DISEÑO DE UN SISTEMA PRIMARIO EN EL PROCESO DE TRITURACIÓN DE LLANTAS USADAS DESALAMBRADAS

JUAN CAMILO MURCIA CORREA
ANDRÉS RICARDO ROMERO MENDOZA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2016

DISEÑO DE UN SISTEMA PRIMARIO EN EL PROCESO DE TRITURACIÓN DE LLANTAS USADAS DESALAMBRADAS

JUAN CAMILO MURCIA CORREA
ANDRÉS RICARDO ROMERO MENDOZA

Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2016

Nota de aceptación:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
Presidente del Jurado
Ing. Gabriel H. Rivera

_____
Jurado 1
Ing. Ricardo A. Forero

_____
Jurado 2
Ing. Francisco J. Gonzalez

Bogotá D.C., 25 de Julio de 2016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Universidad América los jurados calificadores y el cuerpo de docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a Dios en primer lugar, por hacer todo posible a lo largo de este extenso camino llamado vida, por permitirme llegar hasta este punto y con la esperanza de que este será uno de muchos otros logros en mi vida.

A mi mamá Clara Eugenia Correa, a mi papá Edgar Murcia y a mi hermano Sergio Daniel Murcia, por su constante e incondicional apoyo en todos mis planes y decisiones, por su infinita paciencia a lo largo de este tiempo. Infinitas gracias.

A mi novia Catalina Umbarila por su apoyo, cariño y compañía incondicional.

A mis familiares y amigos por todo su apoyo, motivación y buenos momentos compartidos.

A mi compañero y amigo Ricardo Romero con quien comparto la felicidad de terminar este proyecto para convertirnos en Ingenieros Mecánicos.

Juan Camilo Murcia Correa

DEDICATORIA

En primero lugar agradezco a Dios por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida y dado las fuerzas para terminarla de la mejor manera, fue un reto superado y me da ánimos de seguir adelanté con nuevos desafíos.

A mi papa Ricardo Romero, a mi tía Cecilia Romero y a mi hermana Erika Romero que fueron y serán un gran apoyo, por brindarme toda su sabiduría para convertirme en la persona que soy y lograr todas mis metas, gracias por ser mi motivación. A mi mama Carolina que desde el cielo sé que me guía y me cuida para tomar las mejores decisiones.

A mi novia Paola Valderrama que siempre ha estado en los momentos de alegría y tristeza, hemos salido adelante juntos gracias por cumplir este sueño junto a mí, por tu apoyo, tu amor y por ser esa persona con la que siempre puedo contar.

A cada uno de los integrantes de mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de estos años de estudio porque sé que cada uno de ustedes puso un granito de arena para construir este sueño que hoy se hace realidad.

A mi compañero y amigo Juan Murcia, compañero de trabajo de grado con quien culmino esta etapa de mi vida.

Andrés Ricardo Romero Mendoza

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de América que permitió formarnos como ingenieros, colocando las instalaciones y el apoyo académico a nuestro servicio.

Agradecemos a nuestro orientador el Ingeniero Gabriel Rivera por su impecable labor guiándonos y acompañándonos incondicionalmente durante todo el desarrollo del proyecto y en la culminación de nuestra formación académica.

Agradecemos a el Ingeniero Edwin Rivera por acompañarnos durante nuestra vida académica, por su colaboración y apoyo incondicional en el desarrollo del proyecto.

Agradecemos a nuestras familias, parejas y nuestros amigos, por compartir y ser un apoyo en todo el proceso.

Agracemos al personal de la biblioteca por su colaboración y su cordial ayuda.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN 20

1. MÉTODO ACTUAL DE TRATAMIENTO DE LLANTAS USADAS 22
1.1 DATOS ESTADÍSTICOS DE LA DISPOSICIÓN DE LLANTAS EN BOGOTÁ 22
1.2 APLICACIONES DEL CAUCHO OBTENIDO DEL RECICLAJE DE LLANTAS 25
1.3 NEUMÁTICOS 28
1.3.1 Partes de los neumáticos 28
1.3.2 Propiedades generales de los neumáticos 30
1.3.3 Tipos de llantas existentes 32
1.4 TIPOS DE RECICLAJE DE LLANTAS 33
1.4.1 Termólisis 34
1.4.2 Incineración 34
1.4.3 Pirolisis 34
1.4.4 Desvulcanización 34
1.4.5 Regeneración 35
1.4.6 Trituración 35
1.5 ETAPAS DE TRITURADO DE LLANTAS 35

2. SISTEMAS DE TRITURACIÓN 39
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS TRITURADORA 39
2.2 TIPOS DE TRITURADORAS 40
2.3 TRITURADORES EMPLEADOS PARA TRITURACIÓN DE LLANTAS 42
2.3.1 Trituradora de 1 eje 42
2.3.2 Trituradora de 2 ejes 43
2.3.3 Trituradora de 4 ejes 45

3. PARÁMETROS Y DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA PRIMARIO DE TRITURACIÓN 49
3.1 FUENTE DE ENERGÍA 49
3.2 ESPACIO DISPONIBLE 49
3.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN 49
3.4 SISTEMA DE TRITURACIÓN 51
3.5 SISTEMA DE TRANSMISIÓN 52

4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO 54
4.1 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE TROZADO 54
4.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE REALIMENTACIÓN 57

5. DISEÑO DETALLADO 62
5.1 CÁLCULO DE POTENCIA DEL TRITURADOR 62
5.2 CÁLCULO DE POTENCIA Y TRANSMISIÓN DEL RECIRCULADOR 64
5.2.1 Calculo de potencia del sistema recirculador 64
5.2.2 Calculo de la trasmisión del sistema recirculador 66
5.3 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL EJE HEXAGONAL 70
5.4 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL EJE CIRCULAR 74
5.5 SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR 75
5.6 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE RODAMIENTOS 76
5.7 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA 79
5.8 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA 92
5.8.1 Análisis de la viga 92
5.8.2 Análisis de columnas 98
5.9 ANÁLISIS DE SOLDADURA 101
5.10 EJES DEL RECIRCULADOR 103
5.11 CÁLCULO DE TONILLOS 108
5.12 SELECCIÓN DE ACOPLAMIENTO 112

6. ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS 114
6.1 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA 114
6.2 ANÁLISIS DE BLOQUE TRITURACIÓN 117

7. MANUALES DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, Y SEGURIDAD 121
7.1 MANUAL DE OPERACIÓN 121
7.1.1 Reconocimiento de los componentes 121
7.1.2 Diagrama de Proceso de trituración 121
7.1.3 Tablero de Control 122
7.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO 123
7.2.1 Motorreductores 123
7.2.2 Banda Transportadora 124
7.2.3 Transmisión por cadena 124
7.2.4 Posibles fallas y averías 124
7.2.5 Rutina de mantenimiento 125
7.3 MANUAL DE SEGURIDAD 126
7.4 MANUAL DE INSTALACIÓN 127

8. ESTUDIO AMBIENTAL 130
8.1 IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL 130
8.2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL 131

9. EVALUACIÓN FINANCIERA 133
9.1 DETERMINACIÓN DE COSTOS DE FABRICACIÓN 133
9.2 COMPARACIÓN MAQUINAS DEL MERCADO Y DISEÑO DEL PROYECTO 135

9.3 ANÁLISIS COMPARATIVO 137

10. CONCLUSIONES 139

11. RECOMENDACIONES 140

BIBLIOGRAFÍA 141

ANEXOS 142

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Generación actual de llantas usadas en Bogotá D.C. 23
Tabla 2. Materiales de los neumáticos 31
Tabla 3. Composición fisicoquímica del neumático 32
Tabla 4. Dimensiones de las llantas según tamaño de rin 50
Tabla 5. Matriz de selección de sistema de trozado 57
Tabla 6. Matriz de selección de sistema de realimentación 60
Tabla 7. Numero de dientes disponibles comercialmente 67
Tabla 8. Capacidad de potencia de cadenas 68
Tabla 9. Dimensiones de cadenas estándares de rodillos ANSI 68
Tabla 10. Peso de las partes en movimiento G 80
Tabla 11. Factor de corrección para G 81
Tabla 12. Valores de Q normal 82
Tabla 13. Factor de fricción Fy 83
Tabla 14. Factor de transmisión K 84
Tabla 15. Capacidad de tensión de operación unitaria 85
Tabla 16. Selección de espesor de la cubierta 85
Tabla 17. Selección de cubierta banda transportadora 86
Tabla 18. Factor de seguridad 87
Tabla 19. Numero de dientes piñón conductor 89
Tabla 20. Dimensiones de los piñones 91
Tabla 21. Propiedades del perfil de acero tipo C 97
Tabla 22. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras 103
Tabla 23. Ancho de la cuña en función del diámetro del eje 106
Tabla 24. Valores geométricos de la cuña 107
Tabla 25. Propiedades de los pernos y tonillos de clases pulg 108
Tabla 26. Diámetros y áreas de esfuerzo por tensión para tornillos UNC–UNF 109
Tabla 27. Propiedades de la rigidez para varios materiales 110
Tabla 28. Factores de servicio acoples Intermec 112
Tabla 29. Tamaños y rpm de acoples Intermec 113
Tabla 30. Referencias de acoples Intermec 113
Tabla 31. Costos de ingeniería 133
Tabla 32. Costos de materiales 134
Tabla 33. Costos de montaje 134
Tabla 34. Costo total de la máquina 135
Tabla 35. Costo anual de un operario 138

LISTA DE GRÁFICAS

pág.

Grafica 1. Diagrama de cuerpo libre del eje hexagonal 72
Grafica 2. Diagrama de fuerza cortante V 73
Grafica 3. Diagrama de momento flexionante M 73
Grafica 4. Diagrama de cuerpo libre de la viga A 94
Grafica 5. Corte 1 en la viga 95
Grafica 6. Diagrama de fuerza cortante V, de la viga A 95
Grafica 7. Diagrama de momento flexionante M, de la viga A 96
Grafica 8. Diagrama de cuerpo libre del eje hexagonal 104
Grafica 9. Diagrama de fuerza cortante V 104
Grafica 10. Diagrama de momento flexionante M 104
Grafica 11. Deformación máxima en la estructura 115
Grafica 12. Esfuerzo máximo de la estructura 116
Grafica 13. Deformación máxima del bloque 119
Grafica 14. Esfuerzo máximo del bloque 120

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Tipos de caucho granulado utilizados en campos sintéticos 26
Cuadro 2. Partes de una trituradora 39
Cuadro 3. Trituradora 1 eje MR1500 42
Cuadro 4. Trituradora de 2 Ejes TB 700 Eléctrica 44
Cuadro 5. Trituradora de 2 Ejes TB 1000 Eléctrica 45
Cuadro 6. Trituradora de 4 árboles modelo 4080S 47
Cuadro 7. Trituradora de 4 árboles modelo 8080S 48
Cuadro 8. Datos de producción de la empresa CORPAUL 51
Cuadro 9. Tabla de parámetro. 53
Cuadro 10. Escala de calificación 54
Cuadro 11. Propiedades del caucho vulcanizado 62
Cuadro 12. Duración recomendada para rodamientos 77
Cuadro 13. Trasmisión de potencia 92
Cuadro 14. Fuerza cortante 95
Cuadro 15. Propiedades acero A36 114
Cuadro 16. Comparación de resultados simulación estructura 117
Cuadro 17. Propiedades de fundición gris ASTM 40 118
Cuadro 18. Elementos de la máquina 121
Cuadro 19. Posibles fallas y soluciones 124
Cuadro 20. Rutina de mantenimiento 125
Cuadro 21. Elementos que componen la máquina 127
Cuadro 22. Calificación impactos ambientales 130
Cuadro 23. Matriz de aspectos e impactos ambientales del proyecto 131
Cuadro 24. Criterios de selección 131
Cuadro 25. Evaluación de impacto ambiental 132
Cuadro 26. Diseño propuesto en el proyecto 135
Cuadro 27. Máquina A 136
Cuadro 28. Máquina B 136
Cuadro 29. Máquina C 137
Cuadro 30. Cuadro comparativo de las maquinas trituradoras de llantas 137

LISTA DE IMÁGENES

pág.

Imagen 1. Almacenamiento de llantas usadas 22
Imagen 2. Llantas usadas desechadas en Bogotá 24
Imagen 3. Proceso de reciclaje para las llantas usadas 25
Imagen 4. Piso de caucho reciclado de llantas 26
Imagen 5. Mezcla asfáltica con caucho reciclado 27
Imagen 6. Suela de caucho reciclado granulado 27
Imagen 7. Componentes de un neumático 28
Imagen 8. Desgaste de una llanta 29
Imagen 9. Indicador de desgaste de llantas 29
Imagen 10. Pestañas o talones de las llantas 30
Imagen 11. Llantas de tipo Radial 32
Imagen 12. Llantas de tipo diagonal o convencional 33
Imagen 13. Fase desprendimiento de alambre 36
Imagen 14. Fase de triturado 37
Imagen 15. Caucho en proceso de granulado 37
Imagen 16. Caucho granulado de llanta triturada 38
Imagen 17. Caucho triturado pulverizado 38
Imagen 18. Cuchillas de triturador de 1 eje MR1500 42
Imagen 19. Descripción de Máquina trituradora de 1 Eje, con empujador 43
Imagen 20. Descripción de Máquina trituradora de 2 Ejes 44
Imagen 21. Trituradora de 2 Ejes TB 700 Eléctrica 45
Imagen 22. Descripción de Trituradora de 4 Ejes 46
Imagen 23. Descripción de Trituradora de 4 Ejes 46
Imagen 24. Trituradora de 4 árboles modelo 4080S 47
Imagen 25. Trituradora de 4 árboles modelo 8080S 48
Imagen 26. Tolva de alimentación trituradora de llantas 50
Imagen 27. Cizalla hidráulica tipo caimán 55
Imagen 28. Ejes con cuchillas de triturador convencional 56
Imagen 29. Corte de llantas por chorro de agua 56
Imagen 30. Realimentación por tamiz con aspas giratorias 58
Imagen 31. Realimentación por rodillos y banda transportadora 59
Imagen 32. Realimentación por tambor giratorio con tamiz 59
Imagen 33. Tamaño de triturado en condiciones criticas 62
Imagen 34. Motorreductor Motox de Siemens 76
Imagen 35. Rodamiento de rodillos de una hilera 78
Imagen 36. Carga distribuida en la estructura 93
Imagen 37. Medidas de las columnas de la estructura 98
Imagen 38. Tipos de pandeo en columnas 99
Imagen 39. Factores geométricos para el análisis de soldaduras 101
Imagen 40. Análisis de soldadura 102
Imagen 41. Dimensiones del cuñero 107

Imagen 42. Longitudes del tornillo 109
Imagen 43. Estructura de máquina trituradora 114
Imagen 44. Bloque de trituración 117
Imagen 45. Fuerzas aplicadas al bloque de trituración 118
Imagen 46. Diagrama de proceso 122
Imagen 47.Tablero de control 123
Imagen 48. Elementos de protección 126
Imagen 49. Señalización de riesgos 126
Imagen 50. Eje trituración 128
Imagen 51. Motor de máquina trituradora 128
Imagen 52. Eje del recirculador 129
Imagen 53. Tolva y bloque de trituración 129

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Motor de recirculador 143
Anexo B. Ficha técnica de los aceros seleccionados 145
Anexo C. Ficha técnica de chuchillas 148
Anexo D. Selección de motorreductor 150
Anexo E. Chumacera de 4 bridas 153
Anexo F. Chumacera de pedestal 155
Anexo G. Motor de banda transportadora 157
Anexo H. Selección del acople de cadena 159
Anexo I. Cotizaciones 161
Anexo J. Planos de la maquina 164

RESUMEN

Se realiza el diseño y modelación por software de elementos finitos de un sistema primario en el proceso de trituración de llantas usadas desalambradas de automóvil desde rin 13 pulgadas hasta rin 19 pulgadas, con este sistema se obtendrán partes de unos 5 a 7 cms aproximadamente. El cual tiene como objetivo recuperar los principales componentes de las llantas desechadas en la actualidad, reduciendo el daño ambiental que con esto se genera.

El proyecto inicia con el análisis de los neumáticos y los tipos de reciclaje que estos tienen, de igual manera se realiza un estudio de los sistemas y paramentos requeridos en un proceso de trituración y la variedad de maquinaria para llevarlo a cabo.

Seguido, se realiza el planteamiento de alternativas del diseño donde se selecciona el sistema de trozado y de realimentación de la maquina; Con base en lo anterior se desarrolla el diseño detallado y sus respectivos requerimientos funcionales teniendo en cuenta diferentes variables como potencias, dimensiones, y selección de rodamientos; así mismo el análisis de la banda transportadora, la estructura de la máquina y los acoples necesarios.

Por otra parte, se establece el método de elementos finitos donde se analizaron las partes más críticas en la máquina, como la estructura y el bloque de trituración. Por último, se realiza el estudio ambiental y la evaluación financiera.

PALABRAS CLAVE

Neumáticos.

Reciclaje de Neumáticos.

Trituración de Neumáticos.

Maquinas Trituradoras.

GLOSARIO

DESGASTE: perdida de la estructura superficial de un material debido a una interacción constante y mecánica con una superficie o con un objeto, el roce permanente entre las dos estructuras permite apreciar la perdida exponencial de un elemento siendo resultado de la acción ejercida entre ambos cuerpos.

DESVULCANIZACIÓN: proceso por el cual un material termoplástico se convierte en termostable, donde se mejora su dureza y elasticidad.

GCR: el Granulado de caucho reciclado es aquel que se deriva del reciclaje de las llantas usadas de automóviles.

INCINERACIÓN: es un proceso que se produce gracias a la combustión de diferentes materiales, hasta que estos se conviertan en cenizas.

NEUMÁTICO: es una pieza de caucho que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas. Su función principal es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el suelo.

PIROLISIS: la pirolisis se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante

REALIMENTACIÓN: un sistema de realimentación, es aquel proceso que se regula a sí mismo, acción por la que cada resultado del proceso incide en el conjunto de él, integrándolo y modificándolo.

RECICLAJE: consiste en la obtención de nueva materia prima, mediante un proceso fisicoquímico o mecánico, a partir de productos y materiales ya en desuso o utilizados. De esta manera se logra alargar el ciclo de vida de un producto, ahorrando en materiales y beneficiando al medio ambiente a generar menos residuos.

REUTILIZACIÓN: acto de volver a utilizar los productos que ya han cumplido su ciclo de vida y darles otra funcionalidad.

TRITURACIÓN: proceso de reducción de tamaño de una materia sólida, implica sólo una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza.

TERMÓLISIS: la termólisis es una reacción química en la que un compuesto se separa en al menos otros dos cuando se somete a un aumento de temperatura.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el país se han presentado problemas ambientales debido a la falta de soluciones concretas para la correcta disposición final de las llantas usadas de automóvil, este problema radica por falta de presupuesto para la adquisición de la maquinaria por su alto costo, así mismo de un déficit en la capacidad de esta para disponer del gran volumen de neumáticos que se desechan mensualmente, por esta razón se ve día a día en la ciudad de Bogotá, los neumáticos terminando en las calles, andenes, separadores, parques y bodegas, la situación es cada vez más crítica.

Cuando los neumáticos pierden sus propiedades no pueden ser reencauchados o reutilizados en el servicio automotor, sin embargo existe una solución viable para la correcta disposición de las llantas usadas y es la trituración de estas, permitiendo reciclar y reutilizar los diferentes materiales que la componen, obteniendo el GCR (granulado de caucho reciclado); Estos son utilizados como materia prima en varios procesos como la producción de mezcla asfáltica, fabricación de suelas de zapato, elaboración de suelos de seguridad y en soluciones de ingeniería como la obtención de bujes de caucho y dilatadores.

Este proyecto consta del diseño de un sistema primario en el proceso de trituración de llantas desalambradas de automóvil, se pretende utilizar métodos, y herramientas de la ingeniería mecánica para así realizar el diseño de la siguiente forma:

- Establecer los parámetros básicos y requerimientos de la máquina.
- Plantear el sistema primario de trituración.
- Realizar el diseño detallado de la máquina.
- Realizar el moldeamiento y simulación mediante software.
- Desarrollar los planos detallados**.**
- Diseñar y elaborar los manuales de operación, montaje, mantenimiento y seguridad.
- Realizar evaluación ambiental del proyecto.
- Realizar la evaluación financiera.

Se delimita la trituración desde rin 13 pulgadas hasta rin 19 pulgadas; con un buen procesamiento, diseño innovador y costo asequible. Con este sistema se obtendrán

partes de unos 5 a 7 cms aproximadamente para que luego continúen el proceso de trituración en otro tipo de maquinaria, para la obtención de GCR, los detalles del sistema como obtención, transporte, almacenamiento y demás maquinaria del proceso no serán tratadas en detalle en este proyecto, tampoco se construirá ningún tipo de prototipo del sistema diseñado.

1. MÉTODO ACTUAL DE TRATAMIENTO DE LLANTAS USADAS

Gracias a los cambios globales, culturales y tecnológicos que se han presentado en el mundo a lo largo de las últimas décadas, la demanda productos no son solo con altos estándares, sino que sean de fácil transformación, recuperación y aprovechamiento al final de su ciclo de vida; por lo tanto, cualquier producto que sea diseñado mediante un proceso de ingeniería tendrá que cumplir con estas exigencias mencionadas en todas las fases del proceso como: el diseño, fabricación, uso y disposición final del producto. En este caso se tratan las llantas usadas desalambradas de automóviles. Las diferentes ciudades del mundo requieren productos que al finalizar su ciclo de vida puedan entrar en un proceso de reciclaje y así obtener un reaprovechamiento de sus componentes, brindando una opción ecológica para el medio ambiente.

1.1 DATOS ESTADÍSTICOS DE LA DISPOSICIÓN DE LLANTAS EN BOGOTÁ

El uso inadecuado de las llantas usadas es una problemática insostenible que crece diariamente. En la ciudad de Bogotá se producen en promedio 441.978 llantas mensuales, lo que conlleva a que anualmente sean 5.303.739, cifras oficiales indican que tres de cada 10 llantas – 750.000 de 2’500.000 que cumplen su vida útil por año– terminan en andenes, separadores, parques, humedales e incluso frente a las casas. Es decir, cada día más de 2.050 llantas terminan invadiendo el espacio público.[1]

Imagen 1. Almacenamiento de llantas usadas

Fuente: Bodega de almacenamiento de llantas. <http:// www.caracol.com.co/noticias/bogota/sellan-tres-bodegas-de-llantas-para-evitar-tragedia-ambiental-enbogota/20150114/nota/2586742.aspx>

A pesar de que actualmente se cuenta con una normatividad ambiental sana que responsabilice a la ciudadanía del pos consumo y a las empresas encargadas de

[1] Disponible en línea: http://www.eltiempo.com/bogota/el-problema-de-las-llantas-en-bogota

fabricar este tipo de producto, se presentan diferentes incumplimientos de estas. Estos desechos generan impactos negativos para las ciudades, ya que por su almacenamiento inadecuado o en el peor de los casos siendo incineradas ilegalmente al no contar con filtros adecuados, la población queda expuesta a las emisiones de humos tóxicos que pueden llegar afectar la salud pública y conllevan graves daños ambientales en los ecosistemas, por lo que incurre en la contaminación de fuentes hídricas, el aire y el suelo.

Tomando como base el panorama actual en el que vive la ciudad de Bogotá, se establecieron normas y leyes como el programa rueda verde del ANDI, ley 1333 de 2009, la resolución 1457 de 2010, entre otras, que buscan mejorar la disposición de este tipo de materiales, con el fin de poder cuantificar y estimar las llantas generadas anualmente. La Información suministrada por el ministerio de ambiente sobre el parque automotor establece un estimado de 1.000.000 de vehículos de los cuales aproximadamente 91% corresponde a transporte particular y 9% a transporte público. Teniendo en cuenta esta información se determinó un índice de generación de llanta usada (IGLL), por tipo de vehículo y así poder determinar la totalidad del residuo generado. Como se muestra en la siguiente Tabla 1.[2]

Tabla 1. Generación actual de llantas usadas en Bogotá D.C.

TIPO DE VEHÍCULO	A	B	C	D	E	F	G
			A x B		A x D	C x 0.03	E – F
PARTICULAR (91%)	Número de vehículos	Llantas / Vehículo[1]	Total llantas en uso	I_{GLL}[2]	Llantas Generadas al año	Reencauche	Ajuste por Reencauche
Automóvil R–13	637,637	4	2,550,548	1.72	1,096,735		1,096,735
Automóvil R–14	63,063	4	252,252	1.72	108,468		108,468
Camión	18,200	6	109,200	4.50	81,900	31,121	50,779
Camioneta	81,900	4	327,600	2.60	212,940		212,940
Campero	72,800	4	291,200	1.68	122,304		122,304
Motos	36,400	2	72,800	1.32	48,048		48,048
SUB – TOTAL	*910,000*		*3,603,600*		*1,670,395*	*31,121*	*1,639,274*
PÚBLICO (9%)	Número	Llantas / Vehículo	Total llantas en uso	I_{GLL}	Llantas Generadas al año	Reencauche	Ajuste por Reencauche
Taxi R–13	49,959	4	199,836	4.00	199,836		199,836
Taxi R–14	4,941	4	19,764	4.00	19,764		19,764
Bus	11,700	6	70,200	7.20	84,240	32,011	52,229
Buseta	9,900	4	39,600	4.00	39,600	15,048	24,552
Camioneta	5,400	4	21,600	2.80	15,120		15,120
Campero	3,600	4	14,400	2.00	7,200		7,200
Microbus / Colectivo	4,500	4	18,000	5.20	23,400		23,400
SUB – TOTAL	*90,000*		*383,400*		*389,160*	*47,059*	*342,101*
TOTAL	**1,000,000**		**3,987,000**		**2,059,555**	**78,180**	**1,981,375**

Fuente: Neumáticos en Bogotá. <Unión Temporal OCADE LTDA/SANPLAN/AMBIENTA S.A>

[2] Disponible en línea: http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf

Se pueden implementar medidas que han funcionado en otros países de la unión europea y Latinoamérica donde se prohibía la importación de llantas si a estas no se les daba una adecuada disposición final. A nivel distrital es de vital importancia que se incorpore de forma obligatoria el uso de materiales reciclados por objeto de llantas usadas para su uso en el 5% de las obras realizadas en la ciudad. Las llantas usadas se recuperan en los sitios de cambio de las llantas, servitecas, talleres y estaciones de servicio, entre otros, desde donde se comienza a comercializar el residuo a través de los diferentes actores involucrados en la cadena de manejo. [3]

Imagen 2. Llantas usadas desechadas en Bogotá

Fuente: Llantas en la vía publica en Bogotá. <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/el-lio-de-llantas-usadas-articulo-523022>

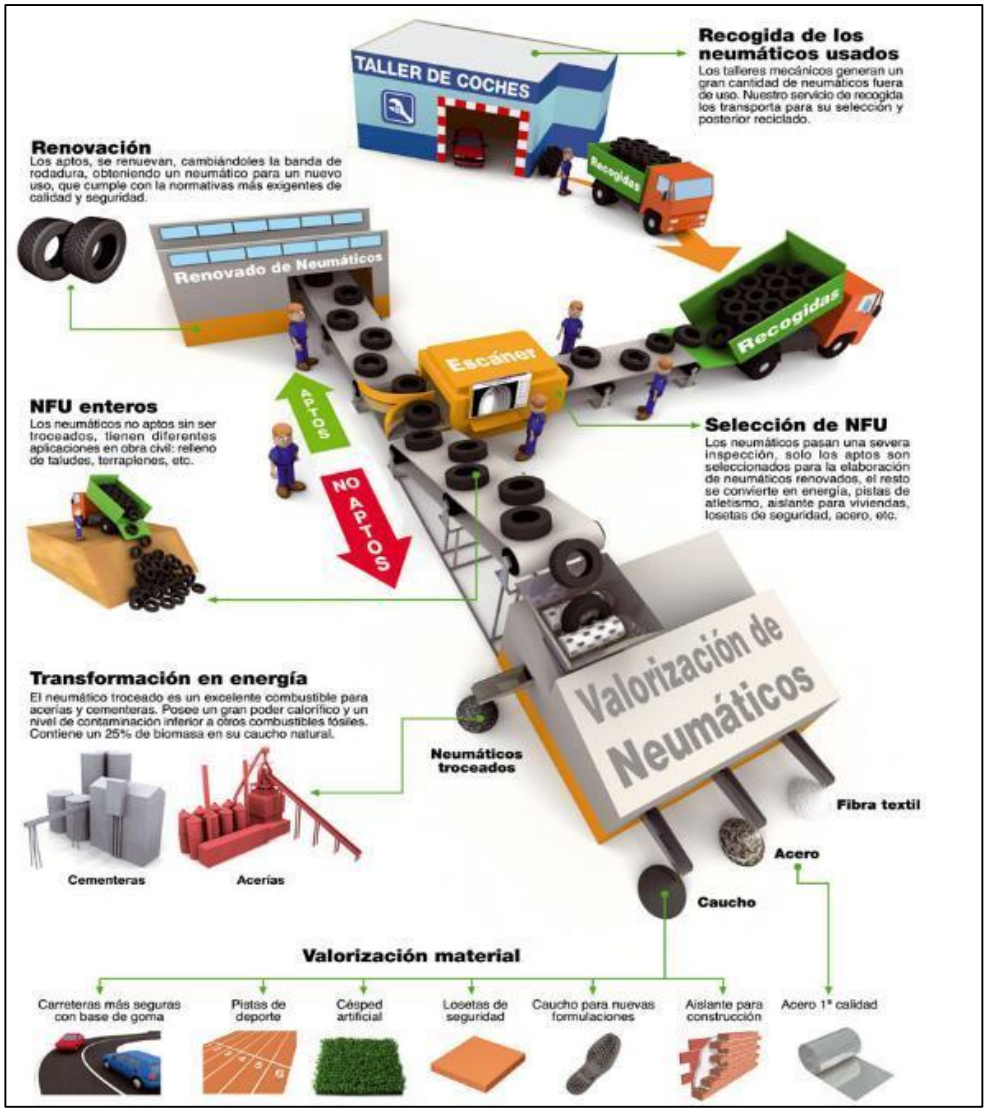
De esta forma el reciclaje que se realiza a través de la trituración de llantas usadas, ya que cuando pierden sus propiedades y no pueden ser reencauchadas no son reutilizables en el servicio automotor, pero permite reciclar y reutilizar los diferentes materiales que la componen, esto tendrá beneficios para la ciudad donde se podrá ver bondades en la pavimentación y reparcheo de malla vial con asfalto de mejor calidad, con lo que se verá una mejora y una mayor durabilidad con respecto al asfalto que se maneja en la actualidad.

Con esto se quiere ser más amigable con el medio ambiente ya que se verá una reducción en la extracción de recursos naturales, adicionalmente, la fabricación de suelas de zapato, la elaboración de suelos de seguridad y en soluciones de ingeniería como la obtención de bujes de caucho y dilatadores, procesos en los que se requiere materia prima con las mismas propiedades del caucho triturado.

Con relación al ahorro de energía, el reciclaje de materiales permite economizar de tres a cinco veces más energía que si se utilizan diferentes métodos como la incineración.

[3] Disponible en línea: http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf

Imagen 3. Proceso de reciclaje para las llantas usadas



Fuente: Reciclaje de llantas. <http://www.tnu.es/recurso/pag/imag/ges_nfu_2.jpg>

1.2 APLICACIONES DEL CAUCHO OBTENIDO DEL RECICLAJE DE LLANTAS

Como se mencionó anteriormente, lo que se obtiene de las llantas usadas después de un proceso de recuperación, es caucho triturado, este es un componente que puede ser aprovechado en procesos de producción como el de fabricación de suelas de zapato, césped artificial, asfalto, entre otros. Siendo una alternativa ecológica para el reciclaje de este material y así minimizar el impacto ambiental. A continuación, se presentan las diferentes alternativas de aplicabilidad para el grano de caucho reciclado (GCR).

- Césped artificial. Los campos de césped artificial utilizan grano de caucho reciclado para su fabricación haciendo terrenos más seguros y duraderos, minimizando el consumo de agua y requiriendo menor tiempo de mantenimiento contrario a como si fuese una cancha con césped natural. Hay dos tipos de grano que se utilizan como se muestra en la siguiente Cuadro 1.

Cuadro 1. Tipos de caucho granulado utilizados en campos sintéticos

Tipo de campo	Tamaño de grano utilizado	Cantidad utilizada
Relleno de fibra sintética	0.5mm – 2.5mm	10 -18 Kg/m^2
Capa de absorción de impacto	2mm – 4mm	10 -18 Kg/m^2

Fuente: Tamaño de caucho. http://gerconscolombia.com/index.php#cesped-artificial.

- Suelos de seguridad y parques infantiles. En la actualidad los parques infantiles son regidos por diversas normas, las cuales propenden por la seguridad de los usuarios, procurando evitar las posibles lesiones. En la elaboración de suelos se utiliza grano de caucho reciclado junto con algunos otros componentes como pinturas y aglomerantes los cuales permiten crear materiales que cumplen con los parámetros de calidad necesarios en la actualidad. Para esta aplicación se utilizan granos de 2mm - 4mm para las capas superiores y 4mm - 8mm para las inferiores.[4]

Imagen 4. Piso de caucho reciclado de llantas

Fuente: Piso de Caucho. <http://caucho peru.com/productos.html>

- Asfalto modificado con caucho granulado. Las mezclas de asfalto modificado incluyen grano de caucho reciclado, mejoran notablemente las propiedades de las vías construidas, ya que a través de la experiencia se ha demostrado que estas alcanzan a durar hasta un 50% más que las que se construyen con mezclas convencionales.

  Esta aplicación es usada mediante dos tipos de procesos; el proceso seco, es en el cual se usa el caucho reciclado como un agregado y el proceso húmedo el cual se usa como un modificador de la mezcla.

[4] Disponible en línea: http://gerconscolombia.com/index.php#cesped-artificial.

En cuanto a los costos de usar estos tipos de mezclas aumenta entre un 20% a 40% dependiendo del tipo de proceso, siendo el proceso húmedo el más costoso de realizar, esto es en cuanto a la inversión, pero viendo la relación beneficio costo se concluye que es mejor utilizar este tipo de mezcla ya que prolonga notablemente la vida útil de la vía.

Dado que se ha demostrado que es más beneficioso y rentable usar las mezclas de asfalto modificado con caucho granulado reciclado, en la actualidad, se ha aumentado la utilización de estos tipos de mezclas, como consecuencia de reducción de costos al momento de construir infraestructuras. En cuanto a la granulometría del caucho triturado que se requiere para esta aplicación es menor a 0.8mm.[5]

Imagen 5. Mezcla asfáltica con caucho reciclado

Fuente: Asfalto modificado. <http://signus.es/arch_web/Imag/gale/bitumino/bituminosas_4.jpg>

- Suelas de calzado. Este tipo de aplicación se conoce desde tiempo atrás y es en el cual se usan granulo de caucho reciclado pulverizado, pero este solo es utilizado en la producción de suelas de color negro debido al componente de las llantas conocido como humo negro, que no permite modificar el color oscuro.

Imagen 6. Suela de caucho reciclado granulado

Fuente: Suela para zapatos. http://signus. es/archivo web/Image/gal/calzad_4.jpg

[5] Disponible en línea: http://www.signus.es/es/cadena-de-valor/reciclaje-y-valorizacion-material/info/aplicaciones-de-los-neumaticos-reciclados

1.3 NEUMÁTICOS

Los neumáticos son elementos fundamentales en el funcionamiento de los automóviles, los cuales permiten desplazarse con la tracción necesaria, estos están fabricados principalmente por caucho, dado que este tiene la resistencia y solidez para soportar aire en altas presiones permitiendo cargar todo el peso del automóvil sobre ellos, siendo este el único punto de contacto con el suelo.

En cuanto a los materiales de los neumáticos, se debe tener en cuenta que estos dependen del tipo de función para las cuales son diseñados, como se muestra a continuación.

- Soportar el peso del vehículo detenido y también resistir las sobrecargas dinámicas que se producen en aceleración y frenada.

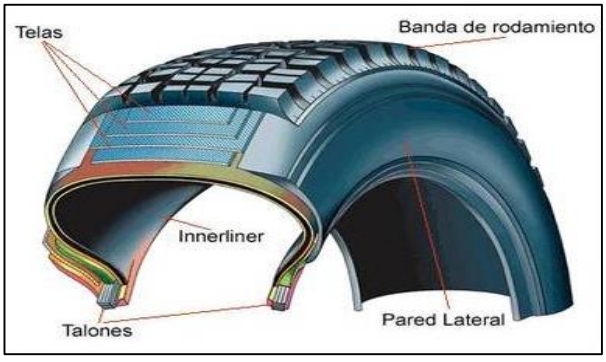
- Transmitir la potencia útil del motor, los esfuerzos en curva, en la aceleración.

- Guiar el vehículo con precisión, por cualquier tipo de terreno y condición climática.

- Amortiguar las irregularidades de la carretera y durar, es decir, mantener el mejor nivel de prestaciones durante su vida útil.[6]

1.3.1 Partes de los neumáticos. Los neumáticos contienen diferentes componentes, cada uno con una función específica, para así asegurar el correcto funcionamiento y prolongar la vida útil de esta. A continuación, se muestran los elementos que las conforman.

Imagen 7. Componentes de un neumático



Fuente: Partes de las llantas. <http://demotosonline.com/partes-de-un-neumático-radial/>

[6] Disponible en línea: http://www.michelin.es/neumaticos/consejos/todo-sobre-el-neumatico/que-funciones-cumple-un-nuematico

- La banda de rodamiento. Es la parte que físicamente tiene contacto con el suelo y su mejor propiedad debe ser el agarre al piso en todo tipo de condiciones y superficies.

  Esta parte también requiere que la resistencia al rodamiento sea la menor posible para reducir así el consumo de combustible y el desgaste de la llanta, este último, siendo de gran importancia, dado que es el componente que determina la vida útil del neumático. En la Imagen 8, se muestra lo que comúnmente se llama “llanta lisa”, esto significa que la banda de rodamiento ya no tiene las ranuras de agarre.[7]

Imagen 8. Desgaste de una llanta

Fuente: Llanta desgastada. <http://blog.ineumaticos.es/ruedas-desg/>

Las ranuras de la banda de rodamiento varían de acuerdo a las condiciones para las cuales son diseñadas como lluvia, nieve, etc. Estas también pueden variar de acuerdo a la marca de los neumáticos y muchas de ellas tienen un indicador en donde muestra la profundidad de la ranura siendo un valor mínimo permitido de 1.6mm el cual indica que estas han cumplido su ciclo y deben ser reemplazadas inmediatamente.

