encuentran los procesos mecánicos, termo-mecánicos, crio-mecánicos, microondas y ultrasónicos.

Los procesos químicos son los más empleados por las industrias. Los agentes químicos empleados son generalmente disulfuros o mercaptans orgánicos empleados durante un trabajo mecánico a elevada temperatura.

Entre los principales procesos de vulcanización están: desvulcanización química, desvulcanización térmica, desvulcanización químico-mecánica, desvulcanización termo-mecánica, desvulcanización termo-química, desvulcanización ultrasónica.

---

[12] LOPEZ F.A*; Situación actual del tratamiento de neumáticos fuera de uso y posibilidades de obtención de negro de humo de alta pureza*; CENIM, Madrid, 2012. p 7

El objetivo original de la recuperación del caucho vulcanizado es romper los entrecruzamientos, para permitir reutilizarlo. Esta ruptura de los enlaces se puede dar mediante rotura del entrecruzamiento químico tridimensional del azufre (desvulcanización) o mediante el fraccionamiento de las cadenas del polímero (despolimerización). El procedimiento es relativamente sencillo para el caucho natural, la dificultad radica cuando se aplica en cauchos sintéticos.[13]

1.4.7.3. Pirólisis

El proceso consiste en calentar los trozos de neumático (1-3 cm) a temperatura moderada (400-800ºC) en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo. La degradación térmica del material produce una descomposición del neumático donde los elementos orgánicos volatilizables (principalmente cadenas de caucho) se descomponen en gases y líquidos, y los elementos inorgánicos (principalmente acero y negro de carbono no volátil) permanecen como residuo sólido.[14] . Los productos obtenidos en la pirolisis son el residuo carbonoso, aceite y gas. En la ilustración 12 se presenta el proceso de pirólisis.

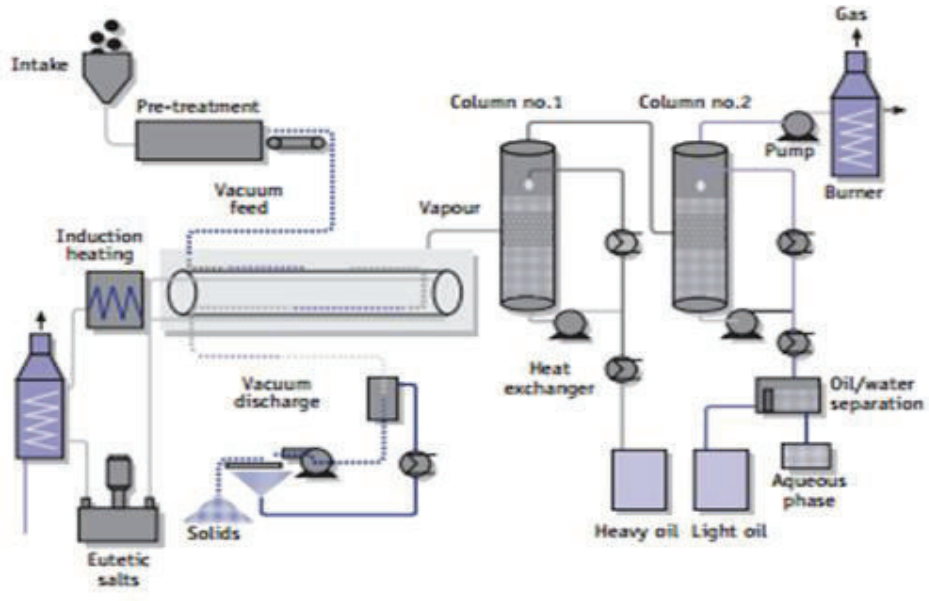


Figura 12: Proceso de pirólisis[15]

[13] MARTINEZ, M. Eugenia. *Tire Technology International* (2002) p. 86-88.

[14] LARESGOITI, M.F.; CABALLERO, B.M.; DE MARCO, Isabel; TORRES, A.; CABRERO, M.A.; CHOMÓN, M.J. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 71 (2004) p. 917-934.

[15] *Aguado, Roberto. Journal of Analytical and Apolied Purolysis.*

Existe una fábrica piloto operativa en Taiwán desde 2002 con cuatro líneas de pirolisis que permiten reciclar 9000 toneladas / año. En la actualidad el procedimiento ha sido mejorado y es capaz de tratar 28.000 toneladas de neumáticos usados/año, a través de una sola línea.[16]

1.4.7.4. Termólisis

Es una forma de obtener, de nuevo, los compuestos originales del neumático, es decir, es un método que consigue la recuperación total de los componentes del neumático. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u otras actividades. El proceso consiste en someter los residuos de neumáticos a un medio a altas temperaturas en el que no existe oxígeno.
En la tabla 49[17] (Anexo 1) se resumen los proceso tecnológicos para el aprovechamiento de los NFU, así como las ventajas y desventajas de cada uno.

1.4.7.5. Aplicaciones de los neumáticos triturados

Entre las aplicaciones más importantes se encuentran: rellenos ligeros, pistas de atletismo, aislamiento térmico y acústico, canchas sintéticas, colchones para animales, pavimentos de seguridad, capas drenantes en vertederos, sistemas de drenaje en carreteras, calzado, equipamientos viales, producción de combustible, aprovechamiento energético por gasificación, aprovechamiento energético mediante pirólisis, entre otras.

Los rellenos ligeros se emplean generalmente en construcción sobre cimientos compresibles o de baja capacidad resistiva, también en mezclas de suelo o material granular con neumáticos troceados. También pueden utilizarse sobre estructuras o tuberías enterradas, para limitar las cargas sobre la estructura y la concentración de tensiones por consolidación diferencial, ya que su deformabilidad permite la generación de un efecto bóveda sobre la estructura. En zonas con problemas de inestabilidad, su baja densidad y suficiente resistencia al corte permite su empleo para la formación de taludes o bermas. Resulta un material especialmente

[16] *CASTRO Guillermo; Reutilización, Reciclado y disposición final de los neumáticos; FIUBA (2007). p 3.*
[17] VT 2007

adecuado como relleno ligero en trasdós de muros (estribos de puentes, muros de sostenimiento entre otros).

Otra de las aplicaciones es utilizar los gránulos de caucho procedentes de NFU en pistas de atletismo y canchas sintéticas, estos restos son una materia prima básica en la composición de los distintos revestimientos sintéticos, que pueden clasificarse en: revestimientos realizados “in situ”, mixtos y prefabricados. En la construcción de una pista de atletismo se emplean de setenta a ochenta toneladas de gránulos de caucho, según el sistema que se instale y de la superficie de la pista, siendo las partículas de caucho de un tamaño comprendido entre 1 y 4 mm.[18]

Como aislamiento térmico y acústico, los neumáticos triturados son materiales física y químicamente resistentes. Se puede considerar que presentan una capacidad de aislamiento térmico 8 veces superior a la de un suelo común. El caucho es un material con buena absorción acústica, por lo que resulta adecuado para la fabricación de pantallas anti ruido en carreteras. Paneles de caucho granulados, aglomerado con resinas de poliuretano, se ha utilizado como capa de aislamiento en barreras acústicas prefabricadas.

Se puede fabricar colchones económicos para animales recubiertos por dos capas de tela sintética la cual protege al granulado contra los rayos ultravioleta. La capa interior es impermeable y puede lavarse y desinfectarse fácilmente.

Los pavimentos de seguridad se utilizan principalmente en parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos para evitar posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico. Su composición es a base de gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano. Una variante puede ser como protector de guardarrieles.

Las capas drenantes en vertederos se usan para la recogida de lixiviados estableciendo la instalación de una capa de drenaje de espesor superior a 0.5 mm. Esta capa requiere una permeabilidad superior a 10-3 m/s y los rellenos de NFU troceados superan este requisito (10-2-10-1). Este material también es utilizado

[18] “Orden circular 5bis/2002 sobre las condiciones para la adición de polvo de neumático usados en las mezclas bituminosas”. Jornadas sobre utilización de neumáticos fuera de uso en carreteras 2002. Anexo 2

como relleno de las zanjas o pozos drenantes de recolección, protegido de la contaminación mediante una envoltura geotex.

Los sistema de drenaje en carreteras emplean los NFUs troceados como material de relleno de capas y zanjas drenantes en carreteras, las propiedades elásticas del relleno proporcionan una protección mecánica a las tuberías. Las propiedades aislantes del caucho hacen que sea un material de relleno idóneo en zonas sometidas a temperaturas bajas, impidiendo la congelación del agua contenida en él.
En calzado, las suelas de los zapatos fabricadas con polvo o granulado son muy duraderas y a menudo duran más que el cuerpo del zapato.

En equipamientos viales se han utilizado productos reciclados, siendo el caucho reciclado uno de los que tiene mayores aplicaciones como son bordillos, badenes, isletas, bandas sonoras, conos de señalización, barreras de seguridad, quitamiedos, etc.

La utilización como combustible trata de aprovechar la energía térmica que produce la combustión de la goma de los mismos. Para el aprovechamiento energético, el neumático se puede presentar como neumático en polvo, troceado y entero.[19] La selección se efectuará en función de las características del horno donde tenga lugar la combustión.

En el tratamiento de NFU vía gasificación se obtienen 2 fases; una sólida (mezcla de negro de carbono (25% en peso del total de NFU) y acero (12% en peso del total de NFU)) en aproximadamente un 37 % en peso del total de los productos del proceso, y una fase gaseosa en un 63%. Los dos componentes de la fase sólida se separan fácilmente con un tromel rotatorio de tamizado. El gas generado sale de los gasógenos a una temperatura superior a 350ºC y contiene 2 fases separables que son fase gaseosa no condensable; formada por una amplia gama de gases de gasificación. Representa, en media, un 38% en peso del total de NFU tratados en el proceso. Empleados como valorización energética en motores de gas adaptados al respecto. Fase gaseosa condensable; constituida por todo el espectro de

[19] MARCOS, Ángel. *Revista de Plásticos Modernos* 89 (587) (2005) p. 473-481.

alquitranes, aceites medianos y ligeros, BTX, etc. Constituye un 25% del peso total de los NFU tratados. Los aceites condensados se pueden valorizar energéticamente como sustitutivo de un fuel-oil ligero o emplear en aplicaciones industriales específicas.

Mediante la pirólisis se obtiene, de modo general, carbono pirolítico (33% en peso), gases (20% en peso), aceites (35% en peso) y residuo metálico (12% en peso). Según las condiciones de procesado (velocidad de calentamiento, tamaño partícula, rango de temperatura,..) se obtendrán distintos porcentajes en peso de los elementos pirolíticos, así como características diferentes de los mismos. Entre las principales aplicaciones del carbón de pirólisis están: combustible de sustitución (mezcla con carbón), negro de carbono para carga en materiales poliméricos, como materia prima en la fabricación de carbón activo, los aceites obtenidos se pueden emplear como combustible en hornos convencionales, los gases no condensables tienen un poder calorífico del orden de 68-84 MJm que pueden ser empleados para calentar el reactor de pirólisis o como combustible en las cementeras. Sin embargo, la valorización energética mediante pirólisis no está muy difundida debido al coste de las instalaciones necesarias.

1.4.7.6. Tecnologías fuera de los sistemas de reciclado del material

se toma en cuenta que en estos procesos se utilizan neumáticos que aún no llegan al final de su vida útil, es decir neumáticos que pueden ser reutilizados; entre estos está el denominado Buffing (suele ser una parte del proceso de recauchutado), recanalado y recauchutado.

El recanalado es un proceso intermedio que se da al neumático antes de que se convierta en residuo; consiste en remarcar el dibujo primitivo en aquellos neumáticos que no han perdido más del 75% de su profundidad original.
El recauchutado “consiste en sustituir las gomas viejas del neumático y reconstruir su estructura original convirtiéndolo en un neumático de características similares al nuevo.”(COIIM, 2000)[20] No obstante, dado que la carcasa sufre fatiga y deterioro a lo largo de su vida y debido a las exigencias en las normativas de calidad de los

[20] Club Español de los Residuos. Seminario sobre innovación en el aprovechamiento de NFUs. Colegio Oficial de Ingenieros de Industriales de Madrid, 20 diciembre 2000.

neumáticos (reglamentos 108, 109 de las Naciones Unidas sobre neumáticos recauchutados), el número de recauchutados que un neumático admite es limitado y dependerá de la superación con éxito de los ensayos de carga y velocidad contemplados en los Reglamentos 30 y 54 de Ginebra. Actualmente son recauchutados los neumáticos de camión y avión pero no los procedentes de automóviles o camiones pequeños.

1.4.8. PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL

El parque automotor nacional está compuesto por distintos tipos de vehículos de transporte, siendo estos transportes de pasajeros, de carga, vehículos de servicio público, servicio privado y motocicletas.

Según los datos estadísticos obtenidos y publicados por el INEC (Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos), el parque automotor presentó una tasa anual de crecimiento del 7.8% entre los años 2003 y 2013.[21]

En la Ilustración 13 se pude observar la tendencia de crecimiento del parque automotriz nacional del año 2003 al 2013. Es posible notar un crecimiento de aproximadamente el 90% entre los años 2009 y 2013, lo cual según estudios realizados por la CEPROEC (Centro de Prospectiva Estratégica) podría deberse a la recuperación del mercado luego de la crisis financiera internacional, la reducción de salvaguardias en el sector productivo y balanza de pagos impuesta por el Estado. (Estimación del consumo de combustible en el transporte terrestre en Ecuador, CEPROEC, 2015, pg. 6)

[21] Estimación del consumo de combustibles en el transporte terrestre en Ecuador, CEPROEC, Abril 2015, pg-6

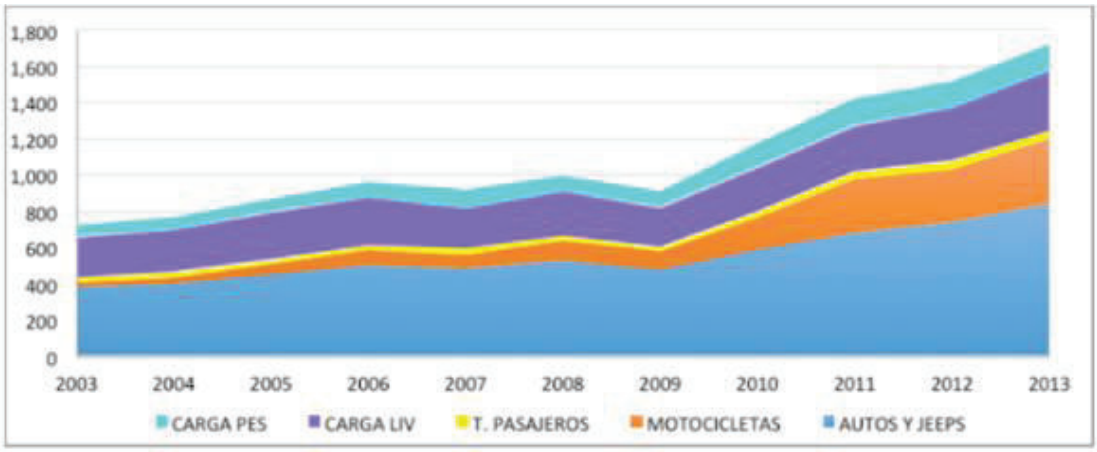


Figura 13: Evolución histórica del parque automotor en el Ecuador, en miles de unidades.[22]

Vehículos livianos y jeeps conforman aproximadamente la mitad del parque automotor nacional. La motocicleta presenta el mayor crecimiento entre los años 2003-2013 con un incremento del 21% dentro del parque automotor. En cuanto a los vehículos de transporte no existieron diferencias significativas, confirmando así la falencia del sistema de trasporte público del país.

"De acuerdo con el INEC (2013), en el año 2012 se matricularon en el Ecuador en total 1.509.458 vehículos. Los datos presentados fueron proporcionados por la Agencia Nacional de Transito (ANT) del Ecuador y agrupa los vehículos en los siguientes tipos":[23]

El INEC en su anuario de transporte publicado en el año 2013 muestra en la ilustración 13, la cual indica que el parque automotor nacional está compuesto por un total de 1.717.866 vehículos, los cuales se ubican mayoritariamente en las provincias de guayas y pichincha. [24]

[22] *INEC, ANT,2015 (Estimación del consumo de combustible en el transporte terrestre en Ecuador, CEPROEC, 2015, pg. 7)*

[23] Estimación del consumo de combustibles en el transporte terrestre en Ecuador, CEPROEC, Abril 2015, pg-7

[24] Anuario de transportes INEC 2013 pg. 32

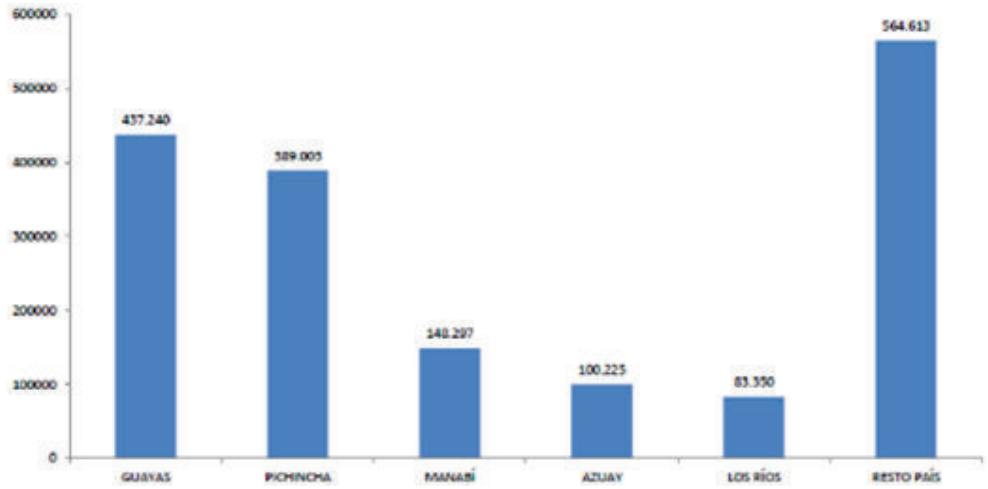


Figura 14: Vehículos matriculados según provincias en el 2013[25]

La provincia de Pichincha según la ilustración 14 tiene un total de 389.003 vehículos, de los cuales 370.286 son vehículos de uso particular, 8.478 de alquiler, 6.431 del estado y 2.663 municipales.[26] Esta información se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Número de vehículos matriculados por uso según provincias[26]

PROVINCIA	TOTAL	USO DEL VEHÍCULO			
		PARTICULAR	ALQUILER	ESTADO	MUNICIPIO
MORONA SANTIAGO	7.692	6.618	530	346	198
NAPO	5.461	4.783	329	276	73
ORELLANA	12.245	10.995	765	403	82
PASTAZA	8.291	7.537	411	242	101
PICHINCHA	387.858	370.286	8.478	6.431	2.663
SANTA ELENA	13.598	12.876	461	255	6
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	32.693	30.444	1.636	461	152
SUCUMBÍOS	21.087	19.272	682	925	208
TUNGURAHUA	80.694	76.584	3.037	812	261
ZAMORA CHINCHIPE	5.615	4.960	306	237	112

[25] *Anuario de transportes INEC 2013, pág. 32.*
[26] Anuario de transportes INEC 2013 pg. 51.

1.4.9. CANTIDAD DE NEUMÁTICOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

Según datos provistos por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) en el año 2013 se matricularon en el distrito metropolitano de Quito un total de 340000 vehículos[27]. Con estos datos es posible realizar una aproximación del número total de neumáticos que salen de uso mensualmente.

Cruz (2013) realizó una investigación sobre el número de neumáticos en el distrito metropolitano de Quito, concluyendo que se produce entre 150000 a 200000 desechos de llantas mensuales[28], las cuales no son tratadas y pasan a formar parte de los botaderos, ocupando espacio y convirtiéndose en un problema medioambiental.

Según datos estadísticos proporcionados por el CEPROEC (2015) el parque automotor presenta una tasa de crecimiento del 7.8% anual[29] , llevando así a concluir que mensualmente se podrían producir un total de 172000 a 230000 neumáticos fuera de uso (NFU).

[27] www.ant.gob.ec

[28] Plan de negocios de reciclado de llantas usadas como oportunidad de negocios, en la utilización de productos innovadores; Cruz Aníbal, UIDE-2013, pg. 7.

[29] Estimación del consumo de combustible en el transporte terrestre en Ecuador, CEPROEC 2015, pg-6

CAPÍTULO 2. DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA

Una de las herramientas que los diseñadores deben aplicar es el desarrollo de la función de calidad, esta viene ligada al diseño para la calidad, que implica asegurar el cumplimiento de los requisitos de los clientes en cada etapa del proceso de diseño y fabricación del producto.

En el presente caso, se debe llegar al aseguramiento de la calidad en el proceso de diseño y simulación, por lo que en primer lugar se determinarán las especificaciones técnicas de la máquina a través de los deseos y requerimientos propuestos por cliente contrastados con el criterio técnico del diseñador. Para esto se elabora la casa de la calidad.[30]

2.1. CASA DE LA CALIDAD

Según Riba (2002), "la casa de la calidad traduce las demandas de los clientes en características técnicas del producto" p.178. Esta herramienta toma las demandas de los clientes, tanto las necesidades como sus deseos, pero en la mayoría de los casos estos requerimientos no se presentan en una forma técnica con la cual se pueda comenzar el proceso de diseño. Corresponde al diseñador traducir estos requerimientos en especificaciones técnicas mediante una comparación entre la voz del cliente (necesidades y deseos) y la voz del ingeniero (criterio técnico), ambos presentados en forma de matriz.

La casa de la calidad propone ponderaciones y comparaciones para determinar qué requerimientos y deseos son los más importantes, cuáles no lo son, cuáles se deberán cumplir, cuáles se pueden excluir, incluir etc., para ello se analizan los resultados de su elaboración.

2.1.1. VOZ DEL CLIENTE

Siguiendo con el proceso de diseño concurrente propuesto por Carles Riba, las necesidades y deseos del cliente más importantes con las cuales e debe cumplir se presentan en la tabla 4.

[30] Riva C., (2002), Diseño Concurrente, Editorial UPC, 1ra Edición, Barcelona, págs. 177-184

Tabla 4: Matriz de necesidades y deseos del cliente. Fuente: Propia

VOZ DEL CLIENTE
Triturar mínimo 1 ton/h.
Capacidad de triturar desde llantas de bicicleta hasta llantas de autobús.
Tener residuos pequeños de caucho
Fácil mantenimiento
Durable
Segura para el operario
Funcionamiento continuo en la jornada laboral

2.1.2. VOZ DEL INGENIERO

En base a las necesidades y deseos del cliente, se presenta la voz del ingeniero, en forma de matriz, en la cual estas se traducen a especificaciones técnicas, presentadas en la tabla 5.

Tabla 5: Matriz de criterios del diseñador. Fuente: propia

VOZ DEL INGENIERO
Capacidad de trituración
Dimensiones de los neumáticos usados
Dimensiones de los residuos
Movilidad de la máquina
Dimensiones de la máquina
Capacidad de depósitos
Nivel de ruido

Bajo estos criterios se elabora la casa de la calidad, la misma que será presentada en el anexo 2.

2.1.3. RESULTADOS DE LA CASA DE LA CALIDAD

Luego de realizar la casa de la calidad (anexo 2) se muestran los resultados obtenidos en las tablas 6 y 7 en las cuales se ordena, según su importancia las necesidades y deseos del cliente y el criterio técnico del diseñador respectivamente.

2.1.3.1. Demandas del cliente

Las demandas del cliente se las divide en básicas (obligatorias), unidimensionales y estimulantes (Riba 2002) para clasificarlas por importancia y determinar cuáles se deben cumplir y cuales se podrán omitir o variar. Es posible que un deseo entre en conflicto con una de las demandas básicas o no vaya acorde a un presupuesto, en cuyo caso podrá ser excluido de las especificaciones de la máquina.

Las demandas básicas son triturar 1 tonelada por hora y triturar hasta llantas de autobús

Las demandas unidimensionales son tener residuos pequeños de caucho, fácil mantenimiento, durable, segura para el operario, funcionamiento continuo en la jornada laboral.

No existen demandas estimulantes en el presente proyecto.

2.1.3.2. Necesidades y deseos del cliente ordenadas según su importancia

Es necesario dar una ponderación a las necesidades y deseos del cliente mediante un análisis ingenieril de comparación, ya que esto influirá en la determinación de las especificaciones técnicas, que es de donde se parte para hacer el diseño. Los valores obtenidos de la realización de la casa de la calidad (anexo 2), se encuentran expuestos en la tabla 6.

Tabla 6. Necesidades y deseos del cliente ordenadas según su importancia. Fuente: propia

Puesto por importancia	Necesidad o deseo del cliente	Ponderación (%)
1	Triturar desde llantas de bicicleta hasta llantas de autobús	23.6
2	Triturar 1 tonelada por hora	15.7
3	Funcionamiento continuo (jornada laboral)	15.1
4	Durable	12.1
5	Segura	10.1
6	Residuos pequeños de caucho	9.06
7	Fácil mantenimiento	7.55
8	Residuos sin elementos metálicos	6.8

2.1.3.3. Criterios técnicos ordenados según importancia

Así mismo, se deben ordenar criterios técnicos del diseñador según la ponderación hecha en la casa de la calidad. Los valores obtenidos de la realización de la casa de la calidad (anexo 2), se encuentran expuestos en la tabla 7.

Tabla 7. Criterios técnicos ordenados según importancia. Fuente: propia

Puesto por importancia	Criterio técnico	Ponderación (%)
1	Capacidad de trituración	25
2	Dimensiones de los neumáticos usados	18
3	Dimensiones de la máquina	16
4	Capacidad de depósitos	16
5	Separación de componente metálicos	10
6	Dimensiones de los residuos	9.5
7	Movilidad de la máquina	3.9
8	Nivel de ruido	3

2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Una vez realizada la casa de la calidad, se tienen las necesidades, deseos y criterios técnicos más importantes. Las especificaciones vienen a ser la aplicación de este proceso seguido al criterio de los diseñadores, pero ahora se considerarán factores ambientales, realidad de productos, materia prima, maquinaria en el mercado local, espacio disponible, normas, costos etc. Las especificaciones técnicas indican en un principio las funciones que la máquina deberá realizar, siendo después el diseñador quien encuentre solución a cada una de estas especificaciones con las que la máquina deberá cumplir de manera obligatoria. A continuación, en la tabla 8, se presentan las especificaciones técnicas:

Tabla 8. Especificaciones técnicas de la máquina. Fuente propia.

