



PROHIBIDA SU COPIA



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA
TRITURADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO PARA LA FUNDACIÓN TRESOL EN
TUMACO - NARIÑO

WILMER ANDRES TARAPUES CUAICAL
JONNY FRANKLIN RUALES LUNA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SAN JUAN DE PASTO
2016



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA
TRITURADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO PARA LA FUNDACIÓN TRESOL EN
TUMACO - NARIÑO

WILMER ANDRES TARAPUES CUAICAL
JONNY FRANKLIN RUALES LUNA

Trabajo de grado requisito para optar el título de ingeniero mecánico

Asesor(es):
RENATO CAMILO PORTILLA OBANDO
Ingeniero Mecánico

Asesor Metodológico
PEDRO PABLO BURBANO
M, Sc; Ph.D.

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SAN JUAN DE PASTO
2016



NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Del Presidente Del Jurado

Firma Del Jurado

Firma Del Jurado

San Juan de Pasto, noviembre de 2016



Al terminar una de nuestras metas en la vida, damos gracias a Dios por darnos la capacidad y fortaleza para salir adelante, formarnos y mostrarnos que a pesar del camino difícil que eleguimos, con mucha humildad y responsabilidad hemos salido adelante.

A quienes estuvieron brindándonos un apoyo incondicional, como son nuestros Padres, por su esfuerzo de vernos salir a delante y progresar como personas de bien, también a docentes y comunidad en general de la corporación universitaria Autónoma de Nariño quien nos brinda conocimientos para formar profesionales que sobresalten en un campo exterior.

PROHIBIDA SU COPIA



CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. TÍTULO	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
2.3 JUSTIFICACIÓN	16
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. MARCO REFERENCIAL	21
4.1 MARCO CONTEXTUAL	21
4.2 MARCO LEGAL	23
4.3 MARCO CONCEPTUAL – TEÓRICO	24
5. DISEÑO DE ASPECTOS METODOLÓGICOS	30
5.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	30
5.2 ENFOQUE	30
5.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
5.4 MÉTODO	31
5.5 VARIABLES	31
5.6 DETERMINACIÓN DEL UNIVERSO INVESTIGATIVO	32
5.6.1 Determinación de la población	32
5.6.2 Determinación de la muestra	32
6. ELEMENTOS DE ADMINISTRACIÓN Y CONTROL	33
6.1 RECURSOS	33
6.1.1 Institucionales	33
6.1.2 Humanos	33
6.1.3 Técnicos	33
6.1.4 Financieros	33
6.2 PRESUPUESTO	34
6.3 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	35
7. CONCEPTO DE DISEÑO	36
7.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS USUARIOS	36
7.2 NECESIDADES INTERPRETADAS DE LOS USUARIOS	36
7.3 ANÁLISIS DEL PROCESO Y DEL PRODUCTO	37
7.4 ANÁLISIS FUNCIONAL	38
7.5 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	39
7.6 CRITERIOS DE EVALUACIÓN	40
7.7 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA PROPUESTA DE DISEO	42



7.8 BOCETO Y DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA	43
8. DISEÑO DE DETALLE	44
8.1 CÁLCULOS	44
8.1.1 Elementos normalizados	44
8.1.2 Resúmenes de diseño	45
8.1.3 Diámetro del cilindro	46
8.1.4 Selección de ajustes y tolerancias	77
8.2 PLANOS DE LA MÁQUINA	78
8.3 SIMULACIONES	78
8.4 MANUAL DE OPERACIÓN Y SERVICIO	82
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS	89
9.1 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA	89
9.2 METROLOGIA DE LA MÁQUINA	94
9.3 PUESTA DE OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO A LAS VARIABLES DE OPERACIÓN	95
9.4 EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERMIENTOS DE DISEÑO	97
10. CONCLUSIONES	98
11. RECOMENDACIONES	99
BIBLLIOGRAFIA	100
CIBERGRAFIA	102
ANEXOS	103