Imagen 9. Indicador de desgaste de llantas

Fuente: Testigo de desgaste. <http://blog.ineumaticos.es/tag/cambio-de-neumaticos/>

[7] Disponible en línea: http://www.rezulteo-neumaticos.es/matenimiento/como-se-mide-el-desgaste

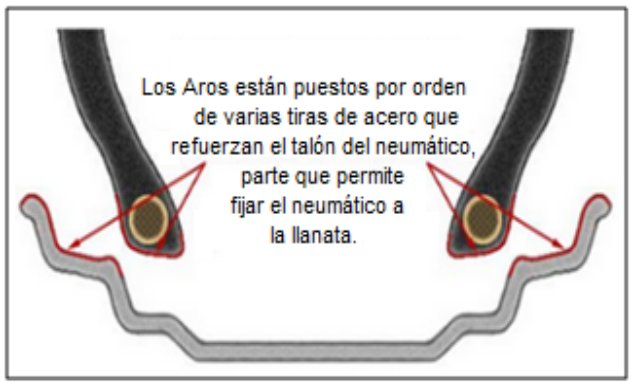
- Cinturones estabilizadores. Estos son los refuerzos que se encuentran entre la banda de rodamiento y el interior de la llanta; Son las encargadas de mejorar las propiedades mecánicas de la banda de rodamiento como la estabilidad y la rigidez.

- Inneliner o parte interior del neumático. esta es la encargada de mantener el aire a presión dentro de la llanta, por lo tanto, esta parte debe ser hermética.

- Flancos del neumático o laterales. Son las partes laterales las cuales se encargan de soportar los impactos de imperfecciones en el camino durante el rodamiento, estos deben resistir impactos como los de huecos en la vía o incluso colisiones contra aceras. Además de esto el flanco de la llanta es el que contiene información útil del neumático como el tamaño, velocidad, tipo, y características del diseño.

- Pestañas o talones. Esta parte esta reforzada con tiras de acero entrelazadas con nailon y es la encargada de dar rigidez y flexibilidad a la llanta, a su fija el neumático de una manera hermética siendo muy resistentes a la presión.[8]

Imagen 10. Pestañas o talones de las llantas



Fuente: Talón de Llanta. http://www.alineauto.net/neumaticos-tenerife/

1.3.2 Propiedades generales de los neumáticos. El componente principal de los neumáticos es el caucho, el tipo de caucho natural es extraído del látex que se obtiene del árbol Hevea Brasiliensis también llamado comúnmente como el árbol de caucho, mediante un proceso de secado. Este material es muy utilizado en la industria, donde un 30% es de origen natural y el porcentaje restante es caucho sintético.

[8] Disponible en: http://www.neumaticosmedica.com.ar/partes.html

En cuanto a los neumáticos, los tipos de caucho más utilizados para su fabricación son: cauchos naturales (NR), Estireno-Butadieno (SBR), Polibutadienos (BR) y Polisoprenos sintéticos (IR).
Para la fabricación de llantas el material más utilizado en la industria es el copolimero estireno-butadieno (SBR) y este consta de un 25% de estireno en peso, o también la mezcla del (SBR) con caucho natural (NR), esta combinación se realiza puesto que los cauchos sintéticos ofrecen mejores propiedades térmicas como la estabilidad a diferentes temperaturas mientras que los cauchos naturales proporcionan mejores propiedades elásticas.

Cabe resaltar que una propiedad común de todos estos tipos de caucho es que todos ellos al ser vulcanizados suelen ser muy duraderos por lo que a veces se convierte en un problema medio ambiental su disposición.

Además del caucho, las llantas de automóvil están compuestas por diferentes tipos de materiales como el negro de humo el cual es un material reforzante formado por partículas pequeñas de carbono que aumenta sus propiedades mecánicas, las fibras textiles reforzantes y las fibras textiles de acero que mediante hilos aumentan la resistencia de los neumáticos, los plastificantes son utilizados para mejorar las mezclas controlando la viscosidad de estas facilitando el proceso de fabricación, el azufre o agente vulcanizante une las cadenas de polímero y caucho, acelerantes, retardantes entre otros, todos estos componentes de los neumáticos corresponden a un porcentaje en peso representado más claramente en la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales de los neumáticos

Componentes	Tipo de vehículo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	
Cauchos	48	45	Estructural - deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1,2	2,1	Catalizador
Materia textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

Fuente: Materiales que componen los neumáticos. <http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/material_complementario/Materiales_y_Compuestospara_la_Industria_del_Neumatico.pdf>

Las llantas pueden estar constituidas por diferentes tipos de elementos, los cuales muestran sus características y componentes, para así poder brindar una selección una vez termine el proceso de fabricación se muestra la composición fisicoquímica del neumático. Como se muestra en la Tabla 3.[9]

[9] Disponible en: http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf>

Tabla 3. Composición fisicoquímica del neumático

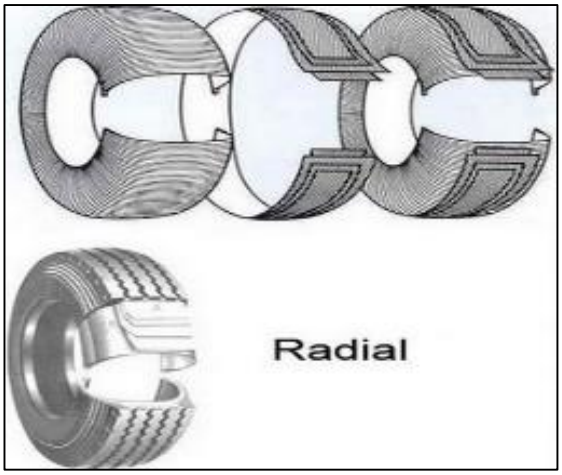
Material	Composición (%)	
	Camiones	Automóviles
Caucho natural	27	14
Caucho sintético	14	27
Negro de Carbón	18	28
Acero	15	15
Protegido, rellenos	16	16
Peso de la llanta nueva	54,48 Kg	11,35 Kg
Peso de la llanta usada	45,40 Kg	9,08 Kg

Fuente: Composición fisicoquímica de llantas de automóvil y camiones. <www.eng.buffalo.edu>

1.3.3 Tipos de llantas existentes. Hay una diversidad de llantas en el mercado, ya estas son fabricadas para diferentes factores ya sea climáticos o para diferentes terrenos a las que van hacer sometidas. Existen dos tipos las llantas convencionales o diagonales y radiales.

- Radiales. Las llantas de este tipo tienen las fibras ubicadas cara a cara, son colocados de manera radial, son puestas en línea recta formando un ángulo de 90 grados sobre el contorno de la llanta, usa cinturones de acero para que le brinde soporte, resistencia en la parte de la banda y concentra la flexibilidad en la parte lateral del neumático, puesto que hace que se restrinja el movimiento en la banda, permitiendo a los cinturones disminuir la velocidad al desgaste así aumentando la vida útil de la llanta, suelen tener una o dos bandas de acero entrelazadas para mejorar la resistencia a los pinchazos son las más convencionales, cuentan con un mejor rendimiento de kilometraje y un menor gasto de combustible.

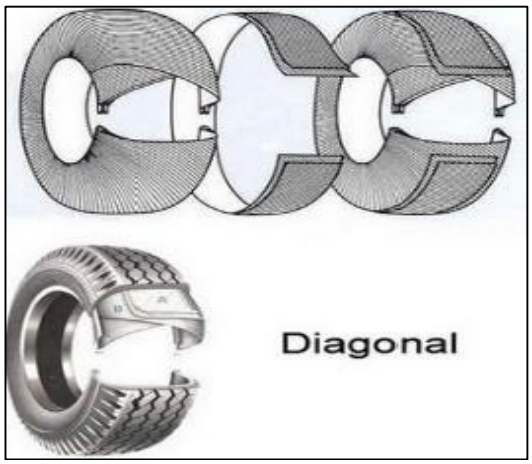
Imagen 11. Llantas de tipo Radial



Fuente: Llanta de tipo radial. <http://www.eis.uva.es/~macro/curso1314/ruedas/tipos.jpg>

- Diagonales o convencionales. Este tipo de llantas está compuesta de varias capas de dos, cuatro o más fibras y son colocadas diagonalmente una sobre otra formando ángulos entre 25° y 40°, estas tienen cuerdas de refuerzo de forma diagonal lo que hace que queden inclinadas permitiendo soportar las cargas a las que son sometidas ya que brinda resistencia tanto a la banda de rodamiento como a las paredes laterales, su desventaja hace referencia a que no son tan flexibles, pero tienden a deformarse permitiendo que su banda de rodamiento se levante.[10]

Imagen 12. Llantas de tipo diagonal o convencional



Fuente: Llanta tipo diagonal. <http://www.eis.uva.es/~macro/curso13-14/ruedas/tipos.jpg>

1.4 TIPOS DE RECICLAJE DE LLANTAS

Consiguiendo sacarle el mejor provecho a los materiales que componen los neumáticos, se puede decir que existe diferentes tipos de procedimientos para restar las características elásticas que adquieren con el pasar del tiempo y con el desgaste que estos sufren y así entregarle nuevamente propiedades plásticas como las que se ven en el caucho no vulcanizado.

Los neumáticos se pueden clasificar en tres tipos, según el desgaste que presente dar como lo son:

- Reutilizables. Estos presentan desgastes menores de 1.66 mm.

- Reencauchables. Son neumáticos que pueden ser reparados, ya que poseen una carcasa en óptimas condiciones.

[10] Disponible en: http://neumaticobarato.blogspot.com.co/2012/11/historia-y-tipo-de-neumatico.html

- No reencauchables. Son neumáticos rigurosamente dañados o deteriorados, que están listos para que puedan ser reciclados, ya que cumplen su vida útil.

A continuación, se muestra los métodos más importantes utilizados, en la recuperación de neumáticos.

1.4.1 Termólisis. Esta es la reacción que tienen los compuestos cuando son sometidos a altas temperaturas, en este caso los neumáticos se someten a un calentamiento sin presencia de oxígeno. Donde las temperaturas elevadas presentes y la ausencia del oxígeno hacen que los enlaces químicos se destruyan, y aparezcan los componentes originales del neumático. Obteniendo componentes como metales, carbones e hidrocarburos que se pueden recuperar para la producción de neumáticos.

1.4.2 Incineración. La incineración es un proceso que se produce por la combustión de los materiales orgánicos del neumático en hornos a temperaturas elevadas en presencia de altas concentraciones de oxígeno, hasta que esta se convierta en ceniza. Este proceso tiene costos muy altos y que adicionalmente los materiales que conforman el neumático tienen diferentes velocidades de combustión, y con ello se hace difícil el control de residuos gaseosos que se emiten, ya que cuando esta quema no es controlada el daño ambiental es enorme, se liberan gases como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de zinc, óxidos de plomo, además de hollín que contiene partículas cancerígenas para el cuerpo humano.

1.4.3 Pirolisis. Es la separación química de materia orgánica entre otros materiales con excepción del metal y del vidrio y es realizada a través del aumento de temperatura estando ausente el oxígeno y sin que esto produzca contaminantes en el medio ambiente, pero está siendo poco usado debido a la existencia de problemas en la separación de estos compuestos, siendo mejorado con el pasar de los años para poder tratar más neumáticos al año; los productos que salen después del accionar de la pirolisis son: gas, el cual es parecido al propano el cual tiene uso industrial, aceite industrial líquido que se puede ser refinado en diésel, coque y el acero.

1.4.4 Desvulcanización. El proceso de vulcanizado convierte un material termoplástico en uno termostable que mejora su dureza y lo hace elástico. Esta logra grandes beneficios en cuanto a la resistencia a la deformación permanente. Al ser este un material que al ser reciclado sirve para diferentes tratamientos finales debe tenerse en cuenta, para que el caucho pueda ser reutilizado este debe tener una previa desvulcanización y para lo cual existen diferentes métodos, aunque con este proceso se pierden algunas propiedades mecánicas, este material puede ser tratado con procesos químicos, térmicos y mecánicos para poderle devolver ciertas características originales al caucho. Existen cuatro métodos de desvulcanización como lo son: químico, microondas, ultrasónico y biológico.

1.4.5 Regeneración. Se caracteriza por que rompe las cadenas que lo componen y así obtener materia prima, que, aunque tiene grandes diferencias con el material original sirve para de nuevo vulcanizarse y fabricar de caucho nuevamente. Aunque podría usarse para volver a realizar la fabricación de neumáticos, al ser reciclado pierde algunas propiedades lo que hace difícil su recuperación, debido a que estos deben cumplir altos estándares de calidad. De igual manera se usa para la fabricación de otro tipo de productos de caucho o empaques para los vehículos.

1.4.6 Trituración. En el método de trituración para el reciclaje de llantas usadas existen dos tipos como lo son la trituración criogénica y la mecánica.

- Trituración Criogénica. Este método usa y necesita de recintos complejos lo que genera que sus costos sean altos, tanto en mantenimiento de la maquinaria, como el grado de complejidad del proceso hace que sean poco rentables a la hora de generar ganancias con la trituración. Este tipo de actividad hace que la calidad del producto que se obtiene sea baja y que se presente un grado de dificultad en la separación del caucho y del metal entre otros materiales que componen el neumático. Lo que genera que este método sea poco empleado en el reciclaje de llantas. El procedimiento se basa en congelar con nitrógeno líquido el neumático para así poder separar la estructura de alambres de la parte de caucho ya que este sale en forma de polvo una vez realizado el proceso.

- Trituración Mecánica. Este método es netamente mecánico, este proceso no maneja químicos, ni calor ya que en este se trata de triturar y reducir el tamaño del neumático pasando este por un sistema de corte que logra disminuir el volumen de salida del caucho, para el uso final que se le dará al producto.

  El acero es retirado por medio de una máquina que separa los alambres que están presentes en la llanta; Los componentes como fibras, son separados en otros equipos, la ventaja que brinda este tipo de reciclaje es que produce nuevos productos disminuyendo el daño al medio ambiente.[11]

Con base en la información anterior donde se explica el tipo de reciclaje de los neumáticos, se realiza la selección del método de trituración mecánica, dado que cumple con los paramentos para poder efectuar un diseño que con lleve todo el proceso de ingeniería.

1.5 ETAPAS DE TRITURADO DE LLANTAS

Los procesos de trituración siempre constan de varias series de etapas ordenadas en diferentes tipos y tamaños de máquinas, puesto que el uso de una sola máquina generalmente es insuficiente para obtener el tamaño requerido, generalmente este

[11] Disponible en: http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Neumatico.pdf

proceso de trituración consta de etapas de triturado, dependiendo del tamaño requerido en comparación con el obtenido por cada una de las máquinas, siempre se denomina a la primera etapa “trituración primaria” y si este requiere el paso por otra máquina trituradora de menor tamaño se llamara a esta etapa la “trituración secundaria” y así sucesivamente.

El triturado de llantas es un proceso diferente a los procesos de trituración convencionales ya que se trata de un material altamente elástico como lo es el caucho, a continuación, se muestran las fases que comprenden el proceso:

- Fase del desprendimiento del alambre. En el proceso de trituración de llantas siempre se tendrá como primer paso la extracción del talón de las llantas la cual contiene los cordones de acero que dan rigidez necesaria para mantener el neumático perfectamente acoplado con el rin de acero, este paso del proceso se hace con una máquina que asegura la llanta por sus talones mediante dos pistones que hacen un movimiento en dirección contraria hasta obtener el cordón de acero.

Imagen 13. Fase desprendimiento de alambre

Fuente: Desalambrado del neumático.
<https://www.youtube.com/watch?v=t4FGFACzUKU>

- Fase de trituración. Esta fase, empieza por la trituración primaria la cual toma el material en su tamaño original habiéndose separado los hilos de alambre en paso anterior para luego empezar el proceso de reducción en partes más pequeñas. Obteniendo diferentes tamaños dependiendo de la máquina y las veces que se recircule se pasara a una trituración secundaria y terciaria si es necesario hasta obtener tamaño de 1 pulgada.

Imagen 14. Fase de triturado

Fuente: Trituración de la llanta. <http://www.tiresspa.com/ es/images/pfu-phase-shredding-03-big.jpg>

- Fase del granulado. En esta fase se procesan partes de tamaños inferiores a 1 pulgada, generalmente se disminuyen las partes hasta una granulometría inferior a 15mm dependiendo de la maquinaria que se utilice, entre menor sea el tamaño requerido para continuar con el proceso, generalmente medido en Ton/h. A continuación, se muestra el caucho en esta etapa del proceso.

Imagen 15. Caucho en proceso de granulado

Fuente: Granulado primario. <http://www.tiresspa.com/ es/images/pfu-granulation-grain-pneumatic-big.jpg>

Seguido de esto el caucho granulado pasa por una etapa de refinación, donde se logra que el material obtenga tamaños desde 3 a 5mm, facilitando el proceso de extracción de partículas metálicas, esto se lleva a cabo por medios magnéticos, cabe resaltar que este tamaño de caucho triturado ya se ve como un producto final llamado GCR (grano de caucho reciclado) y es utilizado en la industria para diferentes aplicaciones.

Imagen 16. Caucho granulado de llanta triturada

Fuente: Granulado secundario. http://www.tiresspa.com/es/images/pfu-grain-refining-08-25-mm-big.jpg

- Fase de pulverizado. La fase final opcional de este proceso es llamada pulverización en la cual se obtiene como producto polvo de caucho de aproximadamente 400 micras, este producto final es menos común y menos utilizado en la industria en comparación con el que se obtiene en la fase anterior, ya que este caucho pulverizado se procesa para ser usado como materia prima de procesos más especializados.[12]

Imagen 17. Caucho triturado pulverizado

Fuente: Pulverizado. <http://www.tiresspa.com/es /images/pfu-powder-dust-0-400-micron-big.jpg>

El proceso que se seleccionó fue la fase de trituración primaria, ya que este puede ser el inicio para tratar los neumáticos usados disminuyendo su volumen hasta un tamaño de trozos de 5 cm para su posterior tratamiento, cabe resaltar que para que pueda ser procesada en este paso el neumático debe estar previamente desalambrado.

[12] Disponible en: http://www.tiresspa.com/es/planta-reciclaje-neumaticos.html

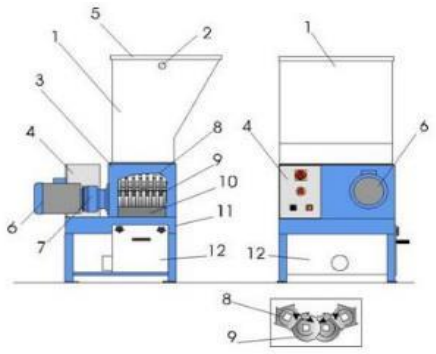
2. SISTEMAS DE TRITURACIÓN

A continuación, se realiza el análisis de los diferentes sistemas de trituración para llantas de automóvil; La maquinaria requerida para estos procesos depende de la potencia del motor, la criba que se le instale, el tipo de cuchillas y el material a tratar. Para este último componente se debe contar con los principales aspectos como lo son el tipo de materia a triturar y las dimensiones de esta, siendo procesados neumáticos con rin de 13 a 19 pulgadas.

Para poder obtener el tamaño adecuado en el triturado se debe determinar la cantidad de veces que es necesario recircular el material por el grupo de cuchillas. Dado que los elementos que son elásticos y blandos como lo son las llantas, se consideran componentes difíciles de desgarrar como se expuso en el capítulo anterior.

El accionamiento de la máquina se puede obtener mediante un motorreductor epicicloidal. A continuación, se muestran las principales partes de una máquina trituradora.[13]

Cuadro 2. Partes de una trituradora

Pos.	Descripción	Imagen
1	Tolva de carga	
2	Orificio de levantamiento y de transporte	
3	Cuerpo de la máquina	
4	Cuadro eléctrico	
5	Tapa de la tolva	
6	Motor	
7	Reductor epicicloidal	
8	Discos de introducción	
9	Grupo fresas	
10	Rejilla	
11	Bastidor de la máquina	
12	Tanque con boca de vaciado	

Fuente: Partes de máquina trituradora. http://www.trittonxxi.com/ri-trituradora-trituradoras/molino-triturador-precios/plásticos/cartón/12

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS TRITURADORA

Como ya se ha mencionado la trituración o también llamada molienda está definida como el proceso mediante el cual se obtiene la reducción del volumen de un material en partículas de menor tamaño con diferentes finalidades como el mezclado, dosificación o preparación para otro tipo de proceso.

[13] Disponible en: http://www.trittonxxi.com/ri-trituradora-trituradoras/molino-tritura_precios/

Las operaciones citadas se realizan con el objeto de facilitar el transporte de los materiales, las operaciones físicas (tales como mezclado, dosificación, aglomeración o disolución) y facilitar o permitir las reacciones químicas (como consecuencia de que la velocidad de reacción es función de la superficie de las partículas y es tanto más grande cuanto mayor es su grado de subdivisión). Si bien no existe una diferencia clara entre la trituración y la molienda, en general se habla de trituración cuando se fragmentan partículas de tamaños superiores a 1 pulgada (1") (se utilizarán unidades métricas e inglesas pues es común en el desarrollo de la materia la utilización de manuales y catálogos con valores expresados en unidades inglesas) y de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1" (1" = 2.54 cm).[14]

2.2 TIPOS DE TRITURADORAS

En la actualidad se pueden encontrar un sin número de máquinas trituradoras clasificadas de acuerdo con su principio de funcionamiento para el que son diseñadas, para poder seleccionar un dispositivo de molienda mecánica se debe considerar que tipo de material se va a tratar, el volumen, sus compuestos, entre otros aspectos. Para el proceso de desgarre del caucho se suele utilizar trituradoras de cilindros con cuchillas o martillos.

De acuerdo a los mecanismos usados para la trituración entre los que se encuentran:

- Molienda por aplastamiento. El cual se basa en el aplastamiento del material sobre dos superficies ya puede que sean móviles o estáticas.

- Molienda por desgarramiento. Es apto para que funcione en materiales fibrosos como lo son el papel y el cartón.

- Molienda por rodaje. Los materiales son presionados contra el fondo del contenedor el cual está perforado con orificios, es un aparato de grandes dimensiones y el rotor gira de 5 a 6 vueltas por minuto.

- Molienda por discos. Se basa en un distribuidor que gira a una alta velocidad y está adaptado para que sirva para materiales duros.

- Trituradora de Bühler. Es una trituradora que se compone de dos rotores y trasmisión por medio de dos correas que gracias a la diferencia de velocidad que se tiene en los rotores se consigue un buen principio de trituración, los martillos son de fácil mantenimiento y de fácil acceso, cuanta con dos aberturas y están dan salida a los materiales triturado.

14 Disponible en: http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituración.pdf

- Molino de Martillos. Es un dispositivo de impacto en el que se fija martillos al eje o al disco que gira este puede tener velocidades entre las 700 a 1200 rev/min. Debido a la fuerza centrífuga estos martillos son extendidos radialmente desde el eje central, ya que cuando los residuos ingresan al molino son tratados con suficiente fuerza para que estos sean aplastados y con una velocidad que no permite que los materiales triturados se adhieran a los martillos, los materiales se pueden triturar hasta obtener el tamaño deseado ya que cuenta con barras cortantes y placas de ruptura.

Imagen 15. Molino de martillos.

Fuente: Molino martillos empleado en trituración. <http://www.youtube.com/watch?v=Aja7gcgRMJU&feature=relmfu>

- Trituradoras cortantes. Estos utilizan dos cuchillas, las cuales están opuestas y giran en un sentido contrario para poder cortar materiales que sean flexibles estos operan sobre velocidades de 60 a 120 rev/min, operando con motores hidráulicos y que pueden tener marcha atrás cuando hay alguna obstrucción en la operación.

Imagen 16. Ejemplo de trituradora de tijeras.

Fuente: Triturador de tipo tijeras. <http://www.youtube.com/watch?v=z8r8jxnt4>

2.3 TRITURADORES EMPLEADOS PARA TRITURACIÓN DE LLANTAS

El principio de funcionamiento de este tipo de maquinaria es el de cizallamiento, ya que estas máquinas cuentan con cuchillas ubicadas a lo largo del eje, las cuales tiene como función enganchar y desgarrar el producto inicial al que se le va realizar la trituración y lo cortan por cizallamiento durante el giro que hace el eje, utilizando otro elemento de corte como lo es un estator (de 1 eje) o un rotor (de más de 1 eje).

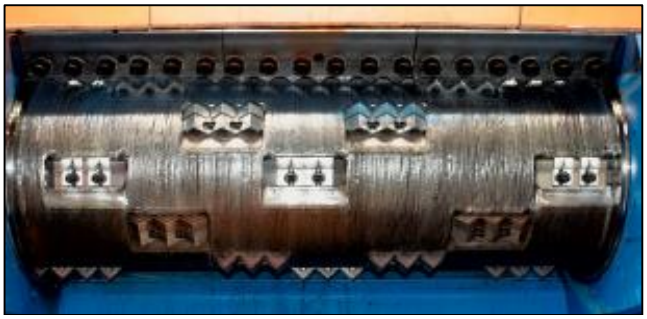
2.3.1 Trituradora de 1 eje. Las trituradoras de eje simple de la serie MR han sido expresamente para el tratamiento de neumáticos y para materiales de alto peso específico; este tipo de aplicaciones generan esfuerzos considerables en los órganos mecánicos, por esto las trituradoras de eje simple de la serie MR no utilizan reductores, empleando, en cambio, un sistema de transmisión por cadenas en baño de aceite, inversión automática de marcha programable, cojinetes situados fuera de la cámara de corte, Cuchillas configurables (grosor y número de dientes)[15].

Cuadro 3. Trituradora 1 eje MR1500

Características		Imagen
Dimensiones totales:	3700 x 2500 mm H=4800 mm	
Dimensiones rotor:	L1500 – Ø700 mm	
Peso:	16000 Kg	
Motor:	200 kW	
Numero de revoluciones:	120 rpm	
Reductor:	Epicicloidal	
Aplicación:	Neumáticos	

Fuente: Máquina Trituradora MR1500. <http://www.forrec.es/trituradora-mr1500>

Imagen 18. Cuchillas de triturador de 1 eje MR1500

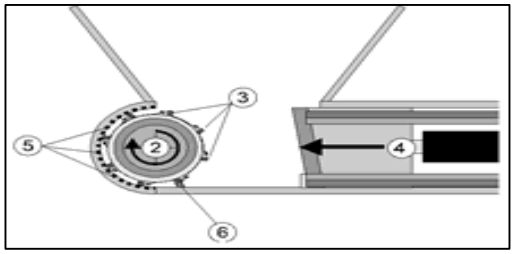


Fuente: Máquina Trituradora MR1500.
<http://www.forrec.es/trituradora-mr1500>

[15] Disponible en: http://www.forrec.es/trituradora-mr1500

Un cajón prensador hidráulico (4) empuja el material contra el rodillo (2) dentado (3) que gracias a su rotación y a la acción de una contra lama (6), efectúa la pre-rotura y la trituración del material. El producto gira contra una parrilla perforada que determina le dimensión final del triturado.[16]

Imagen 19. Descripción de Máquina trituradora de 1 Eje, con empujador



Fuente: Descripción Funcionamiento. <http://www.tritotutto.com/ es/trituradoras-mono-arbol-molinos-serie-mr-2013>

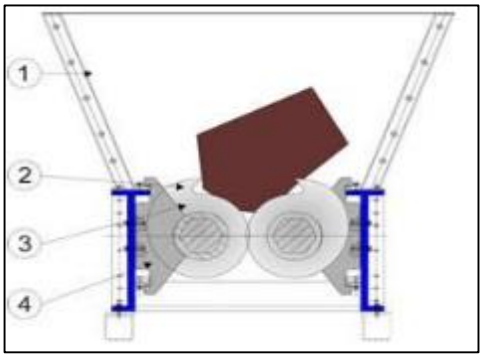
2.3.2 Trituradora de 2 ejes. La máquina se compone de un triturador de dos ejes que contienen cuchillas rotativas y peines distanciadores; una vez se introduce el material a triturar en la tolva, este los desgarra de forma de que se transforma en un material de menor tamaño. Este fundamento de corte permite triturar cualquier tipo de material.

Las partes que componen una trituradora de dos ejes son: Unidad por donde se dispone la carga que puede ser bien una (1) tolva, una unidad de trituración que se compone de dos ejes con elementos cortantes compuestos por discos de cantos agudos (3) provistos de garfios (2). Los garfios tienen la función de agarrar el producto, arrastrarlo y cortarlo gracias a la acción de los dos ejes contra giratorios. Los peines distanciadores (4) mantienen limpios los utensilios facilitando la descarga del material.

Cuenta con 2 motores eléctricos asíncronos de corriente alterna, transmisión a través de un motor reductor, conexión entre los ejes porta-fresas y los discos introductores por engranajes en baño de aceite. Los dispositivos de seguridad con los que cuenta hacen que se invierta temporalmente el movimiento de las cuchillas, previniendo así la posible sobrecarga de la estructura o el riesgo de rotura de la máquina.[17]

[16] Disponible en: http://www.tritotutto.com/es/trituradoras-mono-arbol-molinos-serie-mr-2013
[17] Disponible en: http://www.tritotutto.com/es/descripcion-de-la-maquina-trituradoras-de-2-arboles

Imagen 20. Descripción de Máquina trituradora de 2 Ejes



Fuente: Descripción funcionamiento. <http://www.tritotutto.com/es/descripcion-de-la-maquina-trituradoras-de-2-arboles>

Estas trituradoras de doble eje son ideales para tratamientos que requieren reducción volumétrica y desbastado con control parcial del tamaño del material de salida. Sin la rejilla pueden tratar cantidades de material elevadas. Su estructura especial y el exclusivo sistema de corte les permite procesar los residuos más complicados, como por ejemplo aquellos de gran tamaño, o los que presentan resistencia al corte.[18] A continuación se presentan dos tipos de trituradoras de 2 ejes con su correspondiente ficha técnica.

Cuadro 4. Trituradora de 2 Ejes TB 700 Eléctrica

Caracteristicas		Imagen
Dimensiones totales:	2700 x 1000 mm H=2500 mm	
Dimensiones cámara de corte:	660 x 720 mm	
Peso:	2000 Kg	
Motor:	2x 11 KW / 2x 15 KW	
Numero de revoluciones:	10 – 12 rpm	
Grosor de Cuchillas	30 mm	
Aplicación:	Neumáticos Automóvil	

Fuente: Máquina Trituradora TB 700. <http://www.forrec.es /trituradora-tb-700-electrica>

[18] Disponible en: http://www.forrec.es/trituradoras-de-doble-eje

Imagen 21. Trituradora de 2 Ejes TB 700 Eléctrica

Fuente: Máquina Trituradora TB 700. <http://www.forrec.es /trituradora-tb-700-electrica>

Cuadro 5. Trituradora de 2 Ejes TB 1000 Eléctrica

Caracteristicas		Imagenes
Dimensiones totales:	3000 x 1000 mm H=2500 mm	
Dimensiones cámara de corte:	660 x 1020 mm	
Peso:	2250 kg	
Motor:	2x11 kW / 2x15 kW	
Numero de revoluciones:	10 – 12 rpm	
Grosor de Cuchillas	30 mm / 50 mm	
Aplicación:	Neumáticos Automóvil	

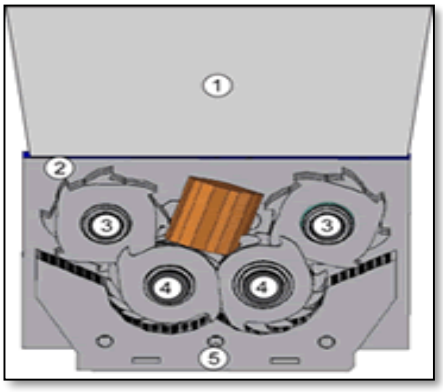
Fuente: Máquina Trituradora TB 1000. <http://www.forrec.es/ trituradora-tb-1000-electrica>

2.3.3 Trituradora de 4 ejes. Las partes que componen una trituradora de 4 ejes son la unidad de carga. Tolva (1). Unidad de trituración. De 4 ejes con una serie de elementos cortantes constituidos por unos discos de cantos agudos (3) provistos de garfios (2). La función de los garfios consiste en agarrar el producto y llevarlo hasta las fresas (4) montadas sobre dos o más ejes motores contra giratorios, que realizan un corte neto del material. Motorización. Motor eléctrico asíncrono de corriente alterna que permite, a través de un motor reductor epicicloidal la conexión entre los ejes porta-fresas y los conductores con engranaje en baño de aceite. Unidad de salida del producto. Criba (5) de 14 a 35 mm que permite seleccionar en cada caso el material con la granulometría deseada.[19]

[19] Disponible en: http://www.tritotutto.com/es/tritotutto-serie-%E2%80%9Cs%E2%80%9D-isve-funcionamiento-y-caracteristicas-principales-de-la-nueva-serie-2010

Las trituradoras de cuatro ejes aumentan las posibilidades operativas en el tratamiento de residuos sólidos. Combinan la fiabilidad y fuerza de las trituradoras de doble eje con el control del tamaño del material de salida.

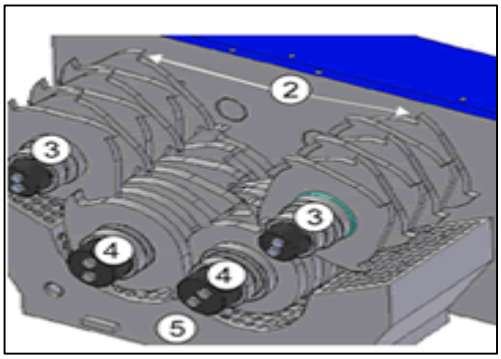
Imagen 22. Descripción de Trituradora de 4 Ejes



Fuente: Descripción funcionamiento <http://www.tritotutto.com/es/tritotutto-serie-funcion-y-caracte_principales-serie-2010>

Fabricadas para uso intensivo, las trituradoras de la serie TQ son el fruto de un proyecto de vanguardia que apunta hacia la realización de máquinas eficientes y flexibles. Su exclusivo sistema de ejes intercambiables y sus rejillas con tratamiento antidesgaste representan una reducción drástica de los costes de gestión y del mantenimiento.

Imagen 23. Descripción de Trituradora de 4 Ejes



Fuente: Descripción funcionamiento. <http://www.tritotutto.com/es/tritotutto-serie-funcionamiento-y-caracteristicas-principales>

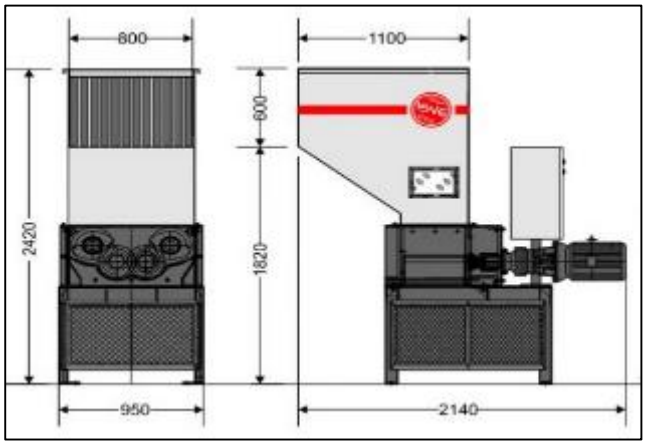
Cuadro 6. Trituradora de 4 árboles modelo 4080S

Características		Imagen
Numero de ejes fresas e introducción	2 - 2	
Dimensiones cámara de corte:	400 x 800 mm	
Transmisión:	Engranajes	
Potencia instalada	15 kW (7,5 kW + 7,5 kW)	
Numero de revoluciones:	18 rpm	
Producción	150 - 300 kg/hora	
Aplicación:	Neumáticos Automóvil	

Fuente: Trituradora modelo 4080S. <http://www.tritotutto.com /es/trituratori-4-alberi/trituradoras-de-4-arboles-modelo-4080s>

Esta es una máquina de tamaño medio, la cual cumple con ciertas características que logran que sea apta para diferentes tipos de trituración con materiales y desechos que sean voluminosos. Es recomendada para la trituración de trozos de madera, neumáticos, papel, cartón, embalajes, cintas de polietileno, películas plásticas, botellas de PET, latas, recipientes en general entre otros usos. Esta cuenta con ejes de elevado espesor con 20 fresas de acero especial antidesgaste y 20 discos de introducción para facilitar el agarre de cuerpos voluminosos.[20]

Imagen 24. Trituradora de 4 árboles modelo 4080S



Fuente: Trituradora modelo 4080S. Disponible en: <http://www.tritotutto.com/es/trituratori-4-alberi/trituradoras-de-4-arboles-modelo-4080s>

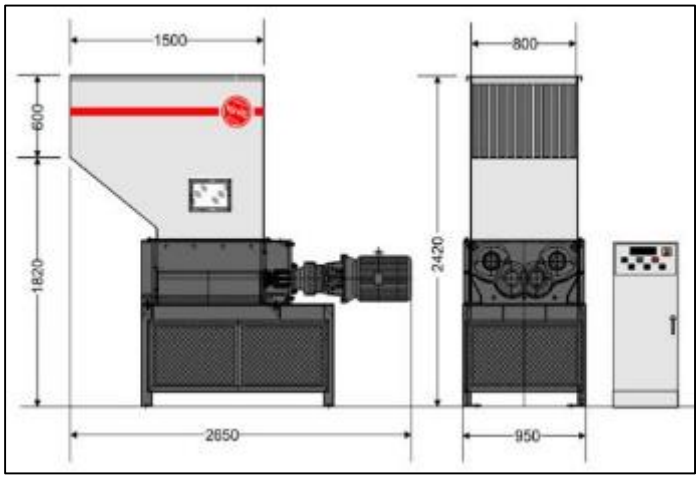
[20] Disponible en: http://www.tritotutto.com/es/trituratori-4-alberi/triturado-de-4-arboles-model-4080s

Cuadro 7. Trituradora de 4 árboles modelo 8080S

Características		Imagen
Numero de ejes fresas e introducción:	2 - 2	
Dimensiones cámara de corte:	800x800 mm	
Transmisión:	Engranajes	
Potencia instalada	2 x 11 kW / 2 x 7,5 kW	
Numero de revoluciones:	18 rpm	
Producción	350-650 kg/hora	
Aplicación:	Neumáticos Automóvil	

Fuente: Trituradora modelo 8080S. Disponible en:<http://www.tritotutto.com /es/trituratori-4-alberi/trituradoras-de-4-arboles-modelo-8080s>

Imagen 25. Trituradora de 4 árboles modelo 8080S



Fuente: Trituradora modelo 4080S. http://www.tritotutto.com/es/trituratori-4alberi/trituradoras-de-4-arboles-modelo-8080s

3. PARÁMETROS Y DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA PRIMARIO DE TRITURACIÓN

La máquina por la cual se lleva a cabo la trituración primaria consta de un conjunto de sistemas, cada uno de estos sistemas reúne una serie de requerimientos funcionales y se diferencian porque cada uno cumple una función determinada pero secuencialmente relacionada con los demás sistemas.

El resultado de una secuencia ordenada de sistemas conforma una máquina capaz de realizar un proceso determinado para el cual esta fue diseñada, en el caso específico de la trituración se tienen como principales sistemas y componentes de la máquina los siguientes.

3.1 FUENTE DE ENERGÍA

La fuente de energía estaría constituida por uno o dos motores eléctricos dependiendo del número de ejes que se maneje en la máquina y de la potencia requerida que se calcule.