DISEÑADORES: Sebastián Espinosa Ricardo Tatamués	**PRODUCTO** Trituradora de neumáticos		Fecha inicial: 08/09/2015 Última revisión: 27/03/2016
ESPECIFICACIONES			
CONCEPTO	**FECHA**	**PROPONE**	**R/D**	**DESCRIPCIÓN**
FUNCIÓN	08/09/15	C	R	La máquina deberá tener una capacidad de 1 ton/h
MATERIALES	08/09/15	C/D	R	La máquina triturará hasta llantas rin 22.5
FUERZAS	08/09/15	D	R	La máquina tendrá la capacidad de triturar acero de refuerzo para neumáticos.
FUNCIÓN	08/09/15	C/D	D	La trituradora podrá funcionar continuamente durante la jornada laboral.
SEGURIDAD Y ERGONOMÍA	08/09/15	C/D	R	La máquina únicamente arrojará residuos en los depósitos establecidos

CAPÍTULO 3. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO

3.1. ANÁLISIS FUNCIONAL

El análisis funcional consiste en el desglose de las funciones más pequeñas que hará la máquina, es decir las sub funciones que esta tendrá que realizar para cumplir con su objetivo final, el mismo que viene dado como una función general, la cual tiene entradas y salidas, las mismas que pueden ser materias, energía o señales (información).

La función principal que debe cumplir la máquina es triturar una tonelada de neumáticos usados por hora, a esto se lo denomina nivel 0 (figura 15), del cual se van a ir desarrollando las funciones que debe realizar la máquina y que resultarán en el cumplimiento del objetivo principal de diseño.

Nivel 0

Figura 15: Análisis funcional (Nivel 0). Fuente: propia

Para los siguientes niveles, estas entradas y salidas del nivel 0 se van a conservar, pero las funciones presentadas van a servir para lograr el cumplimiento de las especificaciones.

La primera división de la función principal, es decir el nivel 1 (figura 16), corresponde a las funciones más generales, las cuales junto con sus entradas y salidas se llamaran operaciones. Estas funciones por ser demasiado generalizadas deben seguir siendo divididas, entonces se tendrá que seguir aumentando los niveles mientras más funciones tenga que cumplir la máquina. Así se sigue con el proceso

hasta tener todas las sub funciones que merecen solución. El nivel 2 es presentado en la figura 17.

Nivel 1

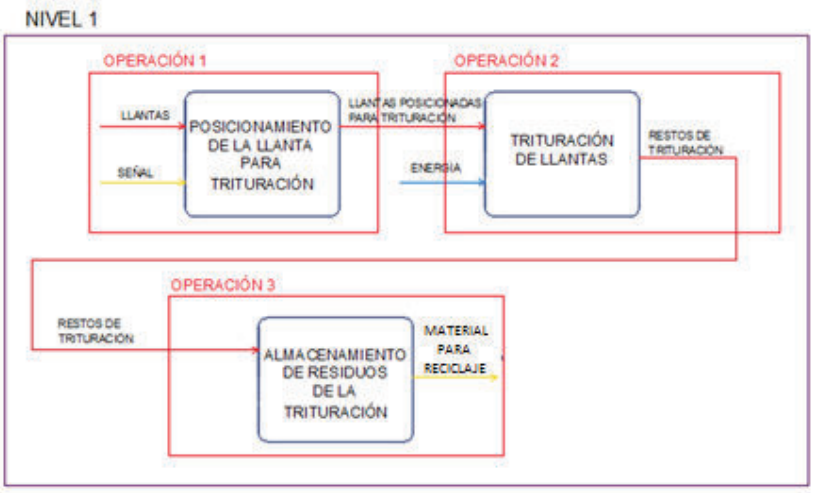


Figura 16: Análisis funcional (Nivel 1). Fuente: propia

El nivel 2, siendo el último nivel, contiene ya detalladamente todas las funciones que la máquina debe realizar para lograr cumplir con la función principal. Se pueden ver ya todas las entradas y salidas de cada etapa del proceso y la relación que deberán tener unas funciones con otras.

Nivel 2

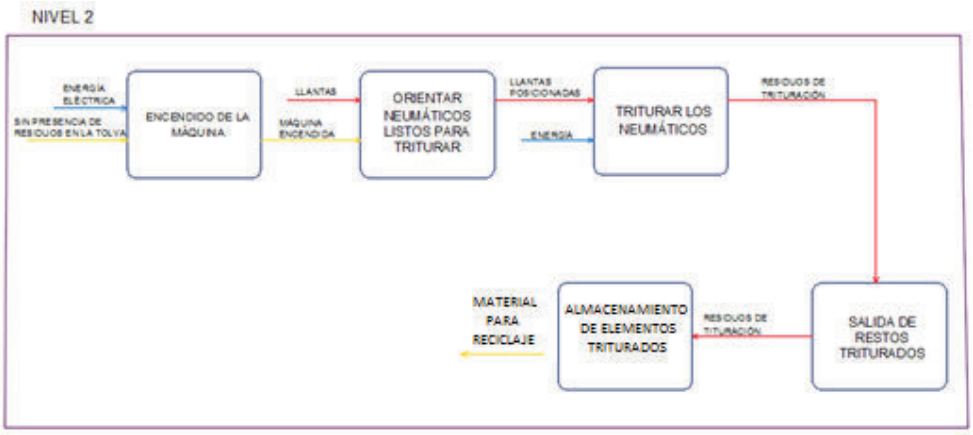


Figura 17: Análisis funcional (Nivel 2). Fuente: propia.

3.2. DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS

Ahora ya se sabe qué funciones debe cumplir la máquina de manera detallada pero a modo de simplificar su diseño se agruparán estas funciones en “módulos” los cuales tendrán la capacidad de cumplir estas funciones por separado y de manera independiente, es decir que cada módulo podría ser utilizado en otra máquina diferente y debería cumplir las funciones que en un principio se asignó a que cumpla.

El nivel de desagregación de la funciones no debe ser demasiado alto, ya que esto complicaría el diseño y elevaría los costos, por eso corresponde al ingeniero diseñador o al grupo de diseño agrupar estas funciones de tal manera que la solución a estas sea lo más sencilla posible y cumpla con las especificaciones.

El objetivo de la separación en módulos es simplificar el diseño y que estos módulos puedan ser usados, reparados, cambiador, etc., de manera más sencilla.

Los módulos de la trituradora de neumáticos propuesta con los siguientes:

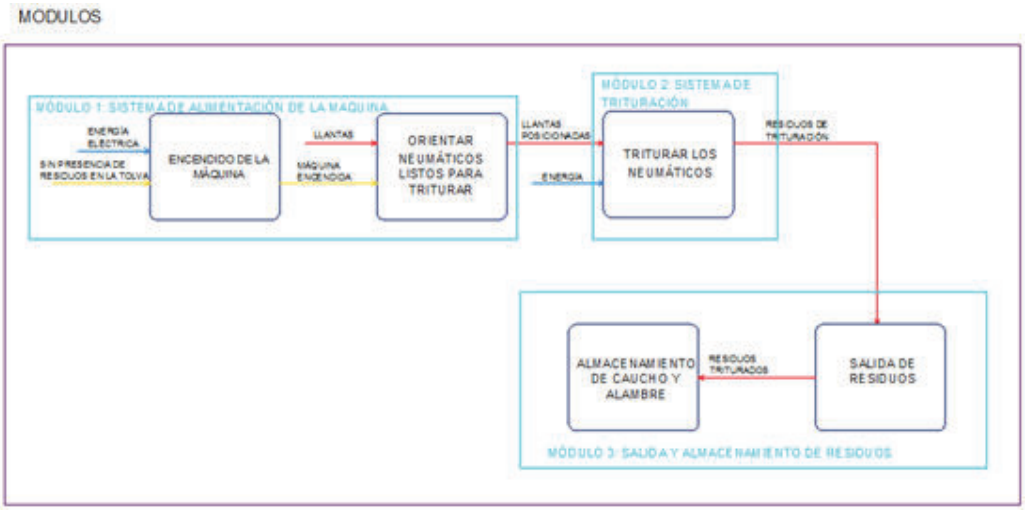


Figura 18: Módulos de la máquina. Fuente: propia

Módulo 1: sistema de alimentación de la máquina.

Módulo 2: sistema de trituración.

Módulo 3: salida y almacenamiento de residuos

3.3. SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO

Cada módulo necesita su solución independiente, a continuación se procede a dar solución a cada uno de estos, los mismos que son sistema de alimentación de la máquina, sistema de trituración y salida y almacenamiento de residuos.

3.3.1. MÓDULO 1: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE LA MÁQUINA

De acuerdo al diagrama funcional, este módulo cumple con las siguientes funciones: transporte de la materia prima hasta la tolva de alimentación e ingreso de la materia prima en la tolva de alimentación.

3.3.1.1. Trasporte de la materia prima hasta la tolva de alimentación.

El trasporte de la materia prima desde la zona de almacenamiento de la materia prima hasta la tolva de alimentación de la maquina puede realizarse mediante 2 métodos, transporte mediante el uso de un vehículo cargador o mediante banda transportadora.

Al hacer el transporte de las materias primas entrantes mediante vehículo cargador se gana capacidad de carga pero se requiere gran espacio para maniobras, lo costos operativos incrementan y se necesita de personal adecuado. En la figura 19 se muestra un ejemplo de vehículo cargador que podría usarse.

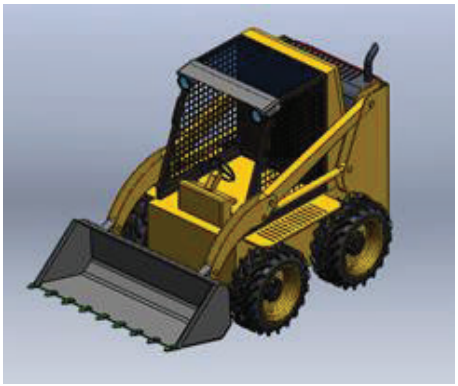


Figura 19: Cargadora. Fuente propia.

También se puede utilizar banda transportadora para el ingreso de material, lo que significaría bajos costos operativos, funcionamiento continuo con la posibilidad de automatizarse y ahorro de espacio. Sin embargo se presenta un inconveniente, cuando una banda transportadora está armada funciona sólo para una entrada y una salida lo que limita la versatilidad en el movimiento de materias e incremento del costo a medida que aumenta la distancia que se tienen que transportar las materias. Un ejemplo de banda transportadora es presentado en la figura 20.

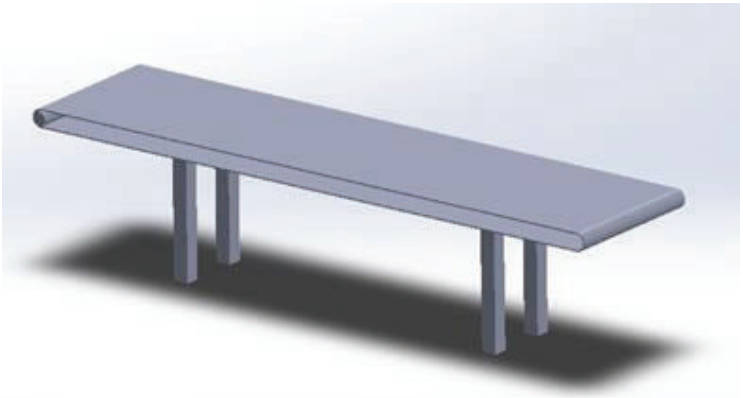


Figura 20: Banda transportadora. Fuente propia

3.3.1.2. Ingreso de la materia prima en la tolva de alimentación

Una vez la materia prima sea transportada hasta la máquina, esta debe ingresar con facilidad y en una posición adecuada, mediante la utilización de una tolva de alimentación; es así que tomando en cuenta la geometría de los neumáticos se establecen dos posibles soluciones a la tolva de alimentación que son el uso de tolva trapezoidal o tolva mixta.

Al usar tolva trapezoidal el montaje y desmontaje se facilita por la forma, la alimentación es más directa y sencilla al igual que la construcción, lo que se traduce a la vez en la disminución del costo de fabricación. Como principal desventaja, el direccionamiento de las materias entrantes es más complicado, en algunas ocasiones no conviene poner este tipo de tolva ya que puede salir material expulsado ya que es completamente abierta en la parte superior. La forma que tienen las tolvas trapezoidales se presenta en la figura 21.

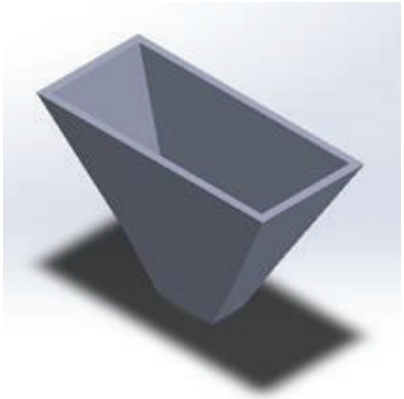


Figura 21: Tolva trapezoidal. Fuente: propia

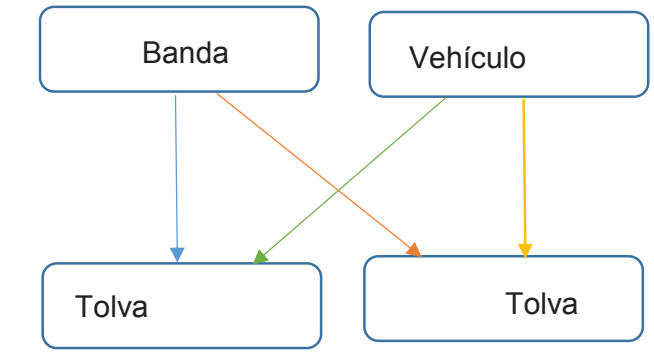
El uso de tolva mixta proporciona mayor seguridad por tener formas definidas y un mejor direccionamiento del material. Sin embargo, entre las desventajas de este sistema están la dificultad de fabricación y montaje mayores al igual que es costo que es muy elevado en comparación a la clásica tova trapezoidal, además por las formas variadas el atascamiento es más común y el mantenimiento más difícil.

Figura 22: Tolva mixta. Fuente: propia

3.3.1.3. Alternativas del módulo 1

Para poder establecer distintas alternativas que brinden solución al módulo, se realizará una combinación de cada solución teniendo varias alternativas que se van a considerar, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9: Alternativa para el módulo 1.

Funciones	
Transporte del material hasta la tolva de	
Ingreso del material	Alternativa 1 Alternativa 2 Alternativa 3 Alternativa 4

3.3.1.4. Evaluación y selección de las alternativas

Para la determinación de la alternativa de solución más conveniente, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados (Riba, 2002), en donde los criterios de valoración más determinantes para este módulo son:

Facilidad de ingreso del material (alimentación).

Capacidad, mayor capacidad de alimentación de neumáticos por ciclo a la máquina.

Costo, menor costo operativo.

Se procede a evaluar y seleccionar el sistema de ingreso más adecuado, entre el uso de una tolva mixta o trapezoidal. La ponderación técnica de los criterios según su importancia es presentada en la tabla 10 en donde se llega a conocer cuáles son más importantes y después se determinará cuál de las alternativas es la que cumple de mejor manera dichos criterios.

Tabla 10: Evaluación de criterios para el módulo 1.

CRITERIO	Facilidad de Alimentación	Capacidad	Costo	Σ+1	Ponderado
Facilidad de Alimentación		0.5	1	2.50	0.42
Capacidad	0.5		1	2.50	0.42
Costo	0	0		1.00	0.17
			Suma	6.00	1.00
Facilidad de alimentación=Capacidad > Costó					

Una vez obtenida la ponderación de criterios, se evalúa cada solución respecto a cada criterio, así como se muestra en las tablas 11, 12 y 13, ubicando en orden de cumplimiento a las soluciones planteadas.

Tabla 11: Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de ingreso del material.

Facilidad de Alimentación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	Σ+1	Ponderado
Solución 1		0.5	1	1	3.50	0.35
Solución 2	0.5		1	1	3.50	0.35
Solución 3	0	0		0.5	1.50	0.15
Solución 4	0	0	0.5		1.50	0.15
				Suma	10.00	1.00
Solución 1= Solución 2> Solución 3=Solución 4						

Tabla 12: Evaluación de las soluciones respecto a la capacidad de alimentación a la máquina.

Capacidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	Σ+1	Ponderado
Solución 1		0.5	0	0	1.50	0.15
Solución 2	0.5		0	0	1.50	0.15
Solución 3	1	1		0.5	3.50	0.35
Solución 4	1	1	0.5		3.50	0.35
				Suma	10.00	1.00
Solución 3= Solución 4> Solución 1=Solución 2						

Tabla 13: Evaluación de las soluciones respecto al costo operativo.

Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	Σ+1	Ponderado
Solución 1		0.5	1	1	2.50	0.31
Solución 2	0.5		1	1	2.50	0.31
Solución 3	0	0		0	1.00	0.13
Solución 4	0	0	1.00		2.00	0.25
				Suma	8.00	1.00
Solución 1= Solución 2> Solución 4> Solución 3						

Finalmente, luego de realizar las evaluaciones de cada uno de los criterios frente a las alternativas de solución se presentan las conclusiones del proceso realizado. Obteniendo ya una evaluación técnica se obtiene también el orden en el que cada solución cumpliría satisfactoriamente las necesidades planteadas. El orden dado no significa obligatoriedad de aplicarla en el diseño pero si una ventaja frente a las demás. Las conclusiones del módulo 1 se presentan en la tabla 14.

Tabla 14: Conclusiones del módulo 1.

Conclusiones	Facilidad de Alimentación	Capacidad	Costo	Σ	prioridad
Solución 1	0.15	0.06	0.05	0.26	1
Solución 2	0.15	0.06	0.05	0.26	1
Solución 3	0.06	0.15	0.02	0.23	3
Solución 4	0.06	0.15	0.04	0.25	2

De los resultados mostrados en la tabla 14 se puede concluir que las soluciones 1 y 2 son las que más se ajustan a los criterios de selección; dando como conclusión que se utilizara la solución 2 o alternativa 2 (Banda-tolva).

3.3.2. MÓDULO 2: SISTEMA DE TRITURACIÓN DE LA MÁQUINA

La única función que tiene el módulo 2 es la de triturar la materia prima que entra. Al igual que en el módulo de sistema de alimentación de la máquina el procedimiento a seguir es el mismo, por tanto se omitirán las explicaciones reiterativas.

3.3.2.1. Trituración de la materia Prima (neumáticos)

La trituración de la materia prima, corresponde al procedimiento mediante el cual se reduce los neumáticos enteros a fragmentos mediante un proceso de trituración, este procedimiento puede realizarse mediante el uso de los tres tipos de trituradoras conocidas para esta aplicación, trituradoras de uno, dos y cuatro ejes.

Al usar sólo un eje de trituración, el montaje y mantenimiento se facilitan al tener menor cantidad de elementos, el giro de las cuchillas puede ser más rápido y el costo de fabricación es menor así como el espacio que se necesita para usar este sistema. Entre las principales desventajas están mantenimiento en menor tiempo lo que se resume en mayor tiempo de para, mayor posibilidad de atrancamiento y

menor capacidad de trituración comparando a la trituradoras de más ejes del mismo tamaño. El acomodamiento del eje-cuchillas se presenta en la figura 23.

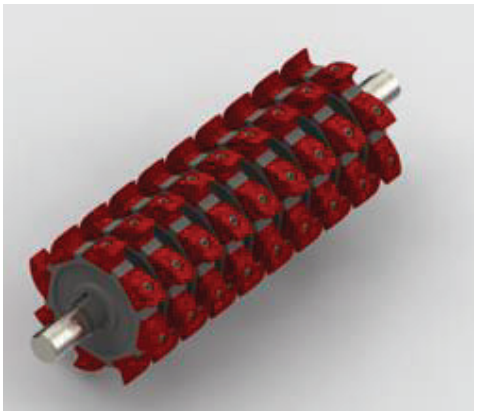


Figura 23: Un solo eje de trituración. Fuente: propia

Utilizar dos ejes de trituración tiene como ventajas una capacidad de trituración mayor, mejor captación del material al atraparlo con dos o más cuchillas a la vez, la fuerza de corte es mayor al tener mayor presión entre cuchillas, se tiene que decir también que el tiempo de para de la máquina por mantenimiento es menor. Las desventajas de este sistema son una mayor complejidad de diseño y montaje en comparación a las de un solo eje y así mismo mayor costo de fabricación. El acomodamiento de dos ejes de trituración se lo presenta en la figura 24.

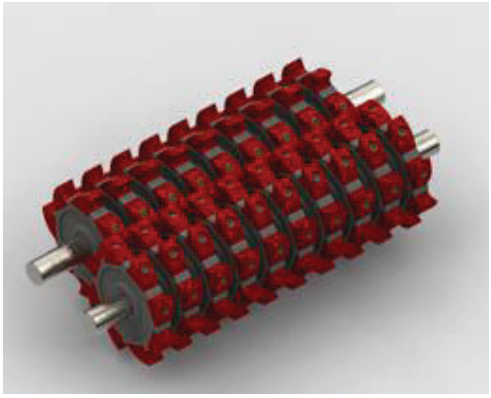


Figura 24: Dos ejes de trituración. Fuente: propia

Mediante cuatro ejes se logra incrementar la capacidad de trituración sin aumentar las dimensiones de los elementos, se pueden triturar volúmenes mayores así como elementos de mayor tamaño. Las desventajas de usar cuatro ejes son el costo de fabricación, el espacio necesario es mayor, así como el peso lo que incrementa la dificultad de movilización y mantenimiento.

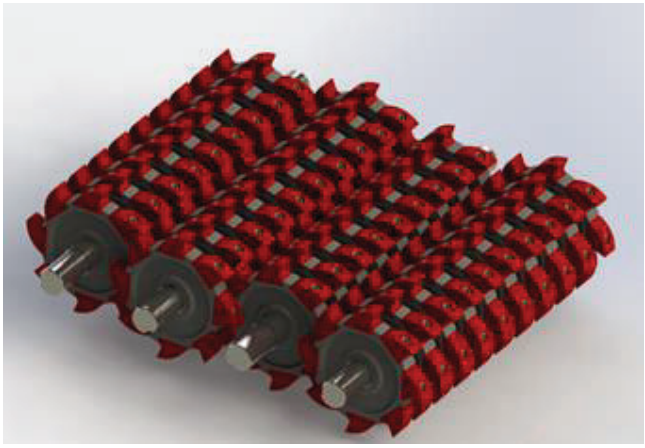


Figura 25: Cuatro ejes de trituración. Fuente: propia

3.3.2.2. Alternativas del módulo 2

En la tabla 15 se muestran las alternativas de solución al módulo dos.

Tabla 15: Alternativas para el módulo 2.

Funciones			
Transporte a la tolva	Trituradora de un eje	Trituradora de dos ejes	Trituradora de cuatro ejes
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

3.3.2.3. Evaluación y selección de las alternativas

Los criterios de valoración determinados para el módulo dos son los siguientes:

Capacidad de trituración

Tamaño, cuál alternativa ocupa menor área física.

Costo, en donde el menor costo fabricación es una ventaja por sobre los demás sistemas.

La evaluación de criterios es presentada en la tabla 16.

Tabla 16: Evaluación de cada criterio.

CRITERIO	Capacidad trituración	Tamaño	Costo	Σ+1	Ponderado
Capacidad Trituración		1	0.5	2.50	0.50
Tamaño	0		0	1.00	0.20
Costo	0.5	0		1.50	0.30
			Suma	**5.00**	**1.00**
Capacidad de trituración > Tamaño > Costo					

La evaluación de las soluciones respecto a cada criterio es presentada en las tablas 17, 18 y 19.

Tabla 17: Evaluación de las soluciones respecto a capacidad de trituración del material.

Capacidad Trituración	un eje	dos ejes	4 ejes	Σ+1	Ponderado
un eje		0	0	1.00	0.17
dos ejes	1		0	2.00	0.33
4 ejes	1	1		3.00	0.50
			Suma	**6.00**	**1.00**
4 ejes > 2 ejes > 1 eje					

Tabla 18: Evaluación de las soluciones respecto al menor tamaño.

Tamaño	un eje	dos ejes	4 ejes	Σ+1	Ponderado
un eje		0.5	1	2.50	0.42
dos ejes	0.5		1	2.50	0.42
4 ejes	0	0		1.00	0.17
			Suma	**6.00**	**1.00**
1 eje = 2 ejes > 4 ejes					

Tabla 19: Evaluación de las soluciones respecto al costo.

Costo	un eje	dos ejes	4 ejes	Σ+1	Ponderado
un eje		1	1	3.00	0.50
dos ejes	0		1	2.00	0.33
4 ejes	0	0		1.00	0.17
			Suma	**6.00**	**1.00**
1 eje > 2 ejes > 4 ejes					

Finalmente, luego de realizar las evaluaciones de cada uno de los criterios frente a las alternativas de solución se presenta la tabla de conclusiones (tabla 20), en la cual se determina el orden en el cual los sistemas cumplen con las necesidades establecidas.

Tabla 20: Conclusiones del módulo 2.

Conclusiones	Capacidad Trituración	Tamaño	Costo	Σ	prioridad
un eje	0.08	0.08	0.15	0.32	3
dos ejes	0.17	0.08	0.10	0.35	1
4 ejes	0.25	0.03	0.05	0.33	2

En la tabla 20 se pude encontrar los resultados, que llevan a concluir que la solución 2 (trituración mediante 2 ejes) es la solución o alternativa que más se ajusta a los criterios de selección.

3.3.3. MÓDULO 3: SALIDA Y ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS.

El módulo 4 realiza dos funciones específicas las cuales son la salida del material desde la cámara de trituración y almacenamiento del material triturado.

3.3.3.1. Salida del material desde la cámara de trituración

Cuando se ha completado el proceso de trituración, el material triturado sale de la cámara de trituración y del área de recirculación, razón por la cual se plantea dos métodos que permitan una salida adecuada del material.

Tener una salida directa es el método más económico y nos da la posibilidad de utilizar varios tipos de recipientes de almacenaje. Las desventajas son que existe desperdicio del material de salida y la necesidad de personal para la extracción completa de los restos.

Si se usa una banda transportadora, la evacuación del material triturado es más veloz y se pueden extraer mayor cantidad de residuos, lo que además permite un funcionamiento continuo de la máquina. Se pueden ubicar los restos a una distancia segura o direccionarlos hacia un recipiente deseado y el desperdicio de material es menor. Las desventajas principales son el costo y dificultad de instalación por la necesidad de determinar velocidad de la banda y el espacio físico grande que se necesita.

3.3.3.2. Almacenamiento del material triturado

El material triturado luego de culminar todo su proceso debe ser almacenado, razón por la cual se requiere una función que se encargue de ese procedimiento, se plantea dos soluciones para almacenar este material triturado que son en recipiente fijo y recipiente móvil.