PROHIBIDA SU COPIA



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Residuos sólidos en el municipio de Tumaco	18
Tabla 2. Recursos humanos	33
Tabla 3. Presupusto	34
Tabla 4. Cronograma de actividades	35
Tabla 5. Requerimientos de diseño	39
Tabla 6. Evaluación por desempeño relativo	40
Tabla 7. Criterios de evaluación	41
Tabla 8. Matriz de selección	42
Tabla 9. Elementos normalizados	44
Tabla 10. Coeficiente para determinar el diámetro del rodillo	46
Tabla 11. Índice de Bond	47
Tabla 12. Consumo específico de energía	47
Tabla 13. Potencia en cada etapa	48
Tabla 14. Revolución específica de rodillos - 1 Etapa	49
Tabla 15. Revolución específica de rodillos - 2 Etapa	49
Tabla 16. Parámetros capacidad de trituración 1 – Etapa	50
Tabla 17. Parámetros capacidad de trituración 2 – Etapa	50
Tabla 18. Fuerza de compresión de cada botella	51
Tabla 19. Consideraciones selección de bandas en V	53
Tabla 20. Consideraciones selección de bandas en V	56
Tabla 21. Fuerzas en (A)	61
Tabla 22. Fuerzas en (E)	62
Tabla 23. Fuerzas en (C)	62
Tabla 24. Reacciones rodamientos	63
Tabla 25. Momento flector	64
Tabla 26. Material eje	64
Tabla 27. Diámetro eje	66
Tabla 28. Diámetros admisibles del eje	66
Tabla 29. Selección de rodamiento	67
Tabla 30. Cargas y momento en el tornillo	68
Tabla 31. Fuerza resultante y selección de tornillo diámetro	69
Tabla 32. Flujo volumétrico neto	70
Tabla 33. Parámetros de diseño de ciclón	71
Tabla 34. Distribución de tamaño de las partículas	72
Tabla 35. Característica ciclón de alta eficiencia	72
Tabla 36. Dimensiones ciclón	74
Tabla 37. Velocidad equivalente y de saltación	74
Tabla 38. Parámetros ciclón	75



Tabla 39. Tiempo de relajación	76
Tabla 40. Eficiencia ciclón	77
Tabla 41. Ajustes y tolerancias	78
Tabla 42. Propiedades y características del material	78
Tabla 43. Estudio del bastidor	81
Tabla 44. Elementos de la máquina	95
Tabla 45. Datos de las pruebas de trituración en diferentes clases de botellas	96
Tabla 46. Evaluación de requerimientos de diseño	97

PROHIBIDA SU COPIA



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del municipio de Tumaco	21
Figura 2. Proceso de reciclaje del vidrio	26
Figura 3. Imagen de una trituradora de quijadas	27
Figura 4. Imagen de una trituradora de rodillos	28
Figura 5. Imagen de una trituradora de martillos	29
Figura 6. Imagen de una trituradora giratoria	29
Figura 7. Identificación de las funciones de la máquina a partir del Diagrama de proceso	37
Figura 8. Diagrama de caja negra para la función principal de la máquina	38
Figura 9. Diagrama de caja transparente del accionamiento de la máquina	38
Figura 10. Diagrama de caja negra de accionamiento general de la máquina	39
Figura 11. Boceto general de la trituradora de vidrio	43
Figura 12. Prensa de cilindros de alta presión. Áreas de compactación	45
Figura 13. Geometría de los rodillos-Primera fase y segunda fase	46
Figura 14. Arco compresión- Botella whisky	52
Figura 15. Transmisión motor a fase 1 (Compresión)	52
Figura 16. Trasmision fase 2 a fase 1 (Compresión)	56
Figura 17. Arreglo de elementos en eje – Medidas en mm	59
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre – eje – DIMENSIONES (mm)	61
Figura 19. Distribución de tornillos en el soporte	68
Figura 20. Sección transversal y Velocidad tangencial	70
Figura 21. Análisis de la deformación del bastidor- URES	79
Figura 22. Análisis esfuerzo bastidor-VonMises	80
Figura 23. Análisis deformación bastidor- ESTRN	80
Figura 24. Análisis factor de seguridad bastidor-FOS	81
Figura 25. Imagen de vista lateral de la máquina	89
Figura 26. Construcción tolva	90
Figura 27. Imagen de maquinado del rodillo	90
Figura 28. Imagen de construcción de la cámara para ubicar los rodillos	91
Figura 29. Imagen de construcción de bastidor	92
Figura 30. Imagen de soporte de motor	92
Figura 31. Imagen de tapa de protección	93
Figura 32. Imagen de tolva de descargue	93
Figura 33. Imagen de máquina construida	94



LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Plano conjunto general	104
Anexo B. Plano conjunto general	105
Anexo C. Tolva completa	106
Anexo D. Eje liso - 1 fase	107
Anexo E. Eje liso - 2 fase	108
Anexo F. Eje liso primera etapa	109
Anexo G. Eje trasmisor - 2 fase-	110
Anexo H. Cubierta piñones	111
Anexo I. Cubierta motor	112
Anexo J. Camara de trituracion-2	113
Anexo K. Camara de trituracion-1	114

PROHIBIDA SU COPIA



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe un deterioro del ambiente por causa de la contaminación, debido al aumento de sustancias dañinas, estas se pueden encontrar en el aire, el agua y el suelo, en los últimos años, en el planeta se buscan formas de disminuir la contaminación y especialmente la de los residuos sólidos, ya que, cada vez se producen en mayor cantidad, una de las formas de ayudar a minimizar este problema es el reciclaje, proceso donde se busca que las materias primas de las cosas que se usan en la vida diaria, una vez terminado su ciclo de vida, se transformen en nuevos elementos.

En Colombia desde hace ya algunos años, se está tratando de concienciar a la población de la importancia que tiene el reciclaje, dando a conocer los beneficios que ello con lleva, como son: reducir el volumen de los residuos y por lo tanto la contaminación, la preservación de los recursos naturales y la reducción de costos asociados a la producción de nuevos bienes. Algunos de los objetos que se puede reciclar son los que están hechos de aluminio, papel, cartón, todo tipo de polímeros y el vidrio.

En el caso del vidrio y en especial las botellas, para poder realizar un adecuado reciclaje, se debe separar y clasificar según su tipo, esto se hace por el color del vidrio, existen tres clases, verde, café y transparente. Luego de su respectiva limpieza, se procede a triturarlo para formar un polvo grueso llamado calcín, este se pone en un horno a muy altas temperaturas junto con arena, caliza e hidróxido de sodio, por medio de este proceso se puede fabricar nuevos productos que tendrán las mismas características con respecto al vidrio obtenido a partir de los recursos naturales.

La fundación Tresol, ubicada en el municipio de Tumaco, tiene como objetivo, promover un adecuado manejo de los residuos sólidos, desarrollando varios programas con el fin de resolver las diversas problemáticas reales que existen en la región, contribuyendo a mejorar las condiciones de vida y una mejor relación con el medio ambiente, a través de promulgar los valores; en cuanto a la concientización del medio ambiente, logrando así un equilibrio de la naturaleza y convirtiendo a la ecología como uno de los elementos más importantes para la fundación.

En la Fundación Tresol, se lleva el proceso de triturado de botellas de vidrio, enfatizándose en disminuir la gran cantidad de botellas que se generan en el municipio de Tumaco, ellos quieren avanzar y tecnificar su proceso y es por esto que se ha decidido plantear el presente proyecto de investigación, el cual logrará mejorar el triturado de vidrio, con el fin de tecnificar el proceso que actualmente se



lleva en la empresa y así aportar no solo a la fundación, sino en la disminución de los residuos sólidos y por lo tanto la contaminación en el municipio de Tumaco.

PROHIBIDA SU COPIA



1. TÍTULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO PARA LA FUNDACIÓN TRESOL EN TUMACO

PROHIBIDA SU COPIA



2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El manejo de los residuos sólidos es uno de los problemas que más atención se le esta poniendo en la actualidad, ya que estos se generan cada vez mas, produciendo contaminación, provocando consecuencias negativas en la salud de las personas y en general al medio ambiente. Una de los inconvenientes más importantes, es la gran aglomeración que estos producen, por eso se busca sensibilizar a las personas en el tema ambiental y ecológico, tratando de reducir la contaminación por dichos residuos. Hay empresas que se dedican a la reducción de basuras por medio del reciclaje, ya que así, se reutiliza y se usan como base para la producción de nuevos productos.