3.2 ESPACIO DISPONIBLE

Se debe tener en cuenta que este tipo de maquinarias deben contar con un mínimo de espacio disponible para su correcto funcionamiento y la seguridad que esta debe brindarle a la persona que la pone en marcha. Debido a que se cuentan con diferentes maquinas a lo largo del proceso debe tener una distancia favorable entre ellas. El área ocupada puede ser de 3 x 1 m y de altura 2,5 m.

3.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El sistema de alimentación en una máquina es el encargado de suministrar la materia prima o elementos a transformar en la máquina, en el caso de la trituración primaria este sistema tiene como tarea suministrar y dirigir las llantas hacia el sistema de trituración.

En este tipo de máquina generalmente se hace un suministro manual de las llantas por parte de un operario y estas son dirigidas a través de una tolva de alimentación, la tolva de alimentación en este caso debe cumplir requerimientos básicos como reducir su tamaño de la boca de entrada a la de salida, siendo la boca de entrada de un tamaño el cual pueda permitir la entrada simultanea de varias llantas y siendo la boca de salida del mismo tamaño del siguiente sistema que tendrá la importante tarea de triturar.

Imagen 26. Tolva de alimentación trituradora de llantas

Fuente: Trituradora modelo 4080S. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=4HF1G5fOOo4>

En cuanto al tamaño especifico de este sistema de trituración y del tamaño general de la máquina se tiene en cuenta que las llantas a triturar van entre rin de tamaño 13” a rin 19”, dado que estos son las dimensiones que se pueden encontrar comúnmente en la ciudad; encontrando desde automóviles pequeños hasta camionetas de carga.

A continuación, se encuentran los tamaños de llantas promedio de acuerdo con el tamaño del rin:

Tabla 4. Dimensiones de las llantas según tamaño de rin

Tamaño de rin	Diámetro promedio de llanta	Ancho promedio de llanta
13"	532 a 576mm	165 a 185mm
14"	570 a 615mm	165 a 195mm
15"	622 a 752mm	175 a 215mm
16"	734 a 782mm	185 a 215mm
17"	689 a 789mm	205 a 225mm
18"	750 a 802mm	225 a 245mm
19"	640 a 862mm	255 a 275mm

Fuente: Catálogos comerciales de llantas.

De acuerdo con estos tipos de tamaños encontrados en catálogos comerciales se tiene que la boca de salida de la tolva de alimentación debe tener al menos 90cm X 30cm teniendo en cuenta las llantas de mayor tamaño que se procesaran. Cabe resaltar que el peso promedio de las llantas de automóvil es de 11,35 kg siendo esta nueva y de 9,08 después de ser usada, es decir que se pierde por fricción cerca de 2,27 kg.

3.4 SISTEMA DE TRITURACIÓN

Como su nombre lo indica este es el encargado de llevar a cabo la operación principal de triturar o reducir notablemente el tamaño inicial de las llantas desde su tamaño inicial determinado hasta trozos de unos 6cm a 10cm dependiendo del número de pasadas ya que esta máquina solo constituye la fase inicial del proceso.

Como ya se ha mencionado en el anterior capítulo, para este sistema se pueden elegir entre diferentes tipos como la trituradora de 1 eje, trituradora de 2 ejes y trituradora de 4 ejes todas estas con cuchillas que se encargan de hacer el primer desgarro en el material reduciendo su tamaño notablemente, cabe tener en cuenta que también podrían ser usadas otras alternativas para disminuir el tamaño de las llantas como la cizalla hidráulica y corte por chorro de agua, estas otras alternativas se estudian en el capítulo del planteamiento de alternativas de diseño.

También se debe tener en cuenta el esfuerzo que se necesita para desgarrar el caucho de los neumáticos, el cual se tendrá en cuenta en el capítulo de diseño donde se usa este esfuerzo para calcular la potencia del triturador

Otro aspecto importante a tener en cuenta en el sistema de trituración es capacidad de producción que este debe manejar

Según información obtenida de las empresas que actualmente realizan este tipo de proceso de trituración mecánica se obtuvo que la capacidad de producción óptima para este tipo de máquina y proceso, sería de 1 Ton/h (tonelada por hora) como se muestra en la siguiente cuando tomada de la empresa CORPAUL ubicada en Yumbo y dedicada al reciclaje y aprovechamiento de llantas usadas donde se muestran datos de producción reales para los años 2013 y 2014.

Cuadro 8. Datos de producción de la empresa CORPAUL

Datos de producción	
Capacidad instalada para el procesamiento de llantas de la plata en Yumbo	101458 neumáticos fuera de uso recogidos entre enero 2013 y diciembre 2014
Material reciclable recuperado (abr – dic 2014)	Caucho
	Grano 433 Ton
	Polvo 41,5 Ton
	Aceros-Impurezas 154 Ton

Fuente: Planta de reciclaje de llantas CORPAUL, disponible en: http://www.corpaul.com/index.php?option=com_content&view=article&id=116%3Areciclaje-llantas&catid=14%3Agestion-ambiental&Itemid=33

En Bogotá la empresa Grupo Renova ubicada en el parque industrial de Cazucá tiene también una producción promedio de 1 Ton/h triturando alrededor de 20 a 30 llantas por hora, según datos obtenidos mediante El Tiempo en una entrevista al

gerente general de la empresa Grupo Renova dedicada a la recuperación de llantas usadas para producción de caucho y metal. Debido a esto el sistema de triturado tendrá la capacidad ya mencionada y tendrá un anual estimado aproximado de 2496 toneladas ya que tendrá las mismas horas de trabajo efectivo. La goma obtenida pude tener un 70% a 80% del peso total del material de los neumáticos que son procesados, el 20% al 30% restante se compone del acero que forman la camisa o cinturón, debido a que pueden ser reutilizables en el campo del hierro y acero.

3.5 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

La máquina de tantos ejes chalala cuanta con un sistema de trasmisión chalala, este es el encargado de transmitir la potencia de la fuente de energía hacia el sistema de trituración mediante mecanismos que se seleccionan de acuerdo a la relación de las revoluciones por minuto de entrada en la fuente con las revoluciones por minuto de salida en la aplicación y asimismo de acuerdo a la potencia que la máquina maneja.

Existen diferentes clasificaciones de los tipos de mecanismos, pero estos son principalmente divididos en dos grupos principales, los cuales son, mecanismos de transmisión y mecanismos de transformación, estos difieren que los de transformación solo se encargan de transmitir y hacer cambios de movimientos como las bielas manivelas, levas y palancas, mientras que los de transmisión son usados para transmitir potencia entre ejes, en algunos casos variando su velocidad.

Los mecanismos de transmisión se encargan de transferir potencia entre ejes variando su velocidad de giro con la finalidad de transformar esta potencia en torque en su caso contrario alta velocidad, cuando este se aplica para transformar la velocidad en torque reduciendo su velocidad de giro este es llamado un sistema reductor y por el contrario este se usa para obtener mayores velocidades de giro es llamado un sistema multiplicador.

Asimismo, estos mecanismos de transmisión están divididos de acuerdo a sus características de transmisión entre transmisión por ruedas dentadas y transmisión por poleas, entre la transmisión de ruedas dentadas se puede encontrar los engranajes rectos, engranajes helicoidales, engranajes helicoidales dobles y engranajes cónicos de dientes rectos y de dientes helicoidales.

Las transmisiones por poleas tienen particularidades que las hacen más eficaces en algunos casos, como cuando se tiene ejes separados por grandes distancias, cuando se busca una transmisión sin lubricación, ni cárter, con un diseño sencillo y de bajo costo. Este tipo de aplicación solo se usa cuando en altas velocidades, pero no son útiles a la hora de transmitir torque debido al deslizamiento elástico.

Por otro lado, las transmisiones por medio de ruedas dentadas son utilizadas cuando se requiere exactitud en la relación de transmisión puesto que estas no dan lugar a deslizamiento. En este tipo se divide de acuerdo a la disposición de los ejes y a la característica de los dientes. Cuando se tienen ejes en paralelo generalmente se usan engranajes cilíndricos de dientes rectos, de dientes helicoidales y de dientes helicoidales dobles. Mientras que si los ejes se encuentran en posición perpendicular se tendrá que usar engranajes cónicos, bien sea de dientes rectos o de dientes helicoidales, o engranajes de tornillo sin-fin corona.

El tipo de sistema de transmisión que se elegirá de acuerdo a los requerimientos del sistema de trituración, puesto que según el tipo de sistema este requerirá altas velocidades de giro o por el contrario puede requerir de alto torque.

Cuadro 9. Tabla de parámetro.

Boca de entrada	900 mm x 300 mm
Fuente de energía	Motores eléctricos
Espacio Disponible	3 mts x 1 mts x 2,5 mts altura
Tipo de llantas	14 a 19 rin
Tamaño de salida del trozado	5 cm
Tipo de sistema de corte	Corte por cizalla, Corte por agua, Trituración por cuchillas.
Producción	1 Ton/h, 20-30 llantas hora

4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En este capítulo se presentan las alternativas evaluando así sus ventajas y desventajas en cada una de ellas. Después se realizará las matrices de selección para poder elegir las que tengan mayor puntaje y así pasar a la fase de diseño.

Las alternativas que se evaluarán serán, el sistema de trituración y sistema de transmisión.

Se calificará cada alternativa de los sistemas, seleccionando los parámetros que sean más influyentes, estos van a tener un peso específico siendo la suma de las calificaciones igual a 100%.

Luego de establecer los parámetros que se calificaran para la selección de cada sistema, se aplicara la siguiente escala para evaluar cada requerimiento siendo.

Cuadro 10. Escala de calificación

Criterio	Calificación
Deficiente	1
Aceptable	2
Bueno	3
Sobresaliente	4
Excelente	5

4.1 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE TROZADO

En el sistema de trituración se plantearán tres alternativas las cuales son, trituración por ejes de cuchillas tipo sierra, trituración por ejes de cuchillas y corte de llantas por chorro de agua. Donde se evaluará con cuál de estas se realiza una mejor trituración para el tipo de material que procesara la máquina el cual es caucho, el tamaño adecuado del triturado y además la capacidad de producción adecuada. A continuación, se da una descripción de cada alternativa para el sistema de trozado:

Alternativa 1. Cizalla hidráulica tipo caimán

Esta alternativa consiste en diseñar una cizalla tipo caimán de accionamiento hidráulico, la cual funciona de manera similar a la de unas tijeras, ya que hacen un corte rectilíneo en donde dos filos se enfrentan con el material de por medio hasta superar su resistencia a la tracción causando el corte de la pieza en dos partes.

Las cizallas son usadas para cortar cualquier tipo de material rígido o flexible como plásticos, láminas de acero, tuberías y cauchos; todos estos de diferentes espesores dependiendo la potencia de la cizalla.
Algunas variables que cabe resaltar a la hora de usar una cizalla son la velocidad y longitud de corte, estos dependerán directamente del tipo de material y el espesor

para los que se diseña la máquina. Hay cizallas que son diseñadas con mandíbulas muy grandes para cortar piezas de gran tamaño, además se debe tener en cuenta la velocidad de corte puesto que esta influye directamente en el número de piezas que pueden ser cortadas por unidad de tiempo o en otros términos la capacidad de producción.

También cabe mencionar que otra característica en la aplicación y funcionamiento de las cizallas es que estas generalmente actúan impulsadas por un sistema hidráulico ya que requieren mucha fuerza en las mandíbulas para cortar materiales muy resistentes y de grandes espesores.

Imagen 27. Cizalla hidráulica tipo caimán

Fuente: Cizalla mecánica. <https://www.youtube.com/watch?v=6F10ZVlb7jk>

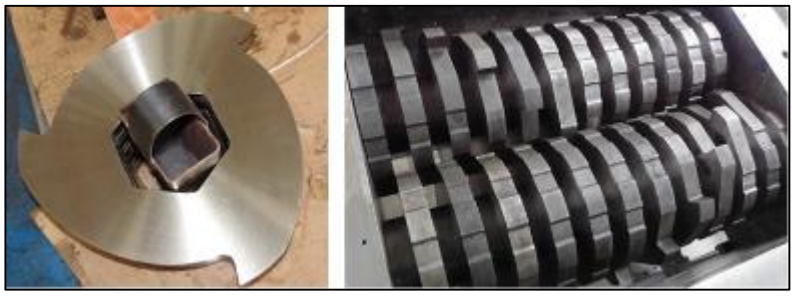
Alternativa 2. Triturador por ejes de cuchillas convencionales.

Esta alternativa parte del diseño convencional en el cual se utilizan cuchillas robustas con filos los cuales se encargan de trozar el material para reducir su tamaño, estas cuchillas pueden ser bastante resistentes dependiendo del tipo de material.

Este tipo de cuchillas pueden ser aplicadas para diferentes tipos de materiales como plásticos duros, caucho, metales blandos y madera, puesto que por su robusto espesor pueden triturar casi cualquier material siendo limitado por el número de cuchillas que tenga el eje.

Cabe mencionar que con este tipo de alternativa se manejan bajas revoluciones en los ejes, lo que se traduce en alto torque y baja velocidad, por lo que tienen un rango de aplicación bastante amplio, abarcando materiales de gran rigidez y magnos volúmenes.

Imagen 28. Ejes con cuchillas de triturador convencional



Fuente. Cuchillas Convencionales. <http://www.wuxispark.com/>

Alternativa 3. Corte de llantas por chorro de agua.

Esta alternativa está basada en un proceso mecánico, que consigue cortar cualquier material u objeto mediante un chorro de agua a gran velocidad, el cual impacta y produce el acabado esperado. Es una herramienta muy versátil y puede emplearse en diferentes procesos industriales. Cuenta con una boquilla que puede oscilar entre 0.08mm a 0,45mm de diámetro por la cual sale la mezcla de agua y abrasivo a presiones elevadas, esta característica es brindada por un bomba que cuenta con un intensificador de ultra presión que permite que llegue a 4000 bares, dependiendo del espesor del materiales a cortar se usa desde 5mm hasta 200mm o a 400mm en aplicaciones especiales y la velocidad con la que puede salir el líquido por el orificio es de 1000 metros por segundo, este método es usado para cortar todo tipo de material desde metálicos hasta blandos como el caucho.

Imagen 29. Corte de llantas por chorro de agua

Fuente: Chorro de agua. <http://www.jetedge.com>

A continuación, se definirán los factores de selección del tipo de sistema de trozado y su valor porcentual.

- Costo Inicial. 30%. Este hace referencia al valor económico que se requiere invertir para la fabricación. Entre menor sea el costo, mayor será su calificación.

- Durabilidad. 20%. La durabilidad hace referencia a la permanecía del filo de la herramienta de corte atreves del tiempo. Entre mayor sea su vida útil, mayor será su calificación.

- Rendimiento. 20%. El rendimiento se refiere a la capacidad de producción en cuanto a la cantidad de piezas cortadas por unidad de tiempo. A mayor rendimiento, mayor calificación.

- Mantenimiento. 15%. El mantenimiento hace referencia a la frecuencia de mantenimiento que requeriría el sistema, facilidad con la cual se puede conseguir un repuesto, desmontar y ensamblar el sistema. A menor frecuencia de mantenimiento, mayor calificación.

- Fabricación. 15%. Facilidad en la obtención de los materiales y el ensamble del equipo. A mayor facilidad para su construcción tendrá una mayor calificación.

Descripción de los pesos de ponderación. Se dará peso cada factor de selección en función del comportamiento total que es 100%, se le da mayor puntaje al costo inicial (30%), ya que su costo es fundamental para que sea factible su fabricación. Durabilidad y rendimiento (20%) porque se necesita que su velocidad de producción sea alta y así mismo que su herramienta de corte tenga la mayor durabilidad posible. Mantenimiento y fabricación (15%) ya que es importante que esta sea de fácil ensamble y que su manteamiento tenga que realizarse con menor frecuencia.

A continuación, se muestra la matriz de selección en el cual se calificó cada factor de selección para cada alternativa por el método de ponderaciones.

Tabla 5. Matriz de selección de sistema de trozado

Característica	Valor (%)	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		calificación	calculo	calificación	calculo	calificación	calculo
Costo inicial	30	4	120	4	120	3	90
Durabilidad	20	5	100	3	60	5	100
Rendimiento	20	1	20	5	100	2	40
Mantenimiento	15	5	75	4	60	5	75
Fabricación	15	4	60	4	60	3	45
Total	100	3,75		4		3,5	

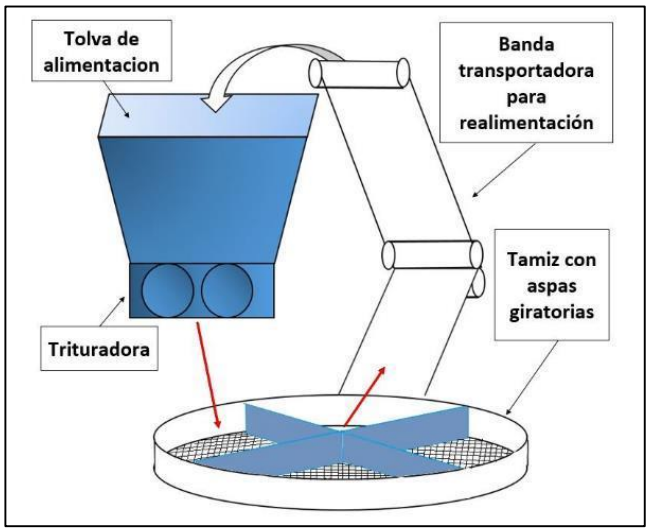
4.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE REALIMENTACIÓN

En el sistema de realimentación se plantearán tres alternativas la cuales son, realimentación por rodillos y bandas transportadoras, realimentación por tambor giratorio con tamiz y realimentación por tamiz con aspas giratorias. Donde se evaluará con cuál de estos se realiza un mejor triturado para el siguiente paso y lograr un tamaño óptimo en la salida del proceso.

Alternativa 1. Realimentación por tamiz con aspas giratorias.

Este mecanismo de realimentación consiste en ubicar a la salida de la máquina un tamiz con aspas giratorias para separar el material que cumple con el tamaño requerido para la siguiente fase de trituración del que no está suficientemente dividido. Los orificios del tamiz tendrán el espacio necesario para permitir el paso del material triturado terminado, mientras que el material que no cumple con el tamaño necesario es empujado por las aspas hasta una salida que está conectada a una banda transportadora que hacen que este material pueda ingresar nuevamente a la máquina.

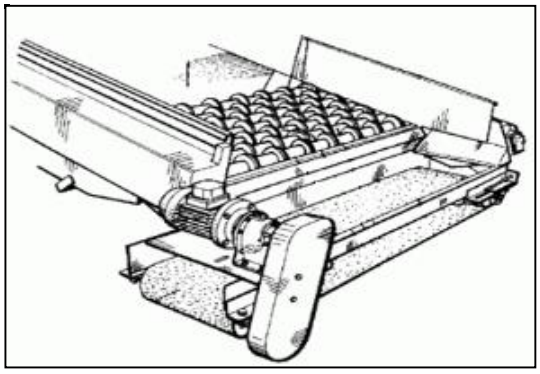
Imagen 30. Realimentación por tamiz con aspas giratorias



Alternativa 2. Realimentación por rodillos tamizados y banda transportadora.

Este mecanismo consiste en llevar rodillos giratorios de forma transversal, la longitud que esta debe tener depende de la criba de salida de la maquinaria y cuya separación permita que los trozos de neumático desciendan entre ellos; logrando clasificar los que cumplen con el tamaño adecuado que podrán pasar al siguiente proceso de triturado y los que deben ser recirculados pasaran a ser impulsados por anillos, estos trozos caerán a una banda transportadora la cual estará accionada por un motor y los llevara a la tolva de ingreso de la máquina nuevamente.

Imagen 31. Realimentación por rodillos y banda transportadora

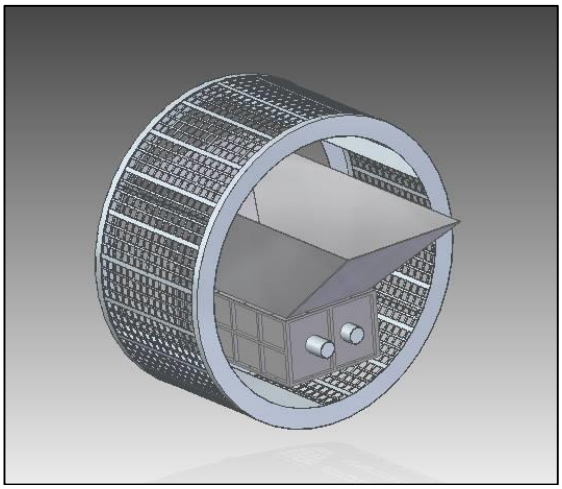


Fuente: Tamices de rodillo Disponible en: http://patentados.com/invento/mejoras-en-maquinas-lavadoras-de.html

Alternativa 3. Realimentación por tambor giratorio con tamiz.

Este mecanismo de realimentación consiste en ubicar a la salida de la máquina un tambor giratorio con tamiz, la malla del tamiz tendrán el espacio necesario para permitir el paso del material triturado terminado; la función de este es clasificar los fragmentos según su tamaño, este ordenamiento consiste en dividir los pedazos que cumple con la dimensión requerida por el proceso siguiente y los que deben ser nuevamente triturados, esto hará que los que tenga que ser recirculados giren atreves del tambor hasta llegar a la tolva e ingresar de nuevo, mientras los que caen por el tamiz serán llevados por una banda transportadora a la siguiente etapa de triturado.

Imagen 32. Realimentación por tambor giratorio con tamiz



A continuación, se definirán los factores de selección de los tipos de sistemas para la realimentación y su valor porcentual.

- Costo Inicial. 35%. Este hace referencia al valor económico que se requiere invertir para la fabricación del sistema. Entre menor sea el costo, mayor será su calificación.

- Desempeño de realimentación. 30%. El desempeño de realimentación hace referencia a la eficiencia del sistema al separar los trozos con el tamaño adecuado para la salida, y de los trozos que son necesarios realimentar a la máquina. A mayor eficiencia al realimentar mejor será su calificación.

- Mantenimiento. 25%. El mantenimiento hace referencia a la frecuencia de mantenimiento que requeriría el sistema, teniendo en cuenta la facilidad de desmontaje y ensamble para cada alternativa. A menor frecuencia necesaria de mantenimiento y mayor facilidad de desmontaje, mayor calificación.

- Acoplamiento. 25%. El acoplamiento hace referencia a la facilidad de unir el sistema de corte o trituración, con el sistema de realimentación que plantea cada alternativa. Entre más factible sea realizar el acople de estos dos sistemas, mayor será su calificación.

Descripción de los pesos de ponderación. Se dará peso a cada factor de selección en función del comportamiento total que es 100%, se le da mayor puntaje al costo inicial (30%), ya que su costo es fundamental para que sea factible su fabricación. Desempeño de realimentación (28%) porque es fundamental que el sistema funcione sin complicaciones y sea efectivo a la hora de separar el material triturado. Mantenimiento y fabricación (18%) puesto que es importante que esta sea de fácil ensamble y que su manteamiento tenga que realizarse con menor frecuencia. Acoplamiento (26%) ya que es fundamental que el sistema de realimentación y de trituración puedan trabajar conjuntamente.

A continuación, se muestra la matriz de selección en el cual se calificó cada factor de selección para cada alternativa del sistema de realimentación por el método de ponderaciones.

Tabla 6. Matriz de selección de sistema de realimentación

Característica	Valor (%)	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		calificación	calculo	calificación	calculo	calificación	calculo
Costo inicial	28	5	140	4	112	3	112
Desempeño de realimentación	28	3	84	4	112	5	140
Mantenimiento	18	4	72	3	54	4	72
Acoplamiento	26	3	78	3	78	4	104
Total	100	3,74		3,56		4,00	

Con base en los datos obtenidos a través de la matriz de selección, se define que el diseño será realizado con un triturador por ejes de cuchillas rotativas, ya que fue el que más puntaje obtuvo cumpliendo los requerimientos funcionales, llevando acabo la finalidad del proyecto, su sistema de transmisión se realizara con engranajes de dientes helicoidales y su realimentación se realizara a través de un tambor giratorio con tamiz. Con esto se logra que la fabricación de la máquina sea económica y asequible para el proceso de recuperación de caucho.

5. DISEÑO DETALLADO

En este capítulo se lleva a cabo todos los cálculos relacionados con cada uno de los sistemas y subsistemas de la máquina los cuales fueron anteriormente definidos en la selección de alternativas y que relacionara cada una de las variables que lleven a cabo el funcionamiento que integrara la totalidad de la misma.

5.1 CÁLCULO DE POTENCIA DEL TRITURADOR

Teniendo en cuenta las propiedades del material de las llantas, en este caso caucho vulcanizado se encuentra que.

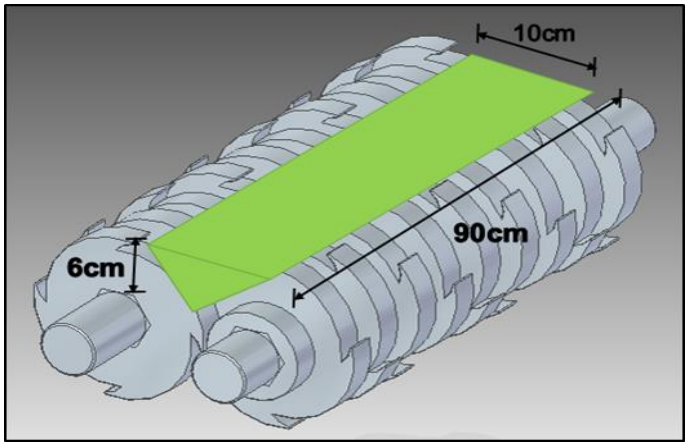
Cuadro 11. Propiedades del caucho vulcanizado

Propiedades del caucho vulcanizado.	
Densidad	900 a 1.200 kg/m^3
alargamiento a rotura	350 a 700%
resistencia a la tracción	15Mpa

Fuente. Selección de materiales en el diseño de máquinas de Carles Riba Romeva.

En el libro de resistencia de materiales de Robert L. Mott se recomienda utilizar como valor de la resistencia a la tracción al corte un valor de 0,5 y como el diseño siempre se crea teniendo en cuenta las condiciones más críticas a las que podría trabajar la máquina, por lo tanto, se toma que la resistencia es 7,5Mpa.

Imagen 33. Tamaño de triturado en condiciones criticas



Calculando el tamaño que se trituraría constantemente en la condición más crítica (a full carga) se tendría que el volumen de triturado es.

$$V = \frac{b \times A}{2} \times l$$

Donde.
V = Volumen de triturado.
b = base del triángulo formado.
A = altura del triángulo formado.
L = longitud de la figura formada.

Reemplazando se obtiene.

$$V = \frac{10cm \times 6cm}{2} \times 90cm = 2.700cm^3$$

$$V = 2.700cm^3 \times \frac{1m^3}{(100cm)^3} = 0{,}0027m^3$$

A partir de este dato se puede calcular el torque que requiere la máquina, para triturar el material mediante la siguiente formula.

$$T = \tau\ (resistencia\ al\ corte)\ \times V\ (volumen\ del\ triturado)$$

$$T = 7'500.000\frac{N}{m^2} \times 0{,}0027m^3 = 20.250Nm$$

Teniendo el torque que demanda la máquina, se puede calcular la potencia requerida mediante la siguiente formula que recurre al sistema inglés.

$$P = \frac{T \times rpm}{63.000}$$

$$T = 20.250Nm \times \frac{1lb}{4{,}448N} \times \frac{39{,}37in}{1m} = 179.236{,}17lbin$$

El término rpm hace referencia a las revoluciones por minuto que requiere el eje triturador, siendo estas 10 revoluciones por minuto.

$$P = \frac{179.236{,}17\ lbin \times 10rpm}{63.000} = 28{,}45HP$$

En este tipo de máquina el factor de corrección recomendado es 1.5 siendo entonces la potencia real requerida de.

$$P = 28{,}45HP \times 1{,}5 = 42{,}675HP \cong 43HP$$

5.2 CÁLCULO DE POTENCIA Y TRANSMISIÓN DEL RECIRCULADOR

5.2.1 Calculo de potencia del sistema recirculador. En esta parte se utiliza el método de cálculo de potencia mediante la capacidad del par requerido, y del tiempo necesario para acelerar una carga de acuerdo a las propiedades de inercia de la figura. Se tienen en cuenta como datos iniciales que se requiere un recirculador con las siguientes dimensiones.

Ø= 1840mm.
Øint= 1600mm.
Ancho= 950mm.

Se calcula el área y la masa de la malla separadora.

$$Perimetro(P) = 2\pi(r) = 2\pi(920mm) = 5780{,}53mm$$

$$Area\ (A) = P\ \times Ancho = 5{,}78053m\ \times 0{,}95 = 5{,}491503m^2$$

Malla de enrejado de 5cm×5cm con un diámetro de alambre de 2mm.

Densidad superficial según catálogo de Icomallas S.A = 0,71626 kg/m^2.

$$Masa\ de\ malla = 0{,}71626\ Kg/m^2\ \times 5{,}491503m^2\ = 3{,}9333\ Kg$$

Se calcula la masa de la estructura circular, teniendo en cuenta que se requiere de un perfil angular en acero con dimensiones de 120mm×50mm×5mm.

Densidad lineal de este perfil según catalogo = 6,7Kg/m.

Perímetro de los dos lados = 2P = 11,56106097m.

$$Masa\ de\ estructura = 2\ Perimetros \times densidad\ lineal$$

$$Masa\ de\ estructura = 11{,}561060\ m\ \times 6{,}7\ Kg/m\ = 77{,}4591085Kg$$

Masa de las aletas.

$$Volumen\ 1\ aleta = 120mm \times 950mm \times 4mm = 4{,}56x10^{-4}m^3$$

$$Masa\ 1\ aleta = 7.850Kg/m^3\ \times 4{,}56x10^{-4}m^3 = 3{,}5796Kg/aleta$$

$$Numero\ de\ aletas = 360° \div 60°/aleta = 6\ aletas$$

$$Masa\ de\ aletas = 3{,}5796Kg/aleta \times 6\ aletas = 21{,}4776Kg$$

Entonces.

$$Masa\ total = masa\ de\ malla + masa\ de\ estructura\ circular + masa\ de\ las\ aletas$$

$$Masa\ total = 3{,}93Kg + 77{,}45Kg + 21{,}47Kg = 102{,}8697Kg$$

Con base a lo anterior se determina que la masa total del recirculador es de 102,87 Kg, teniendo en cuenta la masa de la malla, de la estructura y de las aletas.

Calculo de potencia mediante el par torsional.

$$T = I \times \alpha$$

Dónde:

$I =$ Momento de inercia de la masa de los componentes a acelerar.
$\alpha =$ Aceleración angular o tasa de cambio de velocidad angular con respecto al tiempo.

$$I = m \times k^2 \quad \text{y} \quad \alpha = \frac{\Delta n}{t}$$

$\Delta n/t =$ Cambio de velocidad de giro Δn en determinado tiempo t. Se estima un tiempo de 16 seg dado que es el tiempo que se tarda la maquina en hacer un ciclo de triturado.
$k =$ Momento de inercia en función del radio de giro.

$$T = mK^2 \times \frac{\Delta n}{t}$$

$$K^2 = 0{,}5 \times (Rext^2 + Rint^2) = 0{,}5 \times (0{,}92m^2 + 0{,}8m^2) = 0{,}74m^2$$

$$T = 102{,}8697085Kg \times 0{,}74m^2 \times \frac{10rpm}{16s} = 47{,}57Nm$$

$$T = 47{,}57Nm \times \frac{1lb}{4{,}448N} \times \frac{39{,}37in}{1m} = 421{,}07lbin$$

Con el torque obtenido de 421,07 libra pulgada, se determina la potencia necesaria para el recirculador, como se muestra a continuación cabe resaltar que es necesario que el recirculador gire a 10rpm, entonces se debe calcular la velocidad requerida en el eje por la relación de diámetros entre la rueda motriz en el eje y el recirculador.

$$rev\ del\ eje\ motriz = \frac{Diam\ recirculador \times rev\ del\ recirculador}{Diam\ rueda\ motriz}$$

$$rev\ eje\ motriz = \frac{1.840mm \times 10rpm}{125mm} = 147{,}2rpm$$

$$P\ recirculador = \frac{T \times rpm}{63.000} = \frac{421{,}07lbin \times 147{,}2rpm}{63.000} = 0{,}983\ hp$$

Con base en lo anterior se determina que la potencia necesaria es 0,983 hp y se aproxima a una potencia comercial para facilitar la selección del motor a emplear en el recirculador.

$$P\ recirculador = 0{,}983HP \cong 1\ hp$$

5.2.2 Calculo de la trasmisión del sistema recirculador. Para la trasmisión de potencia desde el motor del recirculador hacia el eje motriz del recirculador, se calcula una trasmisión por cadena de rodillos puesto que esta representa una larga vida útil y no tiene fallos por deslizamiento ni arrastre.

Se tiene los siguientes datos de entrada, calculados previamente.

Potencia del motor recirculador = 1HP
Velocidad necesaria en el eje recirculador = 148 rpm (V2)
Velocidad de salida del motor = 1.725rpm (V1)

Se selección motora de 1HP, de la marca siemens el cual tiene una velocidad de salida de 1.725rpm, como se muestra en el Anexo A.

Relación de transmisión. (r)

$$r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1.725rpm}{148rpm} = 11{,}65$$

Se calcula el número de dientes de las catarinas de acuerdo con su relación de trasmisión, y de acuerdo a números los de dientes disponibles comercialmente para cadenas número 40, como se muestra a continuación.

Tomando N_2 como 120 dientes de la Tabla 7 se calcula entonces el número de dientes de N_1.

$$N_1 = \frac{Z_2}{r} = \frac{120\ dientes}{11{,}65} = 10{,}29 \cong 11\ dientes$$

$$N_2 = 120\ dientes$$

Tabla 7. Numero de dientes disponibles comercialmente

Núm.	Números de dientes de catarina disponibles
25	8-30, 32, 34, 35, 36, 40, 42, 45, 48, 54, 60, 64, 65, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95
35	4-45, 48, 52, 54, 60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
41	6-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
40	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
50	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
60	8-60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 72, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
80	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 78, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
100	8-60, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 74, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
120	9-45, 46, 48, 50, 52, 54, 55, 57, 60, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 96
140	9-28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 45, 48, 54, 60, 64, 65, 68
160	8-30, 32-36, 38, 40, 45, 46, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 68
180	13-25, 28, 35, 39, 40, 45, 54, 60
200	9-30, 32, 33, 35, 36, 39, 40, 42, 44, 45, 48, 50, 51, 54, 56, 58, 59, 60, 63, 64
240	9-30, 32,35, 36, 40, 44, 45, 48, 52, 54, 60

Para confirmar el número de la cadena a utilizar, se calcula la potencia nominal H_1 y H_2. H_1 proporcionada por la American Chain Assosiation (ACA), y limitada por la fatiga de la placa del eslabón, mientras que H_2 está limitada por los rodillos.[21]

$$H_1 = 0{,}004{N_1}^{1{,}08}{n_1}^{0{,}9}p^{(3-0{,}07p)}$$

$$H_2 = \frac{1.000K_r{N_1}^{1{,}5}p^{0{,}8}}{{n_1}^{1{,}5}}$$

Donde.

N_1= número de dientes en la catarina menor.
n_1= velocidad de la catarina, rpm.
p= paso de la cadena, pulg.

K_r= 29 para números de cadena 25, 35; 3,4para cadena 41; y 17 para cadenas 40.

$$H_1 = 0{,}004 \times 11^{1{,}08} \times 148^{0{,}9} \times 0{,}5^{(3-0{,}07\times 0{,}5)} = 0{,}612\ hp$$

$$H_2 = \frac{1.000 \times 17 \times 11^{1{,}5} \times 0{,}5^{0{,}8}}{148^{1{,}5}} = 197{,}84\ hp$$

El valor tabulado en la siguiente tabla para seleccionar el número de la cadena es el H_{min}= min (0,612hp y 197,84hp) = 0,612 hp.

Según la velocidad de la catarina menor y la potencia nominal H_{min}, se selecciona el número estándar de la cadena en la Tabla 8 como se muestra a continuación.

[21] Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Octava edición. Shigley. Pág. 891.

Tabla 8. Capacidad de potencia de cadenas

Velocidad de la Catarina, rpm	Numero ANSI de cadena					
	25	35	40	41	50	60
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31
150	0.13	0.41	0.99	0.55	1.92	3.32
200	0.16	0.54	1.29	0.71	2.50	4.30
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20
400	0.30	1.01	2.40	1.32	4.67	8.03
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81
600	0.44	1.46	3.45	1.90	6.72	11.6
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3
800	0.56	1.89	4.48	2.46	8.71	15.0
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7
1000	0.68	2.31	5.48	3.01	10.7	18.3
1200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6
1400	0.93	3.13	7.41	2.61	14.4	18.1
1600	1.05	3.53	8.36	2.14	12.8	14.8
1800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4
2000	1.27	4.32	7.72	1.52	9.23	10.6
2500	1.56	5.28	5.51	1.10	6.58	7.57
Tipo A		Tipo B			Tipo C	

Siendo así se selecciona una cadena ANSI número 40 de torón sencillo y de lubricación manual o por goteo.

Tabla 9. Dimensiones de cadenas estándares de rodillos ANSI

Numero de cadena ANSI	Paso, pulg (mm)	Ancho, pulg (mm)	Resistencia mínima a la tensión, lbf (N)	Peso promedio, lbf/pie (N/m)	Diámetro del rodillo, pulg (mm)	Espaciamiento de torones múltiples, pulg (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3.470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1.760 (7.830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.250 (6.35)	1.500 (6.670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	- -
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3.130 (13.920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4.880 (21.700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.70)	7.030 (31.300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12.500 (55.600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19.500 (86.700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28.000 (124.500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38.000 (169.000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50.000 (222.000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)

Calculo del diámetro de las catarinas.

$$D_p = \frac{p(mm)}{sen(\pi\, rad/_N)}$$

Diámetro primitivo de la catarina menor.

$$D_{p1} = \frac{12{,}7mm}{sen(\pi\, rad/_{11})} = 45mm$$

Diámetro primitivo de la catarina mayor.

$$D_{p1} = \frac{12{,}7mm}{sen(\pi\, rad/_{120})} = 485{,}16mm$$

Longitud de la cadena en pasos.

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2\, C/p}$$

La distancia entre centros C está dada por,

$$C = \frac{p}{4}\left[-A + \sqrt{A^2 - 8\left(\frac{N_2 - N_1}{2\pi}\right)^2}\right]$$

Siendo A igual a,

$$A = \frac{N_1 + N_2}{2} - \frac{L}{p}$$

Asumiendo que se trata de una trasmisión corta donde C/p= 25, entonces se tiene.

$$\frac{L}{p} = 2 \times 25 + \frac{120 + 11}{2} + \frac{(120 - 11)^2}{4\pi^2 \times 25} = 127{,}53\ pasos$$

$$\frac{L}{p} \cong 128\ pasos$$

$$A = \frac{11 + 120}{2} - 128 = -62{,}5$$

Distancia entre centros.

$$C = \frac{p}{4}\left[-(-62{,}5) + \sqrt{62{,}5^2 - 8\left(\frac{120 - 11}{2\pi}\right)^2}\right] = 25{,}303(p)$$

Para la cadena seleccionada ANSI 40, p= 0,5 pulg. Entonces.

$$C = 25{,}303(p) = 25{,}303 \times 0{,}5pulg = 12{,}65\ pulg$$

El resultado obtenido muestra que la distancia entre centros es de 12,65 pulgadas entre la catarina menor y la catarina mayor.