Al almacenar en recipiente fijo, el costo es menor al igual que la capacidad de fabricación. Entre las desventajas están la dificultad de extraer material almacenado y el espacio físico grande que ocuparía como se muestra en la figura 26.

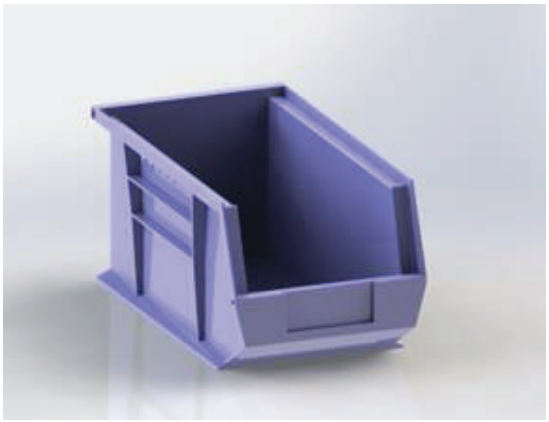


Figura 26: Recipiente fijo. Fuente: propia

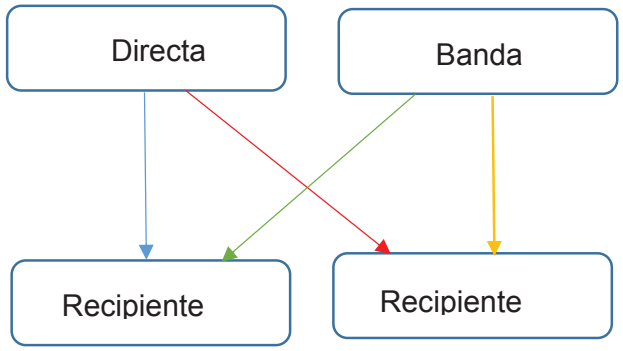
El almacenamiento en recipiente móvil brinda facilidad para extraer el material triturado u para transportarlo. El costo es mayor, además cuando este esté fuera del conjunto el proceso tendría que detenerse o intercambiar recipientes de almacenamiento lo que es factible por la movilidad de estos.

Figura 27: Recipiente móvil, Fuente: propia

3.3.3.3. Alternativas del módulo 3

Para poder establecer distintas alternativas que brinden solución al módulo tres, se realizará una combinación de cada solución, como se muestra en la tabla 21. Para el presente sistema se tienen 4 alternativas de soluciones resultado de dichas combinaciones.

Tabla 21: Alternativas para el módulo 4

Funciones	Alternativa 1 Alternativa 2 Alternativa 3 Alternativa 4
Salida del material triturado desde la cámara de trituración	
Almacenamiento de material triturado	

3.3.3.4. Evaluación y selección de las alternativas

Siguiendo con el procedimiento de diseño concurrente propuesto por Carles Riba, se deben determinar los criterios de valoración más determinantes del módulo tres, los mismos que son:

Extracción de triturado que es la capacidad para extraer la mayor parte del triturado con la menor generación de desechos posible

Versatilidad de recolección se refiere a la capacidad para adaptarse de mejor manera a la situación de recolección

Costo del sistema el mismo que es considerado como criterio por su importancia al momento de realizar un diseño con presupuesto limitado.

La ponderación de los criterios que intervienen en el módulo 4 se presenta a continuación en la tabla 22.

Tabla 22: Evaluación de los criterios para el módulo 4.

CRITERIO	Extracción de triturado	Versatilidad de recolección	Costo del Sistema	Σ+1	Ponderado
Extracción de triturado		0.5	1	2.50	0.42
Versatilidad de recolección	0.5		1	2.50	0.42
Costo del Sistema	0	0		1.00	0.17
			Suma	**6.00**	**1.00**
Extracción de triturado=Versatilidad de recolección> Costo del sistema					

En las tablas 23, 24 y 25 se presenta la comparación entre criterios determinados y las soluciones del módulo 3.

Tabla 23: Evaluación de las soluciones respecto a la capacidad de extracción del triturado.

Extracción de triturado	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	Σ+1	Ponderado
Solución 1		1	0	0	2.00	0.20
Solución 2	0		0	0	1.00	0.10
Solución 3	1	1		1	4.00	0.40
Solución 4	1	1	0		3.00	0.30
				Suma	**10.00**	**1.00**
Solución 3> Solución 4 > Solución 1 > Solución 2						

Tabla 24: Evaluación de las soluciones respecto a la versatilidad de recolección

Versatilidad de recolección	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	Σ+1	Ponderado
Solución 1		1	0	0	2.00	0.20
Solución 2	0		0	0	1.00	0.10
Solución 3	1	1		1	4.00	0.40
Solución 4	1	1	0		3.00	0.30
				Suma	**10.00**	**1.00**
Solución 3 > *Solución 4* > *Solución 1* > *Solución 2*						

Tabla 25: Evaluación de las soluciones respeto al costo del sistema

Costo del Sistema	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	Σ+1	Ponderado
Solución 1		0.5	1	1	2.50	0.33
Solución 2	0.5		1	1	2.50	0.33
Solución 3	0	0		0.5	1.00	0.13
Solución 4	0	0	0.50		1.50	0.20
				Suma	**7.50**	**1.00**
Solución 1= *Solución 2* > *Solución 4* > *Solución 3*						

Finalmente luego de realizar las evaluaciones de cada uno de los criterios frente a las alternativas de solución se presentan las conclusiones en la tabla 26 donde se ubican en orden de cumplimiento de las necesidades de modulo tres las soluciones propuestas

Tabla 26: Conclusiones del módulo 4.

Conclusiones	Extracción de triturado	Versatilidad de recolección	Costo del Sistema	Σ	prioridad
Solución 1	0.08	0.08	0.06	0.22	3
Solución 2	0.04	0.04	0.06	0.14	4
Solución 3	0.17	0.17	0.02	0.36	1
Solución 4	0.13	0.13	0.03	0.28	2

En la tabla 26 se llega a concluir que la solución más ajustada a los criterios de evaluación es la solución 2, la cual corresponde al utilización de un sistema compuesto por una banda de recepción de salida de material y un recipiente móvil.

CAPÍTULO 4. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

4.1. DISEÑO DEL EJE

Para realizar el diseño del eje, se deben tener en cuenta consideraciones generales, las cargas presentes en el mismo realizando diagramas del cuerpo libre, hacer primero un cálculo estático seguido del cálculo dinámico, comprobar mediante el criterio de cálculo y determinar la equivalencia en una geometría requerida.

4.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Entre las consideraciones generales se contemplan geometría, material y dimensiones, todas estas deben determinarse antes de realizar cálculos para tener todas las variables necesarias determinadas.

4.1.1.1. Geometría

El eje deberá permitir organizar los elementos de corte (cuchillas) de manera que estas puedan tener un desfase entre sí, razón por la cual se podrá realizar un eje de forma hexagonal u octogonal, dependiendo de los requisitos de desfase. Para el caso actual se plantea un eje hexagonal, que permite un desfase entre cuchillas mínimo, aumentando el tiempo de contacto con el neumático y las cuchillas.

Para poder ser acoplado a un sistema de transmisión (motor) y a un sistema de sujeción (rodamientos) el eje dispondrá de secciones circulares a cada extremo. En la figura 28 se muestra un esquema de la geometría final que tendrá el eje en vista isométrica para mejorar la apreciación.

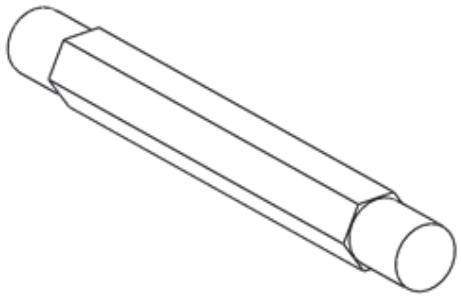


Figura 28: Geometría del eje, vista isométrica. Fuente: propia

4.1.1.2. Material

El material recomendado para la fabricación de ejes es el acero de transmisión SAE 1020, caracterizado por tener alta tenacidad (en especial en su núcleo), además de las propiedades cuantitativas que se utilizarán para el diseño que son: esfuerzo máximo de fluencia (Sy = 205MPa) y esfuerzo ultimo a la tracción: Sut = 380 MPa (Shigley, 2002, p. 1145).

4.1.1.3. Dimensiones

Considerando el alcance el proyecto (trituración hasta llantas R22.5), es decir un diámetro total de 1143 mm, se ha concluido que la parte hexagonal (zona en la cual estarán ubicadas las cuchillas) del eje tendrá una longitud aproximada de 1300mm variando según avance el diseño. Las dimensiones finales del eje deberán tener en la parte hexagonal como mínimo la medida del neumático más grande, debido a que el neumático ingresa y comienza a ser triturado por la zona de contacto tangencial entre el mismo y las cuchillas (figura 29); a un tiempo determinado en el cual ya se ha procesado aproximadamente la mitad del neumático (figura 30), las cuchillas de los extremos trabajaran, razón por la cual es necesario que el eje disponga de las medidas necesarias para poder distribuir cuchillas en toda esta longitud.

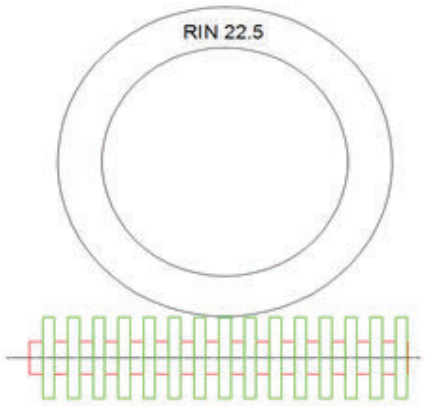


Figura 29: Primer contacto neumático-eje. Fuente: propia

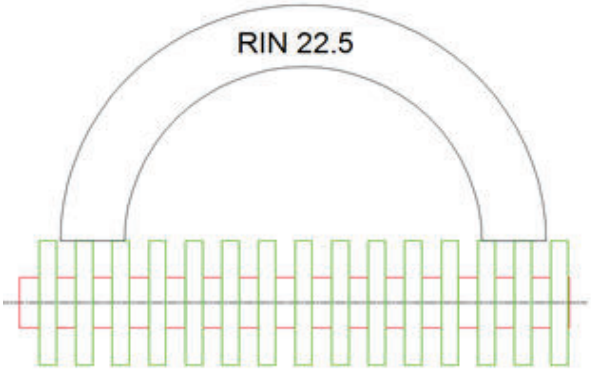


Figura 30: Contacto en la zona media del neumático. Fuente: propia

Las dimensiones transversales se las obtiene mediante cálculos a fatiga por tratarse de un elemento que va a trabajar bajo cargas cíclicas.

4.1.2. CARGAS PRESENTES EN EL EJE

Las cargas que el eje tiene que soportar son el peso propio, peso de las cuchillas, torsión de entrada del motor, torque necesario para romper los alambres de acero y reacciones sobre rodamientos.

4.1.2.1. Peso propio del eje

Por la investigación realizada, los ejes de una máquina trituradora deben ser más robustos que en otras aplicaciones debido a las cargas de torsión presentes en el proceso. En consecuencia, el peso de estos va a aumentar de manera considerable y tiene que ser tomado en cuenta en el diseño. Se lo considera como una carga

distribuida a lo largo de todo el eje, pudiendo ser reemplazada por una carga puntual en el centro del mismo, para lo cual el peso exacto del eje se lo determinara mediante el software SOLIDWORKS.

4.1.2.2. Cargas puntuales por el peso de las cuchillas

Según (Shih A., McCall R., Kinematics and Wear of Tool Blades for Scrap Tire Shredding, 2004), el ancho de las cuchillas deberá estar en rangos desde 40mm hasta 50mm, siendo para este caso la elección de los diseñadores un ancho de 40 mm, debido a que su disponibilidad en el mercado es mayor que de un ancho de 50mm.

Para el diámetro exterior de las cuchillas, el material y el espesor, es necesario considerar su peso dentro de las cargas influyentes en el proceso. Se determinará su peso exacto mediante el software SOLIDWORKS

Es necesario considerar la distancia entre las cuchillas, ya que primero esta distancia será la que determine el tamaño de los restos triturados (figura 30), además de la ubicación de las cargas (Shih A., McCall R., Kinematics and Wear of Tool Blades for Scrap Tire Shredding, 2004).

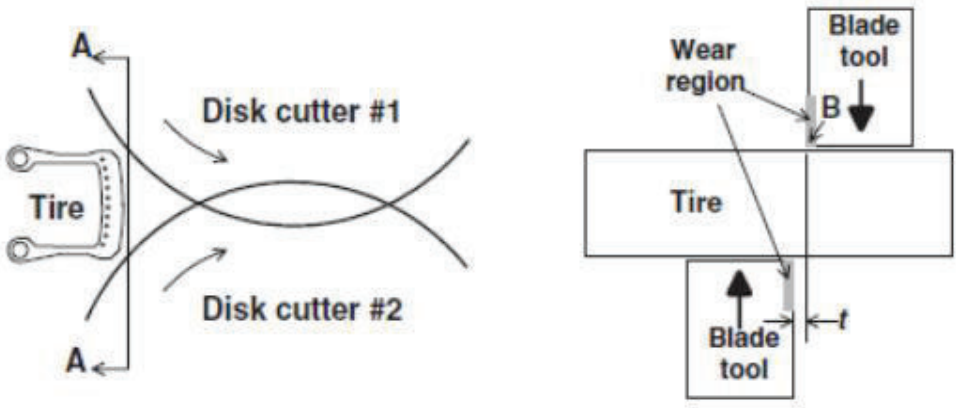


Figura 31: Esquema de trituración y espacio entre cuchillas.[31]

Las cargas de las cuchillas sobre el eje van a estar distribuidas a lo largo y a la misma distancia, para lo que, haciendo el esquema de los ejes en conjunto con las cuchillas (Figura 32), se puede determinar la cantidad exacta de cuchillas que va a

[31] *Shih A., MCll R., Kinematics and Wear of Tool Blades for Scrap Tire Shredding*

soportar el eje y así sacar una carga concentrada equivalente en el centro del mismo.

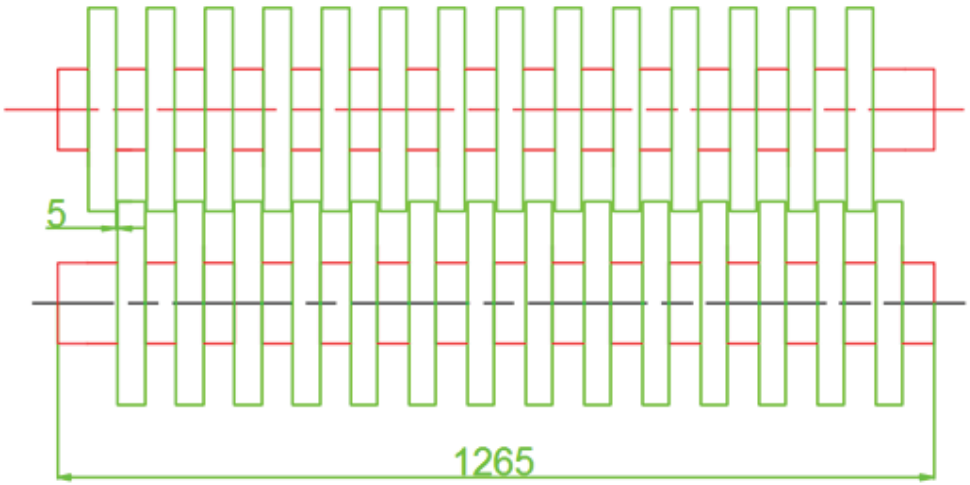


Figura 32: Esquema eje-cuchillas-separadores. Fuente: propia

De la figura 32, se determina que el número total de cuchillas para cada eje es catorce.

El peso total de las cuchillas se lo puede determinar mediante la ecuación (4.1)

$$W_T = W * Número\ de\ cuchillas \tag{4.1}$$

Donde:

W: Peso individual de cada cuchilla

W_T: Peso de un número determinado de cuchillas

4.1.2.3. Torsión en el eje por el proceso de trituración.

Como primera consideración, se tomarán en cuenta las fuerzas de corte que se tienen que ejercer para realizar el proceso de trituración ya que estas generarán un torque sobre el eje. Los cables de acero, soporte estructural del neumático, son el elemento crítico a la hora de determinar estas fuerzas. Siendo un conjunto de 64 alambres de acero de diámetro 1.6mm, la fuerza máxima de corte necesaria para

realizar el proceso es de 152 kN[32], lo que nos va a dar el valor final del torque a considerar mediante la siguiente ecuación:

$$T = F_c * r \quad (4.2)$$

Donde:

T: Torque sobre el eje

F_c: Fuerza máxima de corte = 152kN

r: Radio desde el centro del eje hasta el extremo de la cuchilla = 150mm

Por tanto:

$$T = 22800\ N - m$$

Se considera que durante el proceso existirán siempre dos cuchillas cortando el alambre de acero del neumático, por tanto el torque que se deberá entregar será del doble del necesario para cortar un solo alambre.

4.1.2.4. Diagrama de cuerpo libre del eje

Se considera el peso del eje como una carga concentrada central, al igual que el peso total de las cuchillas, concluyendo que es posible unir esta carga total en una sola. Un torque de entrada en el extremo y dos torques de salida en las dos cuchillas del medio que estarían cortando el alambre del neumático; asumiendo que al momento de realizar el contacto con el neumático dos cuchillas estarán trabajando. El momento de entrada debe ser el total del torsor de cada cuchilla para poder vencer cortes simultáneos. El diagrama del cuerpo libre, que contiene todas las cargas y reacciones en eje es presentado en las figuras 33 y 34.

[32] Méndez, C. and Solano, F. (2016). Diseño de un triturador de neumáticos usados. Ingeniería. UPS, p. 116.

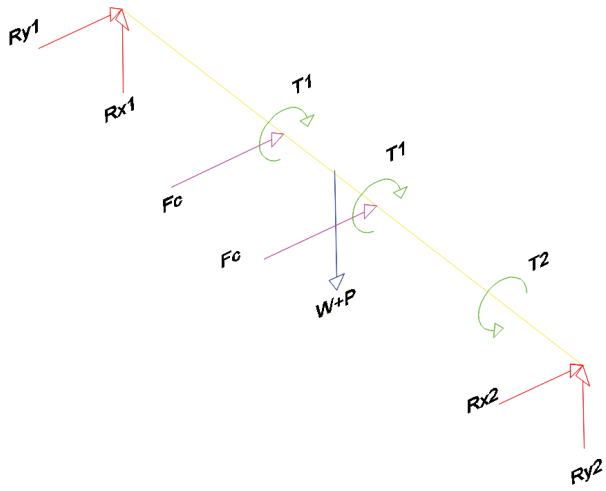


Figura 33: Diagrama del cuerpo libre. Fuente: propia

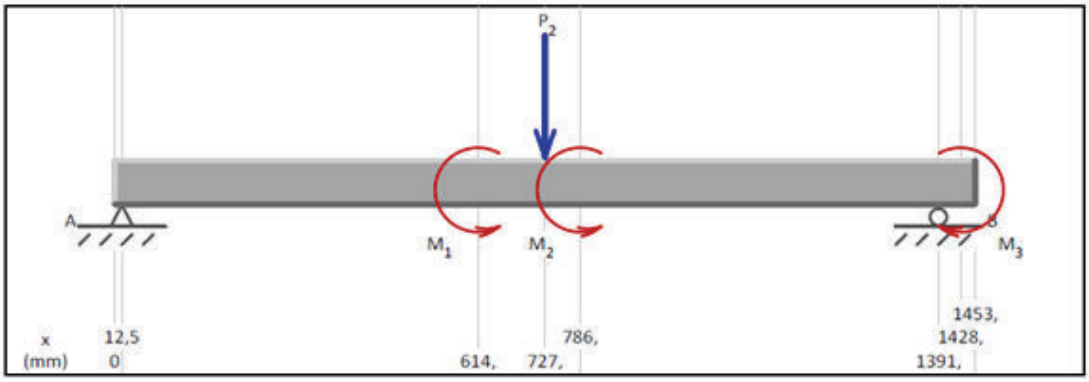


Figura 34: Cargas presentes en el eje Fuente: propia

Donde:

W+P=P2: peso del propio eje considerado como carga concentrada más peso de las cuchillas consideradas como carga concentrada

T1=M1=M2: momento torsor necesario para romper un alambre de acero del neumático.

Fc= Fuerza que produce el momento torsor

T2=M3: momento torsor necesario de entrada.

4.1.3. CÁLCULO ESTÁTICO DEL EJE

Para realizar el cálculo estático, se deben hacer los diagramas de corte, momento flector y momento torsor, seguido de la aplicación del criterio de cálculo seleccionado por los diseñadores. Se tomará en cuenta que la fuerza de torsión es la que produce mayores efectos en el eje, razón por la cual solo se realizará el análisis para esta fuerza de torsión.

4.1.3.1. Diagramas estáticos del eje

Es necesario realizar los diagramas de corte, momento flector momento torsor para el diseño, los mismos que serán mostrados en las ilustraciones 35, 36 y 37 respectivamente.

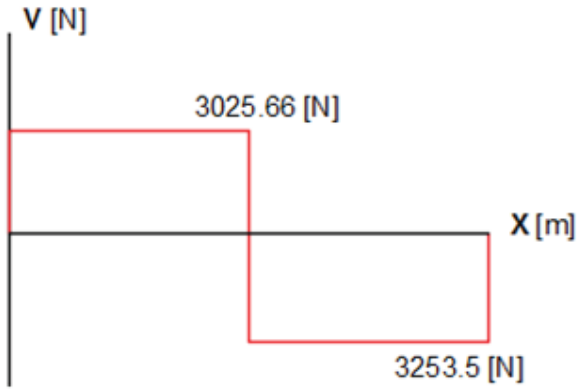


Figura 35: Diagrama de fuerzas cortantes sobre el eje Fuente propia

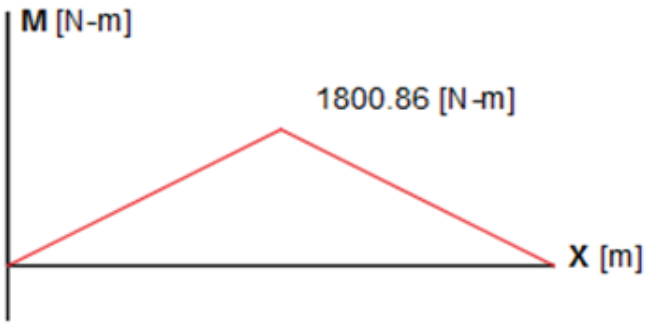


Figura 36: Diagrama de momento flector. Fuente: propia

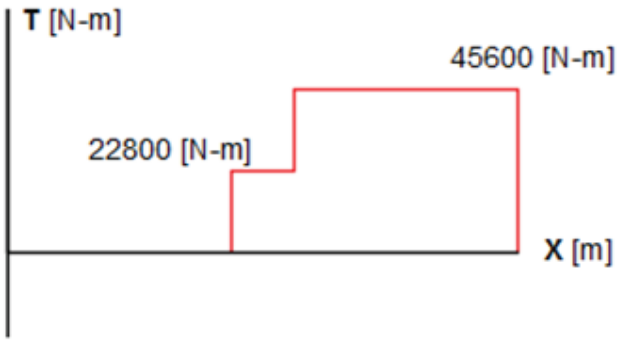


Figura 37: Diagrama de momento torsor Fuente: propia

De los diagramas presentados, se determinan las fuerzas cortantes, torques y momentos máximos que van estar presentes en el eje, el mismo que va a considerar estos valores para su diseño.

$$T_{máx} = 45600 N_m$$

$$M_{máx} = 1800.86\ N_m$$

4.1.3.2. Cálculos

El esfuerzo que se va a producir por los efectos de torsión y flexión lleva a un análisis de esfuerzos combinados para lo que se aplicarán dos teorías de diseño:

- Teoría de esfuerzo cortante máximo o teoría de Guest, la cual está definida por:

$$\tau_{máx} = \frac{1}{2}\sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \quad (4.3)$$

Donde:

τ: Esfuerzo inducido por el momento torsor

$$\tau = \frac{16\,T}{\pi\,d^3} \quad (4.4)$$

σ_b: Esfuerzo provocado por la flexión

$$\sigma_b = \frac{32\,M}{\pi\,d^3} \quad (4.5)$$

Considerando un factor de seguridad de 2.5

$$\tau = \frac{\tau_o}{2.5} \quad (4.6)$$

Donde:

τ_o: Esfuerzo admisible del material a corte = 205 MPa

$$\tau = 82\ MPa$$

Además:

$$\sigma_b = \frac{\sigma_o}{2.5} \quad (4.7)$$

Donde:

σ_o: Esfuerzo admisible del material a tracción = 380 MPa

$$\sigma_b = 152 MPa$$

El diámetro del eje según el criterio Guest para esfuerzo cortante máximo se lo calcula mediante la ecuación:

$$T_e = \sqrt{M^2 + T^2} = \frac{\pi}{16} * \tau * d^3 \quad (4.8)$$

Donde:

T_e: Momento torsor equivalente

d: diámetro del eje

$$T_e = 45635.5\ N_{mm}$$

De la ecuación (4.8) se tiene que:

$$d = 141.52\ mm$$

- Teoría de esfuerzo normal máximo o teoría de Rankine.

Con las mismas ecuaciones, la variación es la consideración de los esfuerzos para el cálculo del diámetro:

$$M_e = \frac{1}{2}\left(M + \sqrt{M^2 + T^2}\right) = \frac{\pi}{32} * \sigma_b * d^3 \quad (4.9)$$

Donde:

M_e: Momento flector equivalente

$$M_e = 23718.18\ N_m$$

El diámetro según este criterio es:

$$d = 116.7\ mm$$

Por tanto el diámetro considerado será de 142 mm.

4.1.4. CÁLCULO DINÁMICO DEL EJE

Sabiendo que el eje va a estar sometido a cargas cíclicas, se debe hacer un cálculo dinámico para vida infinita mediante alguno de los criterios existentes, lo que va a variar el diámetro final por la influencia de un número mayor de factores influyentes.

4.1.4.1. Factores de corrección

El diseño a fatiga requiere tomar en cuenta factores que afectan al diseño del eje, estos pueden ser debido a acabados superficiales, tratamientos térmicos, cambios de sección etc. Estos factores influyen dentro del límite de resistencia a la fatiga (Se)

Se considera para ese cálculo la ecuación 4.10.