Según la organización panamericana de la salud OPS (2001), “el 75,3% de la población de América Latina es urbana y genera 360.000 ton/día de residuos sólidos, más del 50% de los residuos generados son dispuestos de manera inadecuada en botaderos abiertos o cuerpos de agua”¹.

La generación de estos residuos afectan en un gran porcentaje a la naturaleza, ocasionando una problemática ambiental, en Colombia la generación de residuos sólidos, según Contreras: “La producción de residuos sólidos urbanos es de aproximadamente 28.500 ton/día, distribuidas en actividades residenciales, comerciales, industriales, institucionales, de construcción y otras”², Estos datos brindan un porcentaje alto en cuanto a la generación de residuos sólidos, evidenciando que no existe un proceso adecuado para tratar de disminuirlos, dentro de estos esta los residuos de vidrio y principalmente las botellas, los cuales si no se los maneja de una manera adecuada, ocuparían espacio, ocasionando problemas como la aglomeración e inconvenientes ambientales.

“El vidrio es un material, que por sus características, es fácilmente recuperable”³, por medio de un proceso de transformación se puede volver a darle uso y así obtener nuevos productos. Concretamente las botellas de vidrio son un ejemplo de ello, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que tiene las mismas características del primero. Está facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las

¹ ORGANIZACIÓN panamericana de la salud. OPS., 2001

² CONTRERAS, Fabio. tomado de la procuraduría delegada para asuntos ambientales y agrarios de Colombia., 2005.

³ MATA, Alejandro. Reciclaje de vidrio. Disponible en Internet: <http://genesis.uag.mx/posgrado/revistaelect/calidad/cal010.pdf>



administraciones afectadas, puedan mejorar de una manera fácil el problema de la contaminación del medio ambiente.

La fundación Tresol, realiza el proceso de transformación artesanal de los residuos sólidos como el vidrio. En primer lugar, se hace la recolección de las botellas para su posterior clasificación y almacenamiento, según su color, para luego ser enviadas a distintos lugares del país con la intención de formar materia prima para nuevos productos.

Uno de los inconvenientes mas grandes que se presentan en la fundación Tresol, es que el proceso de triturado se realiza de forma manual, lo que conlleva, muy altos riesgos para el personal encargado de dicha labor, ya que este metodo puede producir corte, daños en los ojos y otro problemas, debido a la salpicadura de pequeñas partículas de vidrios, de aquí que se busque una manera segura para realizar dicha tarea, que se garantice un riesgo menor para el personal y una forma mas efectiva de triturar el vidrio.

La fundación Tresol busca mejorar dicho proceso, no solo minimizando el riesgo para el personal, sino la optimización del tiempo del proceso de triturado de las botellas. El presente proyecto pretende dar una solución a dicho problema, por tal motivo este trabajo está dirigido a la Fundación Tresol quienes buscan cada vez mejorar y avanzar en todos los procesos de la empresa y también ayudar al problema del medio ambiente con el reciclaje, ya que con este se disminuye considerablemente las basuras que se producen en Tumaco, por estas razones, el proyecto de la máquina trituradora de vidrio está encaminado a tecnificar dicho proceso para así también aumentar en un porcentaje la producción, disminuyendo costos.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo mejorar el proceso de trituración de vidrio en la Fundación Tresol ubicada en el municipio de Tumaco?

2.3 JUSTIFICACIÓN

Desde hace algunos años, se ha teniendo grandes desarrollos en todos los niveles, especialmente en las industrias colombianas, esto ha producido una mejor calidad de vida para todas las personas, pero debido a esto también han surgido varios problemas, uno de ellos y quizás el más importante es la contaminación. Si se conocieran todos los efectos negativos que esta produce, se podrían tomar



medidas para prevenir los daños que la contaminación produce al medio ambiente.