5.3 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL EJE HEXAGONAL

En esta parte se calculan las dimensiones del eje hexagonal, el cual está encargado de sostener y transmitir el torque a las cuchillas rotativas. Por tal motivo se calcula mediante el cálculo de ejes con formas no circulares y se rectifica su medida mediante flexión ya que este soporta el peso de las cuchillas y los separadores.

Para el material del eje se seleccionó el acero 4140, (Ver Anexo B) porque tiene una buena relación entre su resistencia y su costo, además de ser uno de los aceros de baja aleación más populares y por lo tanto es fácil de conseguir. Asimismo, este acero es recomendado para piezas mecánicas que están sometidas a esfuerzo y que requieren de buena resistencia al desgaste. El factor de seguridad que se selecciono es de 2, dado que este determina la incertidumbre de los elementos que van a ser diseñados.

$$\sigma y\ (acero\ 4140) = 414MPa$$

$$\tau\ permisible = \frac{0{,}5\sigma y}{F.S} = \frac{0{,}5(414MPa)}{2} = 103{,}5MPa$$

Para hallar el lado del hexágono es necesario emplear la siguiente ecuación tomada del libro Engineering Fundamentals[22]

$$\tau\ max = \frac{1{,}09 \times T}{a^3}$$

Donde.
T= torque del eje.
a=lado del hexágono.

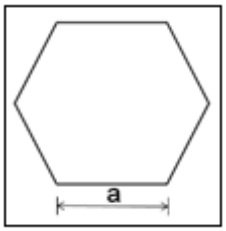
Despejando se obtiene.

$$a = \sqrt[3]{\frac{1{,}09 \times T}{\tau\ max}}$$

Reemplazando se obtiene.

$$a = \sqrt[3]{\frac{1{,}09 \times 20.250Nm}{103{,}5 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}} = 0{,}0597452m$$

[22] Eshbach's Handbook of Engineering Fundamentals Byron D. Tapley Cuarta Ed Pág. 4-37

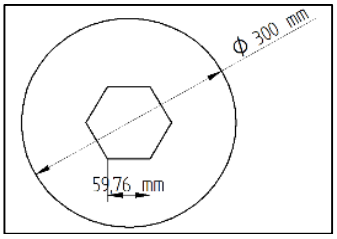


$$a = 59{,}74mm$$

Con base en lo anterior se realiaza la verificacion de las dimensiones del eje hexagonal por flexion y la carga que este soporta a flexion. A contunuación se determina la masa de la cuchillas, estas son seleccionadas según la funcion que van a desempeñar, para este caso es la trituracion de caucho. Como se muestra en el Anexo C.

Masa de las cuchillas.

Espesor de cuchillas= 50mm



$$A_t = A_{circular} - A_{hexagonal} = \frac{\pi \times D^2}{4} - \frac{3a^2 \times \sqrt{3}}{2}$$

$$A_t = \frac{\pi \times (0{,}3m)^2}{4} - \frac{3 \times (0{,}05975m)^2 \times \sqrt{3}}{2} = 0{,}06141m^2$$

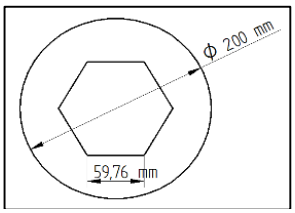
$$Vol = A_t \times Espesor = 0{,}06141m^2 \times 0{,}05m = 3{,}07052 \times 10^{-3}m^3$$

$$m = \rho \times V = 7.700\,Kg/m^3 \times 3{,}07052 \times 10^{-3}m^3 = 23{,}64305Kg$$

$$masa\ total\ cuchillas\ en\ 1\ eje = 23{,}64305Kg \times 9cuchillas = 212{,}78752Kg$$

Masa de los separadores.

Espesor de los separadores= 50mm



$$A_t = A_{circular} - A_{hexagonal} = \frac{\pi \times D^2}{4} - \frac{3a^2 \times \sqrt{3}}{2}$$

$$A_t = \frac{\pi \times (0{,}2m)^2}{4} - \frac{3 \times (0{,}05975m)^2 \times \sqrt{3}}{2} = 0{,}02214m^2$$

$$Vol = A_t \times Espesor = 0{,}02214m^2 \times 0{,}05m = 1{,}10703 \times 10^{-3}m^3$$

$$m = \rho \times V = 7.700\,Kg/m^3 \times 1{,}10703 \times 10^{-3}m^3 = 8{,}52414Kg$$

$$masa\ total\ separadores\ en\ 1\ eje = 8{,}52414Kg \times 9separadores = 76{,}71729Kg$$

Peso total sobre el eje hexagonal.

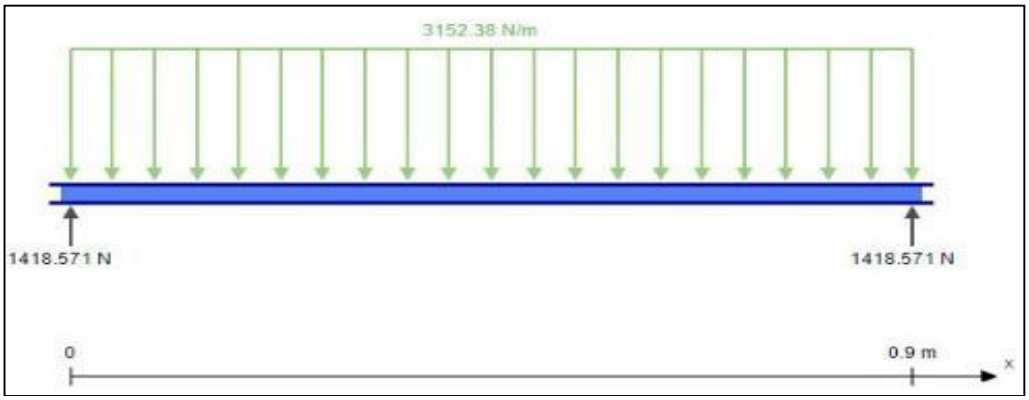
$$m_t = 76{,}71Kg + 212{,}78Kg = 289{,}50481Kg$$

$$W_t = 289{,}50481Kg \times 9{,}8\,m/s^2 = 2.837{,}14715N$$

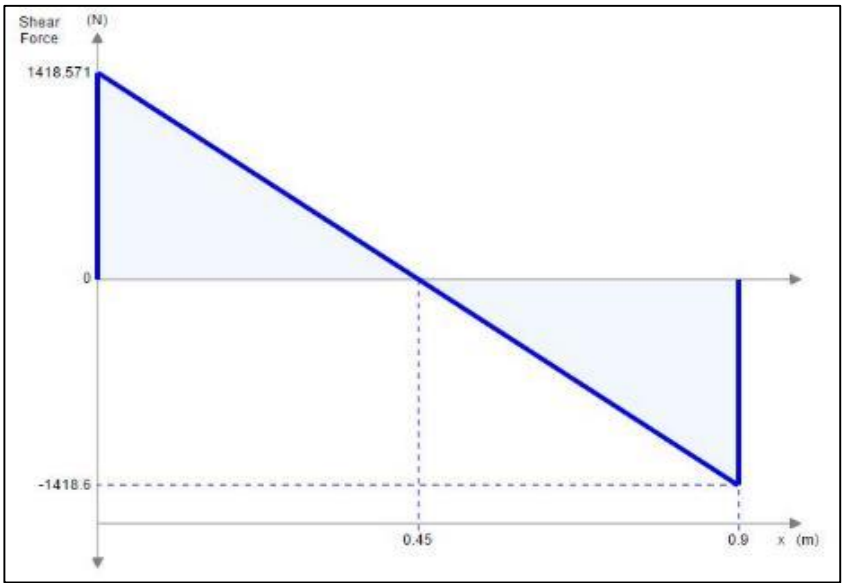
$$Carga\ distribuida = \frac{2.837{,}14715N}{0{,}9m} = 3.152{,}38573\,N/m$$

A continuación se presenta el diagrama de cuerpo libre del eje, donde se aplica una carga distribuaida de 3.152,38 N/m. Asi mismo el diagama de fuerza cortante V y momento flexionante M.

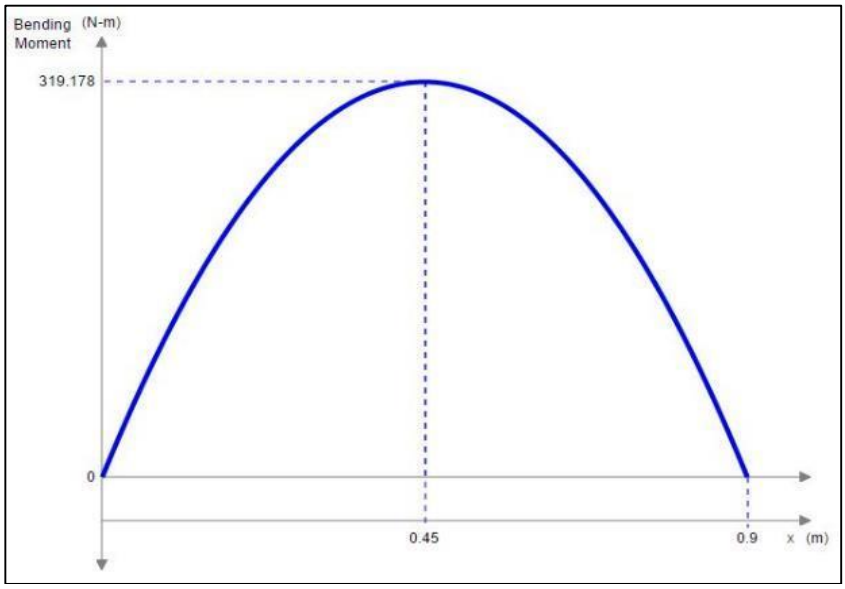
Grafica 1. Diagrama de cuerpo libre del eje hexagonal



Grafica 2. Diagrama de fuerza cortante V



Grafica 3. Diagrama de momento flexionante M



Entonces σmax[23]

$$\sigma_{max} = \frac{MC}{I}$$

Donde.

[23] Resistencia de materiales 5 ed. 2009 Robert L Mott, pág. 357

M= maginitud del momento de flexion en el eje.
I= momento de inercia del area transversal con respecto a su eje neutro.
C= distancia del eje neutro a la fibra mas alejada en la seccion del eje.

$$I_{hexagono} = 0{,}0601h^4 = 0{,}0601 \times (0{,}1035m)^4 = 6{,}89661 \times 10^{-6}m^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{319{,}179Nm \times 0{,}05975m}{6{,}896613 \times 10^{-6}m^4} = 2{,}765MPa$$

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S} = \frac{414MPa}{2} = 207MPa$$

$$\sigma_{max} = 2{,}765MPa \ll \sigma_{perm} = 207MPa$$

Con base a los resultados obtenidos se concluye que el eje cumple por flexion debido a que σ calculado es mucho menor que σ permisible .

5.4 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL EJE CIRCULAR

Aquí se llevará a cabo el cálculo de la sección circular del eje, el cual va a estar soportado sobre las chumaceras.

Se calcula las dimensiones del eje de acuerdo con el esfuerzo torsional que este debe soportar, se utilizara un acero 4140, (ver Anexo B) este es usado ampliamente en la industria ya que presenta altas propiedades como dureza, tenacidad y una alta resistencia. El factor de seguridad que se selecciono es de 2, dado que este determina la incertidumbre de los elementos que van a ser diseñados.

$$\sigma y\ (acero\ 4140) = 414MPa$$

$$\tau\ permisible = \frac{0{,}5\sigma y}{F.S} = \frac{0{,}5(414MPa)}{2} = 103{,}5MPa$$

$$\tau\ max = \frac{T \times C}{J}$$

Donde.
T= torque del eje.
C= distancia del punto medio a la fibra en estudio, en este caso es equivalente al radio.
J= momento polar de inercia.[24]

[24] Resistencia de materiales 5 ed. 2009 Robert L Mott, pág. 202

$$J = \frac{\pi \times D^4}{32}$$

$$\tau\, max = \frac{T \times \frac{D}{2}}{\frac{\pi \times D^4}{32}}$$

Despejando el diámetro de la ecuación anterior, se obtiene.

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \times T}{\pi \times \tau\, max}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 2.0250Nm}{\pi \times 103{,}5MPa}}$$

$$D = 0{,}099881m \cong 3{,}93234inch$$

Se concluye que el diámetro de la sección circular del eje es de 3.933 Pulgadas, y se complementa con el ángulo de la deformación por torsión[25], como se muestra a continuación.

$$\theta = \frac{T \times L}{J \times G}$$

Donde.
θ= Angulo de torsión en radianes.
L= longitud del eje.
G= módulo de elasticidad del eje en cortante.

$$\theta = \frac{2.0250Nm \times 0{,}0508m}{\frac{\pi \times (0{,}099881m)^4}{32} \times 80 \times 10^9} = 3{,}98314 \times 10^{-3} rad$$

$$\theta = 1{,}316 \times 10^{-3} rad \times \frac{180°}{\pi\, rad} = 0{,}0754°$$

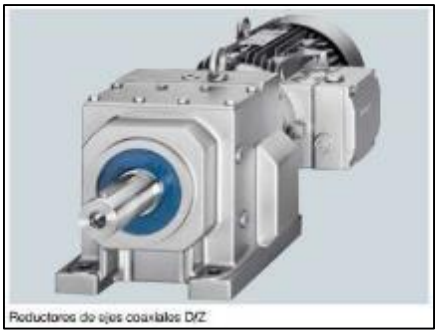
Con base en los cálculos anteriores de define que el ángulo de torsión está dentro de los paramentos, al no verse sometido a grandes niveles de torsión

5.5 SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR

Con base en las necesidades de la máquina se seleccionan dos motorreductores que alimentaran los dos ejes de la máquina según el catalogo (Motorreductores MOTOX Catálogo D87.1 · 2008) de la empresa Siemens.

[25] Resistencia de materiales 5 ed. 2009 Robert L Mott, pág. 217

Imagen 34. Motorreductor Motox de Siemens



Cada uno de ellos debe ser de 16KW o mayor y con aproximadamente 10 rpm de salida, de acuerdo a esto se seleccionó el motorreductor de ejes coaxiales (de menor costo que los demás tipos y de mayor facilidad de acople y ajuste a la estructura) de tipo D.168-LA160L4 y de referencia 2KJ1210 - 1JR13 - 9AK1, como se muestra en el Anexo D.

5.6 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Se realizan cálculos y selección de rodamientos para los diferentes elementos como los ejes del triturador y el recirculador.

5.6.1 Rodamientos del triturador. A partir de los resultados obtenidos en los ejes se calculan y seleccionan los rodamientos que soportaran los ejes encargados de la trituración.

En los catálogos comerciales de rodamientos se requiere saber la geometría que estos deben tener y su carga dinámica, la cual se calcula a continuación.

$$Area\ del\ eje\ hexagonal = 9{,}27529 \times 10^{-3} m^2$$

$$Volumen\ del\ eje\ hexagonal = 9{,}27529 \times 10^{-3} m^2 \times 0{,}9m = 8{,}34776 \times 10^{-3} m^3$$

$$Masa\ eje\ hexagonal = 7.850\ {}^{Kg}/_{m^3} \times 8{,}34776 \times 10^{-3} m^3 = 65{,}52 Kg$$

$$Area\ eje\ circular = \frac{\pi(0{,}099881m)^2}{4} = 7{,}8353 \times 10^{-3} m^2$$

$$Volumen\ eje\ circular = 7{,}8353 \times 10^{-3} m^2 \times 0{,}3m = 2{,}8207 \times 10^{-3} m^3$$

$$Masa\ eje\ circular = 7.850\ {}^{Kg}/_{m^3} \times 2{,}8207 \times 10^{-3} m^3 = 22{,}14 Kg$$

$$Masa\ eje\ triturador = 22{,}14Kg + 65{,}52Kg = 87{,}66Kg$$

$$Masa\ total\ del\ eje\ triturador = masa\ eje + masa\ chuchillas\ y\ separadores$$

$$m_t = 87{,}66Kg + 212{,}78Kg + 76{,}71Kg = 377{,}15Kg$$

$$Fuerza = m \times a = 377{,}15Kg \times 9{,}8\,m/s^2 = 3.699{,}8666N$$

Con la masa total del eje triturador se halla la fuerza que va a esta soportada en los ejes. A continuación de determina la carga dinámica del rodamiento.[26]

$$Ld = (h) \times (rpm) \times (60\,min/h)$$

Ld= Revoluciones de diseño del rodamiento.

Cuadro 12. Duración recomendada para rodamientos

Aplicación	Duración de diseño en hr
Electrodomésticos	1.000-2.000
Motores de aviación	1.000-4.000
Automotores	1.500-5.000
Equipos agrícolas	3.000-6.000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples.	8.000-15.000
Motores eléctricos, sopladores industriales maquinas industriales en general.	20.000-30.000
Bombas y compresores	40.000-60.000
Equipo critico en funcionamiento durante 24h	100.000-200.000

Fuente: Resistencia de materiales 5 ed. 2009 Robert L Mott, pág. 612

$$Ld = 30.000h \times 10{,}7rpm \times (60\,min/h) = 19{,}26 \times 10^6 rev$$

C= Carga dinámica básica.

$$C = Pd \times (Ld/1 \times 10^6)^{\frac{1}{k}}$$

Pd= Carga del rodamiento.
K= Constante del tipo de rodamiento (rodamientos de rodillos= 3).

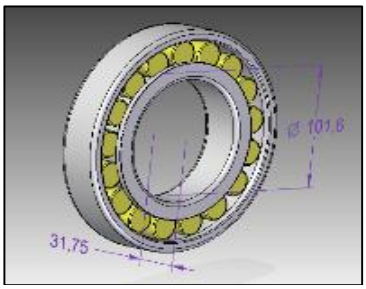
$$Pd = \frac{carga\ total}{numero\ de\ rodamientos} = \frac{3.699{,}8666N}{2\ rodamientos} = 1.849{,}93N$$

$$C = 1.849{,}93N \times \left(\frac{19{,}26 \times 10^6 rev}{1 \times 10^6}\right)^{\frac{1}{3}} = 4{,}9587KN$$

[26] Diseño de elementos de máquinas 4 ed. Robert L Mott. pág. 611

Se seleccionó un rodamiento de rodillos de una hilera, ya que este puede someterse a cargas radiales, axiales y desalineamientos. Con base en los cálculos realizados, se tomó el más apto del catálogo de SKF (ver Anexo E), ya que cuenta con una carga dinámica básica de 426KN la cual es mucho mayor que la calculada.

Imagen 35. Rodamiento de rodillos de una hilera



5.6.2 Rodamientos del recirculador. Con los resultados obtenidos de los ejes se calculan y seleccionan los rodamientos que tendrá el recirculador. En los catálogos comerciales de rodamientos se requiere saber la geometría que estos deben tener y su carga dinámica, la cual se calcula a continuación.

$$Masa\ recirculador = 102{,}8697Kg$$

$$Volumen\ rueda = 7 \times 10^{-4}m^3$$

$$masa\ eje\ recirculador = 1.050\ \frac{Kg}{m^3} \times\ 7 \times 10^{-4}m^3 = 0{,}7Kg\ \times\ 4\ llantas = 2{,}8\ Kg$$

$$Area\ eje\ recirculador = \frac{\pi(0{,}0381m)^2}{4} = 1{,}1401 \times 10^{-3}m^2$$

$$Volumen\ eje\ recirculador = 7{,}8353 \times 10^{-3}m^2 \times 1{,}06243m = 1{,}2113 \times 10^{-3}m^3$$

$$masa\ eje\ recir = 7.850\frac{Kg}{m^3} \times 1{,}2113 \times 10^{-3}m^3 = 9{,}5085Kg\ \times\ 2\ ejes = 19{,}017\ Kg$$

$$masa\ total = masa\ ejes\ recirculador + masa\ recirculador + masa\ ruedas$$

$$m_t =\ 19{,}017\ Kg + 102{,}8697\ Kg + 2{,}8\ Kg = 124{,}6867\ Kg$$

$$Fuerza = m \times a = 124{,}6867\ Kg\ \times\ 9{,}8\,m/s^2\ = 1.221{,}9297\ N$$

Carga dinámica del rodamiento.[27] Donde el h se selecciona con el Cuadro 12 que es igual a 30.000h.

$$Ld = (h) \times (rpm) \times (60\,min/h)$$

Ld= Revoluciones de diseño del rodamiento

$$Ld = 30.000h \times 10\,rpm \times (60\,min/h) = 18 \times 10^6 rev$$

C= Carga dinámica básica.

$$C = Pd \times (Ld/1 \times 10^6)^{\frac{1}{k}}$$

Pd= Carga del rodamiento.
K= Constante del tipo de rodamiento (rodamientos de bolas= 3).

$$Pd = \frac{carga\ total}{numero\ de\ rodamientos} = \frac{1.221{,}9297\ N}{4\ rodamientos} = 305{,}4823N$$

$$C = 305{,}4823\ N\ \times \left(\frac{18 \times 10^6 rev}{1 \times 10^6}\right)^{\frac{1}{3}} = 800{,}59\ N$$

Se seleccionó un rodamiento de bolas de una hilera, ya que este puede someter cargas ligeras puramente, axiales. Con base en los cálculos realizados, se tomó el más apto del catálogo de SKF (ver Anexo F), ya que cuenta con una carga dinámica básica de 14 KN la cual es mucho mayor que la calculada.

5.7 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA

La banda transportadora cumple la función de transportar material de un lugar a otro y tiene la cualidad que requiere poco mantenimiento para funcionar, para su diseño se debe conocer el material a transportar, sus medidas y su capacidad.

Material a Transportar
Dimensiones = 0,80 m
Masa = 9,08 Kg
Densidad 1.200 kg/m

$$Ancho\ de\ banda = \ 0{,}85m * {}^{1\ pie}/_{0{,}3048\ m} = 2{,}7887\ pies$$

Altura = 2 m

$$Longitud = 2{,}5\ m \times \left({}^{1\ pie}/_{0{,}3048\ m}\right) = 8{,}2020\ pies$$

[27] Diseño de elementos de máquinas 4 ed. Robert L Mott. Pág. 611

$$Diámetro\ Motriz = Diámetro\ Cola = 2\ Pulg$$

- Tensión efectiva. Para determinar la tensión efectiva (Te) de la banda, es necesario hallar las tensiones *Tx, Ty* y *Tz*. A continuación, se determina *Tx*.

$$Tx = Fx \times Lc \times G$$

Fx = coeficiente de fricción donde en condiciones normales es de 0.03 ya que no se va emplear a bajas temperaturas
Lc = longitud corregida entre centros
G = peso de la banda y de los componentes

Primero se haya la longitud corregida de la banda mediante la siguiente formula.

$$Lc = 0{,}55 \times L + 115\ pies$$

Dónde:
Lc = longitud corregida
L= longitud real de la banda en pies

$$Lc = 0{,}55 \times 8{,}2020\ pies + 115\ pies$$

$$Lc = 119{,}5111\ pies$$

$$Lc = 36{,}42698\ m$$

Para hallar el valor de G se usa la Tabla 10 de peso de partes en movimiento que está dado por lb/pie como se muestra a continuación:

Tabla 10. Peso de las partes en movimiento G

Ancho banda Pulg.	Rodillos cargadores servicio ligero 4	Rodillos cargadores servicio medio 5	Rodillos cargadores servivicio medio 6 banda hasta 6 capas	Rodillos cargadores servivicio pesado 6 0 7 banda de 7 a 10 capas ´
14	12	14	-	-
16	14	16	-	-
18	15	18	-	-
20	16	20	-	-
24	19	24	30	32
30	25	30	38	45
36	29	36	47	58
42	34	42	55	70

Fuente: <CONTITECH. Manual de ingeniería, bandas transportadoras>

Se recomienda utilizar un factor de corrección para las bandas que cuenten con una longitud real entre centros menores a 150 pies para esto se usa la Tabla 11.

Tabla 11. Factor de corrección para G

Distancia entre centros poleas en pies	Factor de corrección para ajustar el valor de "G"
0 a 10	3.2
10 a 15	2.7
15 a 20	2.2
20 a 30	1.8
30 a 50	1.5
50 a 70	1.3
70 a 100	1.2
100 a 150	1.1
Arriba de 150	"G" normal

Fuente: <CONTITECH. Manual de ingeniería, bandas transportadoras>

Con base en el factor obtenido, se determina el valor de G.

$$G = 36\ \frac{lb}{pie} \times 3{,}2 = 115{,}2\ \frac{lb}{pie}$$

Después se calcula la tensión efectiva de la banda vacía mediante la formula

$$Tx = Fx\ \times\ Lc\ \times\ G$$

$$Tx = 0{,}03\ \times\ 119{,}5111\ pies\ \times\ 115{,}2\ \frac{lb}{pie}$$

$$Tx = 413{,}0303\ lb$$

Se calcula la tensión para la carga horizontal *(Ty)* con la fórmula que se muestra a continuación

$$Ty = Fy\ \times\ Lc\ \times\ Q$$

Fy = coeficiente usado para mover cargas horizontales
Lc = longitud corregida entre centros
Q = peso de la carga en lb/pie

Peso que va a tener la carga en lb/pie

$$Q = \frac{33{,}3 \times C}{S}$$

C = cantidad de toneladas hora la cual tendrá un valor de 1 Ton/hra
S = velocidad de la maquina

Primero se debe calcular la velocidad tomando como base la capacidad de la máquina y el material que esta va a transportar como se ve a continuación:

$$S = \frac{80\ {}^{cm}/_{llanta}}{32\ {}^{seg}/_{llanta}} \times \frac{1\ m}{100\ cm} \times \frac{60\ seg}{1\ min}$$

$$S = 1{,}5\ {}^{m}/_{min} \times \frac{1\ pie}{0{,}3048\ m}$$

$$S = 4{,}92\ {}^{pie}/_{min}$$

Con los resultados obtenidos y los datos se calcula el valor de Q

$$Q = \frac{33{,}3\ \times\ 1\ {}^{Ton}/_{hra}}{4{,}92\ {}^{pie}/_{min}}$$

$$Q = 6{,}7683\ {}^{lb}/_{pie}$$

Para calcular el valor de la tensión con carga horizontal, se usa el valor de Q calculado y la densidad del material a transportar, se halla la relación de Q calculado y Q normal Tabla 12 para poder así hallar el valor de Fy.

Tabla 12. Valores de Q normal

Ancho de banda Pulg	Valores de Q normal en lb/pie Peso del material en lb/pie^3						
	20	35	50	75	100	125	150
12	1.1	2.0	2.8	4.3	5.7	7.2	8.6
18	3.3	5.8	8.3	12.4	16.5	20.6	24.8
24	6.7	11.8	16.8	25.2	33.6	42.0	50.4
30	11.3	19.8	28.3	42.2	56.6	70.7	84.9
36	17.1	29.9	42.7	64.1	85.5	106.8	128.2
42	24.0	42.1	60.1	90.2	120.7	150.3	180.3
48	32.2	56.3	80.4	120.6	160.8	201.1	241.3
54	41.5	72.6	103.7	155.5	207.4	259.2	311.0
60	52.0	90.9	129.9	194.8	259.8	324.7	389.6

Fuente: <CONTITECH. Manual de ingeniería, bandas transportadoras>

Con el Q normal se haya la relación teniendo en cuenta el resultado obtenido en el Q calculado como se muestra a continuación:

$$\frac{Q\ calculado}{Q\ normal} \times\ 100\% = \frac{6{,}7683\ lb/pie}{64{,}1\ lb/pie} \times 100\% = 10{,}5589\%$$

Con el valor anterior se obtiene el valor de Fy con base en la Tabla 13.

Tabla 13. Factor de fricción Fy

$\frac{\text{Q calc}}{\text{Q normal}}$ x 100%	Factor Fy
hasta 50	0.032
50 a 60	0.032
60 a 70	0.034
70 a 80	0.036
80 a 90	0.038
90 a 100 normal	0.040
100 a 110	0.042
110 a 120	0.044
120 a 130	0.046
130 a 140	0.048
140 a 150	0.050

Fuente: <CONTITECH. Manual de ingeniería, bandas transportadoras>

$$Ty = Fy \times Lc \times Q$$

$$Ty = 0{,}032 \times 119{,}5111\ pies \times 6{,}7683\ \frac{lb}{pie}$$

$$Tx = 25{,}8843\ lb$$

A continuación, se halla la Tensión para realizar el levantamiento de la carga. *(Tz)*

$$Tz = H \times Q$$

$$Tz = 6{,}56168\ pie \times 6{,}7683\ \frac{lb}{pie}$$

$$Tz = 44{,}411\ lb$$

Con base en los cálculos de las diferentes tensiones, se calcula la Tensión efectiva *(Te)* de la banda.

$$Te = Tx + Ty + Tz$$

$$Te = 413{,}0303\ lb + 25{,}8843\ lb + 44{,}411\ lb$$

$$Te = 483{,}3256\ lb \times \frac{1\ N}{0{,}2248\ lb} = 2.150{,}0249\ N$$

Tensión de retorno, es la tensión necesaria para que la polea motriz no patine en la banda, para determinar su valor se multiplica el factor de transmisión *(k)* y la tensión efectiva *(Te)*.

$$T2 = K \times Te$$

Dónde:

K = Factor de transmisión para prevenir deslizamientos.
Te = Tensión efectiva
T2 = Tensión del lado de retorno

Donde el valor de K es tomado de la Tabla 14 el ángulo de contacto será de 180º debido a que el diámetro de la polea 1 = polea 2, el tensor será tipo tornillo y poleas recubiertas.

Tabla 14. Factor de transmisión K

ANGULO DE CONTACTO EN LA BANDA DE TRANSMISION	TIPO DE TRANSMISION	TENSOR DE TORNILLO		TENSOR DE GRAVEDAD	
		POLEA LISA	POLEA RECUBIERTA	POLEA LISA	POLEA RECUBIERTA
150°	Recta	1.5	1	1.08	0.67
160°	Recta	1.4	0.9	0.9	0.60
170°	Recta	1.3	0.9	0.91	0.55
180°	Recta	1.2	0.8	0.84	0.50
190°	De contacto	1.1	0.7	0.77	0.45
200°	De contacto	1	0.7	0.72	0.42
210°	De contacto	1	0.7	0.67	0.38
220°	De contacto	0.9	0.6	0.62	0.35
230°	De contacto	0.9	0.6	0.58	0.32
240°	De contacto	0.8	0.6	0.54	0.30
340°	Tandem o Dual	0.5	0.4	0.29	0.143
360°	Tandem o Dual	0.5	0.4	0.26	0.125
380°	Tandem o Dual	0.5	0.3	0.23	0.108

Fuente: <CONTITECH. Manual de ingeniería, bandas transportadoras >

$$T2 = 0{,}8 \times 483{,}3256\ lb = 386{,}66048\ lbf$$

La tensión del lado tenso de la banda se determina con base en los cálculos anteriores.

$$T1 = Te + T2$$

Dónde:

T1 = Tensión del lado tenso
Te = Tensión efectiva
T2 = Tensión del lado de retorno

$$T1 = 483{,}3256\ lb + 386{,}66048\ lb = 869{,}9861\ lb \times \frac{1\ N}{0{,}2248\ lb} = 3.870{,}0448\ N$$

A continuación, se determina la tensión de operación unitaria

$$Tu = \frac{T1}{Ancho\ de\ banda}$$

$$Tu = \frac{869{,}9861\ lb}{36\ pulg} = 24{,}1662\ {}^{lb}/_{pulg}$$

$$Tu = 24{,}1662\ {}^{lb}/_{pulg} \times \frac{1\ N}{0{,}2248\ lb} \times \frac{1\ pulg}{2{,}54\ cm} \times \frac{100\ cm}{1\ m} = 4.232{,}3325\ {}^{N}/_{m}$$

Con el resultado obtenido se selecciona la banda que cumpla con las condiciones dadas para cumplir con los requerimientos de alimentación de la máquina trituradora. Según el catálogo de CONTITECH la banda seria de 2 capas 220 Tabla 15 y el espesor aproximado es de 0,140 pulg (3,556 mm).

Tabla 15. Capacidad de tensión de operación unitaria

CONTITECH	TENSION UNITARIA PIP	CAPACIDAD DE TENSION NORMAL lb/in	HT ESPESOR ESTIMADO pulg
2 capas 220	110	220	0,140
3 capas 330	110	330	0,210
4 capas 440	110	440	0,280
2 capas 250	125	250	0,140
3 capas 375	125	375	0,210
4 capas 500	125	500	0,280
5 capas 625	125	625	0,350
6 capas 750	125	750	0,420
3 capas 450	150	450	0,210
4 capas 600	150	600	0,280
5 capas 750	150	750	0,350
6 capas 900	150	800	0,420

Fuente: <CONTITECH. Manual de ingeniería, bandas transportadoras>

Con el espesor obtenido de 3,556 mm aproximado se mira qué tipo de material cumple con ese valor y el tipo de banda de CONTITECH. Se puede observar en la Tabla 16.

Tabla 16. Selección de espesor de la cubierta

TIPO DE MATERIAL	ESPESOR DE LA CUBIERTA SUPERIOR mm (pulg.)	TIPO DE BANDA CONTITECH
Material no abrasivo.- Tales como viruta de madera, polvos, cemento suelto o carbón muy fino.	1.6 a 3.2 (1/16" a 1/8")	Longlife
Material medio abrasivo.- Tales como arenas, tierra, carbón bituminoso, roca o carbón hasta 76.2 mm (3").	3.2 a 4.7 (1/8" a 3/16")	Longlife
Material abrasivo.- Tales como antracita, coque o sinter. Carbón hasta 254 mm (10") y mineral de hierro, cobre o caliza hasta 152 mm (6").	4.7 a 6.4 (3/16" a 1/4")	Longlife
Material altamente abrasivo.- Tales como minerales de hierro, cobre, zinc, plomo, caliza hasta 228.6 mm (9").	6.4 a 7.9 (1/4" a 5/16")	Longlife ó Super Longlife
Material abrasivo, pesado y filoso.- Tales como roca, cuarzo, vidrio, etc. Cualquier material pesado, duro y filoso arriba de 228.6 mm (9").	7.9 a 12.7 (5/16" a 1/2")	Super Longlife

Fuente: <CONTITECH. Manual de ingeniería, bandas transportadoras >

Se muestran las características de la banda seleccionada, cual es la resistencia y la cubierta que esta debe tener para que cumpla con el material a transportar en la Tabla 17 se observan.

Tabla 17. Selección de cubierta banda transportadora

CUBIERTAS TRANSPORTADORA	CUBIERTAS ELEVADORA	ESQUELETO RECOMENDADO	RESISTENCIA A LA ABRASION	RESISTENCIA AL CORTE	RESISTENCIA AL ACEITE	RESISTENCIA A LA TEMPERATURA MAXIMA MATERIAL GRANDE CON AIRE	RESISTENCIA A LA TEMPERATURA MAXIMA MATERIAL NO COMPACTADO	RESISTENCIA A LA TEMPERATURA MAXIMA MATERIAL COMPACTADO
SERVICIO GENERAL								
LONGLIFE (Grado 2)	LONGLIFE (Grado 2)	HT Poliester/Nylon	Excelente	Buena	N/R	85°C	76°C	65°C
SUPER LONGLIFE (Grado 1)	SUPER LONGLIFE (Grado 1)	HT Poliester/Nylon	Buena	Excelente	N/R	70°C	65°C	38°C
MATERIAL CALIENTE								
VULCAN T-150	VULCAN T-150	HT Poliester/Nylon	Muy buena	Buena	N/R	163°C	130°C	120°C
VULCAN T-200	VULCAN T-200	HT Poliester/Nylon	Buena	Regular	Pobre	204°C	176°C	135°C
SERVICIO EN MINAS CARBONERAS (DE COMBUSTION AUTOEXTINGUIBLE) CUMPLE CON NORMA USMSHA No. 28-57/4								
COALINE	COALINE	HT Poliester/Nylon	Buena	Buena	N/R	80°C	65°C	38°C
SERVICIO EN ACEITE								
OIL	OIL	HT Poliester/Nylon	Excelente	Buena	Muy Buena	93°C	85°C	65°C

Fuente: <CONTITECH. Manual de ingeniería, bandas transportadoras>

- Potencia del piñón motriz. Para determinar la potencia del piñón motriz es necesario utilizar la siguiente ecuación.

$$Hpm = \frac{Te \times S}{33.000}$$

$$Hpm = \frac{483{,}3256\ lb \times 9{,}84\ {}^{pie}/_{min}}{33.000} = 0{,}1441\ HP$$

Se recomienda usar un factor de servicio de 1.5 siendo para obtener la capacidad del motor y realizar su selección en el catálogo.

$$Hpm = 0{,}1441\ HP \times 1{,}5 = 0{,}2162\ HP$$

$$Hpm = 0{,}2162\ HP \cong {}^{1}/_{4}\ HP$$

Se requiere un motor de 0,22 HP, se aproxima a ¼ y se selecciona un motor eléctrico monofásico 1/4 Hp 4 polos de la marca siemens como se muestra en el Anexo G.

- Velocidad lineal del rodillo motriz.

$$V = w \times r$$

Dónde:

V= velocidad lineal (0,025 m/s)

w= velocidad angular
r= radio del rodillo (0,5 pulg)

$$V = 0{,}025\ {}^{m}/_{seg} \times \frac{100\ cm}{1m} \times \frac{1\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}9842\ {}^{pulg}/_{seg}$$

$$w = \frac{V}{r} = \frac{0{,}9842\ {}^{pulg}/_{seg}}{0{,}5\ pulg} = 1{,}9685\ {}^{rad}/_{seg}$$

$$w = 1{,}9685\ {}^{rad}/_{seg} \times \frac{1\ rev}{2\pi\ rad} \times \frac{60\ seg}{1\ min} = 18{,}79\ rpm$$

Tomando como base el resultado obtenido se conoce las revoluciones a las cuales la banda debe girar, el motor seleccionado tiene una velocidad de salida de 1760 rpm, en el cual se acopla un reductor con una relación de 35:1 dando una velocidad de salida de 50 rpm.

- Transmisión por cadena para la banda. Se selecciona este tipo de sistema ya que la banda trabaja a una velocidad baja lo que permite que los neumáticos no se deslicen y se puede entregar los 20 rpm requeridas por el cálculo que se realizó anteriormente.

  Datos de entrada.

  Potencia del motor = 0,25 HP
  Velocidad del reductor = 50 rpm
  Velocidad requerida = 20 rpm

- Margen compensatorio de seguridad. Con base en la Tabla 18 que se muestra a continuación se toma el factor de servicio y calcular el margen compensatorio.