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e^{'} \quad (4.10)$$

$$S_e^{'} = 0.5\ S_{ut} \quad (4.11)$$

$$S_e^{'} = 190\ MPa$$

Los factores de corrección, según (Shigley, J. and Mischke, C. (2002). Diseño en ingeniería mecánica. México [etc.]: McGraw-Hill. Págs.: 380-393) son:

k_a: Factor de superficie

$$k_a = aS_{ut}^b * LN(1, C) \quad (4.12)$$

a = 4.45

b = -0.205

$$k_a = 0.9219$$

k_b: Factor de tamaño

$$k_b = 0.859 - 0.000837d \quad (4.13)$$

Para: $51 < d \leq 254\ mm$

$$k_b = 0.74$$

k_c: Factor de confiabilidad

$$k_c = 0.897$$

Para confiabilidad del 90%

k_d: Factor de temperatura

$$k_d = 1$$

Para temperaturas menores a 450 ºC

k_e: Factor de concentradores de esfuerzos

Por el proceso de trituración, se debe considerar dos efectos, flexión y torsión, para lo cual:

k_{ef}: Factor de concentradores de esfuerzos a flexión

$$k_{ef} = \frac{1}{k_F} \quad (4.14)$$

$$k_F = 1 + q(k_t - 1) \quad (4.15)$$

Donde:

q: Sensibilidad a las ranuras para cargas flexionantes o axiales

$$q = 0.8$$

k_t: Factor de cambio de sección para cargas axiales y flexionantes

$$k_t = 1.897$$

$$k_{ef} = 0.58$$

k_{eT}: Factor de concentradores de esfuerzos a torsión

$$k_{eT} = \frac{1}{k_{Fs}} \quad (4.16)$$

$$k_{Fs} = 1 + q_s(k_{ts} - 1) \quad (4.17)$$

Donde:

q_s: Sensibilidad a las ranuras para cargas de torsión

$$q_s = 0.9$$

k_{ts}: Factor de cambio de sección a torsión

$$k_{ts} = 1.75$$

$$k_{eT} = 0.34$$

k_f: Factor de efectos diversos

$$k_f = 1$$

Por la ausencia de factores no incluidos

Por tanto:

$$S_e = 39.79\ MPa$$

4.1.4.2. Aplicación del criterio de ASME Elíptico para ejes bajo cargas cíclicas y vida infinita

Siguiendo con la ecuación de ASME Elíptico:

$$D = \left(\frac{32\ n}{\pi}\sqrt{\left[\frac{k_t * M}{S_e}\right]^2 + \frac{3}{4}\left[\frac{T}{S_y}\right]^2}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.18)$$

Para *n*=2.5 (Factor de seguridad)

$$D = 175\ mm$$

4.1.5. COMPROBACIÓN DEL DISEÑO DEL EJE

Según (ANSI/ASME B106.1.M-1985, Design of Transmission Shafting), el eje debería estar dentro de la zona segura representada en la ilustración 38, lo que se comprueba a continuación:

$$\sigma_b = \frac{32\ M}{\pi\ d^3} = 3.43\ MPa \quad (4.19)$$

$$\frac{\sigma_b}{S_e} = 0.0862 \tag{4.20}$$

$$\tau = \frac{16\,T}{\pi\,d^3} = 43.33\ MPa \tag{4.21}$$

$$\frac{\tau}{S_{Sy}} = 0.4 \tag{4.22}$$

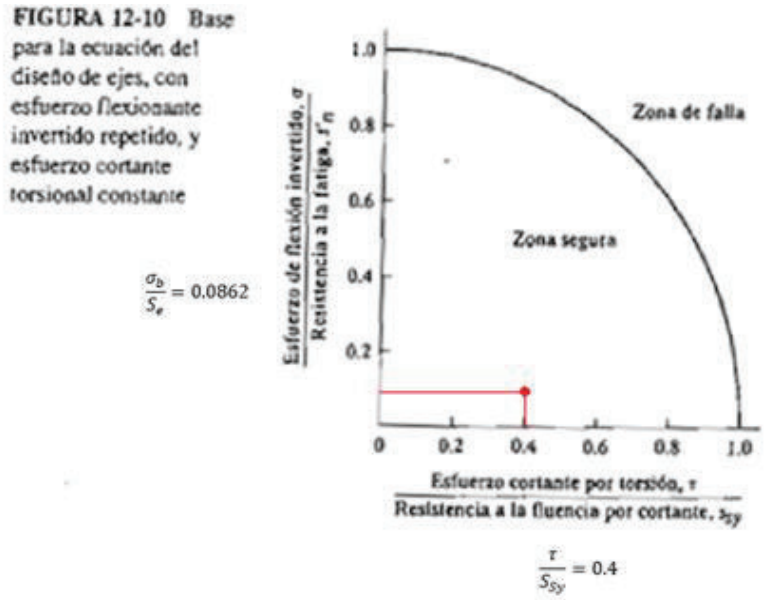


Figura 38: Comprobación del diseño del eje. [33]

4.1.6. EQUIVALENCIA HEXAGONAL DEL EJE

Como ya se mencionó, es necesario que el eje tenga forma hexagonal y por la robustez necesaria de la máquina, se ha decidido considerar el diámetro de 175 mm como el del círculo inscrito del hexágono, y para facilitar proceso de fabricación, el mismo quedará con las siguientes dimensiones finales en su sección hexagonal:

[33] Diseño de elementos de máquinas Robert L. Mott, fig. 12.10

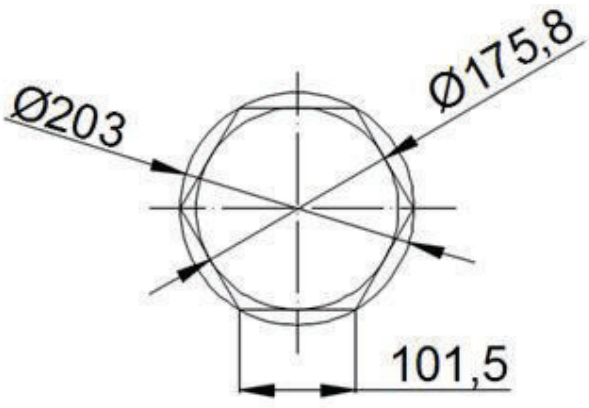


Figura 39: Equivalencia hexagonal del eje. Fuente: propia

4.2. DISEÑO DE LA CAJA DE TRITURACIÓN

Para realizar el diseño de la caja de trituración, se deben tener en cuenta consideraciones generales, las cargas presentes en la misma realizando diagramas del cuerpo libre y finalmente hacer los cálculos necesarios.

4.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La caja de trituración cumple con varias funciones, entre ellas direccionar los restos del proceso, soportar los pesos de ambos ejes, cuchillas y material a triturar, tener los alojamientos para rodamientos y demás elementos, entre otras. Las consideraciones generales son geometría, material y dimensiones.

4.2.1.1. Geometría

La caja tendrá sección rectangular; en los extremos deberá tener los alojamientos para rodamientos y elementos de soporte axial. A los costados, esta deberá tener cejas entre las cuchillas para asegurar la caída del material triturado junto con los respectivos alojamientos para tornillos y elementos de sujeción entre esta y los demás elementos de la máquina como bastidor y tolvas.

4.2.1.2. Material

Por las condiciones de funcionamiento de la caja, se necesita un material con alta tenacidad, por lo que se ha escogido acero estructural ASTM A-36, el cual tiene un $S_y = 36\ ksi = 250\ MPa$ y cumple con las condiciones de uso.

4.2.1.3. Dimensiones

Estas dependerán de la geometría que la caja deberá tener, espesor mínimo de sección, elementos necesarios para el funcionamiento como rodamientos, elementos de fijación, tapas, dimensiones finales de elementos, por tanto estas podrán revisarse en los planos de taller de la misma.

4.2.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS ACTUANTES

La única carga actuante sobre la caja de trituración es el peso de los dos conjuntos (eje, chuchillas, separadores, tolva, rodamientos, etc.), lo que se determinará mediante el software de simulación, considerando el peso de los neumáticos despreciable frente al del conjunto influyente sobre la caja.

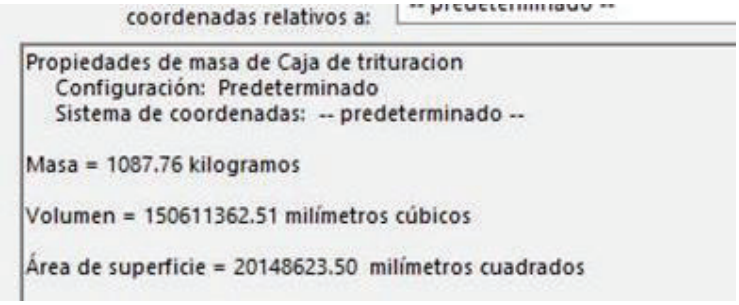


Figura 40: Propiedades del conjunto de trituración. Fuente propia

$$P_c = 1087.76\ kgf = 10660.1\ N$$

4.2.3. CÁLCULOS DE DISEÑO

Como ya se dijo, la caja va a estar actuando únicamente a compresión y tendrá 4 apoyos sobre los cuales van a estar asentados los dos ejes, es decir que el peso total va a estar distribuido en 4 partes iguales, para lo cual la ecuación de diseño será:

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_T} \leq [\sigma] = \frac{S_y}{F.S.} \tag{4.23}$$

Donde:

σ_c : Esfuerzo de compresión

A_T: Área transversal del soporte de la caja

S_y: Esfuerzo máximo de fluencia = 250 MPa

F.S.: factor de seguridad = 2

σ: Esfuerzo admisible del material = 125 MPa

De la ecuación X, se determina:

$$A_T = 8.53 * 10^{-5} m^2$$

El área transversal se define por la siguiente ecuación:

$$A_T = e * d \tag{4.24}$$

Donde:

e: espesor de la caja

d: diámetro exterior del rodamiento de soporte = 230 mm = 0.23 m

De la ecuación Y:

$$e = 3.7 * 10^{-4} m = 0.4 mm$$

Para comprobar el diseño, se considera la esbeltez del elemento mediante la fórmula:

$$\lambda = \frac{L}{r_{mín}} < 240 \tag{4.25}$$

Donde:

λ: Esbeltez

L: longitud total del elemento = 200 mm (Valor asumido)

$r_{mín}$: radio de giro menor de la caja = $e/2$

De la ecuación 4.25, se determina que el espesor mínimo de la caja deberá ser de:

$$e > 1.7\ mm$$

En conclusión, la caja podría ser hecha de chapa metálica de 2 mm de espesor para soportar las cargas, sin embargo la funcionalidad de la misma hace que sus espesores sean mayores, para alojar rodamientos, elementos de sujeción como pernos, soportar soldadura de ser necesario, etc.

4.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

Para realizar el diseño de la estructura de soporte, se deben tener en cuenta consideraciones generales, las cargas presentes en la misma realizando diagramas del cuerpo libre y finalmente los cálculos necesarios.

4.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La estructura de soporte tiene que contener el peso de todo el conjunto (cuchillas, ejes, tolva, caja de trituración, motores, reductores, rodamientos y demás elementos), por lo que en un principio se supone un diseño a compresión, sin embargo se debe considerar flexión en elementos horizontales junto con la consecuencia de este efecto en los elementos verticales, además de soportes en cruz para evitar vibraciones altas y efecto de pandeo en algunos elementos. Las consideraciones generales son geometría y material.

4.3.1.1. Geometría

La estructura será hecha con tubos estructurales de sección cuadrada, con soportes en cruz en la zona crítica (donde exista esfuerzo de flexión), junto con soportes horizontales para que sostengan la máquina.

4.3.1.2. Material

Se utilizará acero estructural A36 por las propiedades ya mencionadas anteriormente, las mismas que le dan a este material la preferencia en el diseño de bastidor.

4.3.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS ACTUANTES

Los apoyos de los rodamientos están presentes en las caras transversales de la caja de trituración, es decir que estas van a ser las que soporten el peso del conjunto (ejes-cuchillas-rodamientos-caja-tolva), además por cada lado habrá un motor con su respectivo reductor planetario, sabiendo los pesos totales se realiza los diagramas de cuerpo libre y determina las cargas.

4.3.2.1. Diagrama de cuerpo libre sobre la sección crítica del bastidor

Esta sección mencionada es la que se encuentra debajo de las caras transversales de la caja de trituración, ya que va a ser la encargada de soportar estos pesos más los del motor y reductor, por tanto:

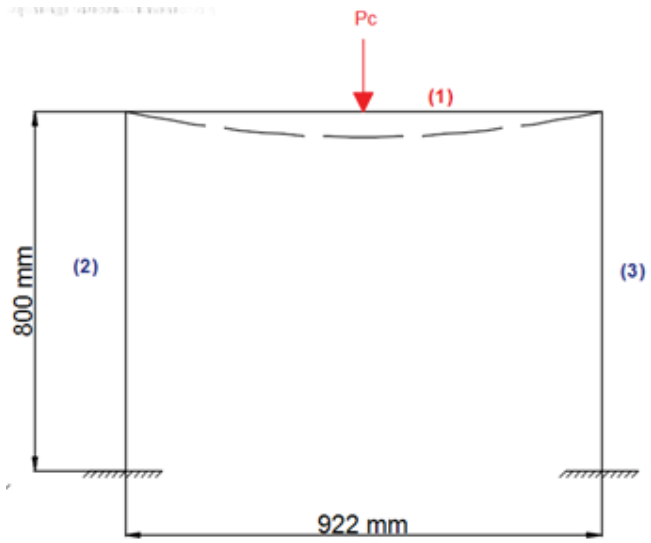


Figura 41: Diagrama del cuerpo libre de cargas actuantes sobre la sección crítica.
Fuente: propia

Donde “Pc” es el peso total de los componentes que va a soportar dicha sección (todo el conjunto).

Es necesario considerar todos los efectos que esta carga genera, como flexión pura en el elemento (1) y flexión y compresión en los elementos (2) y (3), para lo cual se desglosa el diagrama del cuerpo libre presentado en las cargas que van a generar los diferentes efectos.

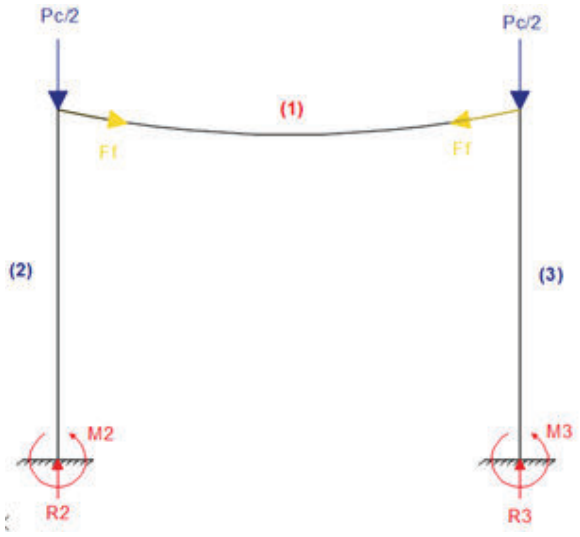


Figura 42: Diagrama del cuerpo libre de cargas sobre elementos (2) y (3) de la sección crítica. Fuente: propia

4.3.3. CÁLCULOS DE DISEÑO

Se realizan por separados los cálculos de los elementos del sistema, es decir primero los cálculos del elemento (1) y luego los de los elementos (2) y (3) simultáneamente por ser iguales y tener las mismas cargas

4.3.3.1. Diseño del elemento (1)

Este soporte horizontal va a estar sometido a flexión pura debido a Pc, por tanto de la ecuación de diseño a flexión que considera momentos flectores:

$$\sigma_{máx} = \frac{M_{máx}}{S_{xx}} \leq \sigma = \frac{S_y}{F.S.} \tag{4.26}$$

Donde:

$\sigma_{máx}$: Esfuerzo máximo al que será sometido la estructura.

$M_{máx}$: Momento flector máximo como consecuencia de Pc (obtenido de los diagramas de corte y momento).

S_{xx}: Inercia del elemento

$[\sigma]$: Esfuerzo admisible del material

S_y: Esfuerzo de fluencia = 250 MPa para acero AWS A36.

$F.S.$: Factor de seguridad = 2.2 (Para momentos flectores)

Para la realización de los diagramas es necesario primero encontrar la carga total actuante sobre el elemento (1), es decir Pc, la que se obtiene de la siguiente fórmula:

$$P_C = P_M + P_R + \frac{P_{st}}{2} \tag{4.27}$$

Donde:

P_C: Peso del conjunto

P_M: Peso del motor = 7212.8 N

P_R: Peso del reductor = 4286.97 N

$\frac{P_{st}}{2}$: Peso del subconjunto de trituración obtenido del software de simulación (ejes-cuchillas-caja de trituración-rodamientos-vinchas) dividido para 2 ya que este se distribuye en ambos soportes laterales = 8319.42 N.

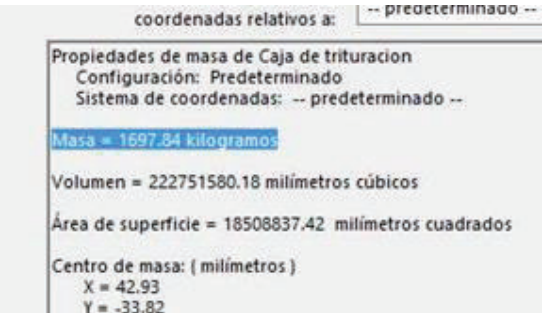


Figura 43: Propiedades del sub conjunto de trituración. Fuente: propia

Por tanto:

$$P_C = 19819.19\ N$$

Mediante el cálculo de las reacciones, los diagramas de fuerza cortante y momento flector quedan de la siguiente manera:

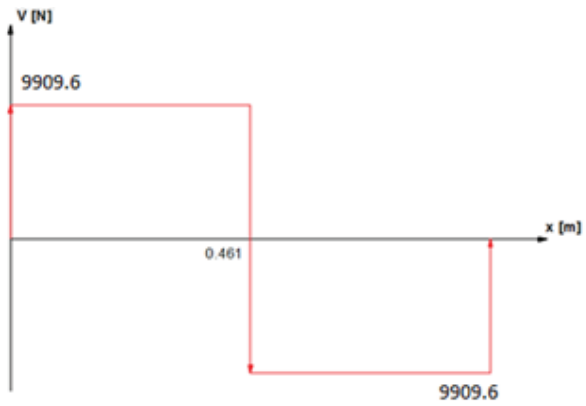


Figura 44: Diagrama de fuerzas cortantes en la viga horizontal de soporte. Fuente: propia

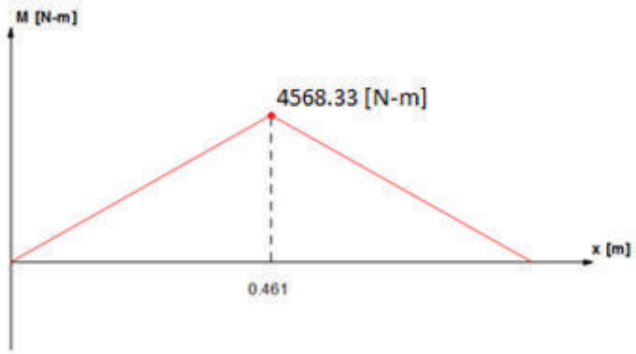


Figura 45: Diagrama de momentos flectores en la viga horizontal de soporte. Fuente: propia

De donde:

$$S_{xx} \geq 4.02 * 10^{-5} m^3 = 2.45\ in^3$$

Según “Manual de la AISC”, el perfil que cumple con este requerimiento es: tubería estructural de sección cuadrada de 3.5 x 3.5 x 0.1845 in, con un $S_{xx} = 2.45\ in^3$.

4.3.3.2. Diseño de los elementos (2) y (3)

Las fuerzas flexionantes sobre estos elementos se las considera despreciables tomando en cuenta que el pandeo del elemento (1) va a ser mínimo por el diseño realizado, por tanto las condiciones de diseño para ambos elementos, además de ser las mismas, serán únicamente a compresión, por tanto de la ecuación de diseño a compresión se tiene:

$$\sigma_c = \frac{\frac{P_C}{2}}{A} \leq \sigma = \frac{S_y}{F.S.} \quad (4.28)$$

Donde:

σ_c : Esfuerzo de compresión

A: área transversal del tubo estructural

$\frac{P_C}{2}$: fuerza que soporta sólo uno de los soportes verticales = 9909.6 N

S_y: Esfuerzo máximo de fluencia = 250 MPa

F.S.: factor de seguridad = 2

σ: Esfuerzo admisible del material = 125 MPa

Determinando el área de la sección transversal:

$$A = 7.92 * 10^{-4}\, m^2 = \ 1.22\, in^2$$

Según “Manuel de la AISC”, el perfil que cumple con este requerimiento es: tubería estructural de sección cuadrada de 2 x 2 x 0.25 in, con un $A = 1.59\, in^2$.

Para comprobar el diseño, se considera la esbeltez del elemento mediante la ecuación 4.25.

Donde:

L = longitud del elemento = 800 mm = 31.49 in.

$r_{mín}$: radio de giro menor del perfil = 0.694 in.[34]

$$\lambda = 45.37 < 240$$

Lo que comprueba que el perfil seleccionado si cumple con los requerimientos de la máquina.

[34] AISC, Manual de materiales estructurales, pág.

4.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES NORMALIZADOS

Como su nombre lo indica, el presente apartado trata de justificar la selección de los componentes normalizados usados en el diseño; entre los cuales están comprendidos rodamientos, anillos de retención, selección de electrodos para soldadura, pernos, tornillos, además componentes que hayan sido fabricados bajo norma y que tengan especificaciones técnicas deseadas como motores y reductores.

4.4.1. SELECCIÓN DEL MOTOR

La selección de este elemento viene influenciada por la potencia requerida así como el torque, ambos parámetros que se deben considerar y deben ser superiores a los mínimos requeridos,

Se determina la potencia requerida del motor mediante la ecuación 4.22:

$$P = M * w_m \tag{4.22}$$

Donde:

P: Potencia del motor en W

M: Momento torsor aplicado = 45600 N_m

w_m: Velocidad angular

Se calcula la velocidad final de salida relacionando la velocidad angular entregada por el motor con el factor de reducción del reductor, teniendo una velocidad final de salida (velocidad de giro de los ejes):

$$w_m = 16.85\, rpm = 1.76\, \frac{rad}{s}$$

Por tanto:

$$P = 80481.25\, W = 107.93\, HP$$

Lo que comprueba que la selección realizada fue correcta ya que el motor escogido tiene una potencia de 125 hp de salida. Las especificaciones del motor se las encuentra en el anexo 4.

Denominación del motor: SIEMENS, GP10., potencia: 125hp

4.4.2. SELECCIÓN DEL REDUCTOR

El reductor seleccionado debe cumplir con dos requerimientos básicos, el uno es el torque máximo que deberá soportar que deberá ser mayor al torque máximo considerado para la selección del motor y diseño del eje, y el otro requerimiento es el de reducción ya que la velocidad de giro de los ejes deberá quedar entre 15 a 20 rpm, las especificaciones técnicas del reductor seleccionado se encuentran en el anexo 4, y las principales características a continuación:

Denominación: REGGIANA RIDUTTORI, RR4000 L3.

Torque máximo que puede transmitir el reductor: 45620 N_m

Factor de reducción: 106.8:1

Además de los factores ya mencionados, el reductor seleccionado es más ligero, menos costoso y ocupa menos espacio que otros encontrados en el mercado local.

4.4.3. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

La selección de los rodamientos se la ha hecho considerando: diámetro interno que deberá ser igual a 170mm, carga máxima se soporte que deberá ser mayor al peso de la caja de trituración, velocidades de giro máximas que deberán ser mayores a 20 rpm. Del catálogo presentado en el anexo 4, se tiene que los principales requerimientos para el rodamiento se encuentran cumplidos y son presentados a continuación:

Denominación: SKF 305180

Diámetro interno: 170 mm

Carga máxima que soporta: 281 kN

Velocidad máxima de giro: 2000 rpm

4.4.4. SELECCIÓN DE ANILLOS DE RETENCIÓN

Al no existir cargas o desplazamientos axiales considerables en los ejes de trituración, el único requerimiento que deben cumplir los seggers seleccionados es de dimensión, es decir un eje de 170 mm de diámetro. Las especificaciones del presente elemento se las podrá encontrar en el anexo 4, y a continuación las principales propiedades:

Denominación: SEGGER ORBIS A-170

Diámetro nominal: 170 mm

Diámetro interno sin deformación: 165 mm

Profundidad necesaria del canal: 4mm

4.4.5. SELECCIÓN DE ACOPLE DE EJES

El acople deberá cumplir con el único requerimiento de torsión máxima que deberá soportar, es decir mayor a 45600 N_m. Las especificaciones del acople seleccionado se encuentran en el anexo 4, y su torque nominal es de 500.9 lb-in., lo que indica que se cumplen los requerimientos.

Denominación: acople de ejes REXNORD 1050G

4.4.6. SELECCIÓN DE PERNOS Y TORNILLOS

Según los cálculos realizados, no existirán cargas considerables que afecten a componentes fuera del subsistema de trituración, sin embargo se necesita que los elementos de la máquina estén fijados entre sí y al bastidor, para lo que usarán pernos y tornillos de fijación. Las dimensiones de estos dependerán de los requerimientos de tamaño y forma junto con el criterio conocido que indica que una máquina funciona mejor mientras el ajuste de sus componentes es mayor. Los pernos y tornillos seleccionados son presentados en los planos de conjunto en el anexo 3.

4.4.7. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Por tratarse de un proceso de trituración, es probable que la máquina se trabe por exceso de material de entrada o por mal uso, esto podría generar quema de los motores, desfase de un eje respecto a otro, daño en componentes como cuchillas y ejes, es decir un daño catastrófico y total. Para evitar que esto suceda, lo más conveniente es utilizar un sistema de control electrónico antes que un mecánico sobre todo por el costo, peso y espacio. Se utilizarán dos sistemas de control que van a impedir daños catastróficos, el uno un guardamotor y el otro un sistema de control.

El guardamotor viene dado según el amperaje de cada motor, es decir para el motor de 125 hp seleccionado, se necesitará un guardamotor de 150 amperios aproximadamente. Consiste en un sensor que mide amperajes, cuando se excede el amperaje nominal del motor, este sensor manda la señal a un controlador el mismo que corta la corriente y detiene el motor evitando daños.

Si un motor es apagado por el guardamotor, es necesario ahora destrabarle. En la mayoría de máquinas trituradoras investigadas, cada cierto tiempo el movimiento para y los ejes giran hacia el otro lado, aliviando esfuerzos. Así entonces se deberá implantar un sistema de control que permita que los motores giren en ambos sentidos.

Estos dos sistemas se pueden unir y formar un solo controlador, junto con el sistema de encendido y apagado. En el anexo 5 se presentan los costos del presente sistema junto con las especificaciones técnicas brindadas por MACRUM, distribuidora local especializada en motores, reductores y control.