Una de las maneras de combatir la contaminación ambiental, es el reciclaje, según el diccionario de la lengua española define reciclar como: “Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar.”⁴ Es por medio de esto que se puede disminuir la contaminación, con el fin de mantener los recursos naturales que no son renovables y, por otra parte, para reusar la materia prima de objetos y desechos que ya no están en uso o que simplemente ya cumplieron su ciclo de vida.

El tema del reciclaje no es nuevo, puesto que desde el siglo XVIII en la industria de los metales, ya se reciclaba los desechos con el fin de producir otros elementos. Para el caso de los polímeros, a partir de los años 70 se empezó a reciclar, convirtiéndose hoy en día, en una actividad altamente lucrativa. En cuanto al vidrio, su reciclaje se empezó a reglamentar en Europa a mediados de los años 90. El vidrio es un buen material para reciclar, puesto que se puede reusar muchas veces sin perder sus características y propiedades. El reúso del vidrio no solo ayuda a disminuir la contaminación, sino también a ahorrar energía, reducir costos de producción y minimizar la aglomeración de este.

Es importante tener en cuenta que el reciclaje del vidrio necesita un: “26% menos de energía que la producción original, en la que para crear un kilo de vidrio se necesitan unas 4.200 kilocalorías de energía”⁵. Además, el material que se generó por reciclaje, permite reducir en un 20% la contaminación atmosférica que provocaría por el proceso habitual y también se disminuye en un 40% la contaminación del agua.

El vidrio es un material cerámico de tipo inorgánico, que se encuentra en la naturaleza y cuyas propiedades son: transparente, frágil, amorfo y duro, pero también se puede crear a partir de arena de sílice, caliza y carbonato de sodio, sometido a una temperatura de alrededor de 1500 grados Celsius, con él se pueden crear ventanas, lentes, botellas y otra gran variedad de elementos.

En diferentes ciudades de Colombia, ya existen programas de reciclaje, es el caso de la ciudad de Manizales, donde funciona una de las plantas separadoras de materiales más grande de Colombia. En Bucaramanga, se realiza una buena recolección de residuos para disminuir la gran cantidad de aglomeración y permite la extracción de materia prima para elaborar nuevos productos.

⁴ REAL ACADEMIA Española. Disponible en Internet: <http://dle.rae.es/?id=VR7ahaY>

⁵ ECOVIDRIO. España, 2007. Disponible en Internet: www.ecovidrio.es/



“La cantidad de residuos sólidos que se producen en el área del municipio de San Andrés de Tumaco es de 1620 Ton/mes o 54 Ton/día”⁶, en la tabla 1 se da a conocer el tipo de desechos sólidos.

Tabla 1. Residuos sólidos en el municipio de Tumaco

COMPONENTE	Sector Productivo	
	% en Peso	Residuos Sólidos Producidos (RSP) por componente Kg./día
Orgánicos	71	50,59
Subtotal (RSO)	71	50,59
Inorgánicos		
Papel y Cartón	6	4.3
Aluminio	2	1.43
Plástico	4	2.85
Vidrio	2	1.4
Chatarra	1	0.71
Subtotal (RSI)	15	10.69
Otros no Aprovechables		
Inorgánicos no reciclables	12	8.55
Otros	2	1.42
Subtotal Otros	14	9.97
TOTAL	100	71,25

Fuente: Tabla Residuos sólidos, según el PGRIS

Analizando los resultados de la tabla anterior, se puede ver que en el municipio de Tumaco se producen 1.4 Kg/día de vidrio, lo que conlleva que exista gran aglomeración de estos residuos. La fundación Tresol, es una entidad que tiene por objeto atacar dicha problemática ambiental, tratando de reducir estos elementos por medio del reciclaje, además ayudando socialmente, ya que se crean una serie de empleos directo e indirectos.

La realización de este proyecto, se justifica, puesto que la normatividad colombiana así lo avala, específicamente en el decreto 605 de 1996 en su artículo 71 dice: “Obligatoriedad del análisis de proyecto de recuperación. Los municipios mayores de cien mil (100.000) habitantes están en la obligación de analizar la viabilidad de proyectos de recuperación de residuos sólidos. En caso de demostrarse plenamente la viabilidad de los proyectos, la municipalidad y las entidades prestadoras del servicio tendrán la obligación de promover su desarrollo”⁷.