Potencia = 0,25 HP x 1,0 = 0,25 HP

Tabla 18. Factor de seguridad

Factores para calcular el márgen compensatorio de seguridad			
Tipo de carga	Clase de la fuente de la potencia		
	Motor de conbustion interna con convertidos hidraulico	Motor electrico o turbina	Motor de conbustion interna con embrague o caja de mecanica
Uniforme	1.0	1.0	1.2
Fluctuante	1.2	1.3	1.4
Muy fluctuante	1.4	1.5	1.7

Fuente: <INTERMEC. Transmisión de potencia, Piñones y cadenas 6ta edición>

- Capacidad de carga. Se realiza la selección de una cadena simple de rodillos número 40 de 0,5 pulgadas de paso como se muestra en la Tabla 19, donde se muestra la capacidad de carga que debe estar por encima o cercano a nuestro valor de 0,25 HP, tomando como base los rpm y el número de dientes.

  Relacion de Transmision

$$R = \frac{RPM\ conductor}{RPM\ conducido} = \frac{50\ rpm}{20\ rpm} = 2{,}5$$

  Piñon Conducido

$$Z_2 = R \times Z_1$$

  Donde;

  Z_2 = # dientes del piñon conducido
  R = relacion de transmision
  Z_1 = # dientes del piñon conductor

$$Z_2 = 2{,}5 \times 12\ dientes = 30\ dientes$$

  Velocidad real de salida.

$$RPM\ conductor \times Z_1 = RPM\ conducido \times Z_2$$

$$RPM\ conducido = \frac{RPM\ conductor \times Z_1}{Z_2} = \frac{50\ rpm \times 12\ dientes}{30\ dientes} = 20\ rpm$$

Tabla 19. Numero de dientes piñón conductor

TABLA DE CAPACIDAD

CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 40 PASO 1/2"

No. de dientes piñón conductor	R.P.M. DEL PIÑON CONDUCTOR																								
	10	25	50	100	200	300	400	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2400	2700	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000
9	0.04	0.10	0.19	0.35	0.65	0.93	1.21	1.48	2.00	2.51	2.75	3.25	3.73	4.12	3.45	2.74	2.24	1.88	1.60	1.27	1.04	0.75	0.57	0.45	0.37
10	0.05	0.11	0.21	0.39	0.73	1.04	1.35	1.65	2.24	2.81	3.09	3.64	4.18	4.71	4.04	3.21	2.63	2.20	1.88	1.49	1.22	0.87	0.66	0.53	0.43
11	0.05	0.12	0.23	0.43	0.80	1.16	1.50	1.83	2.48	3.11	3.42	4.03	4.63	5.22	4.66	3.70	3.03	2.54	2.17	1.72	1.41	1.01	0.77	0.61	0.50
12	0.06	0.14	0.25	0.47	0.88	1.27	1.65	2.01	2.73	3.42	3.76	4.43	5.09	5.74	5.31	4.22	3.45	2.89	2.47	1.96	1.60	1.15	0.87	0.69	0.57
13	0.06	0.15	0.28	0.52	0.96	1.39	1.80	2.20	2.97	3.73	4.10	4.83	5.55	6.26	5.99	4.76	3.89	3.26	2.79	2.21	1.81	1.29	0.98	0.78	0.64
14	0.07	0.16	0.30	0.56	1.04	1.50	1.95	2.38	3.22	4.04	4.44	5.23	6.01	6.78	6.70	5.31	4.35	3.65	3.11	2.47	2.02	1.45	1.10	0.87	0.71
15	0.07	0.17	0.32	0.60	1.12	1.62	2.10	2.56	3.47	4.35	4.78	5.64	6.47	7.30	7.43	5.89	4.82	4.04	3.45	2.74	2.24	1.60	1.22	0.97	0.79
16	0.08	0.19	0.35	0.65	1.20	1.74	2.25	2.75	3.72	4.66	5.13	6.04	6.94	7.83	8.18	6.49	5.31	4.45	3.80	3.02	2.47	1.77	1.34	1.07	0.87
17	0.08	0.20	0.37	0.69	1.29	1.85	2.40	2.93	3.97	4.98	5.48	6.45	7.41	8.36	8.96	7.11	5.82	4.88	4.14	3.31	2.71	1.94	1.47	1.17	0.96
18	0.09	0.21	0.39	0.73	1.37	1.97	2.55	3.12	4.22	5.30	5.82	6.86	7.88	8.89	9.76	7.75	6.34	5.31	4.54	3.60	2.95	2.11	1.60	1.27	0
19	0.09	0.22	0.42	0.78	1.45	2.09	2.71	3.31	4.48	5.62	6.17	7.27	8.36	9.42	10.5	8.40	6.88	5.76	4.92	3.91	3.20	2.29	1.74	1.38	0
20	0.10	0.24	0.44	0.82	1.53	2.21	2.86	3.50	4.73	5.94	6.53	7.69	8.83	9.96	11.1	9.07	7.43	6.22	5.31	4.22	3.45	2.47	1.88	1.49	0
21	0.11	0.25	0.46	0.87	1.62	2.33	3.02	3.69	4.99	6.26	6.88	8.11	9.31	10.5	11.7	9.76	7.99	6.70	5.72	4.54	3.71	2.66	2.02	1.60	0
22	0.11	0.26	0.49	0.91	1.70	2.45	3.17	3.88	5.25	6.58	7.23	8.52	9.79	11.0	12.3	10.5	8.57	7.18	6.13	4.87	3.98	2.85	2.17	1.72	0
23	0.12	0.27	0.51	0.96	1.78	2.57	3.33	4.07	5.51	6.90	7.59	8.94	10.3	11.6	12.9	11.2	9.16	7.68	6.55	5.20	4.26	3.05	2.32	1.84	0
24	0.13	0.29	0.54	1.00	1.87	2.69	3.48	4.26	5.76	7.23	7.95	9.36	10.8	12.1	13.5	11.9	9.76	8.18	6.99	5.54	4.54	3.25	2.47	1.96	0
25	0.13	0.30	0.56	1.05	1.95	2.81	3.64	4.45	6.02	7.55	8.30	9.78	11.2	12.7	14.1	12.7	14.4	8.70	7.43	5.89	4.82	3.45	2.63	0	
26	0.14	0.31	0.58	1.09	2.04	2.93	3.80	4.64	6.28	7.88	8.66	10.2	11.7	13.2	14.7	13.5	11.0	9.23	7.88	6.25	5.12	3.66	2.79	0	
28	0.15	0.34	0.63	1.18	2.20	3.18	4.11	5.03	6.81	8.54	9.39	11.1	12.7	14.3	15.9	15.0	12.3	10.3	8.80	6.99	5.72	4.09	3.11	0	
30	0.16	0.37	0.68	1.27	2.38	3.42	4.43	5.42	7.33	9.20	10.1	11.9	13.7	15.4	17.2	16.7	13.6	11.4	9.76	7.75	6.34	4.54	3.45	0	
32	0.17	0.39	0.73	1.36	2.55	3.67	4.75	5.81	7.86	9.86	10.8	12.8	14.7	16.5	18.4	18.4	15.0	12.6	10.8	8.64	6.99	5.00	0		
35	0.19	0.43	0.81	1.50	2.81	4.04	5.24	6.40	8.66	10.9	11.9	14.1	16.2	18.2	20.3	21.0	17.2	14.4	12.3	9.76	7.99	5.72	0		
40	0.22	0.50	0.93	1.74	3.24	4.67	6.05	7.39	10.0	12.5	13.8	16.3	18.7	21.1	23.4	25.7	21.0	17.6	15.0	11.9	9.76	6.99	0		
45	0.25	0.57	1.06	1.97	3.68	5.30	6.87	8.40	11.4	14.2	15.7	18.5	21.2	23.9	26.6	30.5	25.1	21.0	17.9	14.2	11.7	0			
	Lubricación Tipo A			Lubricación Tipo B									Lubricación Tipo B												

Lubricación Tipo A : A mano, con aceitera o brocha
Lubricación Tipo B : En baño de aceite o por salpique
Lubricación Tipo C : Al chorro bajo presión.

La información contenida en estas tablas esta basada en los estándares de la ASOCIACIÓN AMERICANA DE FABRICANTES DE CADENAS (American Chain Association)

INFORMACIÓN INTERMEC

Cuando se trata de cadenas de hilera multiple de este paso, multiplique por la capacidad por:

No. DE HILERAS	FACTOR	No. DE HILERAS	FACTOR
2	1.7	5	3.9
3	2.5	6	4.6
4	3.3		

Fuente: <INTERMEC. Transmisión de potencia, Piñones y cadenas 6ta edición

- Distancia entre centros. Para hallar la distancia entre centro intermec recomienda utilizar la sigueinte fomrula donde. Con base en el catalogo de INTERMEC transmision de potencia, se selecciona los diametros del piñon conductor y el piñon conducido como se muestra en la Tabla 20.

  D_2 = Diametro del piñon conducido
  D_1 = Diametro del piñon conductor

$$Distancia = D_2 + \frac{D_1}{2}$$

$$Distancia = 128{,}5\ mm + \frac{55{,}1mm}{2} = 156{,}05\ mm$$

Longitud de la cadena.

$$Nº\ eslabones = 2C + \frac{S}{2} + \frac{K}{C}$$

Donde;
C = Distancia entre centro en pulgadas y dividido por el paso de la cadena
S = Suma entre piñón conductor y piñón conducido
K = Se resta el piñón conducido y el piñón conductor, con el resultado en el catálogo se selecciona el valor de K.

$$C = \frac{156{,}05\ mm \times \frac{1\ pulg}{25{,}4\ mm}}{0{,}5\ pulg} = 12{,}29\ pulg$$

$$S = 12\ dientes + 30\ dientes = 42\ dientes$$

$$D = 30\ dientes - 12\ dientes = 18\ dientes$$

Según el catálogo de INTERMEC transmisión de potencia, con el resultado de D, K tiene un valor de 8,21 y con los valores obtenidos se remplaza en la fórmula para conocer el número de eslabones que tiene que tener la cadena.

$$Nº\ eslabones = 2(12{,}29\ pulg) + \frac{42\ dientes}{2} + \frac{8{,}21}{12{,}29\ pulg} = 46{,}24$$
$$\cong 47\ eslabones$$

$$47\ eslabones \times \frac{0{,}5\ pulg}{1\ eslabon} \times \frac{25{,}4\ mm}{1\ pulg} \times \frac{1\ m}{1.000mm} = 0{,}5969\ m$$

Tabla 20. Dimensiones de los piñones

PIÑONES 1/2 (40)

TABLA DE DIMENSIONES DE LOS PIÑONES INTERMEC PASO 1/2" (12.7 mm)

para Cadena ANSI **No. 40** Tipo B Sencillos, Dobles y Triples

Ref.	D	SENCILLOS			Ref.	DOBLES			Ref.	TRIPLES		
		Dm	L	d		Dm	L	d		Dm	L	d
40B9 R	42,4	27	22	12,70	40-2B9 R	23	38	12,70	40-3B9 R	23	54	12,70
40B10 R	46,7	32	22	12,70	40-2B10 R	27	38	12,70	40-3B10 R	27	54	12,70
40B11 R	50,8	35	22	12,70	40-2B11 R	37	38	12,70	40-3B11 R	37	54	12,70
40B12 R	55,1	40	22	12,70	40-2B12 R	40	38	12,70	40-3B12 R	40	54	12,70
40B13	59,2	40	22	12,70	40-2B13	38	38	12,70	40-3B13	38	54	12,70
40B14	63,2	43	22	12,70	40-2B14	43	38	12,70	40-3B14	43	54	12,70
40B15	67,3	46	22	12,70	40-2B15	46	38	12,70	40-3B15	46	54	12,70
40B16	71,4	51	22	15,88	40-2B16	51	38	15,88	40-3B16	51	54	15,88
40B17	75,7	54	25	15,88	40-2B17	54	38	15,88	40-3B17	54	54	15,88
40B18	79,8	59	25	15,88	40-2B18	59	38	15,88	40-3B18	59	54	15,88
40B19	83,8	63	25	15,88	40-2B19	63	38	15,88	40-3B19	64	54	15,88
40B20	87,9	66	25	15,88	40-2B20	66	41	15,88	40-3B20	67	57	15,88
40B21	91,9	70	25	15,88	40-2B21	70	41	15,88	40-3B21	70	57	15,88
40B22	96,0	73	25	15,88	40-2B22	73	41	15,88	40-3B22	73	57	15,88
40B23	100,1	76	25	15,88	40-2B23	76	41	15,88	40-3B23	76	57	15,88
40B24	104,1	82	25	15,88	40-2B24	82	41	15,88	40-3B24	82	57	15,88
40B25	108,2	82	25	15,88	40-2B25	82	41	15,88	40-3B25	82	57	15,88
40B26	112,3	82	25	15,88	40-2B26	82	41	15,88	40-3B26	82	57	15,88
40B27	116,3	82	25	15,88	40-2B27	82	41	15,88	40-3B27	82	57	15,88
40B28	120,4	82	25	15,88	40-2B28	82	41	15,88	40-3B28	82	57	15,88
40B29	124,5	82	25	15,88	40-2B29	82	41	15,88	40-3B29	82	57	15,88
40B30	128,5	82	25	15,88	40-2B30	82	41	15,88	40-3B30	82	57	15,88
40B31	132,6	82	25	15,88	40-2B31	82	41	15,88	40-3B31	82	57	15,88
40B32	136,7	82	25	15,88	40-2B32	82	41	19,05	40-3B32	82	57	19,05
40B33	140,7	82	25	15,88	40-2B33	82	41	19,05	40-3B33	82	57	19,05
40B34	144,8	82	25	15,88	40-2B34	82	41	19,05	40-3B34	82	57	19,05
40B35	148,8	82	25	15,88	40-2B35	82	41	19,05	40-3B35	82	57	19,05
40B36	152,9	82	25	15,88	40-2B36	95	41	19,05	40-3B36	82	60	19,05
40B37	157,0	82	25	15,88	40-2B37	95	41	25,40	40-3B37	82	60	25,40

Fuente: <INTERMEC. Transmisión de potencia, Piñones y cadenas 6ta edición>

A continuación se presenta el resumen de transmision de potencia;

Cuadro 13. Trasmisión de potencia

Tipo de cadena	ANSI Nº 40 Tipo B sencilla
Longitud de cadena	596,9 mm
Distancia entre centros	156,05 mm
Piñones	INTERMEC sencillo pas de ½ pulg
Piñon conductor	12 dientes (40B12 R)
Piñon conducido	30 dientes (40B30)

5.8 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

El análisis y cálculo de la estructura se hace teniendo en cuenta diferentes factores críticos, como la distribución y espacio de los diferentes componentes de la máquina y además su peso correspondiente.

Para esta estructura en específico se encuentran tres elementos principales como, el bloque de trituración, los motores potenciadores de los ejes de trituración y por último el soporte del sistema de recirculación.

5.8.1 Análisis de la viga. Se realiza el análisis de la viga más crítica en la toda la estructura, la cual soporta el bloque triturador como se muestra a continuación.

$$m\ total\ de\ ejes\ trituradores = (masa\ 1\ eje + masa\ chuchillas\ y\ separadores) \times 2$$
$$m_t = (87{,}66Kg + 212{,}78Kg + 76{,}71Kg) \times 2 = 754{,}3Kg$$

$$m\ de\ la\ caja\ soporte\ del\ sistema\ triturador = \rho\ fundicion\ gris \times Volumen\ caja$$

$$6.920\ Kg/m^3 \times 0{,}02008m^3 = 157{,}62Kg$$

$$masa\ de\ la\ tolva = 41Kg(dada\ por\ el\ modelo\ 3D)$$

$$masa\ de\ 1\ chumacera\ con\ rodamiento = 30{,}89Kg$$

$$masa\ de\ chumaceras\ y\ rodamientos = 30{,}89Kg \times 4 = 123{,}56Kg$$

Entonces, la masa total sobre la estructura en el bloque de trituración será igual a la suma de la masa de la caja soporte del sistema triturador, la masa total de ejes trituradores, la masa de la tolva y la masa de las chumaceras con sus respectivos rodamientos.

$$\text{masa sobre la estructura en el bloque de trituración} = 754{,}3Kg + 157{,}62Kg + 41Kg + 123{,}56Kg = 1.076{,}48Kg$$

Fuerza sobre la estructura del bloque de trituración.

$$fuerza\ que\ soporta\ la\ estructura = masa \times gravedad$$

$$fuerza = 1.076{,}48Kg \times 9{,}8\,m/s^3 = 10.549{,}50N = 10{,}55KN$$

Perímetro de la estructura que soporta la fuerza

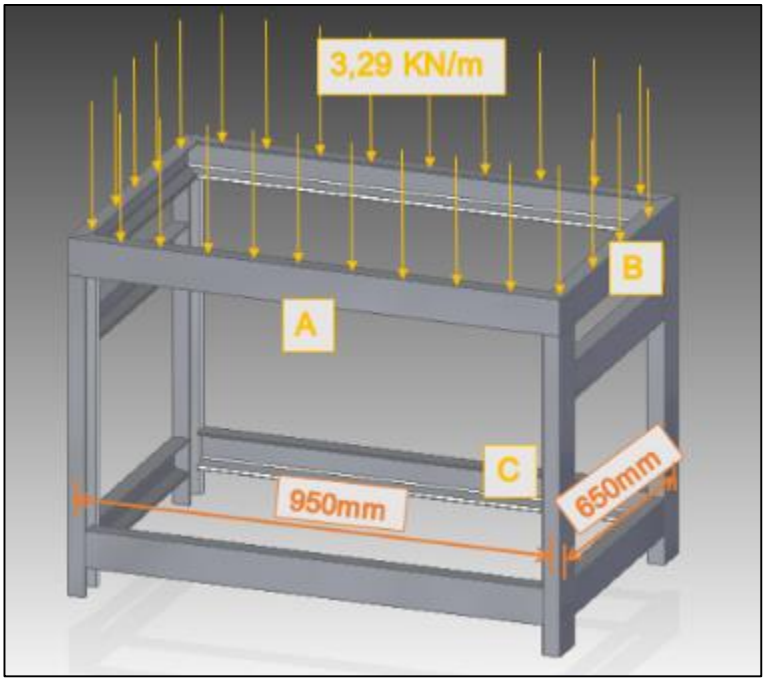
$$perimetro\ de\ la\ estructura = (0{,}65m \times 2) + (0{,}95 \times 2) = 3{,}2m$$

Calculo de la carga distribuida sobre la estructura.

$$carga\ distribuida = \frac{fuerza}{perimetro\ de\ la\ estructura}$$

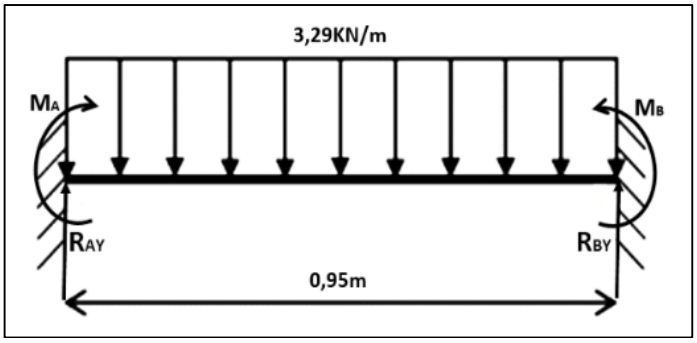
$$carga\ distribuida = \frac{10{,}55KN}{3{,}2m} = 3{,}29\frac{KN}{m}$$

Imagen 36. Carga distribuida en la estructura



Como se muestra en la anterior Imagen 36, la viga crítica es la viga A. Esta es la de mayor longitud y por consiguiente tiene más tendencia a flectarse. Siendo así esta es la viga que se debe analizar.

Grafica 4. Diagrama de cuerpo libre de la viga A



La carga distribuida debe convertirse en una carga puntal, por lo tanto, se debe multiplicar por la distancia de la viga.

$$3{,}29\,KN/m \times 0{,}95m = 3{,}1255KN$$

Momentos en el punto A y B

$$M_A = \frac{1}{12} \times 3{,}29\,KN/m \times (0{,}95m)^2 = 0{,}24743KNm$$

$$M_B = \frac{1}{12} \times 3{,}29\,KN/m \times (0{,}95m)^2 = 0{,}24743KNm$$

$$\sum M_A = 0$$

$$0 = -0{,}24743KNm + 0{,}24743KNm + (R_{BY} \times 0{,}95m) - (3{,}1255KN \times 0{,}475m)$$

Con base en la sumatoria de momentos se despeja la reacción *BY* (*R_{BY}).* Para posteriormente realizar la sumatoria de *F_Y* y así despejar *R_{AY}.*

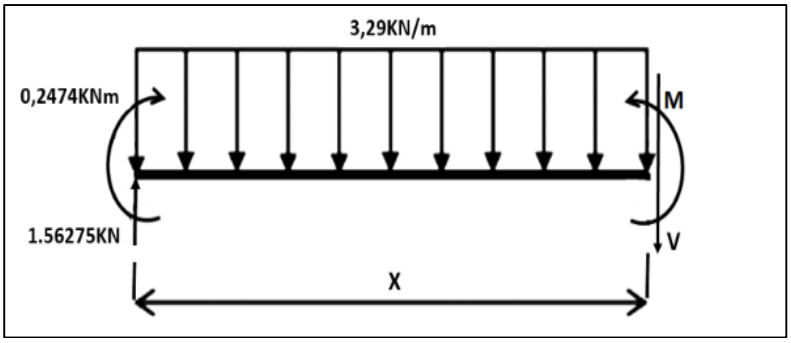
$$R_{BY} = \left(\frac{3{,}1255KN \times 0{,}475m}{0{,}95m}\right) = 1{,}56275KN$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$0 = R_{AY} + R_{BY} - 3{,}1255KN$$

$$R_{AY} = 3{,}1255KN - 1{,}56275KN = 1{,}56275KN$$

Grafica 5. Corte 1 en la viga



Ecuación de fuerza cortante.

$$\sum F_Y = 0$$

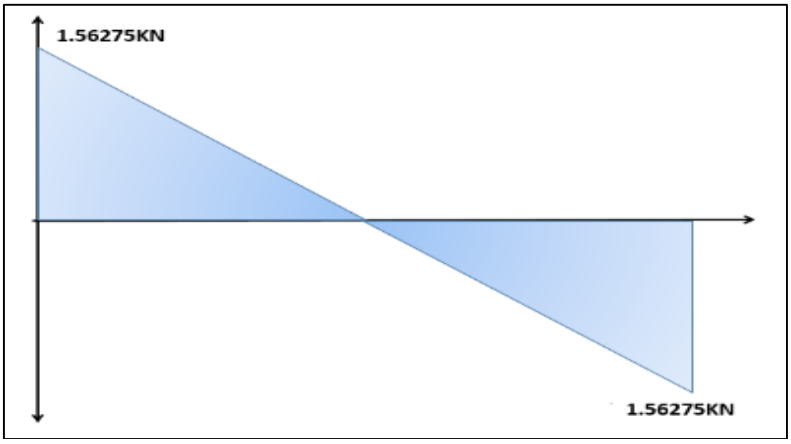
$$0 = -V + 1{,}56275KN - (3{,}29\,KN/m \times X)$$

$$V = 1{,}56275KN - (3{,}29\,KN/m \times X)$$

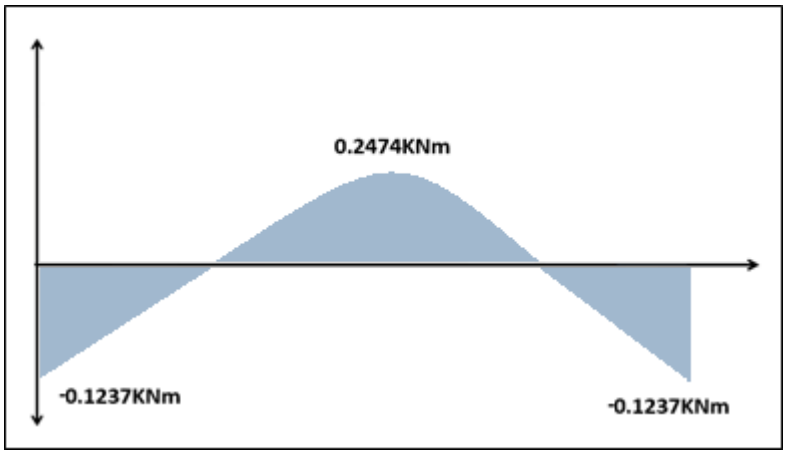
Cuadro 14. Fuerza cortante

X(m)	V(KN)
0	$1{,}56275KN$
0,475	0
0,95	$-1{,}56275KN$

Grafica 6. Diagrama de fuerza cortante V, de la viga A



Grafica 7. Diagrama de momento flexionante M, de la viga A



De esta manera, el momento máximo flexionaste de la viga A, es.

$$M_{max} = 247{,}4Nm$$

El esfuerzo a tensión de una viga está definido como.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Pero para el diseño específico de vigas es conveniente definir la fórmula de flexión de la siguiente manera.[28]

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Donde.

$$S = \frac{I}{c}$$

M= magnitud del momento de flexión en la sección.
I= momento de inercia del área transversal con respecto a su eje neutro.
C= Distancia del eje neutro a la fila más alejada, en la sección transversal de la viga.
S= módulo de sección.

Utilizando un acero estructural A36, ya que es el acero más común en el diseño y fabricación de estructuras, debido a sus buenas propiedades en esta aplicación.

[28] Disponible en: Mott Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. Pág. 106.

$$\sigma_y \; acero \; A36 = 250MPa$$

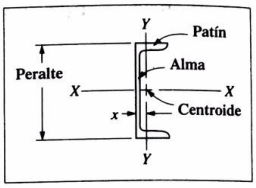
$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{F.S} = \frac{250MPa}{2} = 125MPa$$

$$S = \frac{M}{\sigma_d} = \frac{247{,}4Nm}{125MPa} = 1{,}9792 \times 10^{-6}m^3$$

$$1{,}9792 \times 10^{-6}m^3 \times \frac{(39{,}3701pulg)^3}{(1m)^3} = 0{,}12pulg^3$$

Se selecciona el perfil adecuado de la Tabla 21 de diseño de elementos de máquinas, el perfil adecuado es el C3 X 4.1, de acuerdo al módulo de sección S en el eje X-X.

Tabla 21. Propiedades del perfil de acero tipo C



Propiedades de canales de acero estándar estadounidenses, perfiles-C*

Designación	Área (pulg²)	Peralte (pulg)	Espesor del alma (pulg)	Patín Ancho (pulg)	Patín Espesor promedio (pulg)	Eje X-X I (pulg⁴)	Eje X-X S (pulg³)	Eje Y-Y I (pulg⁴)	Eje Y-Y S (pulg³)	Eje Y-Y x (pulg)
C15 × 50	14.7	15.00	0.716	3.716	0.650	404	53.8	11.0	3.78	0.798
C15 × 40	11.8	15.00	0.520	3.520	0.650	349	46.5	9.23	3.37	0.777
C12 × 30	8.82	12.00	0.510	3.170	0.501	162	27.0	5.14	2.06	0.674
C12 × 25	7.35	12.00	0.387	3.047	0.501	144	24.1	4.47	1.88	0.674
C10 × 30	8.82	10.00	0.673	3.033	0.436	103	20.7	3.94	1.65	0.649
C10 × 20	5.88	10.00	0.379	2.739	0.436	78.9	15.8	2.81	1.32	0.606
C9 × 20	5.88	9.00	0.448	2.648	0.413	60.9	13.5	2.42	1.17	0.583
C9 × 15	4.41	9.00	0.285	2.485	0.413	51.0	11.3	1.93	1.01	0.586
C8 × 18.75	5.51	8.00	0.487	2.527	0.390	44.0	11.0	1.98	1.01	0.565
C8 × 11.5	3.38	8.00	0.220	2.260	0.390	32.6	8.14	1.32	0.781	0.571
C6 × 13	3.83	6.00	0.437	2.157	0.343	17.4	5.80	1.05	0.642	0.514
C6 × 8.2	2.40	6.00	0.200	1.920	0.343	13.1	4.38	0.693	0.492	0.511
C5 × 9	2.64	5.00	0.325	1.885	0.320	8.90	3.56	0.632	0.450	0.478
C5 × 6.7	1.97	5.00	0.190	1.750	0.320	7.49	3.00	0.479	0.378	0.484
C4 × 7.25	2.13	4.00	0.321	1.721	0.296	4.59	2.29	0.433	0.343	0.459
C4 × 5.4	1.59	4.00	0.184	1.584	0.296	3.85	1.93	0.319	0.283	0.457
C3 × 6	1.76	3.00	0.356	1.596	0.273	2.07	1.38	0.305	0.268	0.455
C3 × 4.1	1.21	3.00	0.170	1.410	0.273	1.66	1.10	0.197	0.202	0.436

*Los datos se tomaron de diversas fuentes. Los tamaños mencionados representan una muestra pequeña de los tamaños disponibles.

Notas: Designación de ejemplo: C15 × 50
15 = peralte (pulg); 50 = peso por unidad de longitud (lb/pie)
I = momento de inercia; S = módulo de sección.

Fuente: Mott Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. Pág. A-32.

Teniendo en cuenta el módulo de sección S del perfil seleccionado se calcula el factor de seguridad.

$$1{,}10pulg^3 \times \frac{(1m)^3}{(39{,}3701pulg)^3} = 1{,}80257 \times 10^{-5}m^3$$

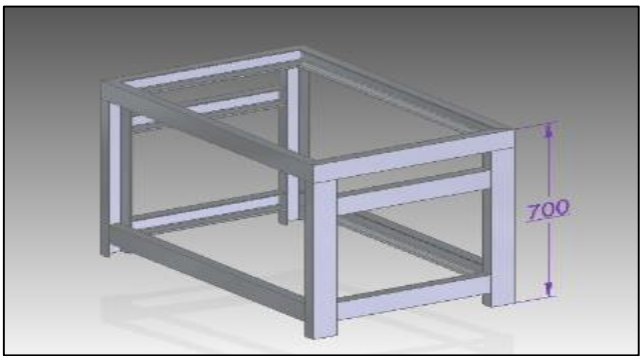
$$\sigma_d = \frac{M}{S} = \frac{247{,}4Nm}{1{,}80257 \times 10^{-5}m^3} = 13{,}72484MPa$$

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_d} = \frac{250MPa}{13{,}72484MPa} = 18{,}21$$

El factor de seguridad que se obtuvo de los cálculos anteriores es de 18,21 lo que significa que la estructura cumple con los parámetros establecidos para que no vaya a tener una falla estructural por las cargas a la cual está sometida.

5.8.2 Análisis de columnas. Se analiza la columna (C) mostrada en la anterior Imagen 37 de la estructura, que soporta el bloque de trituración, ya que es la más crítica por ser la más larga y con más carga de la estructura.

Imagen 37. Medidas de las columnas de la estructura



Para el cálculo de columna se seguirá el procedimiento explicado en el libro de diseño de máquinas citado a continuación.[29]

Fuerza ejercida por el motor en la columna.

$$f = 455Kg \times 9{,}8\,m/s^2 = 4.459N$$

$$f_{real\ en\ 1\ columna} = 4.459N \div 4 = 1.114{,}75N$$

Fuerza ejercida por el bloque de trituración.

$$fuerza\ que\ soporta\ la\ estructura = masa \times gravedad$$

[29] Disponible en: Mott Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. Pág. 232.

$$fuerza = 911{,}92Kg \times 9{,}8\, m/s^3 = 8.936{,}816N = 8{,}9KN$$

$$f_{real\ en\ 1\ columna} = 8{,}9KN \div 4 = 2.225N$$

El radio de giro, se usa el momento de inercia del perfil estructural seleccionado en el eje Y-Y, ya que es el eje de pandeo crítico.

$$I = momento\ de\ inercia = 0{,}197pulg^3$$

$$0{,}197pulg^3 \times \frac{(1m)^3}{(39{,}3701pulg)^3} = 1{,}50269 \times 10^{-5}m^3$$

$$A = 1{,}21pulg^2 \times \frac{1m}{(39{,}3701pulg)^2} = 7{,}80642 \times 10^{-4}m^2$$

$$r = \sqrt{I/A} = \sqrt{1{,}50269 \times 10^{-5}m^4 / 7{,}80642 \times 10^{-4}m^2}$$

$$r = 0{,}13874m$$

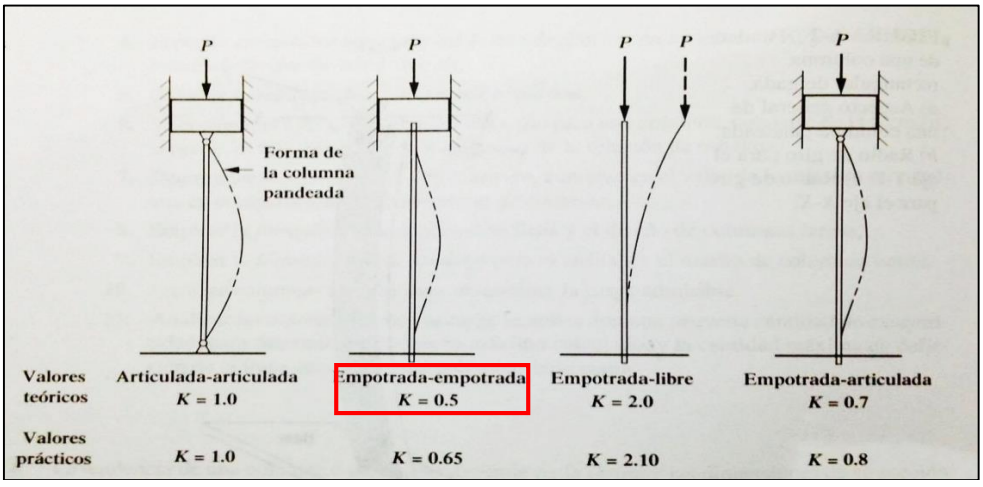
Es necesario calcular la longitud efectiva de la columna. Esta dada por la fórmula que se muestra a continuación.

$$L_e = K \times L$$

Donde

K= constante de los extremos fijados.
L= longitud real de la columna.

Imagen 38. Tipos de pandeo en columnas



Fuente: Mott Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. Pág. 234.

Según el valor tomado para una columna doblemente empotrada se calcula la longitud efectiva.

$$L_e = 0{,}5 \times 0{,}7m = 0{,}35m$$

Relación de esbeltez real.

$$R_E = \frac{L_e}{r} = \frac{0{,}35m}{0{,}13874m} = 2{,}52266$$

Relación de esbeltez de transición o constante de columna C_C. Se calcula la relación de esbeltez transición para compararla con la relación de esbeltez real y así saber cuál es el método apropiado para analizar la columna.

$$C_C = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times E}{S_y}}$$

Donde.

E= módulo de elasticidad del material de la columna.
S_y= resistencia a la fluencia del material.

$$C_C = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 200MPa}{250MPa}} = 3{,}973883$$

Comparación de relación de esbeltez transición (constante de columna) con la relación de esbeltez real.

$$R_E = 2{,}52266 < C_C = 3{,}973883$$

Como la relación de esbeltez real es mayor que la constante de columna, significa que se asume como una columna corta, por tanto, se emplea la fórmula de J. B. Johnson, que se muestra a continuación.

$$P_{cr} = A \times S_y \times \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{K \times L}{r}\right)^2}{4\pi^2 \times E}\right]$$

P= carga critica de pandeo.
A= área transversal.
E= módulo de elasticidad del material de la columna.

Cabe resaltar la siguiente equivalencia de R_E.

$$R_E = \frac{L_e}{r} = \frac{K \times L}{r}$$

Siendo así.

$$P_{cr} = 7{,}80642 \times 10^{-4} m^2 \times 250MPa \times \left[1 - \frac{250MPa(2{,}52266)^2}{4\pi^2 \times 200MPa}\right]$$

$$P_{cr} = 155.836{,}3232N$$

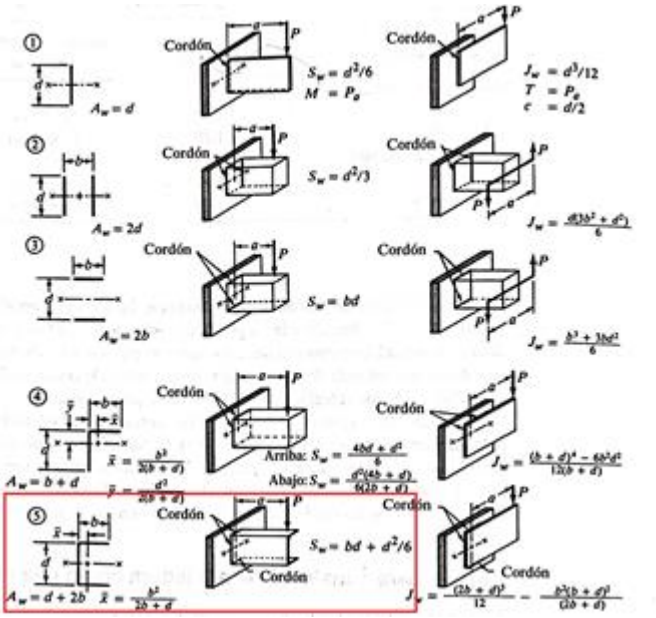
$$F.S = \frac{P_{cr}}{P_{real}} = \frac{155.836{,}3232N}{2.225N + 1.114{,}75N} = 46{,}66$$

El factor de seguridad que se obtuvo fue de 46,66, lo que permite ver que la columna no va a sufrir pandeo ni fallara por las cargas que van actuar sobre esta.

5.9 ANÁLISIS DE SOLDADURA

El tipo de estructura que se diseñó consta de perfiles en C, los cuales se unen mediante soldadura. Por esto a continuación se lleva a cabo el cálculo de la resistencia de las uniones soldadas mostrado en el libro de Diseño de elementos de máquinas de Robert L Mott.

Imagen 39. Factores geométricos para el análisis de soldaduras

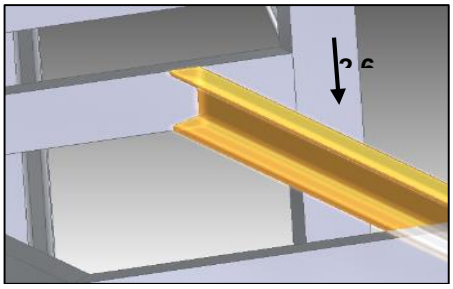


Fuente: Mott Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. Pág. 787.

Selección del factor geométrico y tipo de carga. Ya que la estructura que se diseño es un perfil en C, se selecciona para el cálculo la forma de unión soldada número 5, sometida a flexión como se muestra en la Imagen 39.

El perfil específico que se calculará es el encargado de soportar la carga del motor, la cual es una carga que genera una flexión, como se muestra en la siguiente Imagen 40.