4.5. DISEÑO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN

La presencia de cargas considerables en la tolva de alimentación no existe, ya que esta sólo servirá para captar el material a triturar (llantas). Por tanto, la única consideración existente debería ser de tamaño, es decir debe tener las dimensiones para poder captar los neumáticos usados, debería dar seguridad a operarios y trabajadores al no dejar escapar residuos por la parte superior de la máquina y debe

dar facilidad para que los neumáticos ingresen de la manera más fácil posible. Las dimensiones de la tolva son presentadas a continuación en la ilustración:

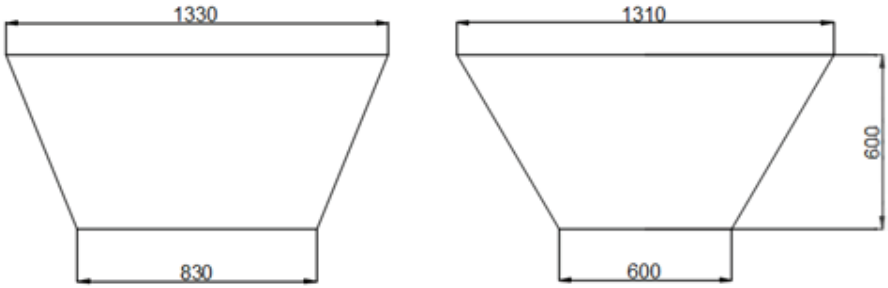


Figura 46: Esquema de tolva de alimentación. Fuente: propia

4.6. SIMULACIÓN

Además de los cálculos realizados se comprobará el diseño mediante simulación por el método de los elementos finitos que brinda el programa SOLIDWORKS. Los elementos críticos sobre los que actúan las cargas más representativas y en donde podría haber una falla son los escogidos para este proceso, los mismos son: conjunto eje-cuchillas, tapas frontales y bastidor. Las simulaciones que se harán son simulación de conjunto eje-cuchillas, simulación de la caja de trituración y simulación del bastidor.

4.6.1. SIMULACIÓN DEL CONJUNTO EJE-CUCHILLAS

Para la simulación de este conjunto se deben realizar las consideraciones que son fuerzas, apoyo, torques, restricciones y mallado, luego se hace la simulación y se presentan los resultados de esta mediante figuras o tablas

4.6.1.1. Consideraciones

No se simularán los esfuerzos sobre las cuchillas ya que estas vienen fabricadas como elemento normalizado, sin embargo es necesario incluirlas en el proceso de simulación del conjunto con el eje ya que las fuerzas se generan por el contacto entre la punta de cuchillas y los alambres a triturar. Como primera consideración entonces se fijarán las puntas de las dos cuchillas que se asumió que van a ser quienes corten el alambre ya que aquí es donde se generarán las reacciones.

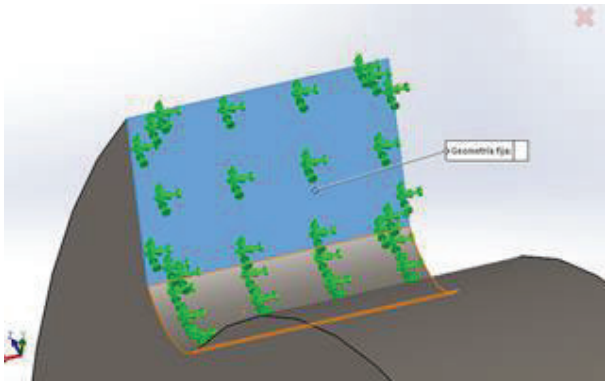


Figura 47: Aplicación de la restricción de movimiento en la punta de una cuchilla. Fuente: propia

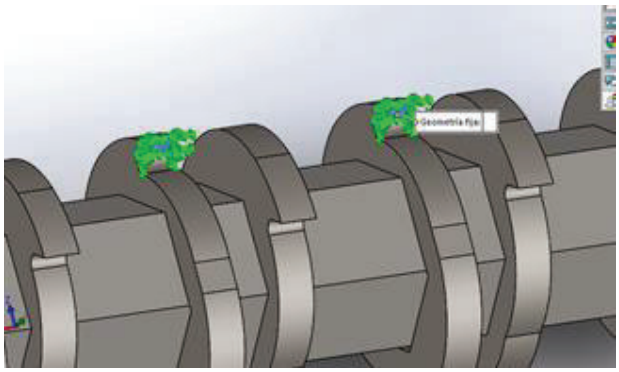


Figura 48: Fijación de las dos cuchillas en la zona donde van a tener contacto con el alambre. Fuente: propia

Como segunda consideración, el eje va a estar apoyado sobre rodamientos, por tanto es necesario colocar esta sujeción en ambos extremos para tener una simulación más exacta.

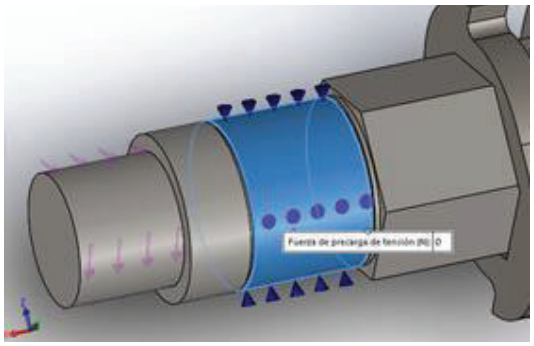


Figura 49: Sujeción de rodamiento en uno de los extremos del eje. Fuente propia.

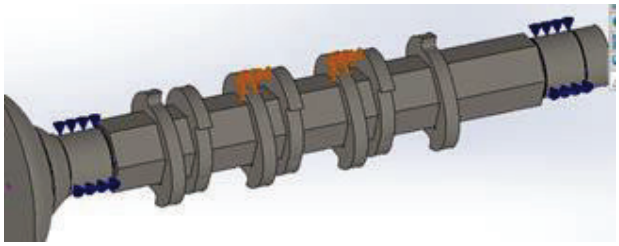


Figura 50 Aplicación de sujeciones de rodamientos a los extremos del eje. Fuente: propia.

Como tercera consideración es necesario introducir el torque máximo de entrada que va a existir, es decir el valor previamente obtenido de 45600 N_m en la parte del eje que va a tener el contacto con el eje.

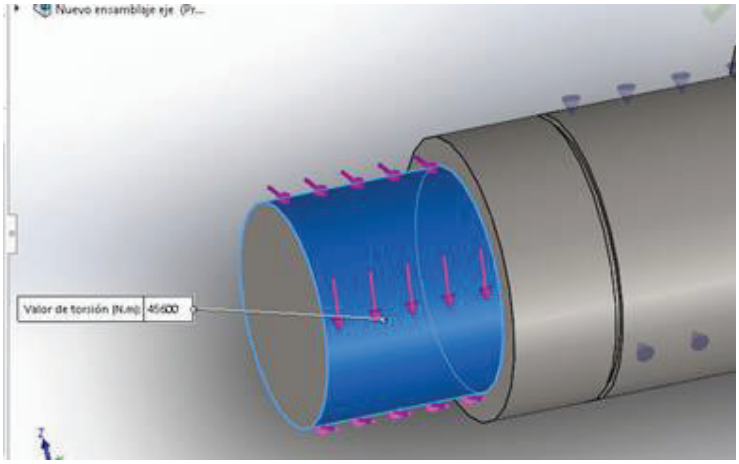


Figura 51: Torque de entrada de 45600 N_m proveniente del motor. Fuente: propia.

Finalmente la selección del tamaño de malla es necesario para comprobar la calidad de los resultados arrojados.

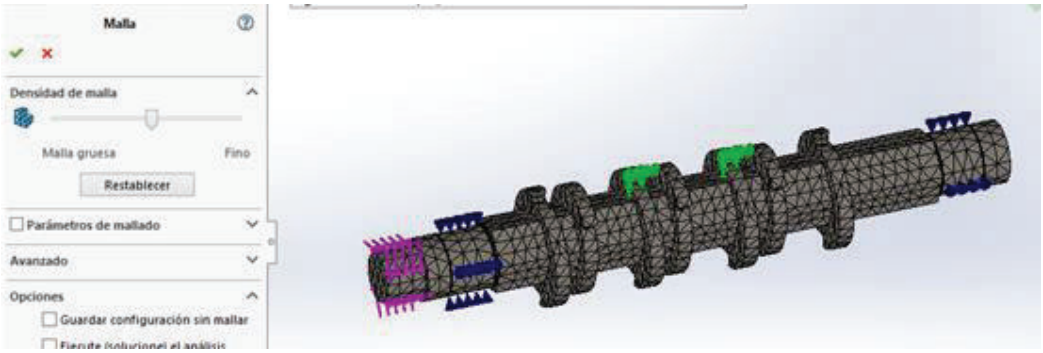


Figura 52 Selección del tamaño de malla. Fuente: propia

4.6.1.2. Simulación y resultados

Una vez colocadas todas las restricciones, cargas y sujeciones, se procede con la simulación, la misma que ha arrojado los siguientes resultados:

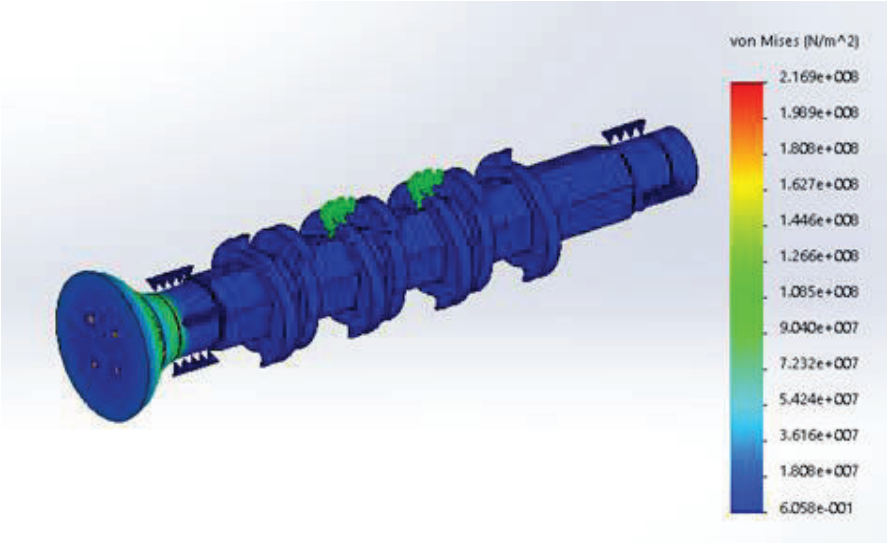


Figura 53: Rango de esfuerzos de Von Misses en el conjunto eje-cuchillas. Fuente: propia

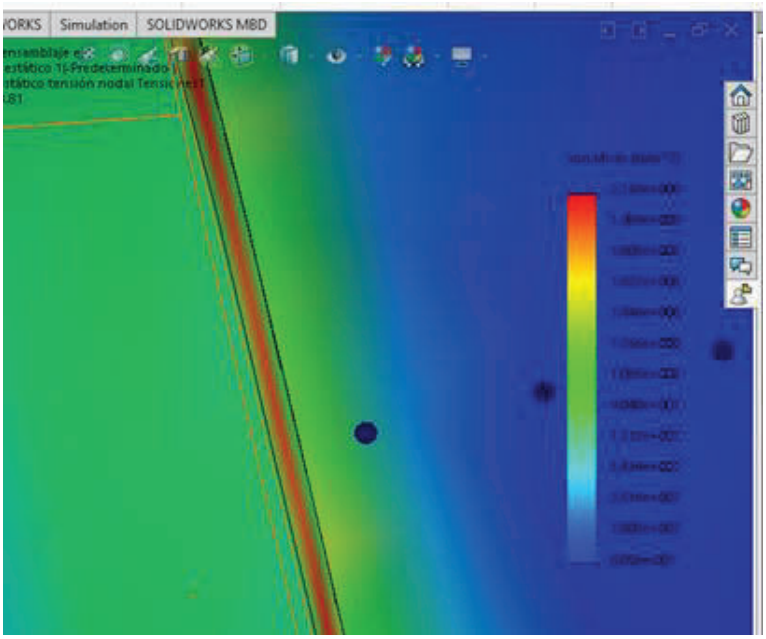


Figura 54: Lugares donde los esfuerzos son mayores, ranuras para anillos de retención. Fuente: propia.

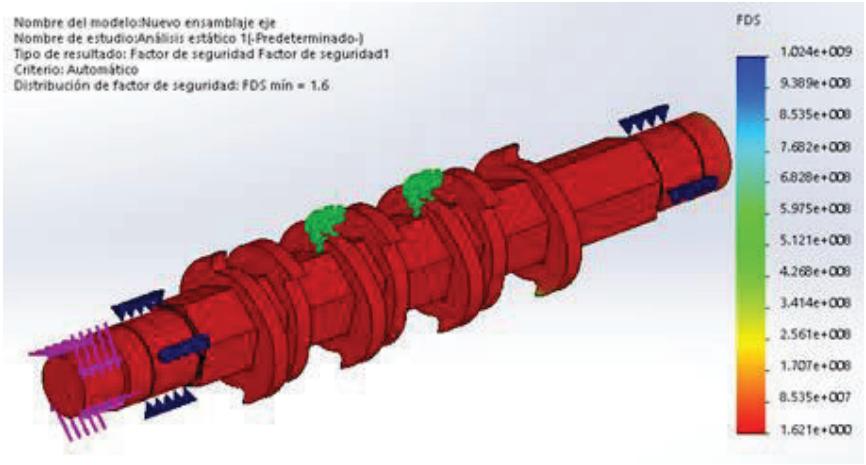


Figura 55: Gráfica del factor de seguridad en el conjunto eje-cuchillas. Fuente: propia.

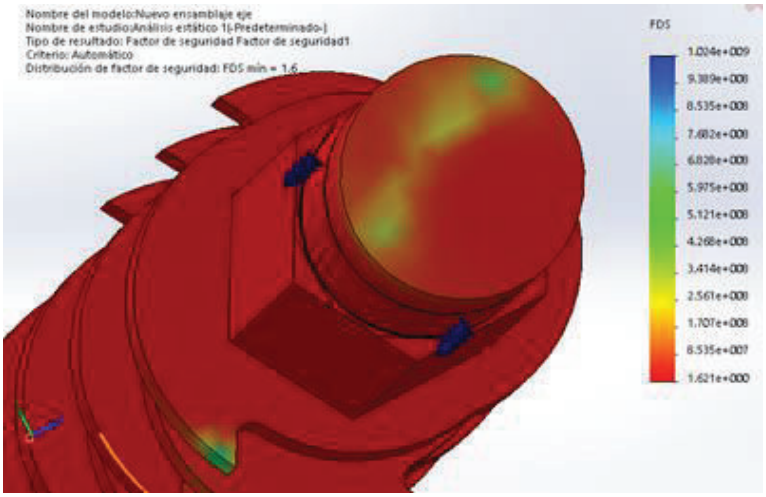


Figura 56: Lugares donde el factor de seguridad es más alto, junto con los rangos. Fuente: propia.

Es notorio que la simulación abala los cálculos realizados, la zona crítica del eje no está en la entrada del torque como se suponía, sino en los alojamientos de anillos de retención debido a los cambios de sección. Las zonas con menor esfuerzo son las puntas de las cuchillas que no están trabajando y el extremo del eje contrario a la entrada del torque dado por el motor.

4.6.2. SIMULACIÓN DE LAS TAPAS FRONTALES

Al igual que la anterior simulación se deberán hacer primero las consideraciones (sujeciones, fuerzas, torques, restricciones y mallado), y después se hará la simulación con la cual se presentan los resultados obtenidos. Estos resultados se compararán con los obtenidos en los cálculos y se concluirá el porqué de las diferencias entre ambos.

4.6.2.1. Consideraciones

Como primera consideración, se sabe que la tapa va a estar apoyada y soldada sobre el bastidor, por tanto es lógico considerar que la cara inferior de esta debería ser sujeta de manera fija, de la siguiente manera:

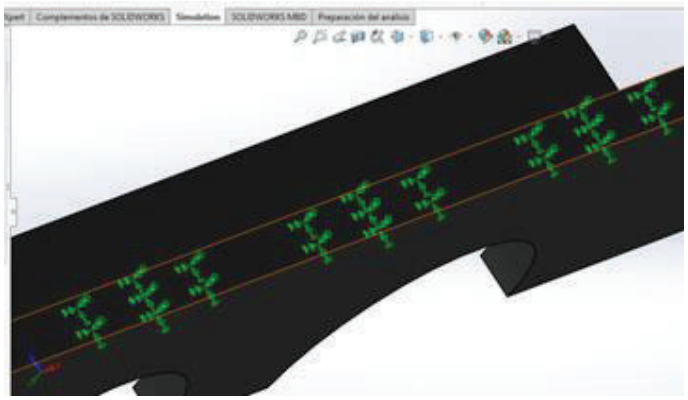


Figura 57: Fijación de la base de la tapa frontal. Fuente propia.

Se procede con la aplicación de las cargas actuantes, en este caso la única carga es la del peso del conjunto de los ejes, ya que la tolva tiene una masa menor a 10 kg en total y por eso se puede considerar despreciable frente a la de cada conjunto que es de 565.2 kg (dado por el programa). La carga se la introduce en el programa en N y se la aplica sobre toda la superficie de contacto como se muestra en la figura.

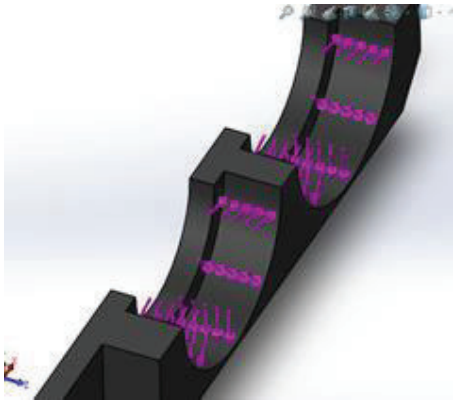


Figura 58: Aplicación de la carga producto del peso del conjunto eje-cuchillas sobre la tapa frontal. Fuente: propia.

4.6.2.2. Simulación

Siendo las condiciones ya mencionadas las únicas que se deben aplicar, se procede a la simulación. El proceso de selección de mallado es el mismo por eso se omitió ese paso en la simulación del presente elemento.

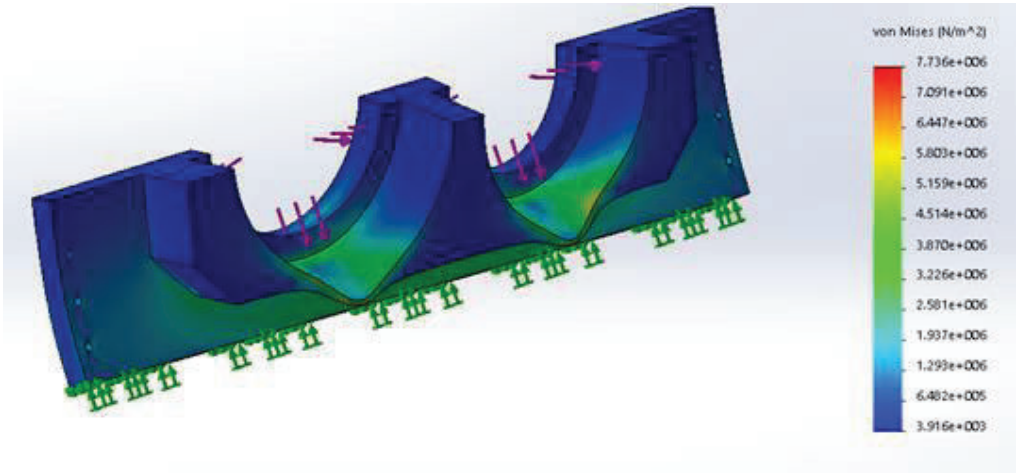


Figura 59: Esfuerzos de Von Misses entregados por la simulación del elemento. Fuente: propia.

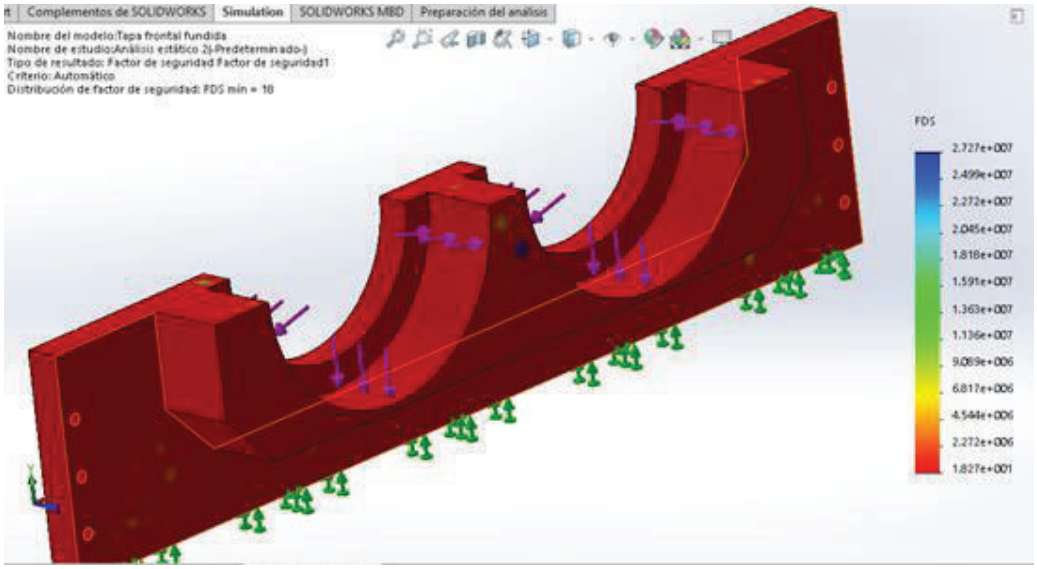


Figura 60: Factor de seguridad a lo largo del elemento. Fuente: propia.

Se comprueba lo dicho en el proceso de cálculo y selección de componentes, donde el espesor que podía aguantar este peso es de 2 mm, sin embargo por los elementos de sujeción que debe tener el eje la caja se la ha hecho en espesores mayores resultando en un elemento seguro, además no se consideraron las deformaciones ya que está comprobado que el elemento está sobre dimensionado en consideración a los esfuerzos y factor de seguridad presentes.

4.6.3. SIMULACIÓN DEL BASTIDOR

En la simulación del bastidor, las consideraciones son fijaciones, fuerzas y mallado. La simulación y los resultados posteriores deberán ser comparados con los cálculos realizados.

4.6.3.1. Consideraciones

Al diseñar el bastidor como un conjunto de elementos estructurales, se logra determinar de manera más exacta los esfuerzos existentes dentro de este sistema, así como la simulación de uniones y factor de seguridad del sistema.

Como se puede observar en la figura 61, los pesos están siendo soportados a manera de elemento a flexión pura por las vigas horizontales de 3” y 2”, siendo la

de 3” pulgadas la que soporte el peso de todo el subsistema de trituración y la de 2” la que soporte el peso del motor y reductor.

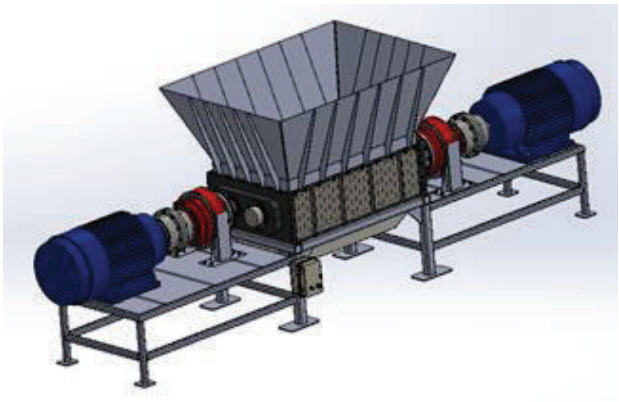


Figura 61: Máquina trituradora. Fuente: propia

Las cagas que se consideran son el peso total del sistema de trituración que tiene un valor de 17464 N, obtenidos directamente del programa pero al tener dos vigas de soporte frontal la carga aplicada sobre una de ellas deberá ser de 8732 N, es decir la mitad de todo el peso de dicho sistema, además se tienen los motores y reductores, con los pesos ya determinados previamente por la especificación de los mismos.

Así todo el bastidor va a tener que soportar cargas distintas en diferentes partes de este. Previa aplicación de las cargas, se han de fijar las bases de la estructura de soporte, ya que estas van a estar apoyadas en el suelo, la fijación es representada con color verde por el programa.

La distribución de cargas se la hace acorde a los elementos que estén encima de cada elemento estructural, sin embargo se consideran situaciones extremas para obtener un diseño adecuado, como consideraciones de aumento del peso de una persona. En la figura 22 se observan as fijaciones (verde) y las cargas aplicadas (rojo).

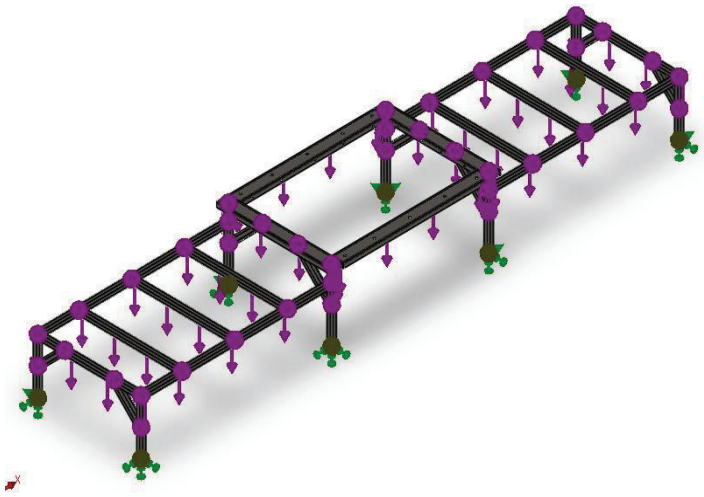


Figura 62: Aplicación de restricciones y cargas sobre el bastidor. Fuente: propia

Antes de hacer la simulación, se debe seleccionar un tamaño de malla, siendo la solución más exacta la correspondiente a un tamaño de malla menor. Se seleccionó el tamaño de malla dado por default por el programa, ya que no es un proyecto basado en elementos finitos sino más bien una comprobación del diseño realizado previamente.