⁶ PGRIS, Disponible en file:///C:/Users/Usuario/Downloads/tumaco-nari%C3%B1o-pd-diagnostico-08-11%20(2).pdf

⁷ NORMATIVA COLOMBIANA, 1996, Decretos.



El propósito de este trabajo, se ve justificado por la necesidad de la fundación Tresol, de tecnificar el proceso de triturado del vidrio, puesto que este, va a minimizar el riesgo del personal que realiza esta labor, así como mejorar la producción y el tiempo de triturado del vidrio.

PROHIBIDA SU COPIA



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un prototipo de máquina trituradora de vidrio en la Fundación Tresol en el municipio de Tumaco.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los sistemas y tecnologías existentes en la transformación de los residuos de vidrio que se puedan ajustar al proyecto
- Realizar los planos y cálculos de ingeniería, utilizando software de diseño y simulación.
- Diseñar y construir un prototipo de una máquina trituradora de vidrio, que tecnifique el proceso de triturado
- Analizar los resultados obtenidos.
- Evidenciar la divulgación del proyecto de investigación, a partir de ponencias y artículos científicos.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONTEXTUAL

El proyecto se desarrolla en “El municipio de Tumaco, se encuentra en el Suroeste Colombiano, a los 1° - 48' - 24" de Latitud Norte y 78° - 45' - 53" de Longitud al Oeste del Meridiano de Greenwich. Ubicado, en la costa pacífica del departamento de Nariño”⁸.

Figura 1. Ubicación del municipio de Tumaco



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_Nacional_de_Colombia

Limites del municipio:

Norte: con el municipio de Francisco Pizarro, Roberto Payán y Mosquera sobre la zona de San Juan de la Costa

Sur: con la República del Ecuador

⁸ TUMACO. Nariño. Disponible en Internet: http://www.tumaco-narino.gov.co/informacion_general.shtml#geografia. [Citado Octubre de 2016]



Occidente: con el océano pacifico

Oriente: con el municipio de barbacoas⁹

Por su situación geográfica el municipio de Tumaco, posee una gran riqueza hídrica, suelos con potencial agropecuario y forestal, buena oferta pesquera y ecosistemas naturales de gran biodiversidad, que le ofrecen distintas poblaciones de desarrollo, que van desde las condiciones de empresa agroindustria de productos como palma de aceite, cacao, costero y frutales pesqueras y procesadoras de productos hidrobiológicos industria forestal industrias pecuarias; así como posibilidades de recreaciones y disfrute turístico, sumado a la riqueza ambiental¹⁰.

Es así que Tumaco tiene grandes recursos que se pueden aprovechar al máximo sin dañar su ecosistema.

Además Tumaco viene avanzando en procesos de reciclaje, que ayudan a minimizar la contaminación al medio ambiente a causa de residuos sólidos de basura, una de las iniciativas que se están empleando, es la concientización a la población para que hagan un óptimo manejo de las basuras, ya que muchas veces se bota todo, sin tener en cuenta que muchos elementos se pueden reutilizar y así de esta manera contribuir a la disminución de la contaminación que se produce a causa de los residuos sólidos.

En la Fundación Tresol cuenta con un programa de reciclaje y su misión es: “Es una entidad sin ánimo de lucro, que busca el mejoramiento de las condiciones de vida del Reciclador del municipio de Tumaco en cuanto a Trabajo, Salud, Educación, y Cultura, mediante el apoyo en los procesos productivos, comerciales y administrativos ocurridos durante el ejercicio del reciclaje, logrando a través de la formación ambiental, el equilibrio entre productividad y cuidado del ambiente”¹¹, dentro de su portafolio de servicios esta: “Comercialización de residuos sólidos como plástico, metales ferrosos y no ferrosos, papel y vidrio”¹², ellos han iniciado el proceso de triturado del vidrio, para minimizar el espacio que ocupan y luego se envían a Peldar en Medellín, para terminar el proceso de reciclaje de vidrio a así obtener una nueva materia prima.