Imagen 40. Análisis de soldadura



Cálculo de los factores geométricos.

$$S_W = bd + \frac{d^2}{6}$$

Donde.
d= Altura del perfil (peralte)= 3pulg.
b= ancho del perfil (patín)= 1,41pulg.

$$S_W = 3pulg \times 1{,}41pulg + \frac{(3pulg)^2}{6} = 5{,}73pulg^2$$

Momento flector.

$$M = V(carga) \times a(distancia\ soldadura\ a\ la\ carga)$$

$$M = 2{,}67KN \times 0{,}45m = 1{,}2KNm$$

$$1{,}2KNm \times \frac{224{,}809lbf}{1KN} \times \frac{39{,}3701pulg}{1m} = 10.620{,}9033lbpulg$$

Fuerza debido a la flexión.

$$f_b = \frac{M}{S_w} = \frac{10.620{,}9033lbpulg}{5{,}73pulg^2} = 1.853{,}56\ {}^{lb}/_{pulg}$$

Se selecciona el electrodo E60, usado comúnmente para estructuras de acero A36, por su fuerza admisible, de la siguiente Tabla 22.

Tabla 22. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras

Tipos de estructura	Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
Estructuras de edificios	A 36, A441	E60	13.600 psi	9.600 lb/pulg
	A 36, A441	E70	15.800 psi	11.200 lb/pulg
Estructuras de puentes	A36	E60	12.400 psi	8.800 lb/pulg
	A441, A242	E70	14.700 psi	10.400 lb/pulg

Fuente: Mott Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006. Pág. 785.

Longitud necesaria del hilo.

$$w = \frac{f_b}{fuerza\ admisible\ por\ pulgada\ de\ lado}$$

$$w = \frac{1.853{,}56\ {}^{lb}/_{pulg}}{9.600\ {}^{lb}/_{pulg\ por\ pulg\ de\ lado}} = 0{,}193 pulg$$

$$w = 0{,}193 pulg \times \frac{25{,}4 mm}{1 pulg} = 4{,}9 mm$$

Se aproxima a una longitud de hilo normalizada por encima de la calculada.

$$w = 4{,}9 mm \cong \frac{1}{4} pulg$$

5.10 EJES DEL RECIRCULADOR

Los ejes del recirculador seran los encargados de soportar el peso del mismo y hacerlo girar mediante unas ruedas de puliuretano. Estos estaran diseñados en acero AISI 1045.(Ver Anexo B).

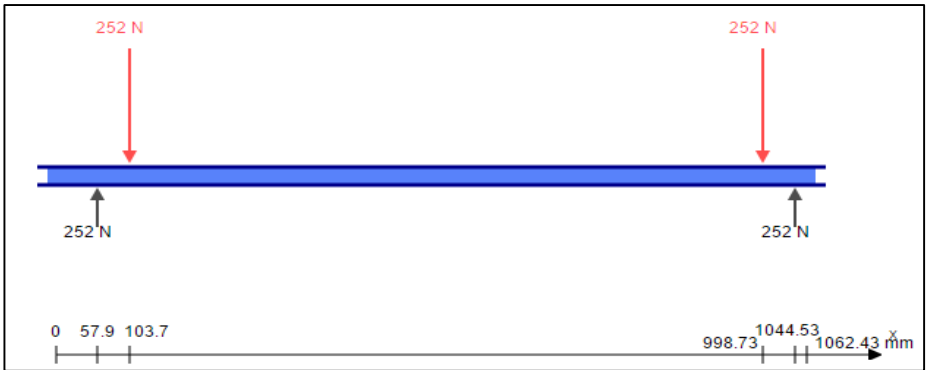
$$Masa\ recirculador = masa\ malla + masa\ estructura\ circular + masa\ aletas$$

$$Masa\ recirculador = 3{,}93 Kg + 77{,}45 Kg + 21{,}47 Kg = 102{,}8697 Kg$$

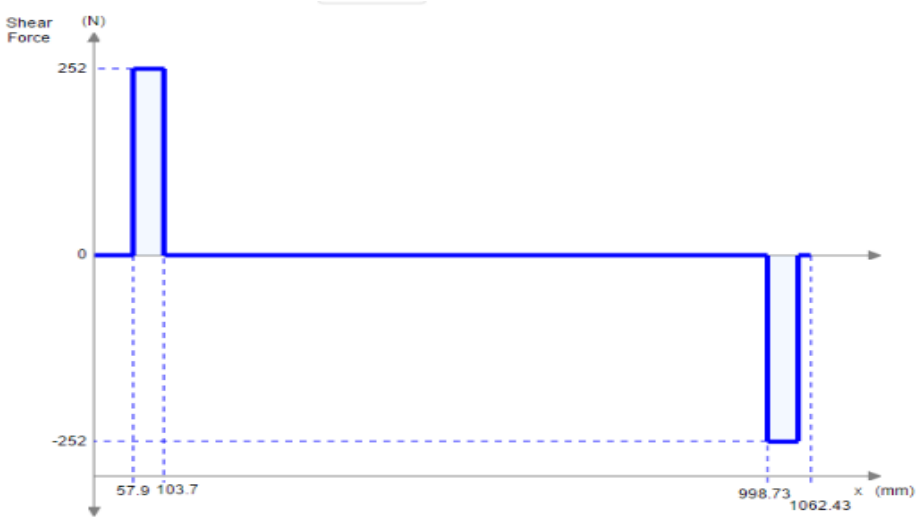
$$Carga\ recirculador = 102{,}8697 Kg \times 9{,}8\ m/s^2 = 1.008{,}123 N$$

Se realizan los diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector como se muestra a continuación.

Grafica 8. Diagrama de cuerpo libre del eje hexagonal



Grafica 9. Diagrama de fuerza cortante V



Grafica 10. Diagrama de momento flexionante M

Entonces.

$$\sigma_{max} = \frac{MC}{I}$$

Donde.

M= maginitud del momento de flexion en el eje.
I= momento de inercia del area transversal con respecto a su eje neutro.
C= distancia del eje neutro a la fibra mas alejada en la seccion del eje.

$$C = {}^{D}/_{2}$$
$$I = \pi \times {}^{D^4}/_{64}$$

$$\sigma_{diseño} = \frac{\sigma_y}{F.S} = \frac{310MPa}{2} = 155MPa$$

$$\sigma_{diseño} = \frac{M \times {}^{D}/_{2}}{\pi \times {}^{D^4}/_{64}}$$

Despejando el diametro de la ecuacion, se obtiene.

$$D_{calculado} = \sqrt[3]{\frac{64M}{2\pi \times \sigma_{diseño}}}$$

$$D_{calculado} = \sqrt[3]{\frac{64(11{,}5416Nm)}{2\pi \times 155MPa}}$$

$$D_{calculado} = 9{,}11mm$$

Definiendo el eje con un diámetro de $1\frac{1}{2}pulg$ como diámetro real.

$$\sigma_{max} = \frac{11{,}5416Nm \times {}^{0{,}0381m}/_{2}}{\pi \times {}^{0{,}0381m^4}/_{64}}$$

$$\sigma_{max} = 2{,}13MPa$$

El eje con este diámetro cumple ya que.

$$\sigma_{max} = 2{,}13MPa \ll \sigma_{perm} = 155MPa$$

Finalmente se tiene un eje con las siguientes caracteristicas y propiedades.

Diametro = 1,5pulg
Longitud = 1.062,43mm
Acero = 1045

- Calculo de la cuña. La Catarina menor transmite el par torsional al eje recirculador mediante una cuña cuadrada la cual se calcula y selecciona teniendo en cuenta el diámetro del eje (1 pulg), de la siguiente manera.

Tabla 23. Ancho de la cuña en función del diámetro del eje

Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
			Altura, *H*	
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, W	Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	3/32
7/16	9/16	1/8	1/8	1/8
9/16	7/8	3/16	3/16	3/16
7/8	1 1/4	1/4	1/4	1/4
1 1/4	1 3/8	5/16	5/16	1/4
1 3/8	1 3/4	3/8	3/8	1/4
1 3/4	2 1/4	1/2	1/2	3/8
2 1/4	2 3/4	5/8	5/8	7/16
2 3/4	3 1/4	3/4	3/4	1/2
3 1/4	3 3/4	7/8	7/8	5/8

Fuente: Mott Robert. Diseño de elementos de máquinas y herramientas. Cuarta edición 2006.

Teniendo un diámetro de 1 pulg se selecciona la fila de diámetros mayores a 7/8 de pulg, arrojando este un ancho de cuña (W = de 1/4 de pulg), y una altura nominal de cuña (H = W) por ser esta una cuña cuadrada.

$$W = \frac{1}{4}\ pulg = 6{,}35mm$$

Obtenido el ancho de la cuña se calculan las dimensiones de la misma mediante las siguientes ecuaciones, tomadas del libro de Diseño de Robert L Mott.[30]

Altura de cuerda (Y).

$$Y = \frac{D - \sqrt{D^2 + W^2}}{2}$$

Donde,

D = diámetro del eje.
W = ancho de la cuña.

[30] Disponible en: Mott Robert L. Diseño de elementos de máquinas 4 ed. Capítulo 11-2. Pág. 496.

$$Y = \frac{25{,}4mm - \sqrt{(25{,}4mm)^2 - (6{,}35mm)^2}}{2} = 0{,}4mm$$

Profundidad del cuñero en el eje (S).

$$S = D - Y - \frac{H}{2}$$

Donde,

H = altura nominal de la cuña (igual a W en cuñas cuadradas).

$$S = 25{,}4mm - 0{,}40mm - \frac{6{,}35mm}{2} = 21{,}82mm$$

Profundidad del cuñero en el cubo (T).

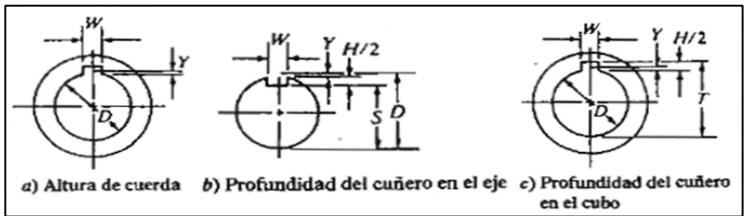
$$T = D - Y + \frac{H}{2} + C$$

Donde,

C = margen (holgura de 0,005pulg para cuñas paralelas).

$$T = 25{,}4mm - 0{,}40mm + \frac{6{,}35mm}{2} + 0{,}127mm = 28{,}3mm$$

Imagen 41. Dimensiones del cuñero



Para resumir, se obtienen los resultados mostrados en milímetros y pulgadas respectivamente en la siguiente.

Tabla 24. Valores geométricos de la cuña

Dimensiones	Milímetros	Pulgadas
W	6,35	0,25
D	25,40	1,00
S	21,82	0,86
Y	0,40	0,02
H	6,35	0,25
T	28,30	1,11

5.11 CÁLCULO DE TONILLOS

Se calculan los tonillos que estarán en la estructura del cajón de trituración y sostendrán elementos de la máquina como el motor las chumaceras entre otros, al ser piezas normalizadas y que serán sometidos a cargas variables combinadas, por lo que se deben analizar para que estos no fallen y puedan generar desprendimientos en las partes de unión.

A continuación, se realizarán los cálculos pertinentes para calcular los tornillos que se utilizaran en las diferentes partes de la trituradora.

Primero se debe calcular la precarga que está dada por la siguiente ecuación:

$$Fp = At \times Sp = 0{,}256\, pulg^2 \times 55\, kpsi = 14.080\, lbf$$

$$Fi = 0{,}75 \times Fp = 0{,}75 \times 14.080\, lb = 10.560\, lbf$$

At que es el área de tensión en pulg^2 y Sp la resistencia mínima de prueba fueron seleccionados de la Tabla 25 y la Tabla 26 que se muestran a continuación.

Tabla 25. Propiedades de los pernos y tonillos de clases pulg

Número de grado de la SAE	Intervalo del tamaño del diám. ext. (in)	Resistencia de prueba mínima (kpsi)	Resistencia a la fluencia mínima (kpsi)	Resistencia a la tensión mínima (kpsi)	Material
1	0.25–1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
2	0.25–0.75	55	57	74	bajo o medio carbono
2	0.875–1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
4	0.25–1.5	65	100	115	medio carbono, forjado en frío
5	0.25–1.0	85	92	120	medio carbono, Q&T*
5	1.125–1.5	74	81	105	medio carbono, Q&T
5.2	0.25–1.0	85	92	120	martensita al bajo carbono, Q&T
7	0.25–1.5	105	115	133	aleación al medio carbono, Q&T
8	0.25–1.5	120	130	150	aleación al medio carbono, Q&T
8.2	0.25–1.0	120	130	150	martensita al bajo carbono, Q&T

Fuente: Especificaciones y resistencias de la SAE para pernos. Diseño de máquinas 4 ed. 2011Robert L Norton, pág. 744

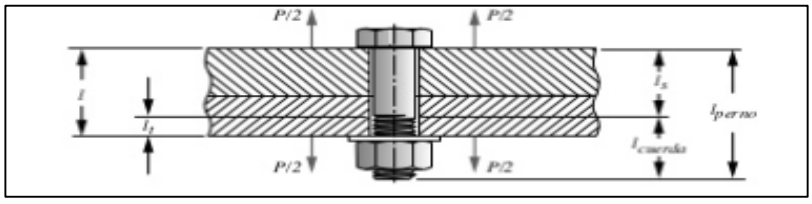
Después se determinan las diferentes longitudes del tornillo como se muestra en la Imagen 42.

Tabla 26. Diámetros y áreas de esfuerzo por tensión para tornillos UNC–UNF

		Cuerdas gruesas, UNC			Cuerdas finas, UNF		
Tamaño	Diámetro mayor d (in)	Cuerdas por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo por tensión A_t (in^2)	Cuerdas por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo por tensión A_t (in^2)
0	0.0600	–	–	–	80	0.0438	0.0018
1	0.0730	64	0.0527	0.0026	72	0.0550	0.0028
2	0.0860	56	0.0628	0.0037	64	0.0657	0.0039
3	0.0990	48	0.0719	0.0049	56	0.0758	0.0052
4	0.1120	40	0.0795	0.0060	48	0.0849	0.0066
5	0.1250	40	0.0925	0.0080	44	0.0955	0.0083
6	0.1380	32	0.0974	0.0091	40	0.1055	0.0101
8	0.1640	32	0.1234	0.0140	36	0.1279	0.0147
10	0.1900	24	0.1359	0.0175	32	0.1494	0.0200
12	0.2160	24	0.1619	0.0242	28	0.1696	0.0258
1/4	0.2500	20	0.1850	0.0318	28	0.2036	0.0364
5/16	0.3125	18	0.2403	0.0524	24	0.2584	0.0581
3/8	0.3750	16	0.2938	0.0775	24	0.3209	0.0878
7/16	0.4375	14	0.3447	0.1063	20	0.3725	0.1187
1/2	0.5000	13	0.4001	0.1419	20	0.4350	0.1600
9/16	0.5625	12	0.4542	0.1819	18	0.4903	0.2030
5/8	0.6250	11	0.5069	0.2260	18	0.5528	0.2560
3/4	0.7500	10	0.6201	0.3345	16	0.6688	0.3730
7/8	0.8750	9	0.7307	0.4617	14	0.7822	0.5095

Fuente: Dimensiones principales de las cuerdas de los tornillos. Diseño de máquinas 4 ed. 2011 Robert L Norton, pág. 726

Imagen 42. Longitudes del tornillo



Fuente: Diseño de máquinas 4 ed. 2011 Robert L Norton, pág. 726

Calculo de la longitud de la lrosca y del vástago del perno ls como se muestra a continuación. La altura de la tuerca fue tomada del Diseño en ingeniería mecánica de Joseph Sigley Tabla A-31.

$$l_{rosca} = 2d + 0{,}25 = 2 \times 0{,}6250\ pulg + 0{,}25 = 1{,}5\ pulg$$

$$l_{perno} = (placa\ caja + chumacera) + tuerca$$

$$l_{perno} = 1{,}765748\ pulg + 0{,}546875\ pulg = 2{,}312623 \approx 2{,}5\ pulg$$

$$l_s = l_{perno} - l_{rosca} = 2{,}5\ pulg - 1{,}5\ pulg = 1\ pulg$$

Ahora se calcula lt la cual es la parte útil en la zona de sujeción.

$$l_t = l - l_s = 1{,}765748\ pulg - 1\ pulg = 0{,}765748\ pulg$$

Con los resultados obtenidos se determina la rigidez del perno kb, donde el módulo de elasticidad para el acero al carbono es de 30 Mpsi, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{K_b} = \frac{l_t}{A_t \times E} - \frac{l_s}{A_b \times E}$$

$$\frac{1}{K_b} = \frac{1}{\frac{0{,}765748\ pulg}{0{,}256\ pulg^2 \times 30E6} + \frac{1\ pulg \times 4}{\pi\ (0{,}6250)^2 \times 30E6}} = 4.799.465{,}255\ lb/pulg$$

Para hallar la rigidez del material km, se usa la siguiente formula. Donde A y B están tomados de la Tabla 27.

Tabla 27. Propiedades de la rigidez para varios materiales

Material Usado	Relación de Poisson	Módulo de Elasticidad		A	B
		Gpa	Mpsi		
Acero	0.291	207	30	0.78715	0.62873
Aluminio	0.334	71	10.3	0.79670	0.63816
Cobre	0.326	119	17.3	0.79568	0,63553
Hierro Fundido gris	0.211	100	14.5	0.77871	0.61616
Expresión general				0.78952	0.62914

Fuente: Diseño de máquinas 4 ed. 2011 Robert L Norton, pág. 752

$$K_m = E \times d \times A^{Bd/l}$$

$$K_m = 30E6 \times 0{,}6250\ pulg \times 0{,}78715^{0{,}62873 \times 0{,}6250 / 1{,}765748} = 17.777.451{,}98\ lb/pulg$$

Con los valores obtenidos se calcula la rigidez de la junta con base en la siguiente ecuación.

$$C = \frac{K_b}{K_m + K_b} = \frac{4.799.465{,}255\ lb/pulg}{17.777.451{,}98\ lb/pulg + 4.799.465{,}255\ lb/pulg} = 0{,}2126$$

Se calcula la carga aplicada P la cual es de 4.305,304 N que es la fuerza que experimenta el perno y el material esta se determina por la siguiente ecuación.

$$P_b = CP = 0{,}2126 \times \frac{4.305{,}304\ N}{8} = 114{,}413N \times \frac{0{,}22481\ lb}{1N} = 25{,}7213\ lbf$$

$$P_m = (1 - C)P = (1 - 0{,}2126) \times \frac{4.305{,}304\ N}{8} = 423{,}75N \times \frac{0{,}22481lb}{1N}$$
$$= 95{,}2631\ lbf$$

A continuación, se calculan las cargas resultantes en el perno y el material después de que se les aplica la carga P.

$$F_b = F_i + P_b = 10.560\ + 25{,}7213 = 10.585{,}7213\ lbf$$

$$F_m = F_i - P_m = 10.560\ - 95{,}2631 = 10.464{,}737\ lbf$$

El esfuerzo de tensión máximo en el perno es:

$$\sigma b = \frac{F_b}{A_t} = \frac{10.585{,}7213\ lbf}{0{,}256\ pulg^2} = 41.350{,}4738\ psi$$

Se calcula el factor de seguridad contra fluencia.

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma b} = \frac{57.000\ psi}{41.350{,}4738\ psi} = 1{,}38$$

La carga que se requiere para separar la unión y el factor de seguridad contra la separación de la junta se determina de la siguiente ecuación.

$$P_O = \frac{F_I}{(1 - C)} = \frac{10.560\ lbf}{(1 - 0{,}2126)} = 13.411{,}23\ lbf$$

$$N_{separación} = \frac{P_o}{P} = \frac{13.411{,}23\ lbf}{967{,}8754\ lbf} = 13{,}86$$

Como se observan los resultados anteriores se puede seleccionar un tornillo de 5/8 de diámetro por 2,5 pulg de longitud, ya que este cumple con los requerimientos a los que está sometido, dado que en la chumacera es donde se emite la mayor carga.

Para los tornillos que harán la unión entre la estructura y el motor, se seleccionaron tornillos de 5/8 de diámetro por 4 ¼ pulg de longitud; Los tornillos que realizaran la unión entre la caja de trituración y la estructura serán de 1/2 de diámetro por 1 ¾; Así como los que unirán la caja con la tolva de alimentación serán de 1/2 de diámetro por 1 ¼ pulgadas de longitud.

5.12 SELECCIÓN DE ACOPLAMIENTO

Se realiza una selección en la Tabla 28, del factor de seguridad de los elementos que se va acoplar escogiendo un factor que cumpla con los parámetros requeridos.

Tabla 28. Factores de servicio acoples Intermec

Factor de servicio	Equipo conducido		Fuente de poder		
	Tipo	Característica	Motor eléctrico o turbinas	Motor de combustión de 4 o más cil.	Motor diesel o a gas
A	Ventiladores centrífu-gos, secadores, bombas o transportadoras con carga uniforme.	Carga uniforme - trabajo 8 horas/día, no reversible y torque bajo de arranque	1,0	1,5	2,0
B	Compresores, transportadoras, cargas pulsantes, martinetes, reductores de velocidad, bombas de múltiples cilindros etc.	Carga no uniforme - trabajo 8 horas/día, choques o torsión moderada, no reversible. Este es el servicio más común.	1,5	2,0	2,5
C	Prensas, trituradoras, carga de impacto, bombas para equipos petroleros	Carga de alto choque - trabajo 8 horas/día, Carga de altos picos de torque, reversibles con carga, arranques con carga	2,0	2,5	3,0

Fuente. < http://www.intermec.com.co /pdf/acoples_cadena.pdf>

Con el valor seleccionado se obtienen los caballos de fuerza de servicio como se muestra a continuación con la siguiente ecuación.

$$C_{Fuerza} = HP * FS$$

$$C_{Fuerza} = 22\ HP * 2\ = 44\ HP$$

Con los caballos fuerza obtenidos seleccionamos en la Tabla 29 el tamaño de acople que cumpla con el valor calculado y a las rpm que este va a realizar su operación.

Tabla 29. Tamaños y rpm de acoples Intermec

Ref.	Revoluciones por minuto para Acoples Tipo Cadena Intermec																			
	10	25	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	1800	2000	2500	3000	3600	4000	4800
35-18	0,24	0,61	1,2	1,65	2,2	2,6	3	3,3	3,7	4,5	5,6	6,5	7,8	8,9	9,5	11	12	13	13	13
40-18	0,44	1,1	2,2	2,97	3,9	4,7	5,4	5,9	6,7	7,9	10	12	14	16	17	20	21	23	23	23
50-16	0,86	2,1	4,1	5,7	7,5	8,8	9,9	11	12	15	19	22	26	30	32	37	40	43		
50-18	1	2,6	5,6	7,2	9,3	11,2	13,3	14	16	19	24	28	34	38	41	47	51			
60-18	2	4,9	9,8	13	18	21,6	24	27	30	35	45	52	63	72	77	89				
60-22	2,9	7,4	15	21	27	32	36	40	45	54	68	78	94	107	115	133				
80-18	4,4	11	22	31	39	47	54	59	67	80	101	116	141	160	171					
80-22	6,5	16	33	45	60	71	80	89	100	119	151	174	210	239	256					
100-20	9,9	25	49	68	90	107	122	134	151	179	228	261	316	360						
120-20	22	55	111	154	202	242	274	302	339	404	514	589								
160-20	48	120	239	330	436	520	591	651	730	871	1107									
200-18	65	166	331	459	604	723	820	903	1012	1209										
200-20	100	249	496	687	906	1083	1228	1352	1516											
Lubricación	1		2			3				1. Intervalo de Lubricación: una vez al mes 2. Intervalo de Lubricación: una vez a la semana, se recomienda utilizar carcaza 3. Es imprescindible el uso de carcaza (cubierta) con abundante lubricacion.										

En línea: < http://www.intermec.com.co/pdf/_acoples_cadena.pdf>

Se selecciona el acoplamiento 100-20 ya que cumple con los requerimientos funcionales de la máquina tanto en sus caballos de fuerza como los rpm que va a girar. Se verifica en la Tabla 30 el hueco máximo permisible para que este pueda alojar el eje de mayor tamaño.

Tabla 30. Referencias de acoples Intermec

Referencia	Hueco máximo permisible mm	Dimensiones principales en milímetros (fig. 1)				Desalineamiento máximo permisible (figs. 2 y 3)		RPM máximas sin carcaza	RPM máximas con carcaza oleoactuante
		A	Con carcaza cc	B	C	Paralelo A mm	Angular B grados		
C35-18	31	63	73	56	43	0,20	1.5°	1200	4800
C40-18	41	84	95	70	59	0,27	2°	1000	4500
C50-16	43	95	112	100	63	0,30	2°	800	4000
C50-18	45	105	123	100	73	0,30	2°	800	3600
C60-18	57	127	142	125	88	0,35	2°	600	3000
C60-22	76	151	165	125	115	0,35	2°	500	2500
C80-18	80	168	186	140	115	0,40	2°	500	2000
C80-22	95	202	225	155	142	0,40	2°	400	1900
C100-20	110	232	275	176	160	0,65	2.5°	400	1800
C120-20	130	275	320	224	184	0,80	3°	300	1200
C160-20	190	375	440	360	226	0,80	3°	200	1000
C200-18	205	424	490	508	294	0,80	3°	200	800
C200-20	260	504	570	508	477	0,80	3°	100	600

En línea: < http://www.intermec.com.co/pdf/acoples_cadena.pdf>

Se selecciona un acople flexible para ejes tipo cadena de la marca INTERMEC con referencia C100-20 este tipo de acople consta de dos piñones de una cadena doble, que está diseñado para transmitir alto torque a bajas velocidades, ver Anexo H.

6. ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

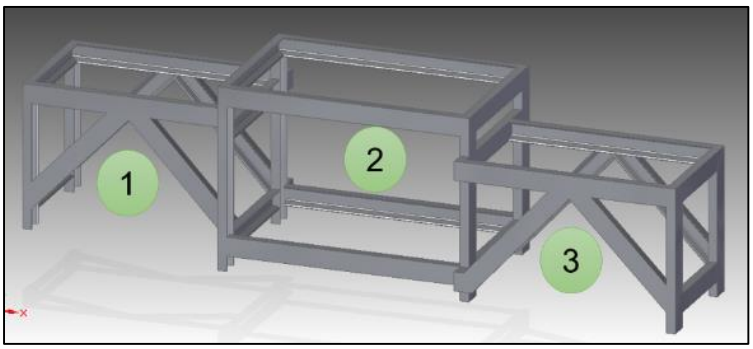
En este capítulo se realiza un análisis de los componentes más críticos de la máquina mediante el método de elementos finitos con el software NX Nastran 9.0 de Siemens, a través de esta simulación en la cual se usan los esfuerzos ya calculados en el anterior capítulo, se determina el comportamiento de los componentes para luego ser contrastados con los calculados manualmente.

6.1 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

Uno de los componentes más críticos de la máquina es la estructura ya que es la encargada de soportar toda la carga de los componentes de la misma, por tal motivo se realiza la simulación y análisis de resultados de la estructura.

La estructura de la máquina está compuesta por tres partes, la primera encargada de soportar el primer motor, la sección media encargada de soportar el bloque de trituración y el recirculador, la tercera y última encargada de soportar el segundo motor que compone la máquina, como se puede apreciar a continuación.

Imagen 43. Estructura de máquina trituradora



Toda la estructura se diseñó para ser fabricada en acero ASTM A-36, el cual cuenta con las siguientes propiedades.

Cuadro 15. Propiedades acero A36

Designación del material	Resistencia a la tensión		Resistencia a la fluencia		Módulo de elasticidad	
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	GPa	Ksi
Acero ASTM A36	58	400	36	250	200	29.000

Teniendo el modelo de la estructura diseñado y modelado, se procede a calcular las fuerzas que esta soporta para luego realizar la simulación.

$$Peso\ del\ bloque\ de\ trituracion = 911{,}92Kg$$

$$Fuerza\ del\ bloque\ de\ trituracion = 911{,}92Kg \times 9{,}8\,m/s^2 = 8{,}936KN$$

$$Peso\ de\ motor = 543Kg$$

$$Fuerza\ de\ cada\ motor = 543Kg \times 9{,}8\,m/s^2 = 5{,}32KN$$

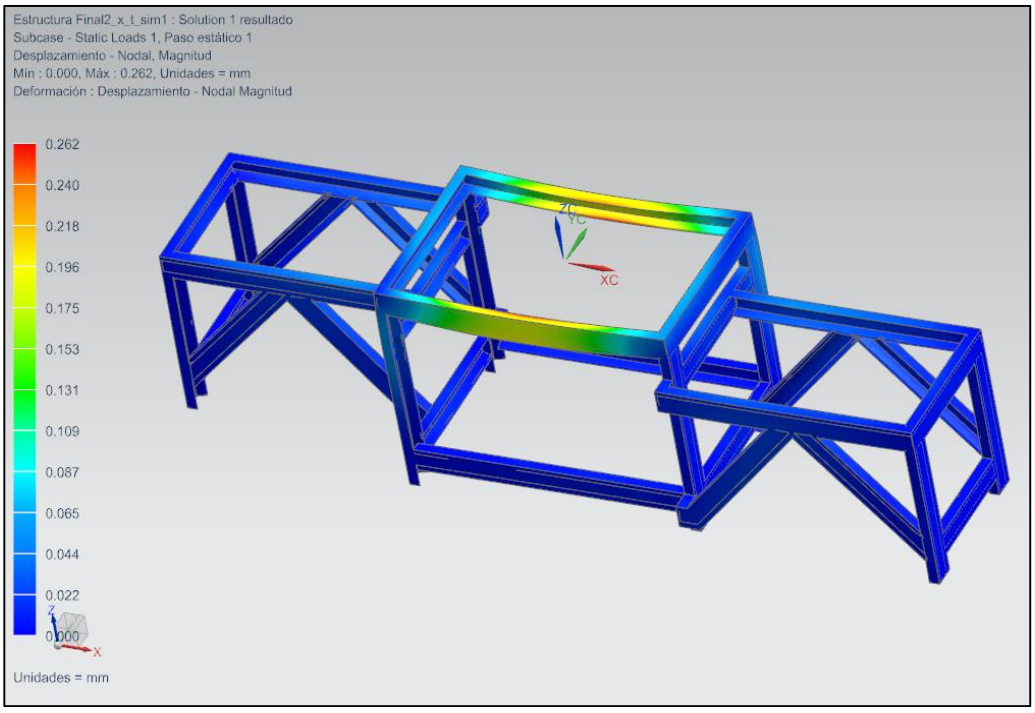
$$Peso\ del\ recirculador = 102{,}8697Kg$$

$$Fuerza\ del\ recirculador = 102{,}86Kg \times 9{,}8\,m/s^2 = 1KN$$

Las fuerzas que soporta la estructura son situadas a través de su ubicación para crear una carga distribuida como es en realidad. Conocidas las cargas se fijan las columnas en donde se apoya la estructura con el suelo y se simula.

- Análisis de resultados. A continuación, se realiza el análisis en el programa NX Nastran y se muestran los resultados obtenidos como lo es su deformación máxima (Grafica 11) y su esfuerzo máximo (Grafica 12).

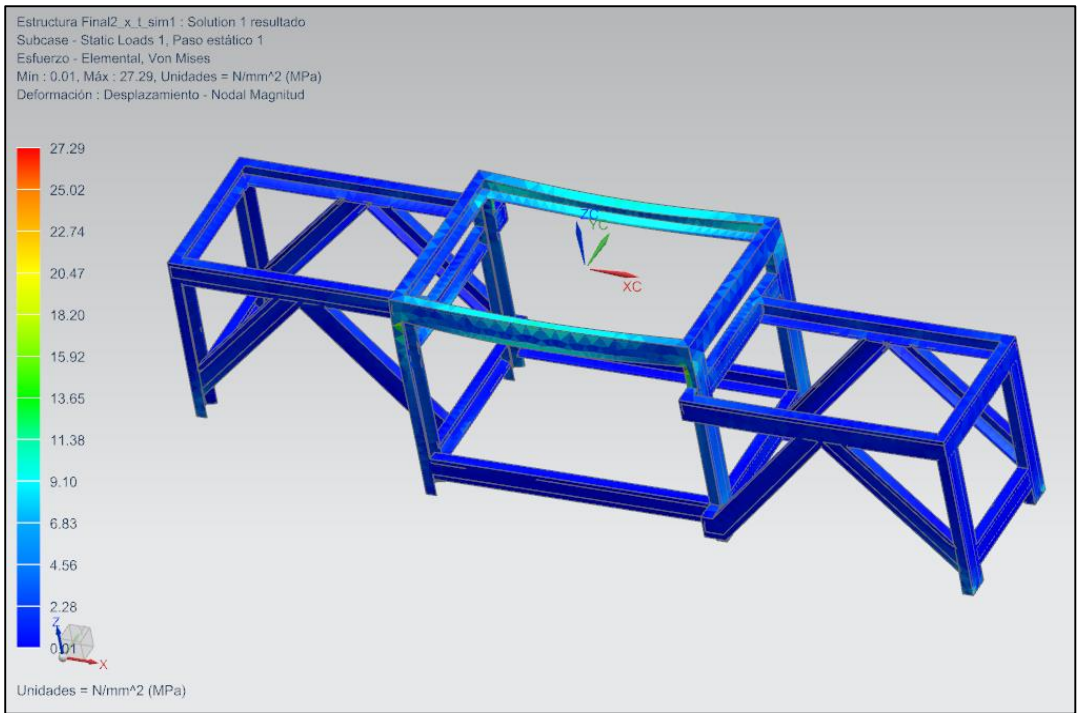
Grafica 11. Deformación máxima en la estructura



Como resultados en análisis de la deformación máxima se obtiene como deformación máxima 0,262 milímetros en la viga que anteriormente se calculó como la viga critica, la cual soporta la fuerza de todo el bloque de trituración.

Esta deformación no es realmente significativa, por lo cual no afectara de ninguna manera el desempeño de la máquina. Siendo así, este es un valor admisible.

Grafica 12. Esfuerzo máximo de la estructura



En la anterior Grafica 12 se aprecia cuáles son los segmentos de la estructura más esforzados, y los puntos en donde se concentra la mayor magnitud de fuerza. Como se calculó en el anterior capítulo, los segmentos más críticos son los que soportan el bloque de trituración.

El análisis de esfuerzo de la estructura arroja como resultado que el esfuerzo máximo al que se somete la estructura con las cargas que esta soporta es 27,29MPa, a continuación, se calcula el factor de seguridad.

$$Factor\ de\ seguridad = \frac{250MPa}{27{,}39MPa} = 9{,}12$$

Este es un factor de seguridad alto ya que se ha seleccionado un material comúnmente usado en estructuras pesadas y las cargas de la máquina son relativamente bajas, además de eso la geometría que se utilizo es bastante resistente. De esta manera se tiene un muy buen factor de seguridad.

En el siguiente Cuadro 16 se compara el factor de seguridad obtenido teóricamente en el capítulo anterior, y el arrojado por el análisis de elementos finitos.

Cuadro 16. Comparación de resultados simulación estructura

Tipo de resultado	Factor de seguridad
Teórico	18,21
Software	9,12

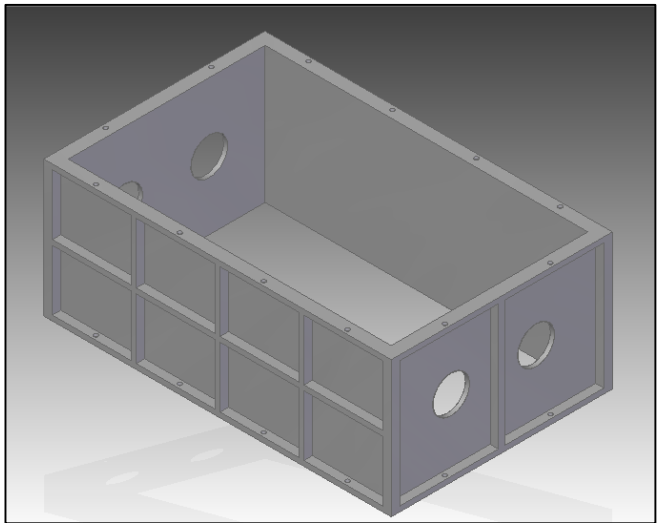
La diferencia de estos dos valores se debe a que en el análisis del software se analizan todos los segmentos de la estructura como un solo conjunto, mientras que en los cálculos teóricos del anterior capítulo se analizó el segmento más crítico sin tener en cuenta el esfuerzo que añaden los segmentos contiguos, lo cual hace siempre que el método de elementos finitos arroje un factor de seguridad menor.

6.2 ANÁLISIS DE BLOQUE TRITURACIÓN.

Otro de los componentes críticos en la máquina es la caja que soporta todo el bloque de trituración (cuchillas, ejes, separadores, rodamientos, chumaceras, y tolva), por esto se simula y se hace análisis de resultados

Esta soporta el bloque de trituración a través de sus agujeros donde se fijan los rodamientos mediante chumaceras, también soporta la tolva en su parte superior.

Imagen 44. Bloque de trituración



Esta caja está hecha en fundición gris ASTM 40, con las propiedades que se muestran en el Cuadro 16.