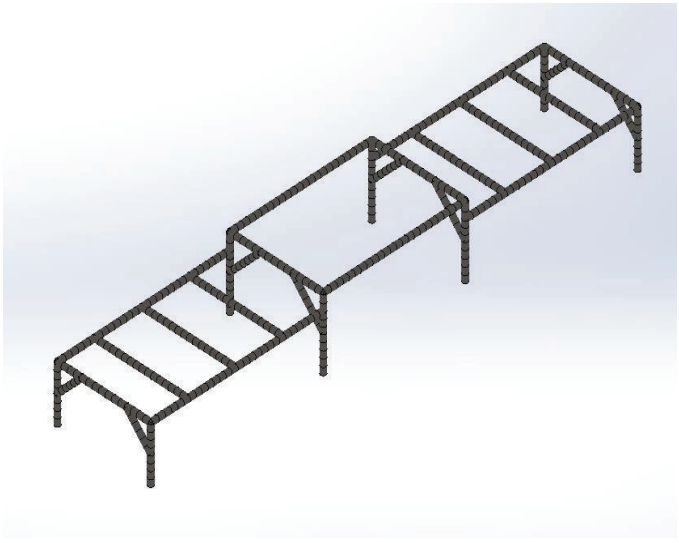


Figura 63: Mallado del bastidor. Fuente: propia

4.6.3.2. Simulación

Realizado el proceso de aplicación de la malla, las restricciones y las cargas influyentes, se procede con la simulación, la misma que ha arrojado los resultados presentados en las figuras 64, 65, 66 y 67, correspondientes a esfuerzos de Von Misses, deformaciones, factor de seguridad y tendencia de deformación.

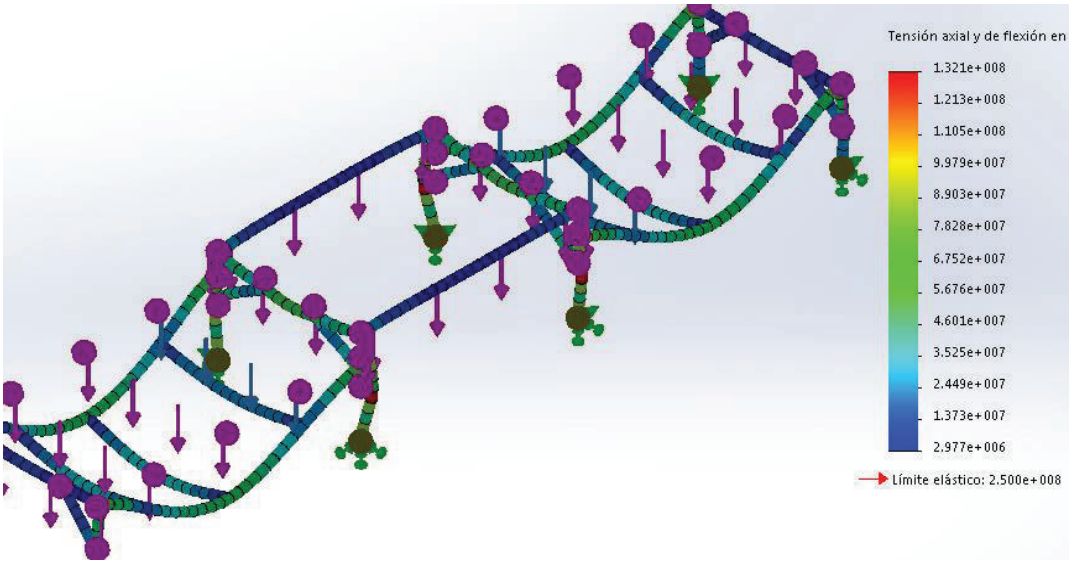


Figura 64: Esfuerzos de Von Misses resultantes en el bastidor. Fuente: propia.

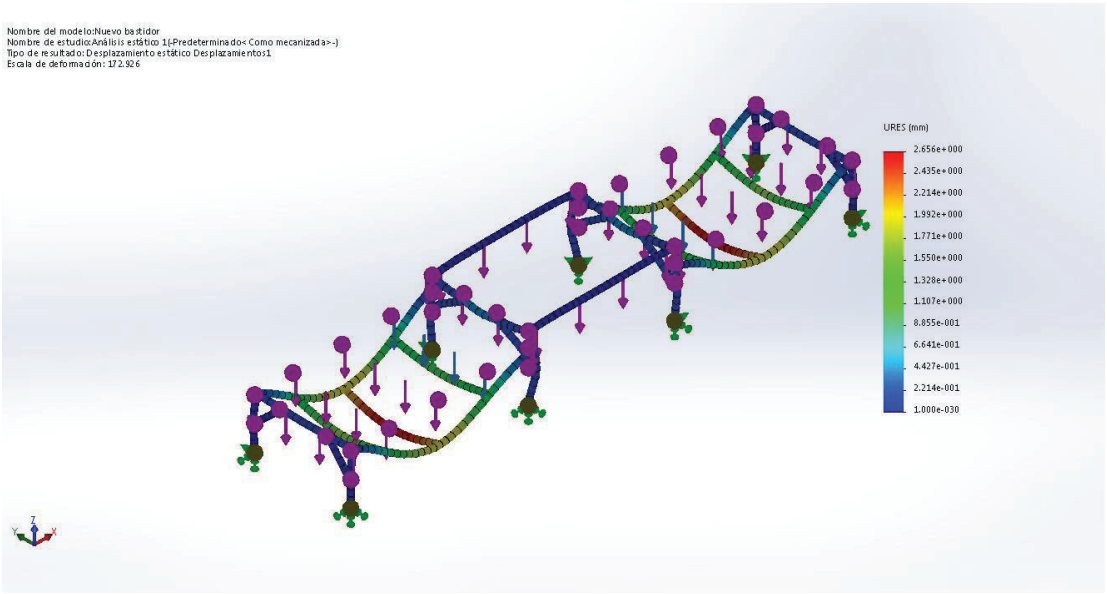


Figura 65: Deformaciones en el bastidor. Fuente: propia

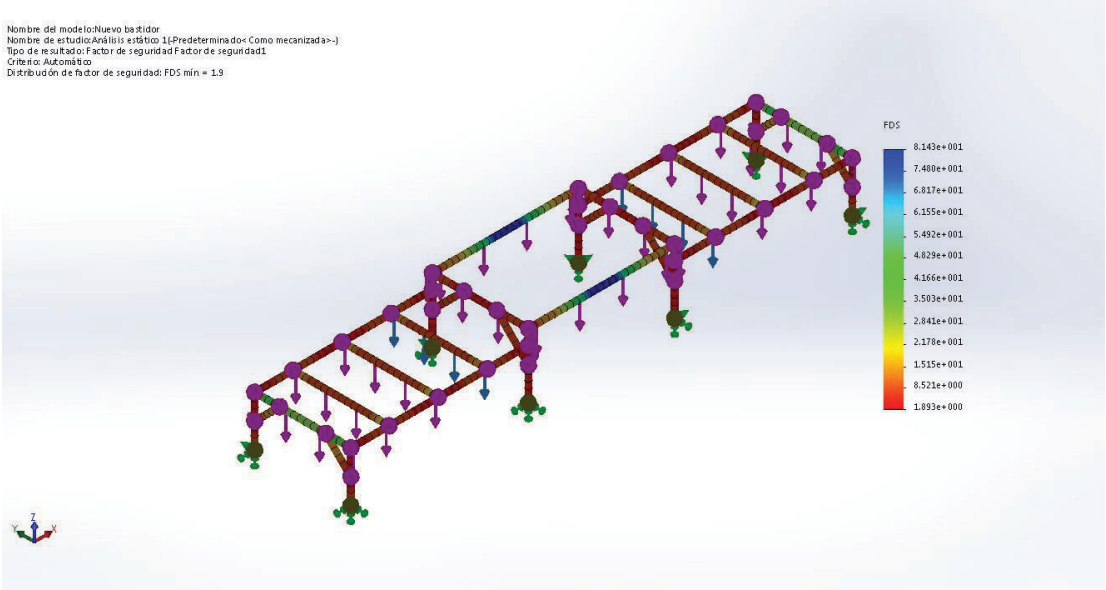


Figura 66: Factor de seguridad en el bastidor. Fuente: propia

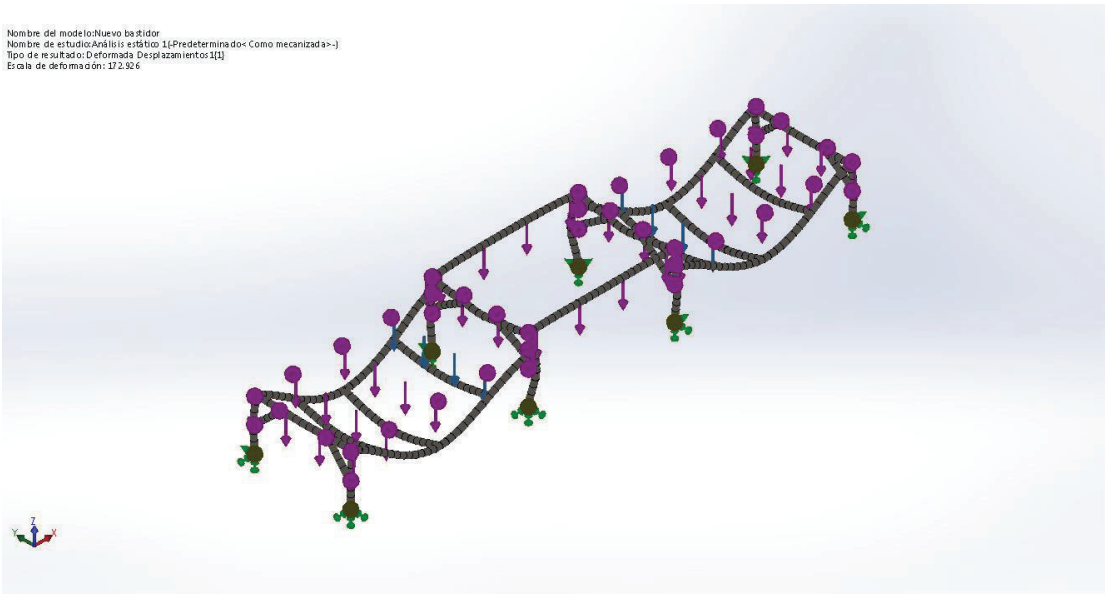


Figura 67: Tendencia de deformación del bastidor. Fuente: propia.

Como se puede observar, la simulación difiere de los cálculos realizados ya que se colocaron elementos que se encuentra en el mercado, los cuales tienen una espesor más alto, sin embargo se comprueba que los mismos cumplen con los requerimientos presentados. Los efectos observados son los mismos que los asumidos para el cálculo aunque el criterio de cálculo sea distinto.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE COSTOS

En el siguiente apartado se detalla el aspecto económico correspondiente a actividades de adquisición de materias primas, construcción, mano de obra, montaje, etc., necesarios para la futura construcción de la máquina, las cotizaciones y precios normalizados se presentan en el anexo 2. Los rubros correspondientes se detallan a continuación:

5.1. COSTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Este sistema está compuesto por todos los elementos que servirán para la función de captación del material, es decir la tolva de entrada, elemento de unión y de soporte. El costo de sistema de alimentación viene de la suma del costo de elementos normalizados, de la mano de obra, del material base y del material para la fabricación.

5.1.1. COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

Se consideran como elementos normalizados a todos aquellos que han sido fabricados y diseñados previamente, en estos están incluidos pernos, tuercas, arandelas, chavetas, entre otros, además elementos como motores, reductores, acoples de ejes, etc. Los costos de los elementos normalizados para el sistema de alimentación se presentan en la tabla 27:

Tabla 27: Costo de elementos normalizados del sistema de alimentación

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO ($/u)	COSTO TOTAL ($)
Perno de sujeción	AISI B18.2.3.4M, M14X2X30	20	$ 0,40	$ 8,00
Perno de sujeción	AISI B18.6.7M, M12X1.75X20	12	$ 0,35	$ 4,20
Tuera hexagonal	AISI B18.2.2.4M, M14X2	20	$ 0,10	$ 2,00
			TOTAL	$ 14,20

5.1.2. COSTO DE MANO DE OBRA

En el proceso de fabricación es necesario considerar la mano de obra que se va a emplear, tomando precios por hora de cada subproceso (hora hombre). Los costos por hora de cada uno son un promedio de un benchmarking hecho por los autores del proyecto. El costo de la mano de obra para fabricación del sistema de alimentación se lo presenta a continuación en la tabla 28.

Tabla 28: Costo de mano de obra para fabricación del sistema de alimentación

Maquinaria	CANTIDAD	Taladro		Oxicorte		Soldadura		Operación General		TOTAL
COSTO HHM		$ 4		$ 20		$ 15		$ 3		
PIEZA		Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Base	1	2,5	$ 10,0			0,1	$ 1,5	1	$ 3,0	$ 14,5
Cuerpo	1					2,5	$ 37,5	2	$ 6,0	$ 43,5
Nervios frontales	12			2,5	$ 50,0	2,5	$ 37,5	2,5	$ 7,5	$ 95,0
Nervios laterales	10			3	$ 60,0	3	$ 45,0	3	$ 9,0	$ 114,0
TOTAL		2,5	$ 10,0	5,5	$ 110,0	8,1	$ 121,5	8,5	$ 25,5	$ 267,0

5.1.3. COSTO DEL MATERIAL BASE

Cada elemento tiene un proceso de fabricación, que va desde el material base obtenido por fundición, pasa por los diferentes procesos de maquinado, conformado o soldado hasta que logra alcanzar su forma y propiedades deseadas. En algunos casos, este material vendrá de fábrica con algunas medidas o propiedades deseadas, en otros se los compra por peso y algunos hay que adquirirlos como elementos de formas básicas para realizar un proceso posterior (como en el caso del eje), la adquisición del material dependerá del producto final y de las dimensiones en la cual la materia prima se distribuya.

Los costos de material base que se necesitan para el sistema de alimentación están presentados a continuación en la tabla 29.

Tabla 29: Costo de materiales base usados en el sistema de alimentación

PIEZA	Plancha acero al carbono, e=2 mm		TOTAL
COSTO UNITARIO	1,18	$/kg	
	Cant.	USD	USD
Base	8,75	$ 10,33	$ 10,33
Cuerpo	53,9	$ 63,60	$ 63,60
Nervios frontales	5,4	$ 6,37	$ 6,37
Nervios laterales	5,1	$ 6,02	$ 6,02
TOTAL	73,2	$ 86,32	$ 86,32

5.1.4. COSTO DEL MATERIAL PARA FABRICACIÓN

Así mismo, se necesitan otros materiales necesarios para la fabricación de un elemento, en el presente caso, estos materiales adicionales son: electrodos para la soldadura, pintura, diluyente de pintura.

5.1.4.1. Cálculo de la cantidad de electrodos necesarios

Sabiendo que los electrodos se comercializan por peso, es necesario determinar el volumen que esos van a ocupar en cada sistema para llegar a un peso y seguido a un precio final. Se considerará al cordón de soldadura como si tuviera sección circular, y parámetros generales de dimensiones de la misma. Se determina el área de la sección transversal del cordón mediante la ecuación:

$$A_T = \pi\, r^2 \tag{5.1}$$

Donde:

A_T: Área transversal del cordón de soldadura

r: radio de la garganta del cordón de soldadura = 0.5 cm.

$$A_T = 0.78 cm^2$$

Esta área servirá para todo el proceso de cálculo de peso de soldadura durante el proyecto, ya que el electrodo utilizado es el mismo en todo el proceso de fabricación al igual que los parámetros a seguir. Ahora, el volumen del material de aporte entregado se lo determina mediante:

$$V = A_T * L \tag{5.2}$$

Donde:

L: longitud total de los cordones de soldadura de cada sistema determinado a través del software de diseño y simulación = 3.13 m de soldadura para el sistema de alimentación.

Por tanto:

$$V = 244.14cm^3$$

Siempre se debe considerar una cantidad no aprovechada del 10% de los electrodos, por tanto la cantidad de soldadura que se necesita es de:

$$Peso\ de\ electrodos = 2.1\ kgf$$

5.1.4.2. Cálculo de la cantidad de pintura y diluyente necesario

Cada pintura, según su calidad, tiene la capacidad de cubrir un área especificada por el fabricante, lo que significa que se puede calcular la cantidad necesaria de esta a partir del área que se vaya a pintar. Esta área de la determinará igual a través del programa SOLIDWORKS.

Según la referencia[35], la pintura necesitada tiene la capacidad de cubrir 10 m^2 de superficie por litro con brocha, y 6 m^2 con soplete, herramienta que se va a utilizar, por tanto el rendimiento por galón será de 22.2 m^2. Por tanto:

$$V_p = \frac{A_t * 1gal}{22.2\ m^2} \quad (5.3)$$

Donde:

V_p: Volumen necesario de pintura

A_t: Área total que se va a pintar determinado mediante el software de diseño = 5.19m^2 para el sistema de alimentación.

Por tanto:

$$V_p = 0.23\ gal$$

[35] http://www.pintomicasa.com/2008/11/calculo-de-la-cantidad-de-pintura.html

La cantidad de diluyente que se necesita es la mitad de la pintura utilizada, por tanto:

$$V_d = 0.115\ gal$$

5.1.4.3. Cálculo del costo de material para fabricación

Es conveniente desglosar el costo de estos materiales por cada elemento, sin embargo, como se comprobará después las cantidades finales corresponden a las ya calculadas previamente. El costo del material para fabricación del sistema de alimentación se presenta en la tabla 30:

Tabla 30: Costos del material para fabricación del sistema de alimentación

PIEZA	Electrodo E6010 D=1/8"		Pintura anticorrosiva		Diluyente de pintura		TOTAL
COSTO UNITARIO	7	$/kg	40	$/gal	20	$/gal	
	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Base	0,091	$ 0,64	0,017	$ 0,68	0,0085	$ 0,17	$ 1,49
Cuerpo	0,69	$ 4,83	0,154	$ 6,16	0,077	$ 1,54	$ 12,53
Nervios frontales	0,76	$ 5,32	0,026	$ 1,04	0,013	$ 0,26	$ 6,62
Nervios laterales	0,77	$ 5,39	0,035	$ 1,40	0,0175	$ 0,35	$ 7,14
TOTAL	2,311	$ 16,18	0,232	$ 9,28	0,116	$ 2,32	$ 27,78

5.1.5. COSTO DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Al sumar todos los rubros obtenidos previamente, se obtiene el costo final de fabricación del sistema de alimentación que se presenta a continuación en la tabla 31:

Tabla 31: Coto de fabricación del sistema de alimentación

RUBRO	VALOR ($)
Elementos normalizados	$ 8,00
Mano de obra	$ 267,00
Material base	$ 86,32
Material para fabricación	$ 27,78
Elementos especiales	$ 0,00
SUBTOTAL 1	$ 389,09
IMPREVISTOS (10%)	$ 38,91
TOTAL	$ 428,00

5.2. COSTO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN

Los elementos que conforman este sistema son: ejes, cuchillas, separadores, rodamientos, tapas laterales, caja de trituración, elementos de sujeción. El costo de sistema de trituración viene de la suma del costo de elementos normalizados, de la mano de obra, del material base y del material para la fabricación.

5.2.1. COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

El costo de los elementos normalizados del sistema de trituración se presenta en la tabla 32:

Tabla 32: Costo de elementos normalizados del sistema de trituración

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO ($/u)	COSTO TOTAL ($)
Rodamientos	SKF 305283D	4	$ 750,00	$ 3.000,00
Anillos de retención	DIN 471 A150	8	$ 7,00	$ 56,00
Pernos laterales	AISI B18.2.3.4M, M14x2x30	24	$ 0,40	$ 9,60
Tuercas lateraes	AISI B18.2.2.4M, M14x2	24	$ 0,20	$ 4,80
Casquillo hexagonal	AISI B18.3.6.M, M12X1,75X8	24	$ 0,40	$ 9,60
Cuchillas	SKS, DC53, STEEL MATERIAL	28	-	$ 7.268,80
			TOTAL	$ 10.348,80

5.2.2. COSTO DE MANO DE OBRA

El costo de la mano de obra necesaria para la fabricación del sistema de trituración se la presenta a continuación en la tabla 33:

Tabla 33: Costo de mano de obra para el sistema de trituración

Maquinaria	CANTIDAD	Torno		Taladro		Oxicorte		Fresadora		Soldadura		Operación General		TOTAL
COSTO HHM		$ 8		$ 4		$ 20		$ 15		$ 15		$ 3		
PIEZA		Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	USD
Eje	2	4	$ 32,0					12	$ 180					$ 212,0
Separadores	28	9,5	$ 76,0			14	$ 280	28	$ 420					$ 776,0
Separadores delgados	2	0,8	$ 6,4			1	$ 20	2	$ 30					$ 56,4
Tapa frontal	4	4	$ 32,0	2	$ 8	2	$ 40	20	$ 300			40	$ 120	$ 500,0
Tapa lateral	2											2	$ 6	$ 6,0
Soportes laterales	8									3	$ 45	3	$ 9	$ 54,0
Limpiadores laterales	28					9,5	$ 190			5	$ 75			$ 265,0
Tapas de separadores	4	1,2	$ 9,6	2	$ 8									$ 17,6
TOTAL		19,5	$ 156	4	$ 16	26,5	$ 530	62	$ 930	8	$ 120	45	$ 135	$ 1.887

5.2.3. COSTO DEL MATERIAL BASE

El costo del material base empleado en la fabricación del sistema de trituración está representado en la tabla 34:

Tabla 34: Costo del material base necesario para el sistema de trituración

PIEZA	Eje acero AISI 1020HR D=205mm X L=1800mm		PLANCHA CUADRADA AISI 1020HR, 230mm x e=50mm		PLANCHA AISI 1020HR, e=5mm		PLANCHA HIERRO DUCTIL, 930 X 200 X 100mm		CHAPA ACERO AL CARBONO, e=2mm		PLANCHA ACERO AL CARBONO, e=50mm		CHAPA ACERO AL CARBONO, e=4mm		TOTAL
COSTO UNITARIO	1,62	$/kg	1,62	$/kg	1,62	$/kg	1,02	$/kg	1,18	$/kg	1,18	$/kg	1,18	$/kg	
	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant.	USD	USD
Eje	466,4	$ 755,6													$ 755,6
Separadores			581,4	$ 941,9											$ 941,9
Separadores delgados					4,15	$ 6,7									$ 6,7
Tapa frontal							584	$ 595,7							$ 595,7
Tapa lateral									40	$ 47,2					$ 47,2
Soportes laterales													3,52	$ 4,2	$ 4,2
Limpiadores laterales											379,7	$ 448,0			$ 448,0
Tapas de separadores					4,15	$ 6,7									$ 6,7
TOTAL	466,4	$ 755,6	581,4	$ 941,9	8,3	$ 13,4	584	$ 595,7	40	$ 47,2	379,7	$ 448,0	3,52	$ 4,2	$ 2.806,0

5.2.4. COSTO DEL MATERIAL PARA FABRICACIÓN

El proceso de cálculo de cantidad de electrodos, pintura y diluyente necesarios es el mismo al realizado en el apartado 5.1.4.1 y 5.1.4.2 respectivamente, para lo cual mediante el software de diseño se determina longitud total del cordón de soldadura y superficie que se va a pintar, siendo:

L= longitud total de los cordones de soldadura = 6.297 m

A= área total de la superficie a pintar = 4.86 m^2

Por lo tanto, la cantidad necesaria de electros es:

$$V = 491.16cm^3$$

$$Peso\ de\ electrodos = 3.85\ kgf$$

Y la cantidad necesaria de pintura es:

$$V_p = 0.22\ gal$$

El diluyente de pintura necesario resulta ser:

$$V_d = 0.11\ gal$$

El costo final del material para fabricación del sistema de trituración se presenta en la tabla 35:

Tabla 35: Costo del material para fabricación del sistema de trituración

PIEZA	Electrodo E6010 D=1/8"		Pintura anticorrosiva		Diluyente de pintura		**TOTAL**
COSTO UNITARIO	7	$/kg	40	$/gal	20	$/gal	
	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Tapa frontal	0	$ -	0,091	$ 3,64	0,046	$ 0,91	$ 4,55
Tapa lateral	0,14	$ 0,98	0,116	$ 4,64	0,058	$ 1,16	$ 6,78
Soportes laterales	3,71	$ 25,97	0,011	$ 0,44	0,006	$ 0,11	$ 26,52
TOTAL	3,85	$ 26,95	0,035	$ 8,72	0,018	$ 2,18	$ 37,85

5.2.5. COSTO DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN

Con la suma de los rubros previamente determinados se obtiene el costo total de fabricación del sistema de trituración, presentado a continuación en la tabla 36. Como se observa, en este sistema, por tratarse de un conjunto de elementos normalizados, el mayor costo radica en el rubro correspondiente a este tipo de elementos, así los demás valores bajan:

Tabla 36: Costo final del sistema de trituración

RUBRO	VALOR ($)
Elementos normalizados	$ 10.348,80
Mano de obra	$ 1.887,00
Material base	$ 2.805,96
Material para fabricación	$ 37,85
Elementos especiales	$ 0,00
SUBTOTAL 1	$ 15.041,76
IMPREVISTOS (10%)	$ 1.504,18
TOTAL	$ 16.545,94

5.3. COSTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Los elementos del sistema de transmisión de movimiento son: motores, reductores, acople de ejes, elementos de unión. El costo final resulta de la suma del costo de elementos normalizados, mano de obra, material base y material para la fabricación.