Cuadro 17. Propiedades de fundición gris ASTM 40

Designación del material	Resistencia a la tensión		Resistencia a la fluencia		Módulo de elasticidad	
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	GPa	Ksi
Fundición gris ASTM 40	40	275,8	14	96,5	110,316	16.000

Las fuerzas que inciden sobre la caja son las siguientes.

$$masa\ total\ de\ 1\ eje\ triturador = masa\ eje + masa\ chuchillas\ y\ separadores$$

$$m_t = 87{,}66Kg + 212{,}78Kg + 76{,}71Kg = 377{,}15Kg$$

$$fuerza\ sobre\ la\ caja = masa\ 2\ ejes\ trituradores \times gravedad$$

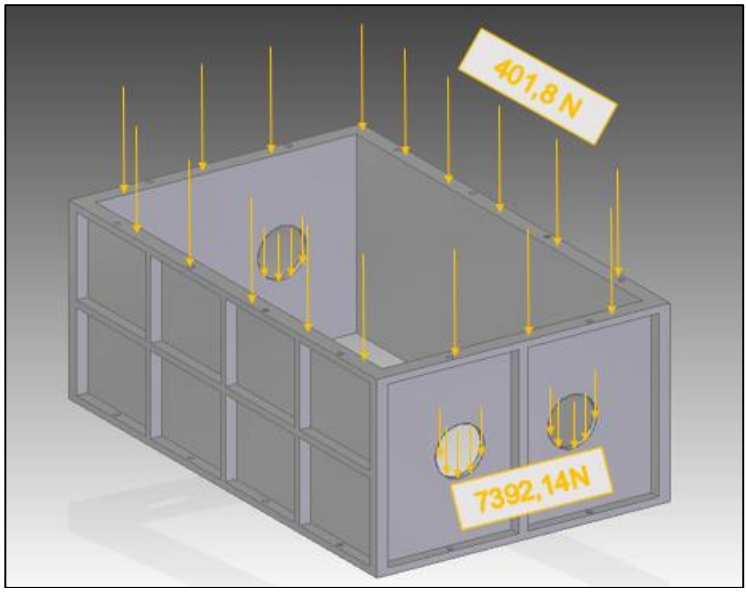
$$fuerza = 3.377{,}15Kg \times 2 \times 9{,}8\,m/s^2 = 7.392{,}14N$$

$$masa\ de\ la\ tolva = 41Kg$$

$$fuerza\ de\ la\ tolva = 41Kg \times 9{,}8\,m/s^2 = 401{,}8N$$

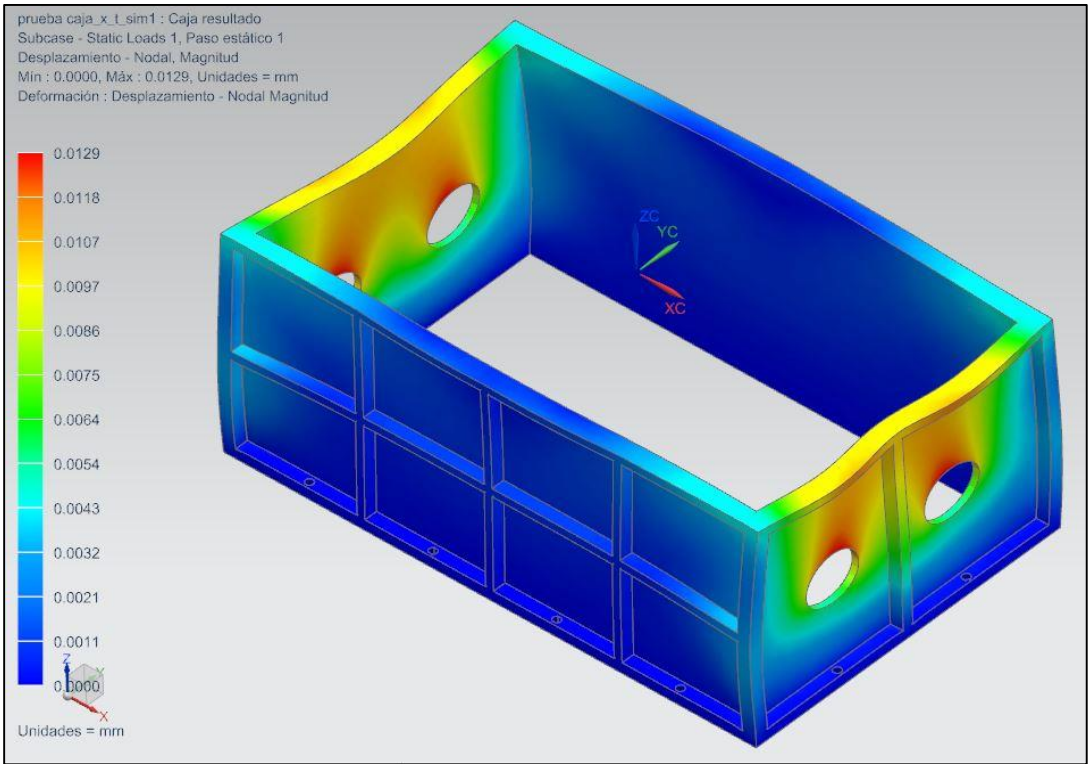
Las fuerzas que se calcularon anteriormente se distribuyen de la siguiente forma.

Imagen 45. Fuerzas aplicadas al bloque de trituración



- Análisis de resultados. Con base en las fuerzas que se le aplican a la caja, se realiza el análisis en el programa NX Nastran y se muestran los resultados obtenidos como lo es su deformación máxima Grafica 13 y su esfuerzo máximo Grafica 14.

Grafica 13. Deformación máxima del bloque

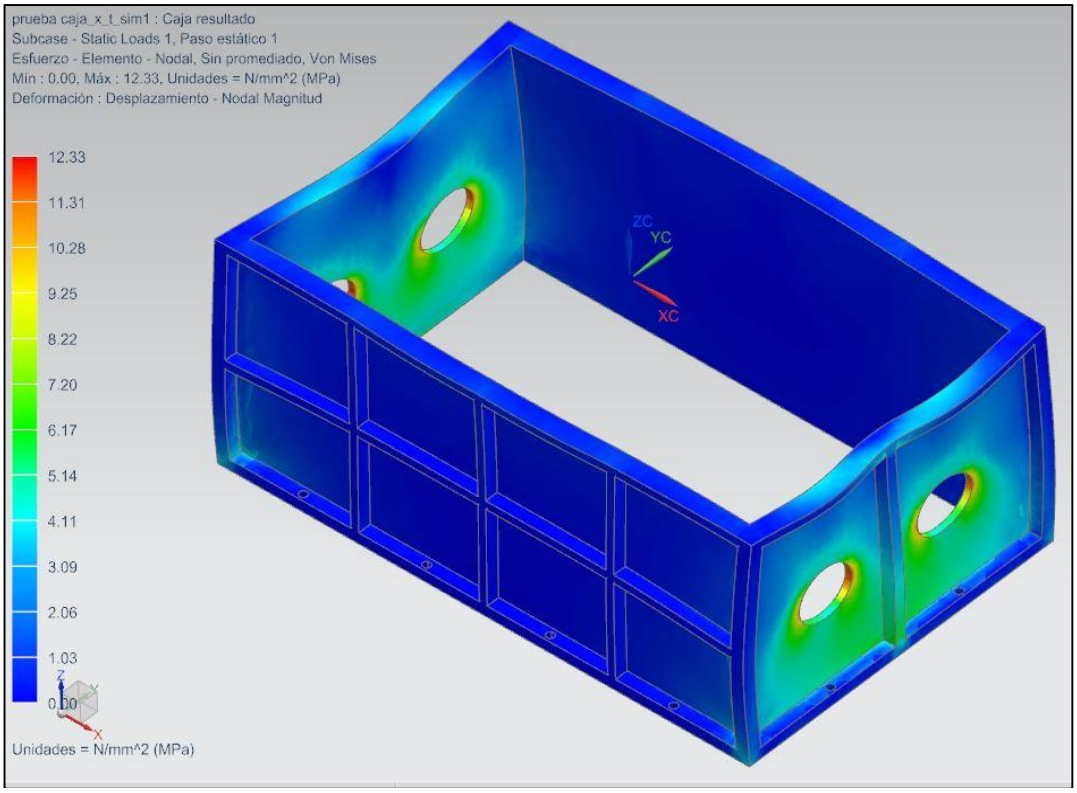


Como resultado del análisis de deformación máxima en la caja se obtuvo 0,0129 milímetros como la máxima deformación en los costados donde se apoyan los ejes de trituración.

Esta deformación es realmente mínima, por lo cual se demuestra que no afecta en ningún modo de performance de la máquina y sus componentes, este valor es aceptable.

Como se muestra en la siguiente (Grafica 14) la parte más esforzada como bien la de mayor deformación son los costados donde se apoyan los ejes trituradores, obteniendo como máximo esfuerzo 12,33Mpa alrededor de los agujeros por donde pasan los ejes.

Grafica 14. Esfuerzo máximo del bloque



Teniendo en cuenta el valor del esfuerzo de fluencia del material fundición gris ASTM 40, mostrada previamente en la Cuadro 17 de las propiedades mecánicas de este material, se calcula el factor de seguridad de la caja.

$$Factor\ de\ seguridad = \frac{96{,}5MPa}{12{,}33MPa} = 7{,}83$$

Este factor de seguridad es considerablemente alto debido a que la caja fue diseñada con refuerzos laterales los cuales reducen extensamente el esfuerzo resistido por este elemento, además este tiene una geometría sin concentradores de esfuerzos ni puntos frágiles. Por consiguiente, se obtuvo tal factor de seguridad.

7. MANUALES DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, Y SEGURIDAD

En este capítulo se contemplan los manuales que rigen, la instalación, la operación, el mantenimiento, y la seguridad, ya que es fundamental que se haga una correcta instalación de todos los sistemas y componentes de la máquina, que esta sea operada de una manera adecuada, y se sigan sus parámetros de mantenimiento y seguridad, para que esta tenga un apropiado funcionamiento y una larga vida útil sin ningún incidente.

7.1 MANUAL DE OPERACIÓN

Para que la máquina tenga un correcto funcionamiento, el operario que va hacer uso o la va a controlar debe seguir las siguientes indicaciones y estar capacitado para operarla, ya que esta cuenta con un sistema de control que debe seguir correctamente para que entre en operación y no vaya haber problemas en la trituración.

7.1.1 Reconocimiento de los componentes. En el siguiente Cuadro 18, se encuentran identificados los elementos que ponen en marcha la máquina, estos componentes hacen parte del sistema de poder, a los cuales se le asigna un nombre y orden de encendido para que sea de fácil reconocimiento por el operario.

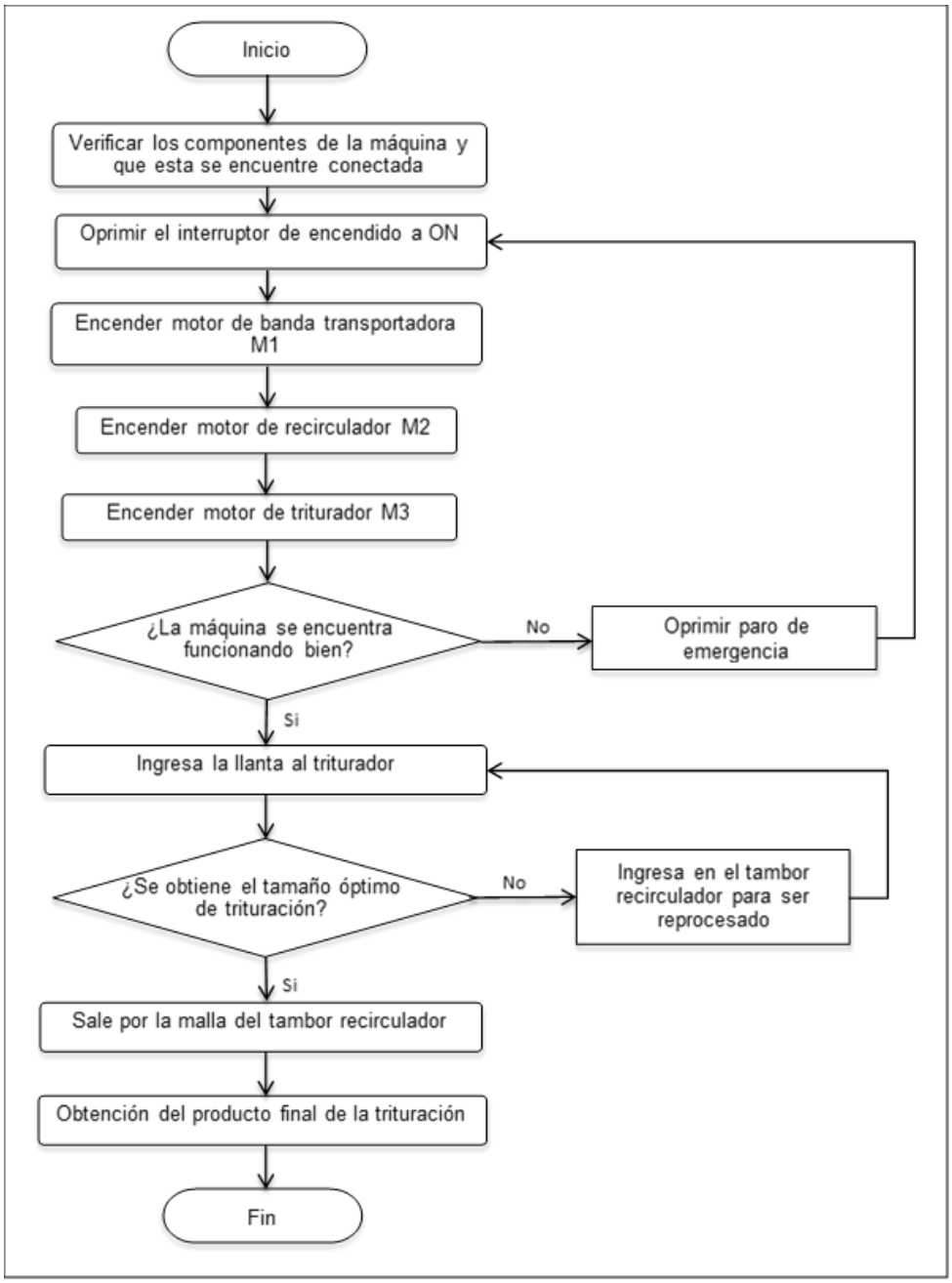
Cuadro 18. Elementos de la máquina

Elemento	Nombre
Motor banda transportadora	M1
Motor de recirculador	M2
Motor de trituración	M3

7.1.2 Diagrama de Proceso de trituración. Para que la máquina empiece con su funcionamiento se debe seguir una serie de instrucciones como se muestra en la Imagen 46, para empezar el proceso cada elemento debe tener una previa inspección para que todo este correctamente conectado, así se lleva a cabo la puesta en marcha de la máquina y para que esta no vaya a tener mal funcionamiento. Se debe tener presenta las zonas de seguridad y respetar las áreas de trabajo de la maquinaria para evitar así accidentes.

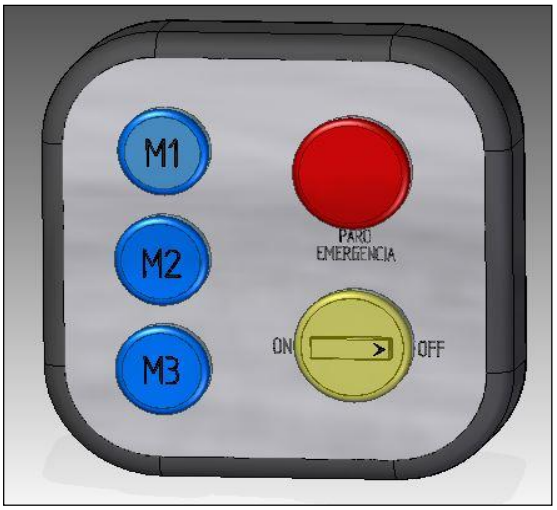
Para iniciar se debe encender con el interruptor de encendido y proceder al encendido de los motores de cada uno de los sistemas de poder de la máquina en el orden que se menciona, para que así el operario introduzca dentro de la banda transportadora las llantas a triturar, las cuales harán el proceso de triturado hasta que obtengan el tamaño adecuado.

Imagen 46. Diagrama de proceso



7.1.3 Tablero de Control. El control de encendido de cada uno de los elementos anteriormente mencionados se llevará a través de un tablero como se muestra en la Imagen 46, donde estarán ubicados los pulsadores e interruptores, este será ubicado en un sitio donde tenga un fácil acceso por el operario y en caso de emergencia pueda tener una pronta reacción para realizar un paro en la máquina.

Imagen 47.Tablero de control



7.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento de cada uno de los elementos que componen la máquina es una parte fundamental debido a que asegura la vida útil que va tener en las horas de operación, ya que al existir un buen mantenimiento puede disminuir los riesgos de una parada o una falla catastral, para esto se capacita al operario que debe seguir un plan de mantenimiento programado y realizarlos en los tiempos descritos.

Este se basa en una rutina de limpieza, inspección, ajuste de los elementos y lubricación, las dos primeras deben ser las actividades principales que el operario debe realizar todos los días antes de empezar el proceso y poner en marcha la máquina.

En el proceso de mantenimiento se recomienda que cada uno de los motores se puedan accionar independientemente para así si se descompone alguno pueda repararse de forma independiente. Para realizar la rutina de mantenimiento se debe tener claridad de cuáles son los componentes a los cuales se les debe realizar y cuáles deben ser las rutinas a seguir para el mantenimiento de cada uno de ellos.

7.2.1 Motorreductores. Se cuenta con dos motorreductores de 16 KW, los cuales accionan cada uno de los ejes de trituración por ende se les debe realizar una inspección y mantenimiento, cabe mencionar que las partes como los son los engranajes y rodamientos de los reductores usualmente están sumergidos en aceite lubricante, por lo que se tiene que tener en cuenta, por medio de la inspección revisar el nivel de aceite antes de poner en marcha el motorreductor y hacerle cambio en los tiempos recomendados,

Se debe verificar que los tapones estén bien sellados, mantener el orificio de ventilación sin ninguna obstrucción, así como revisar si este presenta algún tipo de ruido, ya que esto puede ser por algún tipo de desalineación o vibración.

7.2.2 Banda Transportadora. El mantenimiento en este tipo de elementos pretende reducir la reparación basándose en inspecciones de rutina, para poder remplazar cualquier elemento averiado, su principal mantenimiento se basa en la lubricación de las partes móviles, la limpieza de la banda verificando también su estado y la tensión a la cual está sometida,

Debido a que si se tiene una excesiva tensión el desgaste de los elementos como los son los rodamientos o ejes será crítico y la poca tensión producirá deslizamientos del tambor motriz, esto no solo garantiza un buen funcionamiento, sino que alarga la vida útil de la banda transportadora.

7.2.3 Transmisión por cadena. Se cuenta con dos transmisiones por cadena una ubicada en la banda transportadora y otra en el recirculador que deben ser tenidas en cuenta en el mantenimiento y ser inspeccionados con regularidad, ya que si alguna de estas no se les hace un correcto mantenimiento puede llegar a realizar un paro en la producción.

En estos sistemas se debe contar con una buena lubricación para evitar desgastes, ruidos y vibraciones, realizar una revisión de las alineaciones de las coronas dentadas para evitar vibraciones, verificar la tensión de la cadena y en caso de que la cadena sufra algún alargamiento 2-3% de su longitud esta deberá ser remplazada y tomar las medidas de seguridad para así evitar posibles accidentes en el operario, cabe destacar que no debe ser montada una cadena nueva sobre una corona que ya tenga deterioro ya que disminuirá la vida útil de la cadena abruptamente.

7.2.4 Posibles fallas y averías. Las anomalías o averías que pueda tener la máquina trituradora deben ser identificadas y corregidas para esto se proporciona la información necesaria con las posibles fallas en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Posibles fallas y soluciones

Problema	Causa y Efecto	Solución
Ruidos anormales en la máquina.	Fallas en los componentes de la máquina. Disminución de la producción o una parada total.	Cambiar elementos que generen ruidos como los rodamientos.
Fractura de los dientes de la cuchilla de trituración.	Desgaste de los dientes por impacto. Pérdidas de producción en el triturado de llantas.	Cambio de la cuchilla averiada o que presente ruptura de uno de sus dientes.

Cuadro 19. (Continuación)

Problema	Causa y efecto	Solución
Ruptura de la banda transportadora y desalineación de la banda transportadora.	Deficiente alineación, tensión o ruptura. Parada en el sistema de transporte de neumáticos hacia la tolva.	Verificar la tensión de la banda o realizar su cambio si esta sufre rasgadura o ruptura.
Deterioro de la máquina.	Por no realizar una correcta limpieza y dejar partículas que puedan generar desgaste en los elementos. Aumento de costos de reparación y suministro de repuestos.	Realizar correctamente las rutinas de mantenimiento de los elementos para evitar así el deterioro.
Vibraciones en la transmisión	Desalienación de las ruedas dentadas o rozamiento en los componentes de la máquina. Desprendimiento de los elementos o desgaste de las ruedas dentadas.	Desmontar las transmisiones que estén presentando fallas para revisar los componentes.

7.2.5 Rutina de mantenimiento. Con base en los elementos nombrados y que puedan presentar averías o fallas se realiza una rutina de mantenimiento, esta información se muestra en el siguiente Cuadro 20.

Cuadro 20. Rutina de mantenimiento

Tiempo	Rutina
Diaria	Realizar inspección visual de las cadenas de las transmisiones de la banda transportadora de los motorreductores. Revisar alineación y tensión de la banda transportadora. Verificar la lubricación de los componentes de potencia. Inspección visual de las cuchillas revisando que estas se encuentren en óptimas condiciones. Se debe contar con una limpieza óptima antes de empezar su funcionamiento.
Mensual	Revisión del nivel de aceite del motorreductor en caso de que no tenga el nivel óptimo debe ser suministrado. Revisar la alineación de las ruedas dentadas y la tensión en la cadena Revisar las ruedas del recirculador. Verificar la lubricación en le acople. Verificar el apriete de todos los tornillos o tuercas.
Trimestral	Inspeccionar la alineación del acople con el eje del motor y el eje conducido. Inspección con el instrumento estetoscopio el estado o ruidos que puedan tener los rodamientos. Verificar el estado en las cadenas de transmisión que no vayan a tener holguras o ningún alargamiento 2% a 3% así como su limpieza y su lubricación.
Semestral	Realizar el cambio de aceite en el motorreductor. Revisar el estado de las ruedas del recirculador si presentan daños en su recubrimiento deben ser remplazadas. Revisión del estado de las cuchillas del triturador. Si han sufrido perdida de filo o si la calidad del corte ha disminuido, deben ser desmontadas para así ser reparadas.

7.3 MANUAL DE SEGURIDAD

La mayoría de máquinas cuentan con un manual que contienen ciertas normas de seguridad que se deben tener en cuenta a la hora de poner en funcionamiento del proceso, alertando informando y previniendo a los empleados de posibles accidentes e incidentes. Con estas normas no solo se busca que el operario cuente con una protección, sino que donde opera la máquina sea un lugar óptimo para que se realicen las actividades de trituración.

Esta se obtendrá mediante señalización adecuada y estará ubicada en puntos estratégicos para que permitan prevenir riesgos a los operarios de la maquinaria, como se muestra a continuación.

Señalización. Las señales de seguridad son imágenes o símbolos a los cuales se les brinda un significado determinado y que vienen encerradas por figuras geométricas, estas le brindan información de seguridad que sea de fácil reconocimiento por el operario. Como lo es el uso de los elementos de protección casco, gafas, protectores auditivos, guantes, overol y botas de seguridad

Imagen 48. Elementos de protección

Los riesgos que pueden existir a la hora del funcionamiento de la máquina pueden ser de tipo mecánico, biomecánico y por ruido. La señalización deberá identificarse por medio de un triángulo color amarillo para advertir al operario de los riesgos que puedan estar presentes.

Imagen 49. Señalización de riesgos

7.4 MANUAL DE INSTALACIÓN

Para la instalación de la máquina se debe contar con medidas de seguridad y de control de los elementos que la componen, para poder realizar una correcta instalación de esta en el sitio de trabajo.

- Seguridad y ubicación. Debe ser preparada el área donde se va a realizar la instalación utilizando señalización que indique que se está ensamblando la máquina para eso se debe contar con personal capacitado para que lleve a cabo la actividad de una forma adecuada y sin causar daños o accidentes al personal ajeno a esta tarea.

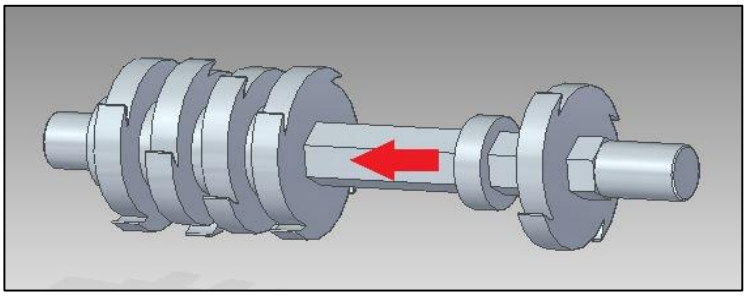
- Elementos que la componen. Se debe solicitar un control en las partes que van a formar parte de la máquina ya que esto garantiza un excelente funcionamiento y de calidad ya que esto va hacer de gran importancia y de influencia en la vida útil de la maquinaria. En el Cuadro 21 se encuentran las partes y las cantidades de cada elemento que la componen.

Cuadro 21. Elementos que componen la máquina

Número de elemento	Cantidad	Nombre	Material
1	1	Estructura	Acero ASTM A36
2	1	Caja	Fundición ASTM 40
3	1	Eje hexagonal 1	Acero SAE 4140
4	1	Eje hexagonal 2	Acero SAE 4140
5	19	Cuchillas	Acero AISI D2
6	19	Separadores	Acero SAE 1045
7	2	Motor 22 hp	No aplica
8	4	Rodamiento de rodillos	No aplica
9	1	Recirculador	Acero SAE 1020
10	4	Chumacera de pedestal	Fundición
11	4	Ruedas del recirculador	poliuretano
12	1	Eje recirculador 1	Acero SAE 1045
13	1	Eje recirculador 2	Acero SAE 1045
14	1	Malla recirculador	Acero inoxidable
15	1	Tolva	Aluminio
16	4	Chumacera 4 pulg de 4 bridas	Fundición gris
17	24	Tornillos 1/2 pulg	SAE grado 2
18	24	Tuercas 1/2 pulg	SAE grado 2
19	16	Tornillos 5/8 pulg	SAE grado 2
20	8	Tornillos 5/8 pulg	SAE grado 2
21	8	Tuercas 5/8 pulg	SAE grado 2
22	2	Acople de cadena	No aplica
23	1	Banda transportadora de entrada	No aplica
24	1	Motor 1 hp	No aplica
25	1	Cadena 40	Acero
26	1	Banda trasportadora de salida	No aplica

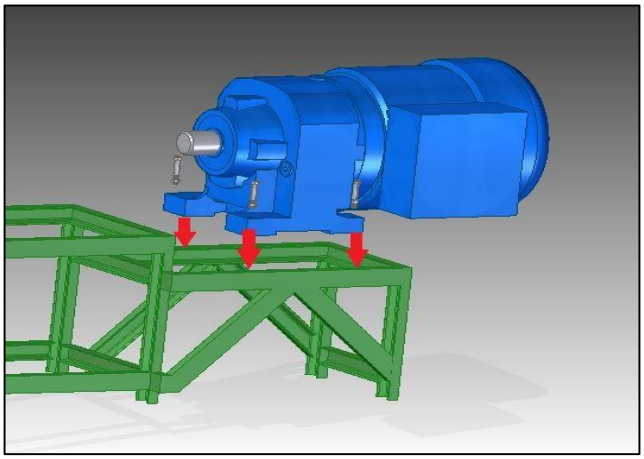
- Instalación de Cuchillas sobre el eje. Debe colocarse los extremos del eje sobre una estructura donde facilite su montaje, donde se irán encajando los separadores y las cuchillas ubicándolas a 45° para que queden de forma descendente, deben quedar a tope para luego así proceder su montaje en el bloque de trituración.

Imagen 50. Eje trituración



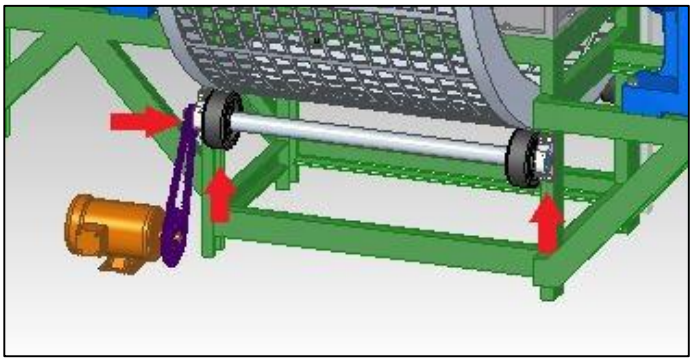
- Ubicación de los motores. Los motores deben ser colocados en los extremos de la estructura, que debido a su peso tendrán que ser movilizados por un polipasto o grúa portátil, que facilite que el motor queda en una correcta posición, debido a que este va a estar acoplado con el eje de trituración, luego debe introducirse los tornillos que ensamblan el motor con la estructura ajustándolos para dar fijación.

Imagen 51. Motor de máquina trituradora



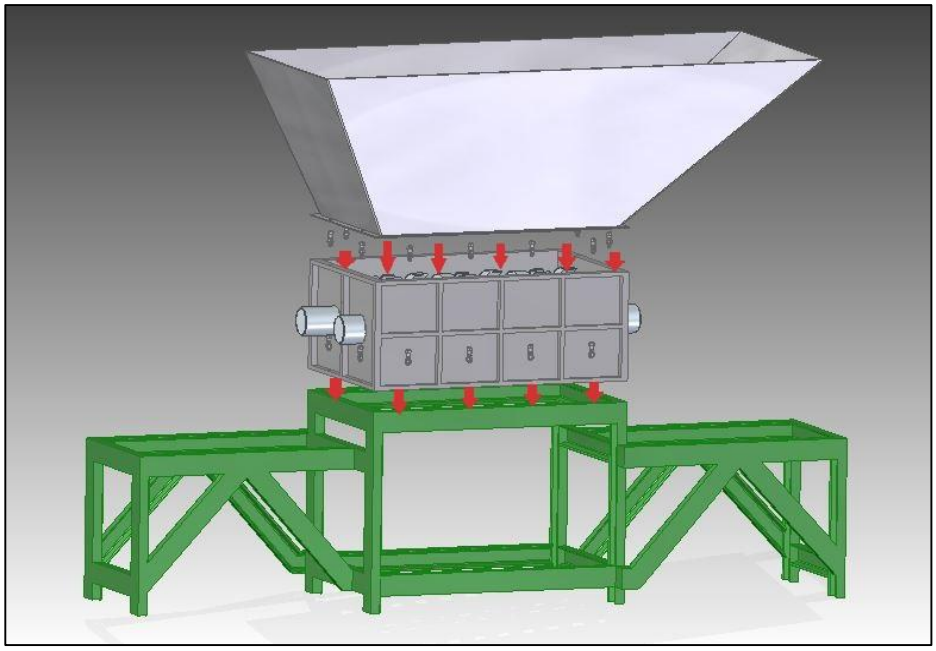
- Fijación de eje de recirculador. El eje debe ser ensamblado junto con las chumaceras y las ruedas de poliuretano, para que estas queden en una correcta posición y el motor del recirculador pueda ser ubicado a uno de los extremos, luego deben sujetarse mediante los tornillos correspondientes cabe aclarar que deben tener igual distancia en ambos lados de la estructura ya que esto permite que el recirculador gira de forme correcta.

Imagen 52. Eje del recirculador



- Fijación de tolva y bloque de trituración. Se debe ubicar el bloque de trituración sobre la estructura, para que así este pueda ser asegurado mediante los tornillos correspondientes, colocando placa por placa. Terminado esto se instala la tolva, mediante las pestañas que esta posee, se asegura a la parte superior del bloque como se muestra, debe ser ubicado anteriormente dentro el bloque el eje del triturador para así poder asegurarlo mediante las chumaceras de cuatro bridas.

Imagen 53. Tolva y bloque de trituración



8. ESTUDIO AMBIENTAL

El estudio ambiental es parte fundamental para la fabricación de un sistema primario en el proceso de trituración de llantas usadas desalambradas, ya que determina los impactos potenciales que se pueden llegar a generar en el medio ambiente; este análisis es de vital importancia dado que, en la actualidad, la humanidad está preocupada en proteger y mitigar los daños que se puedan generar.

Este estudio busca identificar y aminorar los impactos ambientales en el proceso de fabricación, montaje y operación de la trituración de llantas para que no vayan a tener consecuencias graves e irreversibles.

8.1 IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Se tiene en cuenta la metodología de evaluación de impactos, donde se tiene claridad de cuáles son los riesgos con el fin de que se reduzcan y se puedan controlar, este método se basa en realizar una evaluación y con base en eso determinar la calificación para cada criterio de manera subjetiva, entregando como resultado una identificación de los impactos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente.

Entre los factores ambientales se definen las características y condiciones del medio ambiente que son susceptibles al impacto ambiental, son consecuencias, cambios o alteraciones al medio estos se dividen según su naturaleza como los son abióticos, biótico y antrópico. Con base en los resultados obtenidos en la matriz de impactos ambientales se deben tomar las correspondientes acciones, como se muestra en el siguiente Cuadro 22.

Cuadro 22. Calificación impactos ambientales

Valoración	Calificación	Acción
Muy significativos	10-12	Realizar acciones correctivas, tanto como suspender su actividad hasta se haya solucionado le emisión del impacto.
Significativos	7-9	Establecer métodos y programas para realizar mejoras y reducir los impactos ambientales de forma permanente.
No significativos	4-6	Mantener las medidas y controles que estén implementadas, ya que la actividad no está generado impacto significativo.

Para la fabricación de la máquina primero deben ser identificadas las operaciones que van hacer parte de la construcción de la máquina y de los componentes que van hacer fabricados. Como se muestra en el siguiente Cuadro 23 donde se relacionan las actividades, los aspectos ambientales y el impacto ambiental que estas generan.

Cuadro 23. Matriz de aspectos e impactos ambientales del proyecto

Procesos	Actividades	Aspecto ambiental	Imp. Ambiental
Corte	Lámina para fabricación de la tolva. Perfil en C, cuadrado y L, para la fabricación de la estructura de la máquina, la banda transportadora y el recirculador respectivamente.	Generación de residuos sólidos. Ruido	Contaminación del suelo
Soldadura	De la estructura, la tolva del recirculador y su jaula.	Generación de gases y humos y generación de material partículado.	Contaminación del aire
Mecanizado	De los ejes de trituración, cuchillas, separadores, ejes de recirculador	Desprendimiento de partículas metálicas y polvo en suspensión. Consumo de energía. Ruido	Contaminación de aire y el suelo Agotamiento del recurso natural.
Moldeo	Placas del bloque de trituración en fundición gris	Generación de gases y de partículas de azufre. Generación de Residuos sólidos.	Contaminación del aire y el suelo
Montaje	Instalación del sistema del mecánico y eléctrico	Consumo de energía Generación de residuos sólidos como cartón plástico y papel.	Agotamiento del recurso natural. Contaminación del suelo
Operación	Operación de la maquina	Generación de residuos de material triturado Consumo de energía Ruido	Agotamiento del recurso natural. Contaminación del suelo

8.2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Mediante la calificación del impacto ambiental, se busca realizar un conjunto de acciones que puedan dar control, con el objetivo de mitigar los daños y tengan impactos positivos al entorno. Para estos se seleccionan unos criterios los cuales tendrán relación con los diferentes impactos que se generen durante las actividades en el proceso de fabricación, instalación y operación de la máquina.

Cuadro 24. Criterios de selección

Criterio	Descripción	Puntuación	Calificación
Frecuencia del impacto	Es la cantidad de veces que se genera la afectación al medio ambiente.	1	Ocasional
		2	Intermitente
		3	Permanente
Magnitud del impacto	Es el cual limita la extensión o el alcance que tiene este impacto.	1	Baja
		2	Media
		3	Alta
Duración	Es el tiempo que el impacto perdura en el medio	1	Baja
		2	Media
		3	Alta
Probabilidad	Es la posibilidad de que ocurra el daño al medio.	1	Baja
		2	Media
		3	Alta

Con los criterios mencionados anteriormente se realiza la evaluación del impacto ambiental como se muestra en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Evaluación de impacto ambiental

Impacto Ambiental	Criterio				Total	Grado de significancia	Control y programa ambiental
	1	2	3	4			
Contaminación del suelo	1	1	1	2	5	No significativo	Contar con un plan de reciclaje teniendo en cuenta el tipo de residuo que se genere y evitar vertimientos de residuos directamente al suelo.
Contaminación del aire	2	2	3	2	9	Significativo	Evitar ampliar los tiempos de uso de la máquina de soldadura para evitar generar gases excesivamente. Contar con una ventilación adecuada en el sitio de trabajo.
Agotamiento del recurso natural	2	1	1	2	6	No significativo	Contar con áreas iluminadas por energía solar, realizar control del consumo de energía eléctrica.

Como se muestra en el Cuadro 25 se puede observar que los daños ambientales que se generan en proceso de fabricación, instalación y operación de la máquina no generan deterioros irreversibles en el entorno, de igual manera teniendo en cuenta el control y el programa ambiental se pueden llegar a minimizar estos impactos.

9. EVALUACIÓN FINANCIERA

El presente capítulo establece el presupuesto de fabricación del diseño. Para el desarrollo del proyecto se tiene en cuenta cada uno de los costos en que incurrirá cada fase de fabricación, así mismo determinando el margen de utilidad y el precio de venta. Se realiza un análisis comparativo con la maquinaria existente en el mercado que cumple con la misma función dentro del proceso de trituración.

Actualmente se están presentando problemas ambientales debido a la falta de soluciones para la correcta disposición final de las llantas usadas, este problema radica en el momento que cumplen con su vida útil no pueden ser reencauchados o reutilizados, no obstante, se presenta una solución y es la trituración de estos, permitiendo reciclar y reutilizar los diferentes materiales que los componen, obteniendo el GCR (granulado de caucho reciclado)

El mercado ofrece la posibilidad de la adquisición de la máquina trituradora; cada una con diferentes características y precios las cuales se analizan a lo largo del capítulo. Las compañías que resaltan en este medio son: Gercons (Colombia), Forrec (España), Fragmaq (Brasil), Suny Group (China), Chengyue (China). En Colombia existen 5 empresas que destacan en los procesos de trituración de llantas para la obtención de GCR, entre estas se encuentran: Furecade, Grupo renova, Mundo limpio, Occidental de cauchos y Reciclar.

9.1 DETERMINACIÓN DE COSTOS DE FABRICACIÓN

Se realiza el análisis de los costes que se generan a lo largo del proyecto, se contemplan los costos de ingeniería y diseño, los costos de materiales y los costos de montaje y fabricación; y por último se determina el margen de utilidad y así con base en lo anterior halla el precio de venta de la máquina.

- Costos de ingeniería y diseño del proyecto. En la Tabla 31 se presentan los costos que incurren en el diseño.

Tabla 31. Costos de ingeniería

Ítems	U/d	$/unidad	Cantidad	Total
Talento humano				
Ingenieros (2)	Horas	$ 7.500	800	$ 12.000.000
Gastos Maquinaria y Equipo				
Computadora	Horas	$ 500	800	$ 400.000
Software NX 10	Licencia	$ 199.000	1	$ 199.000
Fungibles				
Papel	Resma	$ 11.000	4	$ 44.000
Tinta	Cartucho	$ 45.000	3	$ 135.000
Otros gastos				
Transportes	Día	$ 4.000	300	$ 1.200.000
Costo total del proyecto				$ 13.978.000

- Costos de materiales para la construcción maquinaria. A continuación se presenta en la Tabla 32 la lista de materiales con la cantidad, valor unitario y valor total. Las cotizaciones correspondientes se encuentran en el Anexo I.