5.3.1. COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

El costo de los elementos normalizados del sistema de transmisión se presenta en la tabla 37:

Tabla 37: Costo de elementos normalizados del sistema de transmisión

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	CANT.	COSTO UNITARIO ($/u)	COSTO TOTAL ($)
Motor	SIEMENS, GP10	2	$ 6.895,00	$ 13.790,0
Reductor satelital	REGGIANIDUTTORI RR4000L3	2	$ 500,00	$ 1.000,0
Acople de ejes	FALK REXNORD G2O, 1045G	2	$ 550,00	$ 1.100,0
Tornillos de fijación	AISI B18.2.3.9M, M20X2,5X65	20	$ 0,45	$ 9,0
Tornillos de fijación	AISI B18.2.3.4M, M14X2X30	12	$ 0,80	$ 9,6
Tornillos de unión	REXNORD G20, 1045G	20	$ 0,40	$ 8,0
Tuercas de fijación	AISI B18.2.2.4M, M20X2,5	20	$ 0,20	$ 4,0
Tuercas de fijación	AISI B18.2.2.4M, M20X2,5	12	$ 0,50	$ 6,0
Tuercas de unión	REXNORD G20, 1045G	20	$ 0,25	$ 5,0
Sistema de control	MACRUM C1	1	$ 20.000,00	$ 20.000,0
Antivibraciones	Dumping sistem, REXNORD	4	$ 150,00	$ 600,0
			TOTAL	$ 36.531,6

5.3.2. COSTO DE MANO DE OBRA

El costo de la mano de obra necesaria para fabricar el sistema de transmisión se lo presenta en la tabla 38:

Tabla 38: Costo de la mano de obra necesaria para la fabricación del sistema de transmisión

Maquinaria	CANTIDAD	Torno		Taladro		Oxicorte		Soldadura		Operación General		TOTAL
COSTO HHM		$ 8		$ 4		$ 20		$ 15		$ 3		
PIEZA		Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Brida de unión	2	2	$ 16	1,5	$ 6	1	$ 20	1	$ 15	1	$ 3	$ 60
Soportes del reductor	4			2,5	$ 10	1	$ 20	4	$ 60	1	$ 3	$ 93
TOTAL		2	$ 16	4	$ 16	2	$ 40	5	75	2	$ 6	$ 153

5.3.3. COSTO DEL MATERIAL BASE

El precio total del material base necesario para fabricar el sistema de trituración es presentado a continuación en la tabla 39:

Tabla 39: Costo del material base necesario para el sistema de transmisión

PIEZA	PLACA ACERO AISI 1020HR, e=10mm		TUBERÍA ACERO AISI 1020HR, D=155mm		CHAPA METÁLICA ACERO AL CARBONO, e=3mm		TOTAL
COSTO UNITARIO	1,62	$/kg	1,62	$/kg	1,62	$/kg	
	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Brida de unión	9	$ 14,58	4,04	$ 6,54		$ 0,00	$ 21,12
Soportes del reductor					16,5	$ 26,76	$ 26,76
TOTAL	9	$ 14,58	4,04	$ 6,54	16,5	$ 26,76	$ 47,89

5.3.4. COSTO DEL MATERIAL PARA FABRICACIÓN

El proceso de cálculo de cantidad de electrodos, pintura y diluyente necesarios es el mismo al realizado en el apartado 5.1.4.1 y 5.1.4.2 respectivamente, para lo cual mediante el software de diseño se calcula longitud total del cordón de soldadura y superficie que se va a pintar, siendo:

L= longitud total de los cordones de soldadura = 7.95 m

A= área total de la superficie a pintar = 1.60 m^2

Por lo tanto, la cantidad necesaria de electros es:

$$V = 620.6\ cm^3$$

$$Peso\ de\ electrodos = 4.87\ kgf$$

Y la cantidad necesaria de pintura es:

$$V_p = 0.072\ gal$$

El diluyente de pintura necesario resulta ser:

$$V_d = 0.036\ gal$$

El costo final del material para fabricación del sistema de trituración se presenta en la tabla 40:

Tabla 40: Costo del material para fabricación del sistema de trituración

PIEZA	Electrodo E6010 D=1/8"		Pintura anticorrosiva		Diluyente de pintura		TOTAL
COSTO UNITARIO	7	$/kg	40	$/gal	20	$/gal	
	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Brida de unión	0,55	$ 3,85	0,016	$ 0,64	0,01	$ 0,16	$ 4,65
Soporte del reductor	4,32	$ 30,24	0,055	$ 2,20	0,03	$ 0,55	$ 32,99
TOTAL	4,87	$ 34,09	0,071	$ 2,84	0,04	$ 0,71	$ 37,64

5.3.5. COSTO DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El costo final del sistema de transmisión de lo determina sumando todos los rubros que influyen en este, dicho costo se lo presenta a continuación en la tabla 41:

Tabla 41: Costo final de fabricación del sistema de transmisión

RUBRO	VALOR ($)
Elementos normalizados	$ 36.531,60
Mano de obra	$ 153,00
Material base	$ 47,89
Material para fabricación	$ 37,64
Elementos especiales	$ 0,00
SUBTOTAL 1	$ 36.732,49
IMPREVISTOS (10%)	$ 3.673,25
TOTAL	$ 40.405,74

5.4. COSTO DEL SISTEMA DE SOPORTE DE LA MÁQUINA

Los elementos que conforman este sistema corresponden a los que conforman el bastidor, como tubería estructural, pernos de sujeción, placas de soporte. Igual que en los anteriores análisis de costos, aquí se suman los costos de elementos normalizados, mano de obra y materiales.

5.4.1. COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

Para el caso del bastidor, se ha considerado que el proceso para el ensamblaje será mediante soldadura de la tubería estructural, por eso la se considera a esta en el apartado de materiales base para este sistema, dejando sin elementos normalizados al mismo.

5.4.2. COSTO DE MANO DE OBRA

El costo de la mano de obra necesaria para la fabricación del sistema de soporte está presentado en la tabla 42:

Tabla 42: Costo de mano de obra para la fabricación del sistema de soporte

Maquinaria	CANTIDAD	Taladro		Oxicorte		Soldadura		Operación General		TOTAL
COSTO HHM		$ 4		$ 20		$ 15		$ 3		
PIEZA		Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Laterales, L=1251mm, l=3.5"	2					0,5	$ 7,50	1	$ 3	$ 10,50
Frontales, L=946,9mm, l=3,5"	2							1	$ 3	$ 3,00
Verticales, L561,9mm, l=3,5"	4					0,75	$ 11,25	1	$ 3	$ 14,25
Laterales, L=1600mm, l=2"	4							1	$ 3	$ 3,00
Laterales, L=1500mm, l=2"	4							1	$ 3	$ 3,00
Verticales, L=495mm, l=2"	8					0,72	$ 10,80	1	$ 3	$ 13,80
Frontales, L=909mm, l=2"	4							1	$ 3	$ 3,00
Frontales, L=807mm ,l=2"	10					1	$ 15,00	1	$ 3	$ 18,00
Placa base 1	4			1	$ 20			1	$ 3	$ 23,00
Placa base 2	4			1	$ 20			1	$ 3	$ 23,00
Soportes esquineros	8			1	$ 20	1,5	$ 22,50	1	$ 3	$ 45,50
Planchas de soporte	2	2	$ 8			0,92	$ 13,80	1	$ 3	$ 24,80
TOTAL		2	$ 8	3	$ 60	5,39	$ 80,85	12	$ 36	$ 184,85

5.4.3. COSTO DEL MATERIAL BASE

El costo del material base necesario para la fabricación del sistema de soporte está presentado en la tabla 43:

Tabla 43: Costo del material base para la fabricación del sistema de soporte

PIEZA	Tubo estructural ASTM A36, 3,5"x3,5"x0,25"		Tubo estructural ASTM A36, 2"x2"x0,25"		PLACA ASTM A36, e=10mm		PLACA ASTM A36, e=20mm		CHAPA ACERO AL CARBONO, e=3mm		TOTAL
COSTO UNITARIO	1,66	$/kg	1,66	$/kg	1,66	$/kg	1,66	$/kg	1,18	$/kg	
	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Laterales, L=1251mm, l=3.5"	32,8	$ 54,45									$ 54,45
Frontales, L=946,9mm, l=3,5"	24,8	$ 41,17									$ 41,17
Verticales, L561,9mm, l=3,5"	29,48	$ 48,94									$ 48,94
Laterales, L=1600mm, l=2"			49,9	$ 82,80							$ 82,80
Laterales, L=1500mm, l=2"			48	$ 79,68							$ 79,68
Verticales, L=495mm, l=2"			31,8	$ 52,85							$ 52,85
Frontales, L=909mm, l=2"			26	$ 43,09							$ 43,09
Frontales, L=807mm ,l=2"			69	$ 114,54							$ 114,54
Placa base 1					14,76	$ 24,50					$ 24,50
Placa base 2					4,48	$ 7,44					$ 7,44
Soportes esquineros							14,08	$ 23,37			$ 23,37
Planchas de soporte									64,8	$ 95,90	$ 95,90
TOTAL	87,08	$ 144,55	225	$ 372,97	19,24	$ 31,94	14,08	$ 23,37	64,8	$ 95,90	$ 668,74

5.4.4. COSTO DEL MATERIAL PARA FABRICACIÓN

El proceso de cálculo de cantidad de electrodos, pintura y diluyente necesarios es el mismo al realizado en el apartado 5.1.4.1 y 5.1.4.2 respectivamente, para lo cual se determina mediante el software de diseño longitud total del cordón de soldadura y superficie que se va a pintar, siendo:

L= longitud total de los cordones de soldadura = 8.67 m

A= área total de la superficie a pintar = 15.82 m^2

Por lo tanto, la cantidad necesaria de electros es:

$$V = 676.26\ cm^3$$

$$Peso\ de\ electrodos = 5.3\ kgf$$

Y la cantidad necesaria de pintura es:

$$V_p = 0.71\ gal$$

El diluyente de pintura necesario resulta ser:

$$V_d = 0.35\ gal$$

El costo final del material para fabricación del sistema de trituración se presenta en la tabla 44:

Tabla 44: Costo del material de fabricación necesario para el sistema de soporte

PIEZA	Electrodo E6010 D=1/8"		Pintura anticorrosiva		Diluyente de pintura		**TOTAL**
COSTO UNITARIO	7	$/kg	40	$/gal	20	$/gal	
	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	USD
Laterales, L=1251mm, l=3.5"	0,5	$ 3,50					$ 3,5
Frontales, L=946,9mm, l=3,5"		$ 0,00					$ 0,0
Verticales, L561,9mm, l=3,5"	0,75	$ 5,25					$ 5,3
Laterales, L=1600mm, l=2"		$ 0,00					$ 0,0
Laterales, L=1500mm, l=2"		$ 0,00					$ 0,0
Verticales, L=495mm, l=2"	0,72	$ 5,04					$ 5,0
Frontales, L=909mm, l=2"		$ 0,00					$ 0,0
Frontales, L=807mm ,l=2"	1	$ 7,00					$ 7,0
Placa base 1		$ 0,00					$ 0,0
Placa base 2		$ 0,00					$ 0,0
Soportes esquineros	1,5	$ 10,50					$ 10,5
Planchas de soporte	0,92	$ 6,44					$ 6,4
TOTAL	5,39	$ 37,73	0,713	$ 28,52	0,356	$ 7,12	$ 37,7

5.4.5. COSTO DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE

El costo final de fabricación resulta de la suma de todos los rubros aplicados, este se lo presenta en la tabla 45:

Tabla 45: Costo final de fabricación del sistema de soporte

RUBRO	VALOR ($)
Elementos normalizados	$ 0,00
Mano de obra	$ 184,85
Material base	$ 668,74
Material para fabricación	$ 37,7
Elementos especiales	$ 0,00
SUBTOTAL 1	$ 891,32
IMPREVISTOS (10%)	$ 89,13
TOTAL	$ 980,45

5.5. COSTO FINAL DE LA MÁQUINA TRITURADORA DE NEUMÁTICOS

El costo de fabricación, junto con los costos de montaje, diseño y utilidad, además del precio final de comercialización se los presenta en la tabla 46:

Tabla 46: Costos finales de Máquina trituradora de neumáticos

DESCRIPCIÓN	VALOR
Costo de fabricación del sistema de alimentación	$ 428,00
Costo de fabricación del sistema de trituración	$ 16.545,94
Costo de fabricación del sistema de transmisión	$ 40.405,74
Costo de fabricación del sistema de soporte	$ 959,06
COSTO DE FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA	**$ 58.338,74**
Costo de montaje (10%)	$ 5.833,87
Costo de diseño (10%)	$ 5.833,87
Utilidad (15%)	$ 8.750,81
COSTO FINAL	**$ 78.757,30**

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

La máquina trituradora de neumáticos se ha diseñado con una capacidad de 1ton/hora, siendo capaz de triturar llantas de un tamaño máximo rin 22.5 completas; es decir sin la necesidad de realizar un paso previo para la extracción del refuerzo metálico.

Los restos de trituración van a tener una dimensión aproximada de 5mm x 50mm debido a la distancia entre cuchillas y cuchillas con separadores, el espesor variará con cada neumático.

La máquina tiene una dimensión global de 5.1x1.7x1.3 m haciéndola una maquina grande, pero el diseño de la misma permite su fácil trasporte debido a que es 70% desarmable, sin reducir su resistencia ni rigidez.

El costo global de la maquina es $78.757,30 lo que la convierte en una maquina relativamente económica frente a sus competidores, los cuales comercializan máquinas de similares capacidades cerca de los $100.000

Las simulaciones realizadas a lo elementos mecánicos diseñados previamente dan como resultado factores de seguridad superiores a 1.5 verificando así que el diseño realizado cumple con los requisitos de carga a los cuales estará sometida la maquina en funcionamiento.

La condición inicial de triturar mínimo una 1ton/hora ha sido cumplida satisfactoriamente, lo que se puede comprobar mediante la velocidad de cuchillas, dimensiones de neumáticos y el peso de los mismos.

6.2. RECOMENDACIONES

El costo de fabricación de la maquina puede disminuir al diseñar las cuchillas, sin embargo el tiempo de diseño aumentará, corresponde a los futuros diseñadores tomar la decisión entre costo o tiempo que podría variar a la del presente proyecto.

Se puede alivianar el peso de la estructura de soporte sin alterar las propiedades deseadas, cambiando los perfiles de sección cuadrada por otros que cumplan con los requisitos, sabiendo que en este caso el área o el factor de seguridad no son un factor de diseño, sino la geometría misma de dichos perfiles (radio de giro).

Al tratarse de diseño modular, cada uno de los subsistemas es adaptable a otros, según el requerimiento de cada cliente, espacio disponible, presupuesto, etc., a la presente máquina se la pueden agregar bandas transportadoras para la entrada y salida de material, salida direccionada del material con soplador, conducción con banda transportadora a más pasos de triturado, adaptabilidad de separador magnético, entre otros.

El mantenimiento preventivo de la máquina consiste en cambio de rodamientos, comprobación del estado de la cuchillas (afilarles si es necesario o cambiarlas de posición), limpieza de restos de trituración, comprobación del estado del bastidor y demás componentes.

La aplicación de proyectos que tienen relación con el reciclaje y aprovechamiento económico de residuos deberían tener mayor apertura e inversión económica en gobiernos nacionales y seccionales así como en unidades educativas, considerando que la materia prima es muy barata y las aplicaciones infinitamente altas.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Shigley, J. and Mischke, C. (2002). Diseño en ingeniería mecánica. México [etc.]: McGraw-Hill.

[2] Anónimo. Neumáticos, la dificultad de la elección. Consultado el 23 de Abril del 2015. http://neumaticobarato.blogspot.com/2012/11/historia-y-tipo-de-neumatico.html

[3] Anónimo. Neumáticos, la dificultad de la elección. Consultado el 23 de Abril del 2015. http://neumaticobarato.blogspot.com/2012/11/histo1ria-y-tipo-de-neumatico.html

[4] Anónimo. El mundo de los neumáticos. Consultado el 25 de Abril del 2015. http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/automovil/paginas/El_neumatico.htm

[5] mercadodecoche.com. Sistema de neumáticos que podemos utilizar. Consultado el 29 de Abril del 2015. http://www.marcadecoche.com/sistema-neumaticos.html

[6] Sportics, Deportes y Tecnología. ERW, la rueda que funciona sin cámara de aire. Consulta realizada el 30 de Abril del 2015. http://sportics.es/erw-la-rueda-que-funciona-sin-camara-de-aire/.

[7] Trueman Ruber and Harware Industry Limited. Ruedas semi neumáticas. Consultado el 30 de Abril del 2015. http://es.made-in-china.com/co_xubush/product_Pneumatic-Solid-Semi-Pneumatic-Wheels_hueieysoy.html

[8] Castro, Guillermo. Materiales y Compuestos para la Industria del Neumático. Diciembre del 2008. Consultada realizada el 30 de Abril del 2015. http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf

[9] Anónimo. Komptech Terminator UF Shredding Tires.wmv. Consulta realizada el 01 de Mayo del 2015. https://www.youtube.com/watch?v=WgrEG0Yp6ws

[10] MECALUX. Triturador de doble eje. Consulta realizada el 01 de Abril del 2015. http://www.logismarket.es/plasmaq/triturador-de-doble-eje/3727240128-2876294103-p.html

[11] UNHTHA Sheridding Technology. Trituradora de 4 ejes. Consulta realizada el 01 de Mayo del 2015. www.UNTHA.com

[12] TIKES. Neumático acero alambre. Consulta realizada el 1 de Mayo del 2015. http://www.tiresspa.com/es/neumatico-acero-alambre.html.

[13] Anónimo. Tabla de aceros. Consultada el 1 de Mayo del 2015. http://matensayos.webcindario.com/tablas/tablapropiedades.pdf

[14] AGUADO, Roberto; OLAZAR, Martín; VÉLEZ, David; ARABIOURRUTIA, Miriam; BILBAO, Javier. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 73 (2005) p. 290-298.

[15] CANO E; CEREZO L. URBINA M; Valorización material y energética de los neumáticos fuera de uso; CEIM, Madrid (2012). p 35

[16] Shih, A. and McCall, R. (2004). Kinematics and Wear of Tool Blades for Scrap Tire Shredding.MACHINING SCIENCE AND TECHNOLOGY, 8(2), pp.3,4,5.

[17] Rodgers, M. (2016). THREE TYPES OF LOW SPEED SHREDDER DESIGN. Desconocida, 1(1), pp.265-274.

[18] Anónimo, (2016). GOMERIA SANTA FE. [online] Gomeriasantafe.com. Available at: http://gomeriasantafe.com/datosutiles/datosutiles.html [Accessed 14 Mar. 2016].

[19] Whitney, N. (2013). Propiedades del caucho de estireno-butadieno | eHow en Español. [online] eHow en Español. Available at: http://www.ehowenespanol.com/propiedades-del-caucho-estirenobutadieno-info_240212/ [Accessed 14 Mar. 2016].

[20] Méndez, C. and Solano, F. (2016). Diseño de un triturador de neumáticos usados. Ingeniería. UPS.

ANEXOS

ANEXO 1: TABLAS

Tabla 47: Propiedades de los aceros de alto contenido de carbono (kg/mm^2).[36]

MATERIAL	TRACCIÓN			COMPRESIÓN		TORSIÓN		DUREZA
	σ_t kg/mm^2	σ_{sut} kg/mm^2	δ % Lo= 50.8mm	σ_c kg/mm^2	σ_{suc} kg/mm^2	τ_f kg/mm^2	τ_{ET} kg/mm^2	Brinell
SAE 40 (0,4% de C)								
Laminado en caliente	30	49	25	30	…	17,6	…	135
Tratado térmicamente	42	62	25	42	…	…	…	190
SAE 1050 (0,5% de C) normalizado	39,5	69	24	…	…	…	…	170
SAE 1050 (0,6% de C)								
Laminado en caliente	42	77	15	42	…	25	60	…
Tratado térmicamente	55	84	15	54	…	33	…	235
SAE 1080 (0,8% de C)								
Tratado térmicamente	89	127	2	88	…	53	…	260
SAE 1095 (0,95%de C)								
Normalizado	67	105	20	…	…	…	…	…

[36] *matensayos.webcindario.com*

Tabla 48: Características de los productos según la tecnología utilizada

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

Tabla 49: Resumen de las tecnologías empleadas para el reciclaje de NFU.[37]

Tecnología	Características	Ventajas	Desventajas
Recauchutado	Sustitución de las gomas viejas de los neumáticos y reconstrucción de la estructura original	Menor cantidad de crudo. Reducción coste fabricación 30-50%	Número limitado de Recauchutados Características ligeramente disminuidas
Tratamientos Mecánicos	Trituración previa de los NFU para reducir el tamaño	Permite la reducción del volumen. Facilita la molienda u otras técnicas	No existen muchos estudios para mejora de la técnica
Tecnologias de reducción de tamaño	Molienda a temperatura ambiente (mecánica). Molienda criogénica (enfriamiento del caucho mediante N2) Molienda húmeda (por chorro de agua).	Consigue reducir a tamaños que van desde 500 mm a inferiores de 500 µm. Molienda criogénica permite partículas de menor tamaño, superficie más suave y menor oxidación superficial.	Lixiviado de ZnO. Molienda a T.A.; Coste elevado por la necesidad de un mantenimiento continuo de la maquinaria Molienda criogénica; coste adicional por precio del N2 y fase adicional de secado.
Tecnologias de regeneracion	Desvulcanización; rotura selectiva del enlace químico entrecruzado del azufre en el caucho vulcanizado. Recuperación de materias primas.	Descomposición de los componentes del neumático. Permite reutilizar los componentes de caucho de los NFU para la fabricación de distintos elementos.	Caucho obtenido con propiedades físicas inferiores al original Importante una óptima elección de la materia prima y condiciones de proceso
Pirolisis	Calentamiento del granulado de NFU a temperatura 400-800ºC en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo.	Recuperación de componentes. Gases pirolíticos tienen elevado poder calorífico Negro de carbono se puede reutilizar. Negro Pirolítico para coloración y absorbente luz UV.	Problemática con la aplicación de los aceites condensables obtenidos. Características de los productos depende de las condiciones del proceso. Carbono pirolítico tiene propiedades similares o inferiores a la serie 700.

[37] VT 2015

ANEXO 2: CASA DE LA CALIDAD

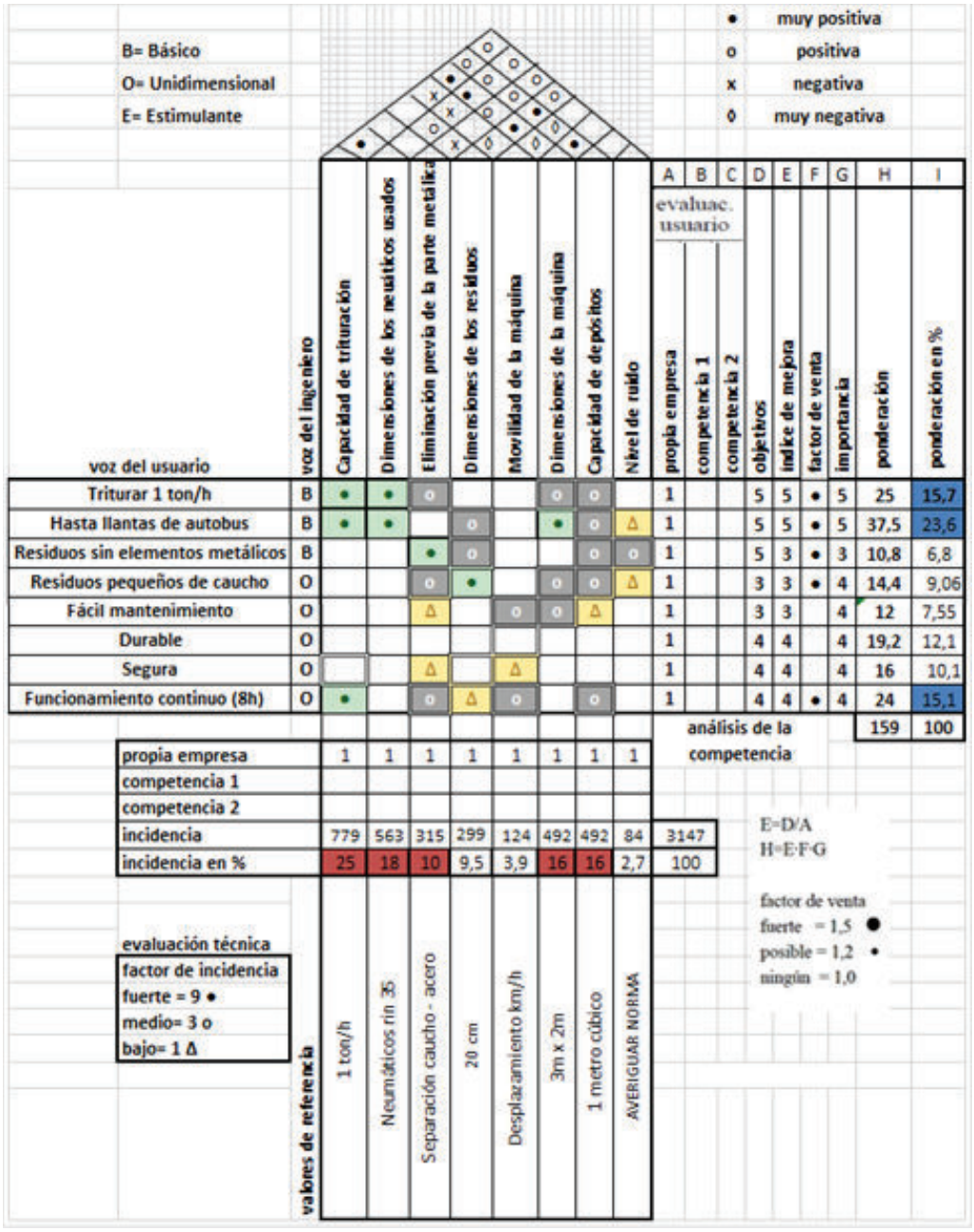
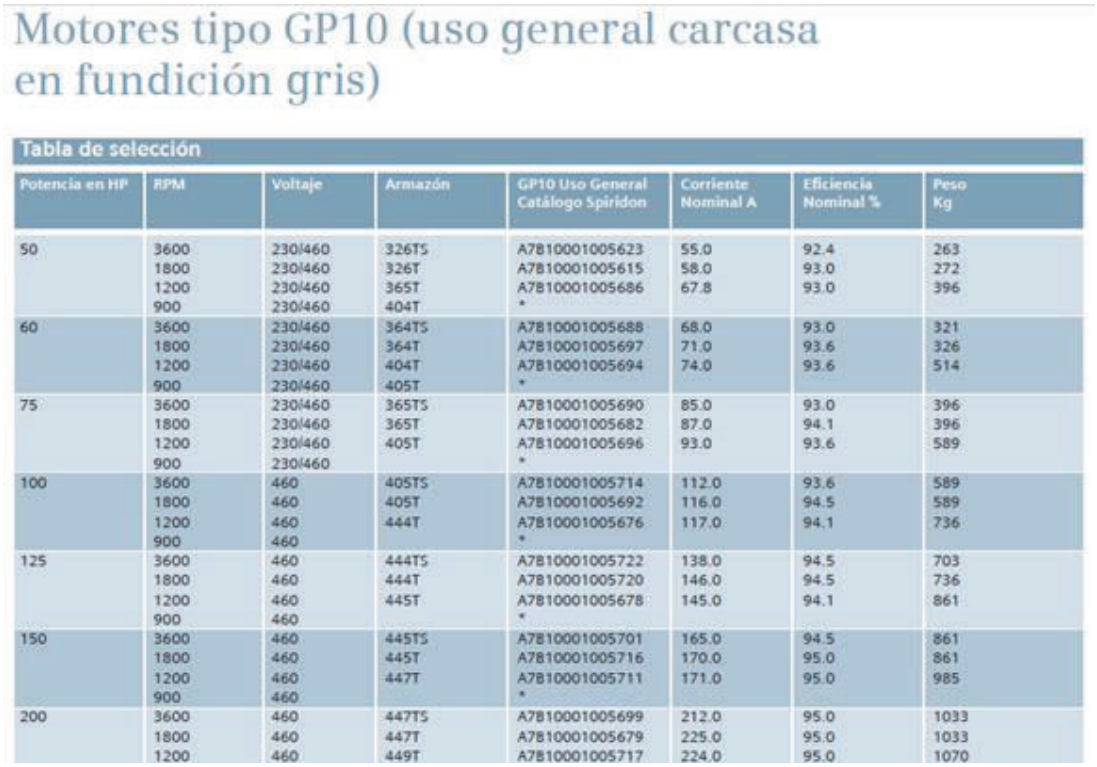


Figura 68: Casa de la calidad. Fuente: propia

ANEXO 3: CATÁLOGOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS.