Tabla 32. Costos de materiales

Elemento	Unidad	Cantidad	Valor	Valor total
Ruedas de poliuretano	Und.	4	$18.000	$72.000
Eje del recirculador acero 1045	Und.	2	$350.000	$700.000
Chumacera de pedestal	Und.	4	$12.000	$48.000
Tornillos Chumacera de pedestal	Und.	8	$600	$4.800
Cadena ANSI 40 Sencilla	Und.	1	$59.000	$59.000
Catarinas	Und.	2	$79.000	$158.000
Motor de 1Hp	Und.	1	$450.000	$450.000
Malla con huecos de 50x50 y 6m x 1m	Mts^2.	6	$12.000	$72.000
Perfil angular de 120mm x 50mm x 5mm	Mts.	12	$12.600	$151.200
Motorreductores 16 KW	Und.	2	$5.500.000	$11.000.000
Tornillos 5/8 de por 4 ¼ de longitud	Und.	8	$1.900	$15.200
Acople de cadena	Und.	2	$580.000	$1.160.000
Placas de Fundición gris de 651mm x 400mm	Und.	2	$170.000	$340.000
Placas de Fundición gris de 1023mm x400mm	Und.	2	$210.000	$420.000
Ejes hexagonales Acero 4140	Und.	2	$650.000	$1.300.000
Cuchillas	Und.	19	$290.000	$5.510.000
Separadores	Und.	19	$70.000	$1.330.000
Chumaceras 4 bridas de rodillos	Und.	4	$500.000	$2.000.000
Tornillos Bloque 1/2 de por 1 ¾ longitud	Und.	12	$600	$7.200
Tornillos chumacera 5/8 por 2 ½ de longitud	Und.	16	$1.900	$30.400
Lamina de Acero 4mm espesor	Mts^2.	6	$10.500	$63.000
Tornillos Tolva 1/2 de por 1 ¼ de longitud	Und.	12	$600	$7.200
Perfil en C de 3 pulgas	Mts.	17,5	$12.800	$224.000
Perfil Cuadrado hueco 1 pulgada	Mts.	9,5	$11.500	$109.250
Banda transportadora de 2500 mm x 800 mm	Und.	1	$1.850.000	$1.850.000
Total				$27.081.250

- Costos de montaje y fabricación. Se determina las horas/hombre necesarias en cada proceso de montaje y fabricación de la máquina.

Tabla 33. Costos de montaje

Concepto	Valor
Soldadura	$ 760.000
Dobladora	$ 225.000
Taladro	$ 115.000
Montaje	$ 700.000
Costo de servicios	$ 320.000
Total	$ 2.120.000

- Análisis de costos. En la Tabla 34 se presenta el costo total de inversión, con base en los costos anteriores.

Tabla 34. Costo total de la máquina

Costos	Valor total
Costo de ingeniería y diseño	$13.978.000
Costos de materiales	$27.081.250
Costos de montaje y fabricación	$2.120.000
Subtotal	$43.179.250
Imprevistos (4%)	$1.727.170
Total	$44.906.420

- Margen de utilidad. Este representa el porcentaje de ganancia esperado, así mismo se determina el precio de venta.

$$Margen\ de\ utilidad = Costos\ de\ fabricacion\ \times \%\ de\ utilidad$$

$$Margen\ de\ utilidad = \$\ 45.925.289\ \times 30\%$$

$$Margen\ de\ utilidad = \$13.471.926$$

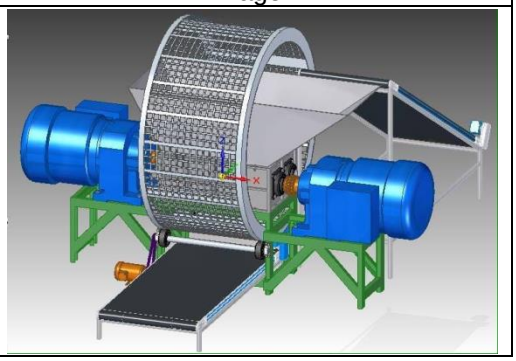
$$Precio\ de\ venta = \$\ 44.906.420 + \$\ 13.471.926 = \$\ 58.378.346$$

Se determina que el precio de venta de la trituradora de llantas desalambradas tiene un costo de $58.378.346.

9.2 COMPARACIÓN MAQUINAS DEL MERCADO Y DISEÑO DEL PROYECTO

Se realiza un análisis comparativo entre el diseño propuesto en el proyecto y la maquinaria existente en el mercado que cumple la misma función dentro del proceso de trituración, se relacionan las características básicas como capacidad, potencia, sistema de alimentación y recirculación, precio, entre otras. En el Cuadro 26 de muestra la ficha técnica del diseño del proyecto y en el Cuadro 27, Cuadro 28 y Cuadro 29 la competencia.

Cuadro 26. Diseño propuesto en el proyecto

Características		Imagen
Motor	16 KW x 2	
Rotación	10 rpm	
Nº de Cuchillas	19	
Capacidad	1 ton/h	
Área corte mm	950 x 580	
Dimensiones mts	3 x 2,7 x 2,5	
Aplicaciones	Neumáticos	
Precio	$ 58.378.346	

Cuadro 27. Máquina A

Características		Imagen
Motor	7,5 KW	
Rotación	13 rpm	
Nº de Cuchillas	15	
Capacidad	200 kg/h	
Área corte mm	300 x 470	
Dimensiones mts	1,50 x 1,30 x 1,85	
Aplicaciones	Neumáticos	
Precio	$ 69.696.746	

Fuente: Máquina trituradora, En línea:<http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-552626567-trituradora-doble-eje-para-llantas-y-plasticos-voluminosos-_JM>

En el Cuadro 27, se puede observar que la máquina A solo cuenta con un motor de 7,5 KW, lo que entrega una capacidad final al usuario de 200 Kg/h de llanta triturada; Así mismo no cuenta con un sistema de recirculación ni de ingreso del material, lo cual genera un costo adicional ya que el operario debe realizar esta tarea de manera manual. El costo de la máquina más impuestos de importación tiene un valor de $ 69.696.746.

Cuadro 28. Máquina B

Características		Imagen
Motor	37 KW x 2	
Rotación	11 rpm	
Nº de Cuchillas	30	
Capacidad	1,5 ton/h	
Área corte mm	1210 x 740	
Dimensiones mts	3,4 x 2 x 2,3	
Aplicaciones	Neumáticos	
Precio	$ 99.852.071	

Fuente: Máquina trituradora, En línea: <https://spanish.alibaba.com/product-gs/used-tire-shredder-machine-for-sale-tire-shredding-machine-60410163343.html?s=p>

La máquina B como se observa en el Cuadro 28, cuenta con una potencia de 37 KW en cada uno de sus motores, generando una rotación de los ejes de 11rpm, con capacidad de 1,5 ton/h; de igual manera no cuenta con un sistema de recirculación ni de ingreso del material. Dado que los motores poseen una potencia mayor, generan un sobre costo a la producción, sin compensar los volúmenes de material triturado, dado que solo genera 500Kg más que el diseño propuesto. Así mismo esta máquina tiene un valor en el mercado de $ 99.852.071 donde están incluidos los impuestos de importación.

Cuadro 29. Máquina C

Características		Imagen
Motor	22 KW x 2	
Rotación	15 rpm	
Nº de Cuchillas	20	
Capacidad	1 ton/h	
Área corte mm	1350 x 930	
Dimensiones mts	3,8 x 1,2 x 2,1	
Aplicaciones	Neumáticos	
Precio	$ 79.881.657	

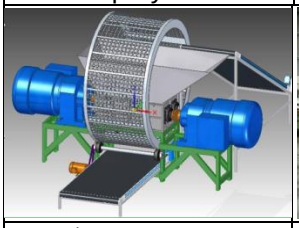
Fuente: Máquina trituradora, en línea: <https://spanish.alibaba.com/product-gs/used-tire-shredder-scrap-metal-shredder-60066058381.HTML>

Como se muestra en el Cuadro 29, la máquina C cuenta con dos motores de 22KW cada uno, generando una rotación de 15 rpm. Esta máquina es la que tiene mayor aproximación al diseño propuesto dado que tiene una capacidad de 1ton/h, de igual manera el triturado final del material es de 50mm, La desventaja de este sistema de trituración es que no cuanta con un mecanismo de recirculación ni de alimentación de las llantas al área de corte. Así mismo al ser una máquina importada los costos de instalación, mantenimiento y sus repuestos son superiores a las del diseño propuesto, dado que es producto nacional. El valor de esta es de $ 79.881.657 incluidos impuestos de importación.

9.3 ANÁLISIS COMPARATIVO

Se realiza el análisis comparativo en el Cuadro 30, teniendo como base el diseño propuesto en el proyecto, resaltando el valor del precio de la maquinaria.

Cuadro 30. Cuadro comparativo de las maquinas trituradoras de llantas

Diseño propuesto en el proyecto	Máquina A	Máquina B	Máquina C
			
$ 58.378.346	$ 69.696.746	$ 99.852.071	$ 79.881.657

Se determina que el diseño propuesto posee características más competitivas para el mercado, tales como su sistema de alimentación y realimentación mecánico lo que favorece los costos de producción, además su potencia y capacidad de producción de una tonelada/hora. Así mismo se ofrece a un precio de $ 58.378.346 siendo asequible para el mercado local.

Actualmente el proceso de trituración se realiza una parte manual y una parte mecánica siendo necesarios dos empleados, con el diseño propuesto se reduce la necesidad de 2 personas a sola una, generando una reducción de costos anuales aproximadamente de $13.576.262 como se muestra en la Tabla 35.

Tabla 35. Costo anual de un operario

Concepto	Valor
Salario Mínimo Legal Mensual para el 2016	$ 689.455
Contribución al sistema general de pensiones mensual	$ 82.735
Contribución al sistema general de seguridad social en salud mensual	$ 58.604
Contribución al sistema general de riesgos profesionales mensual	$ 3.585
Subsidio de Transporte para el año 2016 mensual	$ 77.700
Parafiscales mensual	$ 62.051
Total Anual Prima de Servicios	$ 767.155
Total Anual Cesantías + Intereses de cesantías	$ 774.827
Vacaciones remuneradas	$ 344.728
Total Anual	**$ 13.576.262**
Total Mensual	$ 1.131.355
Total Diario	$ 37.712
Total Hora	$ 4.714

De igual manera este diseño ofrece como ventaja que al ser una máquina nacional reduce los costos en instalación, mantenimiento y obtención de repuestos, así mismo genera un proceso constante y gracias a su sistema de recirculación minimiza residuos y emisiones al medio ambiente, ofrece mayor seguridad al operario y por ultimo mejora la calidad del producto final.

10. CONCLUSIONES

- El desarrollo de la máquina trituradora de llantas usadas desalambradas, optimiza la eficiencia del proceso, aumentando los niveles de producción dado que genera una tonelada por hora. Así mismo cuenta con un valor agregado debido a su innovación de diseño, precio, capacidad de trituración y potencia.

- La fabricación de la maquina es totalmente viable puesto que sus características hacen que sea muy competitiva frente al mercado actual, ya que como se comprobó en el capítulo financiero, es de menor costo que la importación de otra máquina con similares características.

- La máquina diseñada elimina el proceso actual de realimentación manual del triturado, además de que controla que se genere un desperdicio de residuos. Reduciendo así tiempo y recursos humanos, lo que se refleja en un ahorro en los costos de producción aproximado de 13´500.000 anuales.

- La evaluación ambiental del proyecto demostró que, mediante el diseño, fabricación, y operación de la máquina no se genera un impacto ambiental importante, por el contrario, la implementación de esta, sería un aporte para la disminución de las dificultades ambientales que atraviesa actualmente el país por el desecho de llantas usadas.

- Dado que el proceso de reciclaje de llantas consta de varias fases, se genera un diseño innovador de la máquina trituración que permita seguir con las demás fases sin necesidad de generar rediseños.

11. RECOMENDACIONES

- Generar un sistema de producción en línea con la inclusión de las demás maquinas del proceso de trituración (destalonadora, pulverizadora, granuladora) para así obtener un proceso completo de reciclaje de llantas, logrando obtener el GCR.

- Se debe realizar el diseño de la banda transportadora de salida del material con base en la granuladora dado que se debe considerar no solo las dimensiones de esta sino la forma de alimentación y así poder empalmar el proceso completo de trituración de llantas.

BIBLIOGRAFÍA

DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE MEDIO AMBIENTE. Diagnóstico ambiental sobre el manejo de llantas usadas en Bogotá. [En línea]. Disponible en <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>.

EL ESPECTADOR. [En línea]. Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/autoridades-fin-toman-riendas-de-llantas-usadas-articulo-538318>.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF SINTHETIC RUBBER PREODUCERS INC. [En línea]. Disponible en: <www.isrp.com>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 1486 documentación, presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá. ICONTEC. 2008. 36 páginas.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. ICONTEC. Compendio de dibujo técnico Icontec. Bogotá. ICONTEC. 2000. 354 páginas.

MAURY RAMÍREZ. Heriberto Henrique. Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados un enfoque metodológico y tecnológico. Editorial Barranquilla Uninorte. 2009. 298 páginas.

MOTT. Robert L. Resistencia de materiales. Quinta edición. México. Editorial Pearson educación, S.A. 2009. 776 páginas.

MOTT. Robert L. Diseño de elementos de máquinas. Cuarta edición. México. Editorial Pearson educación, S.A. 2006. 872 páginas.

MICHELIN. Guía básica de llantas. [En línea]. Disponible en: <http://www.michelinman.com/US/en/homepage.html >.

NORTON. Robert. Diseño de máquinas. Cuarta edición. México. Prentice Hall, 1992, 1056p.

RCN Radio. [En línea]. Disponible en: <http://www.rcnradio.com/noticias/donde-van-parar-las-llantas-que-recoge-el-dis trito-en-operativos-190614>.

-----. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC-5613. Sexta actualización. Bogotá D.C. El instituto, 2008. 36 páginas.

SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica. Octava edición. México. Editorial McGraw-Hill. 2008. 1059 páginas.

ANEXOS

ANEXO A.
MOTOR DE RECIRCULADOR

Detalles:

Código: C182
Marca: Marathon Electric
Garantía comercial/gobierno: 1 año(s)
Garantía uso particular: 1 año(s)

Especificaciones:

- HP: 1
- RPM @ 60 Hz: 1725
- Eficiencia a carga completa: 0%
- Voltajes: 115/208-230
- Amps a carga completa: 13.6/6.6-6.8
- Factor de servicio: 1.15
- Ciclo: Continuo
- Hertz: 60
- Fase: Monofásico
- Marco: 56
- Encerraje: DP
- Montaje: WB
- Tamaño de balineras: 6203
- Insulación: B
- Rotación: Contra la manecilla del reloj
- Orientación: Vertical o Horizontal
- Tipo de arranque: Switch y Mecánico
- Temperatura ambiente: 40 C
- Código KVA: K
- Listado CSA

ANEXO B.
FICHA TÉCNICA DE LOS ACEROS SELECCIONADOS

ACERO AISI-SAE 4140 (UNS G41400)

1. Descripción: es un acero medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto. Este acero puede ser nitrurado para darle mayor resistencia a la abrasión. Es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico

.

2. Normas involucradas: ASTM 322

3. Propiedades mecánicas:
Dureza 275 - 320 HB (29 – 34 HRc)
Esfuerzo a la fluencia: 414 MPa (100 KSI)
Esfuerzo máximo: 900 - 1050 MPa (130 - 152 KSI)
Elongación mínima 12%
Reducción de área mínima 50%

4. Propiedades físicas: Densidad 7.85 g/cm^3 (0.284 lb/in^3)

5. Propiedades químicas:
0.38 - 0.43% C
0.75 – 1.00 % Mn
0.80 – 1.10 % Cr
0.15 – 0.25 % Mo
0.15 – 0.35 % Si
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: se usa para piñones pequeños, tijeras, tornillo de alta resistencia, espárragos, guías, seguidores de leva, ejes reductores, cinceles.

7. Tratamientos térmicos: se austeniza a temperatura entre 830 - 850 °C y se da temple en aceite. El revenido se da por dos horas a 200°C para obtener dureza de 57 HRc y si se da a 315°C la dureza será de 50 HRc. Para recocido se calienta entre 680 – 720°C con dos horas de mantenimiento, luego se enfría a 15°C por hora hasta 600°C y se termina enfriando al aire tranquilo. Para el alivio de tensiones se calienta entre 450 – 650°C y se mantiene entre ½ y 2 horas. Se enfría en el horno hasta 450°C y luego se deja enfriar al aire tranquilo.

NOTA:
Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ACERO MAQUINARIA -AISI 4140

ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

1. Descripción: es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

2. Normas involucradas: ASTM A108

3. Propiedades mecánicas:
Dureza 163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
Elongación 16% (en 50 mm)
Reducción de área (40%)
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.87 g/cm^3 (0.284 lb/in^3)

5. Propiedades químicas:
0.43 – 0.50 % C
0.60 – 0.90 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

7. Tratamientos térmicos: se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

NOTA:
Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ACERO MAQUINARIA -AISI 1045

ANEXO C.
FICHA TÉCNICA DE CHUCHILLAS

SKS
INDUSTRIAL CUTTER SOLUTIONS
knifedept@machineknifemfg.com
0086（025）-57265888

Reciclaje

SKS es un experto en el procesamiento industry.Furthermore Plástico, caucho, hemos estado enviando cuchillos granuladores de D2 (AISI) de manera permanente a los Estados Unidos para el Cumberland, Herbold, rápido y alguna otra brands.While están en una nivel muy competitivo, nuestros cuchillos realizan fuera de los cuchillos de otros manufactuers acuerdo con nuestros clientes.

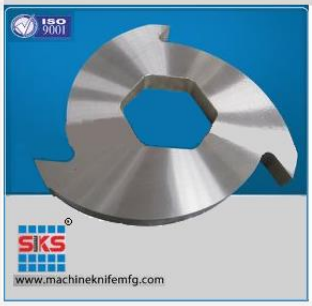
Shredder Cuchillos

cuchilla de la trituradora se utiliza principalmente en los procesos de reciclado para la trituración y trituración de metales, tales como chatarra electrónica, plástico reciclado y trozos de caucho, neumáticos, PS, PP, PA, PE, PVC, grandes tubos de plástico, residuos de papel y película, y el material de lámina.

Dependiendo del tipo de máquina y la trituración de los tipos de materiales triturados, cuchilla de la trituradora tiene diferentes formas:

- Eje simple cuchillo Shredder incluye contador de cuchillos y cuchillas del rotor que tienen plana, curvada o cóncava, estilos de superficie elevada.

- eje doble o multi-eje Shredder Cuchillos con varias mordazas están todos disponibles. Mientras que la oferta de atornillado de tipos, los tipos de rotor triturador son una de nuestras piezas únicas.



Datos Básicos

Lugar del origen:	China (Continental)	Marca:	SKS
Dureza:	HRC 40 ~ 68	Precisión:	Dentro de 0.003mm
Acabado:	Personalizar (estaño, A1TiN, TiCN TiA1N..	Material:	D2/SS/H13/HSS/SLD/SKH51/acero de ...
Número de Modelo:	SCK		
Nitidez:	18N 30N ~		
Aplicación:	Reciclaje		

ANEXO D.
SELECCIÓN DE MOTORREDUCTOR

Motorreductores de ejes coaxiales

Motorreductores de hasta 200 kW

Datos para selección y pedidos (continuación)

Potencia P_{motor} kW	Velocidad de salida n_2 (50 Hz) min^{-1}	n_2 (60 Hz) min^{-1}	Par de salida T_2 Nm	Factor de servicio f_S	Índice de reducción i_{tot}	Referencia	Código (n.° polos)	Peso *) kg
11,0 (50 Hz) 13,2 (60 Hz)	**E.88-LA160MB4**							
	596	**715**	176	2,4	2,45	**2KJ1004 - ■JP13 - ■■C1**		110
	699	**839**	150	2,8	2,09 ★	**2KJ1004 - ■JP13 - ■■B1**		110
	854	**1 025**	123	2,9	1,71 ★	**2KJ1004 - ■JP13 - ■■A1**		110
	E.68-LA160MB4							
	390	**468**	269	0,85	3,74 ★	**2KJ1003 - ■JP13 - ■■H1**		93
	423	**508**	248	0,97	3,45	**2KJ1003 - ■JP13 - ■■G1**		93
	472	**566**	222	1,1	3,09 ★	**2KJ1003 - ■JP13 - ■■F1**		93
	512	**614**	205	1,2	2,85	**2KJ1003 - ■JP13 - ■■E1**		93
	1 035	**1 242**	101	1,5	1,41 ★	**2KJ1003 - ■JP13 - ■■A1**		93
15 (50 Hz) 18 (60 Hz)	**D.188-LA160L4**							
	6,0	**7,2**	23 923	0,84	243,82	**2KJ1211 - ■JR13 - ■■N1**		688
	6,6	**7,9**	21 602	0,93	220,17	**2KJ1211 - ■JR13 - ■■M1**		688
	D.188-LA160L4							
	7,1	**8,5**	20 245	0,99	206,34	**2KJ1211 - ■JR13 - ■■L1**		688
	8,2	**9,8**	17 389	1,2	177,23 ★	**2KJ1211 - ■JR13 - ■■K1**		688
	9,5	**11,4**	15 024	1,3	153,12	**2KJ1211 - ■JR13 - ■■J1**		688
	10,8	**13,0**	13 261	1,5	135,16	**2KJ1211 - ■JR13 - ■■H1**		688
	12,0	**14,4**	11 938	1,7	121,67 ★	**2KJ1211 - ■JR13 - ■■G1**		688
	14,5	**17,4**	9 906	2,0	100,96 ★	**2KJ1211 - ■JR13 - ■■F1**		688
	15,9	**19,1**	9 033	2,2	92,06	**2KJ1211 - ■JR13 - ■■E1**		688
	D.168-LA160L4							
	8,2	**9,8**	17 502	0,8	178,38 ★	**2KJ1210 - ■JR13 - ■■L1**		543
	8,9	**10,7**	16 064	0,87	163,72	**2KJ1210 - ■JR13 - ■■K1**		543
	10,3	**12,4**	13 862	1,0	141,28	**2KJ1210 - ■JR13 - ■■J1**		543
	11,8	**14,2**	12 126	1,2	123,59	**2KJ1210 - ■JR13 - ■■H1**		543
	13,6	**16,3**	10 546	1,3	107,48	**2KJ1210 - ■JR13 - ■■G1**		543
	15,5	**18,6**	9 252	1,5	94,30 ★	**2KJ1210 - ■JR13 - ■■F1**		543
	18,3	**22**	7 825	1,8	79,75 ★	**2KJ1210 - ■JR13 - ■■E1**		543
	20	**24**	7 100	2,0	72,36	**2KJ1210 - ■JR13 - ■■D1**		543
	23	**28**	6 189	2,3	63,08 ★	**2KJ1210 - ■JR13 - ■■C1**		543
	Z.168-LA160L4							
	31	**37**	4 573	2,2	46,61	**2KJ1110 - ■JR13 - ■■V1**		524
	D.148-LA160L4							
	15,7	**18,8**	9 116	0,88	92,91	**2KJ1208 - ■JR13 - ■■G1**		372
	18	**22**	7 951	1,0	81,04 ★	**2KJ1208 - ■JR13 - ■■F1**		372
	21	**25**	6 805	1,2	69,36 ★	**2KJ1208 - ■JR13 - ■■E1**		372
	24	**29**	6 095	1,3	62,12	**2KJ1208 - ■JR13 - ■■D1**		372
	Z.148-LA160L4							
	27	**32**	5 322	1,5	54,24 ★	**2KJ1108 - ■JR13 - ■■A2**		360
	29	**35**	4 978	1,6	50,74	**2KJ1108 - ■JR13 - ■■X1**		360
	32	**38**	4 426	1,8	45,11 ★	**2KJ1108 - ■JR13 - ■■W1**		360
	34	**41**	4 179	1,9	42,59	**2KJ1108 - ■JR13 - ■■V1**		360

★ Reducción preferente

Para versiones de eje, ver la página 2/117 — **1, 2 ó 9**

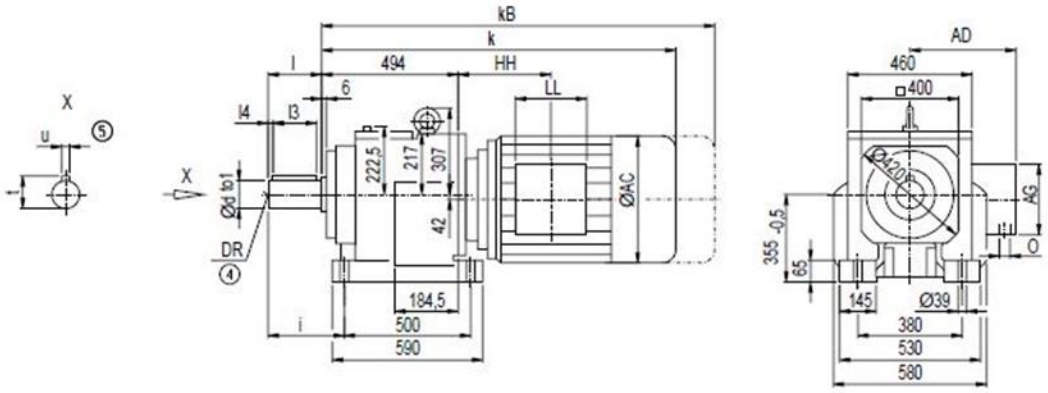
Para frecuencias y tensiones, ver la página 8/18 — **1 a 9**

Para formas de carcasa, ver la página 2/116 — **A, F, H ó R**

*) para forma constructiva B3

Reductores D/Z168 (dos/tres etapas), carcasa con patas

DZ011



d	to1	l	l4	l3	t	u	i	DR
100	m6	210	15	180	106	28	260	M24x50
120*)	m6	210	15	180	127	32	260	M24x50

*) Serie preferente

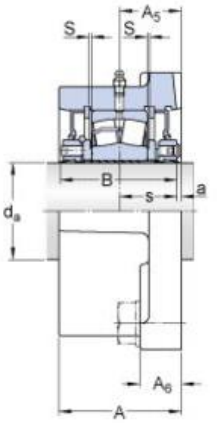
	Z168		D168						Z168	D168		Peso	
Motor	k	kB	k	kB	AC	AD	AG	LL	HH	HH	O	Z168	D168
LA132S	878,0	980,0	919,0	1 021,0	259,0	195,0	140	140	122,5	163,5	2xM32x1,5	491	508
LA132M	878,0	980,0	919,0	1 021,0	259,0	195,0	140	140	122,5	163,5	2xM32x1,5	491	508
LA132ZM	924,0	1 026,0	965,0	1 067,0	259,0	195,0	140	140	122,5	163,5	2xM32x1,5	500	517
LA160M	978,0	1 096,5	1 019,0	1 137,5	313,5	227,0	165	165	145,5	186,5	2xM40x1,5	524	543
LA160L	978,0	1 096,5	1 019,0	1 137,5	313,5	227,0	165	165	145,5	186,5	2xM40x1,5	524	543
LG180M	1 037,5	1 159,5	1 078,5	1 200,5	348,0	322,5	260	192	162,5	203,5	2xM40x1,5	620	639
LG180ZM	1 088,5	1 210,5	1 129,5	1 251,5	348,0	322,5	260	192	162,5	203,5	2xM40x1,5	650	669
LG180L	1 037,5	1 159,5	1 078,5	1 200,5	348,0	322,5	260	192	162,5	203,5	2xM40x1,5	620	639
LG180ZL	1 088,5	1 210,5	1 129,5	1 251,5	348,0	322,5	260	192	162,5	203,5	2xM40x1,5	650	669
LG200L	1 093,5	1 219,5	1 134,5	1 260,5	385,0	301,0	260	192	192,5	233,5	2xM50x1,5	700	719
LG225S	1 164,5	1 403,5	1 205,5	1 444,5	442,0	325,0	260	192	228,5	269,5	2xM50x1,5	772	792
LG225M	1 164,5	1 403,5	1 205,5	1 444,5	442,0	325,0	260	192	228,5	269,5	2xM50x1,5	760	780
LG225ZM	1 224,5	1 463,5	1 265,5	1 504,5	442,0	325,0	260	192	228,5	269,5	2xM50x1,5	818	838
LG250M	1 258,0	1 483,0	–	–	495,0	392,0	300	236	264,0	–	2xM63x1,5	862	–
LG250ZM	1 328,0	1 553,5	–	–	495,0	392,0	300	236	264,0	–	2xM63x1,5	965	–
K4-LGI280S	1 537,5	1 764,5	–	–	555,0	432,0	300	236	252,5	–	2xM63x1,5	991	–
K4-LGI280M	1 537,5	1 764,5	–	–	555,0	432,0	300	236	252,5	–	2xM63x1,5	1 097	–
K4-LGI280ZM	1 647,5	1 874,5	–	–	555,0	432,0	300	236	252,5	–	2xM63x1,5	1 185	–

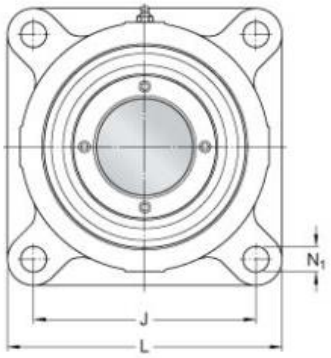
④ DIN 332 ⑤ Chaveta/chavetero DIN 6885

ANEXO E.
CHUMACERA DE 4 BRIDAS

FYE 4 N

Dimensions





d_a	101.6	mm
A	88.9	mm
A_5	46.831	mm
A_6	31.75	mm
a	5.556	mm
J	196.85	mm
L	247.65	mm
N_1	23.812	mm
s	41.275	mm
S	0.794	mm

Calculation data

Basic dynamic load rating C	426	kN
Limiting speed	2100	r/min

Mass

Mass bearing unit	30.89	kg

Mounting information

Attachment bolt diameter G	22.225	mm

ANEXO F.
CHUMACERA DE PEDESTAL

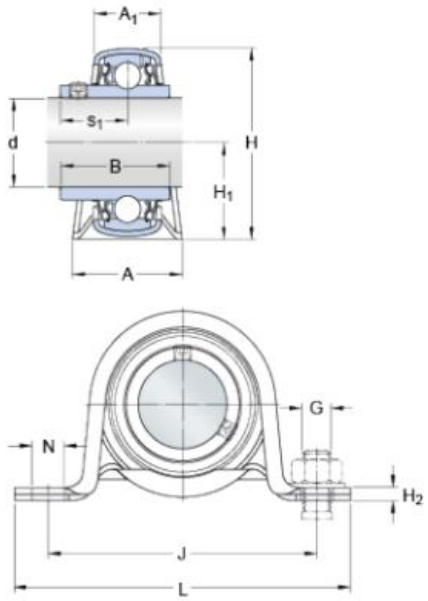
SKF

P 1. TR

No order designation, order individual appertaining products

Material			Pressed steel	

Dimensions



d			25.4	mm
A			32	mm
A_1			23	mm
B			34.1	mm
H			54	mm
H_1			28.4	mm
H_2			3.2	mm
J			86	mm
L			108	mm
N			11.2	mm
s_1			19.8	mm

Calculation data

Basic dynamic load rating	C		14	kN
Basic static load rating	C_0		7.8	kN
Fatigue load limit	P_u		0.335	kN
Permissible radial housing load		max.	1.8	kN
Limiting speed			4300	r/min
(with shaft tolerance h6)				

Mass

Mass of unit			0.29	kg

Mounting information

Hexagonal key size for grub screw	N		3.175	mm
Recommended tightening torque for grub screw			4	N·m
for attachment bolts, mm				
Recommended diameter for attachment bolts, inch	G		0.375	in

Appertaining products

Housing			P 52	
Bearing			YAR 205-100-2RF	

ANEXO G.
MOTOR DE BANDA TRANSPORTADORA

Motor Electrico Monofasico 1/4 Hp 4 Polos Uso General

MOTOR MONOFASICO 1/4 HP BAJA USO GENERAL
SIE0601

Características
Armazón: NEMA 56 a prueba de goteo.
Frecuencia: 60 Hz.
Aislamiento: Clase B.
Cojinetes: Rodamientos de bolas.
Horizontal con cuña
Protección: Protector térmico automático hasta 0.75 HP.
Servicio: Continuo.

HP 1/4
POLOS 4
VELOCIDAD NOMINAL R.P.M. 1750
ARMAZON 56
VOLTS 127
CORRIENTE (A) 5.4
FACTOR DE SERVICIO 1.6
PESO KG 7.4
LONGITUD 254 mm

ANEXO H.
SELECCIÓN DEL ACOPLE DE CADENA

ACOPLES FLEXIBLES PARA EJES TIPO DE CADENA

Los Acoples flexibles Intermec® tipo de cadena constan de dos piñones con dientes endurecidos y tallados especialmente para permitir buen desalineamiento angular y paralelo. Una cadena estándar doble, también endurecida, sirve de elemento de unión convirtiéndolo en un acople ideal para transmitir alto torque a medias y bajas velocidades. Provistos de carcaza de aluminio para lubricación con grasa fluida, ofrecen mayor resistencia y duración.

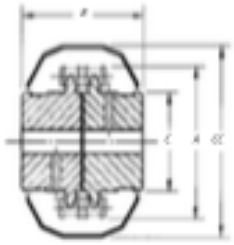


Fig. 1

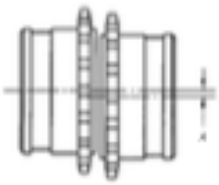


Fig. 2

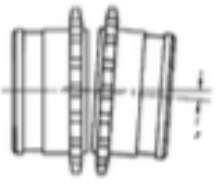


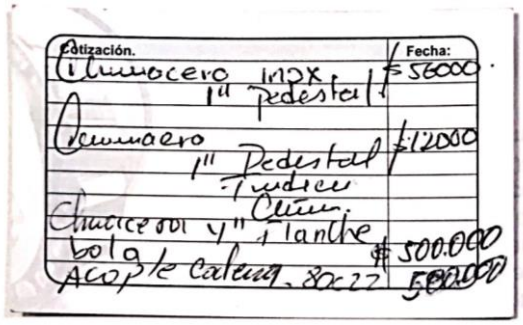
Fig. 3

Asegúrese de no exceder las RPM máximas de cada acople

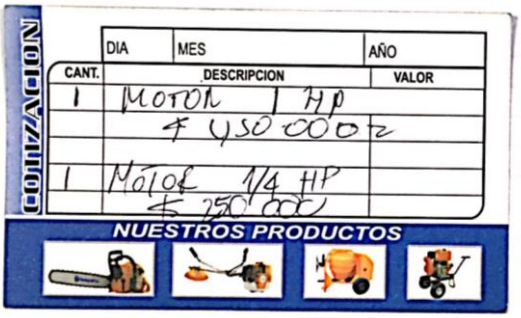
Referencia	Hueco máximo permisible mm	Dimensiones principales en milímetros [fig. 1]				Desalineamiento máximo permisible [figs. 2 y 3]		RPM máximas sin carcaza	RPM máximas con carcaza oleoactuante
		A	Con carcaza cc	B	C	Paralelo A mm	Angular B grados		
C35-16	31	63	73	56	43	0,20	1.5°	1200	4800
C40-16	41	84	95	70	58	0,27	2°	1000	4500
C50-16	43	95	112	100	83	0,30	2°	800	4000
C50-18	45	105	123	100	73	0,30	2°	800	3800
C60-18	57	127	142	125	88	0,35	2°	600	3000
C60-22	76	151	165	125	115	0,35	2°	500	2500
C80-18	80	168	186	140	115	0,40	2°	500	2000
C80-22	95	202	225	155	142	0,40	2°	400	1900
C100-20	110	232	275	176	160	0,65	2.5°	400	1800
C120-20	130	275	320	224	184	0,80	3°	300	1200
C160-20	190	375	440	360	286	0,80	3°	200	1000
C200-18	205	424	490	508	294	0,80	3°	200	800
C200-20	260	504	570	508	477	0,80	3°	100	800

ANEXO I.
COTIZACIONES

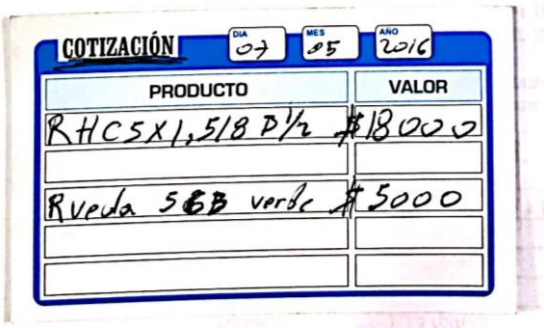
RODY TRANSMISIONES S.A.S
www.rodytransmisiones.com
Cra. 24 No. 12 - 01 Esquina Bogotá, D.C. * PBX: 57 (1) 351 0544
ventas@rodytransmisiones.com * comercial@rodytransimisiones.com


Cotización. Fecha:
Chumacero inox. 1" pedestal $56000
Chumacero 1" Pedestal Tudicu Chum. $12000
Chumacero 1" Flanche bola $500.000
Acople Catena 80c22 500.000

FERRETERIA LN
MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCION LA INDUSTRIA Y EL AGRO
WILLIAM CONTRERAS
Cel: 318 573 2731
comercial24@ferreterialn.com
Cra 25 No.13-96
Web: www.ferreterialn.com • Bogotá, D.C.
Calle 13 No.26-91
Cra. 27 No. 15-84


COTIZACION
DIA MES AÑO
CANT. DESCRIPCION VALOR
1 MOTOR 1 HP $ 450 000
1 MOTOR 1/4 HP $ 250 000
NUESTROS PRODUCTOS

www.laserla24.com
LASER LA 24 S.A.S
Jose E. Pulido
Gerente General
Cra. 24 No. 12-49
Pbx: +57 (1) 408 5406
+57 (1) 487 5425
Móvil: 300 324 9309
laserla24@hotmail.com
Bogotá - Colombia


COTIZACIÓN DIA 07 MES 05 AÑO 2016
PRODUCTO VALOR
RHC5X1,5/8 D1/2 $18000
Rueda 5GB verde $5000

Tornillos y Partes
La herramienta de grandes proyectos.

ventas@tornillosypartes.com | www.tornillosypartes.com.co | pvalmacen@tornillosypartes.com

Alexander Ariza Camacho | asesor comercial e industrial
TEL: 2377612 EXT: 112

PALOQUEMAO – COLOMBIA | Carrera 25 No. 13 -77
Pbx: 237 7612 – Tel.: 237 8705 – 237 8548 – Fax: 247 4035
Bogotá, D.C.

Cia. Ferretera de Anjeos y Mallas Ltda.

IMPORTADORES • DISTRIBUIDORES
• Alambre de Acero • Anjeo de Acero Inoxidable y Fibra de Vidrio
• Cable de Acero • Cartón Corrugado • Láminas Perforadas
• Mallas Expandidas Eslabonadas y Pre-onduladas

Yalé · Colmallas · Catalán

Calle 17 No. 25 - 21 • PBX: 360 2267 • CEL 312 365 3081 • TELS.: 201 9304 - 201 9518
E-mail: anjeosymallas@hotmail.com • Centro Comercial Paloquemao • Bogotá, D.C.
Visite nuestra tienda virtual • www.anjeosymallas.com.co •

Malla ondulado Cal. 10 H. 2"
Mt² $ 12.500 Neto
Fabricación 3-4 Día Hábil

EL SHADDAI
"Dios Todo Poderoso"

Venta de toda clase de Motores Electricos
Reductores y sus partes
Motobombas, Winches, Polipastos, Malacates
Bobinados Industriales

Atendidos por sus propietarios
"Si Dios es por Nosotros Quien Contra Nosotros"?

237 1475 • Cel: 317 894 9341 Celle 8 No. 24-20 Barrio Ricaurte Bogotá

COTIZACIÓN DIA MES AÑO

PRODUCTO	VALOR
1 motoreductor	$3'700.000
20 hp Siemens	
11 Rpm finales	

VENDEDOR

ANEXO J.
PLANOS DE LA MAQUINA