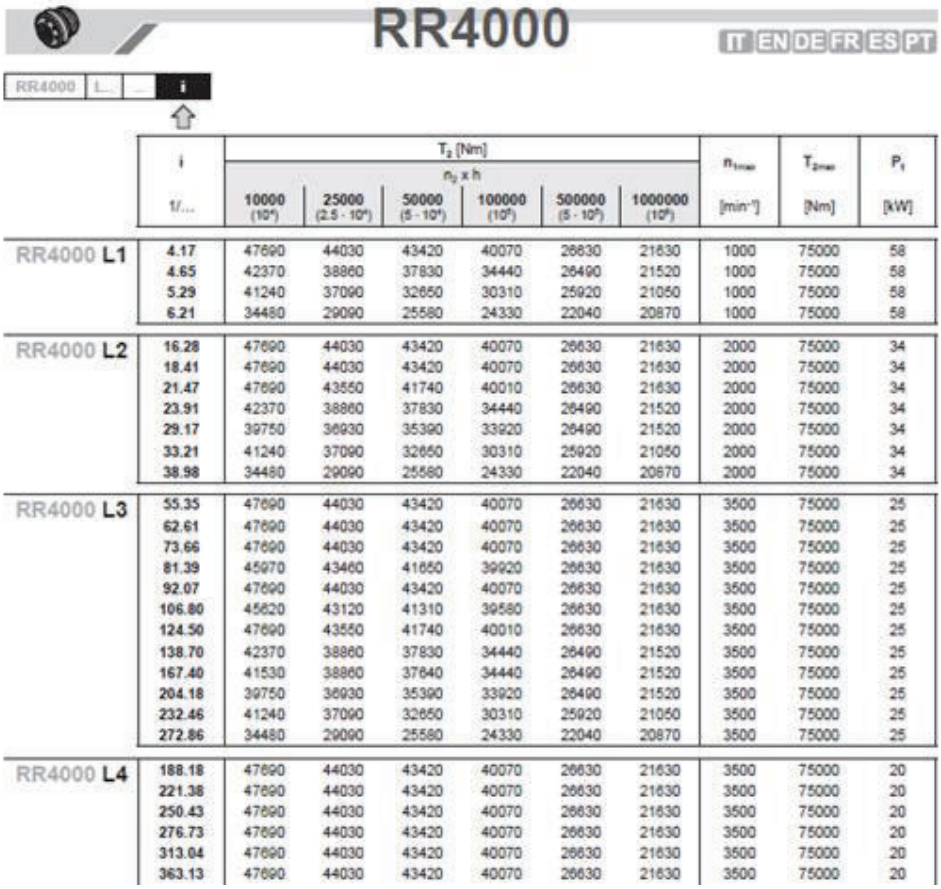
Motores tipo GP10 (uso general carcasa en fundición gris)

Tabla de selección

Potencia en HP	RPM	Voltaje	Armazón	GP10 Uso General Catálogo Spiridon	Corriente Nominal A	Eficiencia Nominal %	Peso Kg
50	3600	230/460	326TS	A7810001005623	55.0	92.4	263
	1800	230/460	326T	A7810001005615	58.0	93.0	272
	1200	230/460	365T	A7810001005686	67.8	93.0	396
	900	230/460	404T	*			
60	3600	230/460	364TS	A7810001005688	68.0	93.0	321
	1800	230/460	364T	A7810001005697	71.0	93.6	326
	1200	230/460	404T	A7810001005694	74.0	93.6	514
	900	230/460	405T	*			
75	3600	230/460	365TS	A7810001005690	85.0	93.0	396
	1800	230/460	365T	A7810001005682	87.0	94.1	396
	1200	230/460	405T	A7810001005696	93.0	93.6	589
	900	230/460		*			
100	3600	460	405TS	A7810001005714	112.0	93.6	589
	1800	460	405T	A7810001005692	116.0	94.5	589
	1200	460	444T	A7810001005676	117.0	94.1	736
	900	460		*			
125	3600	460	444TS	A7810001005722	138.0	94.5	703
	1800	460	444T	A7810001005720	146.0	94.5	736
	1200	460	445T	A7810001005678	145.0	94.1	861
	900	460		*			
150	3600	460	445TS	A7810001005701	165.0	94.5	861
	1800	460	445T	A7810001005716	170.0	95.0	861
	1200	460	447T	A7810001005711	171.0	95.0	985
	900	460		*			
200	3600	460	447TS	A7810001005699	212.0	95.0	1033
	1800	460	447T	A7810001005679	225.0	95.0	1033
	1200	460	449T	A7810001005717	224.0	95.0	1070

Figura 69: Sección del catálogo de motores eléctricos SIEMENS 2016[38]

[38] www.siemens.com



RR4000

IT EN DE FR ES PT

RR4000 | L... | ... | i

	i	T_2 [Nm] $n_2 \times h$						n_{1max}	T_{2max}	P_1
	1/...	10000 (10^4)	25000 ($2.5 \cdot 10^4$)	50000 ($5 \cdot 10^4$)	100000 (10^5)	500000 ($5 \cdot 10^5$)	1000000 (10^6)	[min^{-1}]	[Nm]	[kW]
RR4000 **L1**	**4.17**	47690	44030	43420	40070	26630	21630	1000	75000	58
	4.65	42370	38860	37830	34440	26490	21520	1000	75000	58
	5.29	41240	37090	32650	30310	25920	21050	1000	75000	58
	6.21	34480	29090	25580	24330	22040	20870	1000	75000	58
RR4000 **L2**	**16.28**	47690	44030	43420	40070	26630	21630	2000	75000	34
	18.41	47690	44030	43420	40070	26630	21630	2000	75000	34
	21.47	47690	43550	41740	40010	26630	21630	2000	75000	34
	23.91	42370	38860	37830	34440	26490	21520	2000	75000	34
	29.17	39750	36930	35390	33920	26490	21520	2000	75000	34
	33.21	41240	37090	32650	30310	25920	21050	2000	75000	34
	38.98	34480	29090	25580	24330	22040	20870	2000	75000	34
RR4000 **L3**	**55.35**	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	25
	62.61	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	25
	73.66	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	25
	81.39	45970	43460	41650	39920	26630	21630	3500	75000	25
	92.07	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	25
	106.80	45620	43120	41310	39580	26630	21630	3500	75000	25
	124.50	47690	43550	41740	40010	26630	21630	3500	75000	25
	138.70	42370	38860	37830	34440	26490	21520	3500	75000	25
	167.40	41530	38860	37640	34440	26490	21520	3500	75000	25
	204.18	39750	36930	35390	33920	26490	21520	3500	75000	25
	232.46	41240	37090	32650	30310	25920	21050	3500	75000	25
	272.86	34480	29090	25580	24330	22040	20870	3500	75000	25
RR4000 **L4**	**188.18**	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	20
	221.38	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	20
	250.43	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	20
	276.73	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	20
	313.04	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	20
	363.13	47690	44030	43420	40070	26630	21630	3500	75000	20

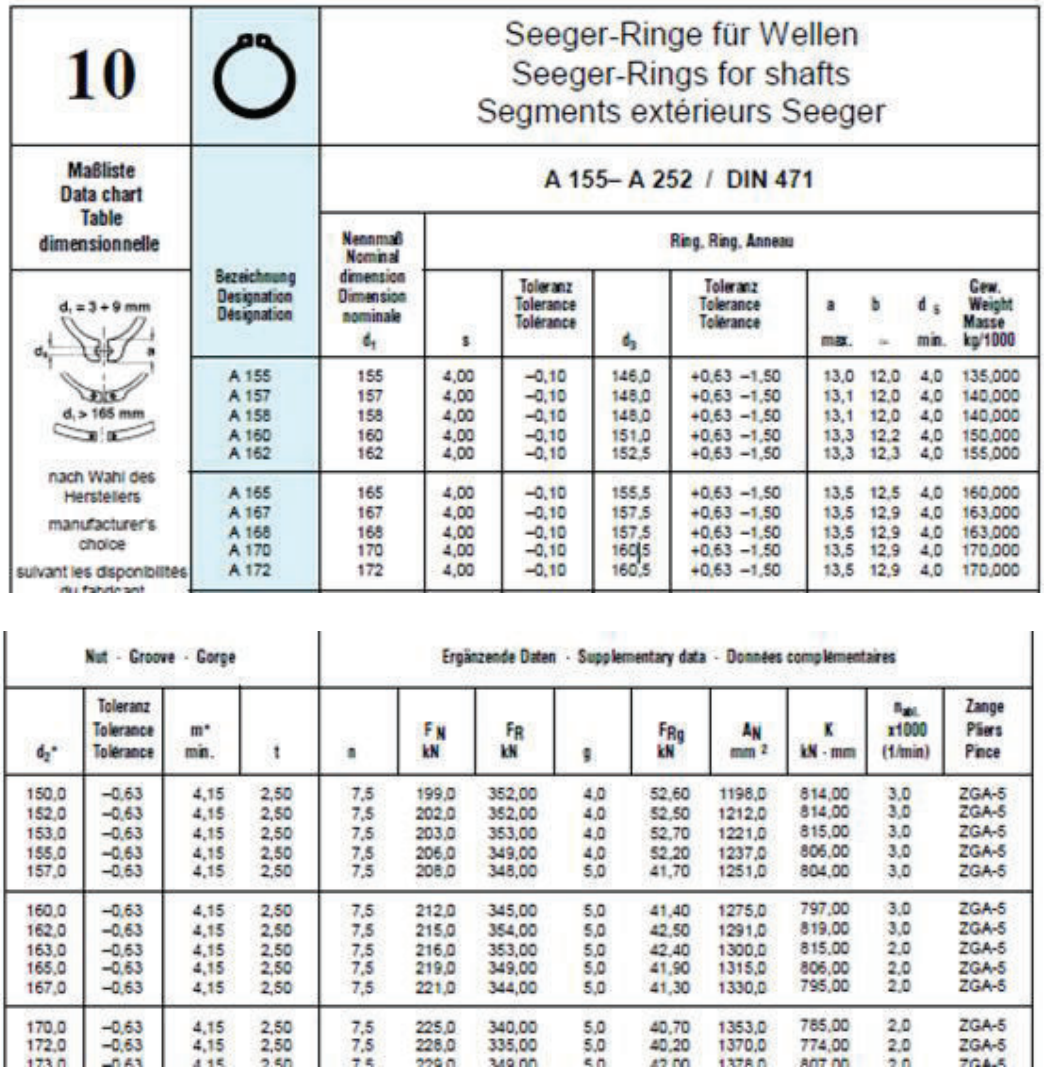
Figura 70: Sección del catálogo de REGGIANA RIDUTTORI[39]

[39] www.reggianidutori.com

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Designation
			dynamic	static		Reference speed	Limiting speed	
d	D	B	C	C_0	P_u			
mm			kN		kN	r/min		
▲	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
10	30	14	7.61	4.3	0.183	22000	24000	**3200 ATN9**
10	30	14	7.61	4.3	0.183	22000	24000	**3200 A-2ZTN9/MT33**
10	30	14	7.61	4.3	0.183		17000	**3200 A-2RS1TN9/MT33**
10	30	14.3	7.61	4.3	0.183		17000	**3200 A-2RS1**
10	30	14.3	7.61	4.3	0.183	22000	24000	**3200 A-2Z**
12	32	15.9	10.1	5.6	0.24		15000	**3201 A-2RS1**
12	32	15.9	10.1	5.6	0.24	20000	22000	**3201 ATN9**
12	32	15.9	10.1	5.6	0.24		15000	**3201 A-**
100	215	82.6	255	255	8.65	2600	2800	**3320 A**
110	200	69.8	212	212	7.2	2800	2800	**3222 A**
110	240	92.1	291	305	9.8	2400	2600	**3322 A**
120	190	66	182	232	8	3000	3600	**305256 D**
150	230	70	203	285	9	2400	3000	**305283 DA**
150	230	70	203	285	9	2400	3000	**305283 D**
150	225	73	182	265	7.5	1700	2000	**305286 D**
160	240	76	234	335	10	2200	2800	**305183**
170	260	84	281	405	11.6	2000	2600	**305180**
180	250	70	190	285	8.65	2000	2600	**305288 DA**
180	259.5	66	225	310	8.8	2000	2600	**305262 D**
190	269.5	66	270	415	11.6	1900	2400	**305338 D**
200	289.5	76	178	232	6.3	1800	2200	**305263 D**
200	289.5	76	178	232	6.3	1800	2200	**305263 DA**
200	280	80	242	380	10.4	1900	2400	**305393**

Figura 71: Sección del catálogo de rodamientos SKF.[40]

[40] http://www.skf.com/es/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/double-row-angular-contact-ball-bearings/double-row/index.html



10

Seeger-Ringe für Wellen
Seeger-Rings for shafts
Segments extérieurs Seeger

Maßliste
Data chart
Table
dimensionnelle

A 155– A 252 / DIN 471

$d_1 = 3 + 9$ mm

$d_1 > 165$ mm

nach Wahl des Herstellers
manufacturer's choice
suivant les disponibilités du fabricant

Bezeichnung Designation Désignation	Nennmaß Nominal dimension Dimension nominale d_1	Ring, Ring, Anneau							
		s	Toleranz Tolerance Tolérance	d_3	Toleranz Tolerance Tolérance	a max.	b ~	d_5 min.	Gew. Weight Masse kg/1000
A 155	155	4,00	–0,10	146,0	+0,63 –1,50	13,0	12,0	4,0	135,000
A 157	157	4,00	–0,10	148,0	+0,63 –1,50	13,1	12,0	4,0	140,000
A 158	158	4,00	–0,10	148,0	+0,63 –1,50	13,1	12,0	4,0	140,000
A 160	160	4,00	–0,10	151,0	+0,63 –1,50	13,3	12,2	4,0	150,000
A 162	162	4,00	–0,10	152,5	+0,63 –1,50	13,3	12,3	4,0	155,000
A 165	165	4,00	–0,10	155,5	+0,63 –1,50	13,5	12,5	4,0	160,000
A 167	167	4,00	–0,10	157,5	+0,63 –1,50	13,5	12,9	4,0	163,000
A 168	168	4,00	–0,10	157,5	+0,63 –1,50	13,5	12,9	4,0	163,000
A 170	170	4,00	–0,10	160,5	+0,63 –1,50	13,5	12,9	4,0	170,000
A 172	172	4,00	–0,10	160,5	+0,63 –1,50	13,5	12,9	4,0	170,000

Nut · Groove · Gorge				Ergänzende Daten · Supplementary data · Données complémentaires								
d_2*	Toleranz Tolerance Tolérance	m* min.	t	n	F_N kN	F_R kN	g	F_{Rg} kN	A_N mm²	K kN · mm	$n_{max.}$ x1000 (1/min)	Zange Pliers Pince
150,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	199,0	352,00	4,0	52,60	1198,0	814,00	3,0	ZGA-5
152,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	202,0	352,00	4,0	52,50	1212,0	814,00	3,0	ZGA-5
153,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	203,0	353,00	4,0	52,70	1221,0	815,00	3,0	ZGA-5
155,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	206,0	349,00	4,0	52,20	1237,0	806,00	3,0	ZGA-5
157,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	208,0	348,00	5,0	41,70	1251,0	804,00	3,0	ZGA-5
160,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	212,0	345,00	5,0	41,40	1275,0	797,00	3,0	ZGA-5
162,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	215,0	354,00	5,0	42,50	1291,0	819,00	3,0	ZGA-5
163,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	216,0	353,00	5,0	42,40	1300,0	815,00	2,0	ZGA-5
165,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	219,0	349,00	5,0	41,90	1315,0	806,00	2,0	ZGA-5
167,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	221,0	344,00	5,0	41,30	1330,0	795,00	2,0	ZGA-5
170,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	225,0	340,00	5,0	40,70	1353,0	785,00	2,0	ZGA-5
172,0	–0,63	4,15	2,50	7,5	228,0	335,00	5,0	40,20	1370,0	774,00	2,0	ZGA-5

Figura 72: Secciones del catálogo ORIGINAL SEGGER[41]

[41] ORIGINAL SEGGER. Catálogo de productos

Dimensions (in)

Size ①	Torque Rating (lb-in) ②	Allow Speed RPM ③	Max Bore ④	Min Bore ⑤	Cplg Wt With No Bore (lb)		Lube Wt (lb)	A	B	C	D	F	H	J	M	GAP
					G10	G20										
1010G	10,080	8,000	1.875	0.50	9	10	0.09	4.56	3.50	1.69	2.70	3.30	0.55	1.53	2.00	0.125
1015G	20,790	6,500	2.375	0.75	17	20	0.16	6.00	4.00	1.94	3.40	4.14	0.75	1.88	2.40	0.125
1020G	37,800	5,600	2.875	1.00	30	35	0.25	7.00	5.00	2.44	4.14	4.96	0.75	2.34	3.00	0.125
1025G	66,150	5,000	3.625	1.25	55	65	0.50	8.38	6.25	3.03	5.14	6.10	0.86	2.82	3.60	0.188
1030G	107,100	4,400	4.125	1.50	85	95	0.80	9.44	7.37	3.59	6.00	7.10	0.86	3.30	4.20	0.188
1035G	163,800	3,900	4.875	2.00	135	150	1.20	11.00	8.63	4.19	7.00	8.32	1.12	3.84	5.10	0.250
1040G	270,900	3,600	5.750	2.50	195	215	2.00	12.50	9.75	4.75	8.25	9.66	1.12	4.38	5.70	0.250
1045G	371,700	3,200	6.750	3.00	280	300	2.30	13.62	10.93	5.31	9.25	10.79	1.12	4.84	6.50	0.312
1050G	500,900	2,900	7.375	3.50	390	420	3.90	15.31	12.37	6.03	10.00	12.04	1.50	5.54	7.20	0.312
1055G	655,200	2,650	8.250	4.00	525	550	4.90	16.75	13.56	6.62	11.00	13.16	1.50	6.22	8.00	0.312
1060G	800,100	2,450	9.125	4.50	–	675	7.00	18.00	15.13	7.41	12.00	14.41	1.00	6.66	9.00	0.312
1070G	1,197,000	2,150	10.875	5.00	–	1070	9.60	20.75	17.75	8.69	14.00	16.73	1.12	7.70	10.50	0.375

Table 7 — Limited End Float & Standard Gap Disc Dimensions (in)

Size	B	End Float ⑦	Gap Disc ⑧		GAP
			Thickness	Dia	
1010G	3.58	0.094	0.156	2.95	0.203
1015G	4.08	0.094	0.156	3.70	0.203
1020G	5.11	0.094	0.188	4.50	0.234
1025G	6.39	0.094	0.281	5.56	0.328
1030G	7.54	0.094	0.312	6.50	0.359
1035G	8.79	0.188	0.312	7.55	0.406
1040G	9.91	0.188	0.312	8.96	0.406
1045G	11.15	0.188	0.438	9.95	0.531
1050G	12.59	0.188	0.438	10.95	0.531
1055G	13.80	0.188	0.469	12.00	0.563
1060G	15.45	0.188	0.532	13.12	0.625
1070G	18.10	0.188	0.625	15.10	0.718

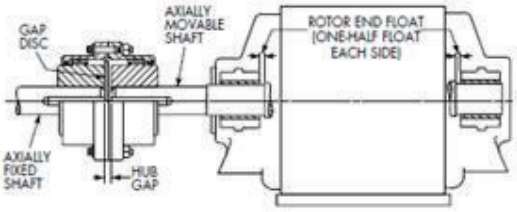


Figura 73: Sección del catálogo REXNORD couplings[42]

[42] www.rexnord.com

ANEXO 4: PLANOS

ANEXO 5: COSTOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

Rend.	Precio unitario	Precio partida
1,050	1,03	1,08
0,050	6,31	0,32
0,015	2,54	0,04
0,022	3,85	0,08
0,022	2,43	0,05
2,000	1,57	0,03
3,000	1,60	0,05
	Total:	1,65

Figura 74: Costo por kilogramo de acero estructural.[43]

Pintulac Ecommerce <ecommerce@pintulac.com.ec> 7 mar. (hace 9 días)

para mí

Gracias por utilizar nuestros servicios en línea.
Si necesita información adicional no dude en comunicarse con nosotros respondiendo a este email o con nuestro departamento de Atención al Cliente: (02) 2530 912 Ext. 12
A continuación, los datos de su proforma.

Pintulac.com.ec
Proforma Web

Cédula/RUC: 1716178049
Cliente: Sebastian Espinosa
Dirección: Av. Napo y Dieo de Trujillo esq
Ciudad: Quito
Teléfono: 0984088672
Asesor: www.pintulac.com.ec
Fecha: 7/03/2016
Validez: 24 horas
Detalle Proforma:

Producto	Descripción	Cantidad	Precio
W451-GL	STOP ANTICORROSIVO	1	$18.63

Subtotal	$18.63
IVA	$2.24
Total	**$20.87**

Figura 75: Costo del litro de pintura anticorrosiva[44]

[43] *http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/Estructuras/Acero/Columnas/Acero_en_columnas.html*
[44] Pintulac.ec

MACRUM

Quito DM. 2016/03/16

Señor.
SEBASTIAN ESPINOZA.
Presente.

Me permito poner en su conocimiento la cotización del motorreductor detallado:

CANT.	DETALLE
1	**MOTOR B3 CON PATAS Y TAPA** MARCA: ABB (USA) MODELO: M2QA 280 M4A POTENCIA: 125HP/4P (1776) TORQUE DE SERVICIO: 456 Nm DIAMETRO DEL AGUJERO DE SERVICIO: 75mm. VOLTAGE: 220-440V/ TRIFASICO PROTECCION: IP55 CONTRA POLVO Y AGUA. FACTRO DE SERVICIO: 1.15
	PRECIO. **$ 6895 +IVA**

FORMA DE PAGO	Contado.
TIEMPO DE ENTREGA	1 semana aprox.
Garantia	1 año contra defectos de fabricación.
Validez de la oferta.	15 días.

Atentamente.

Tec. Daniel Rueda.
Departamento Técnico.

Figura 76: Cotización motor de 125 hp.[45]

[45] MACRUM DISTRIBUIDORES

Alberto Barona
para mí

Estimado Sebastian:
Buena tarde el precio de por kilo del eje de transmision es de 1.62 incluye iva.

Adjunto catalogo para que se revise las medidas y poder confirmar las medidas.

Alguna inquietud estoy a las ordenes.

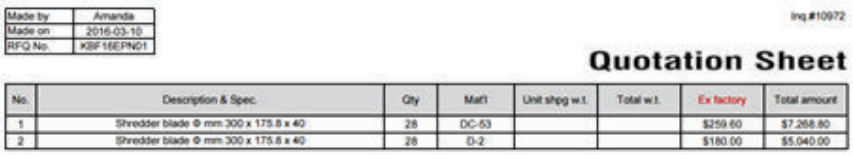
Mi telefono; 0958983096
Saludos,

Alberto Barona
Ejecutivo de Ventas
Taura y Panamericana Sur Km. 5 1/2
Quito - Ecuador
Telf.: (02) 267 1310

Email. abarona@dipacmanta.com
www.dipacmanta.com

De: Abakus Capacitacón [mailto:abakuscapacitacion@gmail.com]
Enviado el: martes, 08 de marzo de 2016 16:37
Para: Alberto Barona
Asunto: COTIZACIÓN

Figura 77: Cotización precio de acero de transmisión por kilogramo[46]



Made by	Amanda
Made on	2016-03-10
RFQ No.	KBF16EPN01

Inq.#10972

Quotation Sheet

No.	Description & Spec.	Qty	Mat'l	Unit shpg w.t.	Total w.t.	Ex factory	Total amount
1	Shredder blade Φ mm 300 x 175.8 x 40	28	DC-53			$259.60	$7,268.80
2	Shredder blade Φ mm 300 x 175.8 x 40	28	D-2			$180.00	$5,040.00

Figura 78: Cotización cuchillas.[47]

Tabla 50: Costo de varios elementos. [48]

Elemento	Costo
Kilogramo de electrodo E6010	$ 7,00
Galón de diluyente de pintura	$ 20,00
Kilogramo de acero al carbono	$ 1,18

[46] DIPAC Manta. Servicio al cliente
[47] SKS, China. Servicio al cliente
[48] Mecánica Industrial Espinosa Suarez e hijos Servicio a cliente.

Tabla 51: Costo de elementos normalizados.[49]

Elemento	Especificación	Precio unitario
Perno de sujeción	AISI B18.2.3.4M, M14X2X30	$ 0,40
Perno de sujeción	AISI B18.6.7M, M12X1.75X20	$ 0,35
Tuera hexagonal	AISI B18.2.2.4M, M14X2	$ 0,10
Rodamientos	SKF 305283D	$ 750,00
Anillos de retención	DIN 471 A150	$ 7,00
Pernos laterales	AISI B18.2.3.4M, M14x2x30	$ 0,40
Tuercas laterales	AISI B18.2.2.4M, M14x2	$ 0,20
Casquillo hexagonal	AISI B18.3.6.M, M12X1,75X8	$ 0,40

[49] Distribuidora El Recreo. Servicio al cliente

MACRUM
POTENCIA Y TRANSPORTACION

Quito DM. 2016/03/28

Señor/es.
SEBASTIAN ESPINOZA.
Presente.-

Me permito poner en su conocimiento la cotización del tablero de control detallado:

CANT.	DETALLE
1	**TABLERO DE CONTROL PARA MOTORREDUCTORES DE 125HP** INCLUYE: - Inversión de giro. - Variador de frecuencia de 270hp/440V para arranques y paros suaves y controlados. - Guardamotor. - Cables. - Instalacion y puesta en marcha. **PRECIO UNIT. $ 50.000 +IVA**

FORMA DE PAGO	70% Contado. 30% Contra entrega.
TIEMPO DE ENTREGA	30 días laborables aprox.
Garantía	1 año contra defectos de fabricación.
Validez de la oferta.	15 días.

Atentamente.

Tec. Daniel Rueda.
Departamento Técnico.