⁹ Ibid.

¹⁰ PLAN DE desarrollo municipal 2008-2011-CDIM. San andrés de Tumaco

¹¹ TRESOL. Tumaco. Disponible en Internet: <http://tresoltumaco.blogspot.com.co/p/mision.html>

¹² Ibid



4.2 MARCO LEGAL

Resolución número 2400 de 1979. Estatuto de seguridad industrial¹³:

Aplica los siguientes artículos como requerimientos de la máquina:

Artículo 125. En los sistemas eléctricos, las instalaciones deberán estar protegidas contra toda clase de rozamiento o impacto.

Artículo 158. Las operaciones de trituración, mezclado, tamizado, fusión, etc., deberán estar cubiertas o en circuito cerrado.

Artículo 177. Es necesario el uso de elementos de protección personal como: casco, protectores auriculares, anteojos, gafas, mascarar respiratorias, respiratorias contro polvo, guantes de cuero grueso, calzado de seguridad dieléctrico.

ASTM C-33 “Es la norma internacional en donde se estipulan los requisitos que permiten una relativa amplitud de variación en la granulometría del agregado fino y grueso la cual es diferente para cada país.”¹⁴

Ley 842 de 2003 “Ley que reglamenta el ejercicio de la ingeniería, la cual en su artículo número 2 expresa: “Para los efectos de la presente ley, se entiende como ejercicio de la ingeniería, el desempeño de actividades tales como: Los estudios, proyectos, diseños y procesos industriales, textiles, electromecánicos, termoeléctricos, energéticos, mecánicos, eléctricos, electrónicos, de computación, de sistemas, tele informáticos, agroindustriales, agronómicos, agrícolas, agrológicos, de alimentos, agro meteorológicos, ambientales, geofísicos, forestales, químicos, metalúrgicos, mineros, de petróleos, geológicos, geodésicos, geográficos, topográficos e hidrológicos”¹⁵ De lo cual se puede concluir que el ejercicio de la ingeniería comprende diferentes esferas y ámbitos de esta manera la ingeniería mecánica bajo estos parámetros crea e innova un desarrollo industrial encaminado a la mejora de las condiciones de vida de las personas.

Decreto 2436 de 2008: “Que el municipio o distrito en ejercicio de su competencia legal de asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos domiciliarios, en particular de la disposición adecuada de los residuos sólidos generados en su jurisdicción, debe planificar y ejecutar el manejo de estos residuos conforme a lo previsto en el respectivo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS;

¹³ ESTATUTO DE seguridad industrial. Disponible en Internet: <<http://www.udea.edu.co/portal/page/portal/bibliotecaSedesDependencias/unidadesAcademicas/FacultadNacionalSaludPublica/serviciosProductos/laboratorioSaludPublica/Normas/HigieneAmbiental/Decreto%202400%20de%201979.pdf>> [citado octubre 2016]

¹⁴ GRANULOMETRÍA DE la arena. Disponible en Internet: [/www.galeon.com/matcon/lab03/granulo.do](http://www.galeon.com/matcon/lab03/granulo.do)

¹⁵ CONCEJO PROFESIONAL nacional de ingeniería. Disponible en Internet: <https://copnia.gov.co/copnia/normatividad/ley-842-de-2003/>



que de conformidad con lo dispuesto en el artículo **101 de la Ley 1151 de 2007**, las autoridades ambientales, personas prestadoras o entidades territoriales no podrán imponer restricciones injustificadas al acceso a los rellenos sanitarios y/o estaciones de transferencia”¹⁶.

Decreto 4688 de 2005:

Por el cual se reglamenta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, la Ley 99 de 1993 y Ley 611 de 2000 en materia de caza comercial. EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, en ejercicio de sus facultades constitucionales, y en especial de lo establecido en el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política y en desarrollo del artículo 259 del Decreto-ley 2811 de 1974, el inciso 2° del artículo 2° de la Ley 99 de 1993, y el artículo 4° de la Ley 611 de 2000, DECRETA: Artículo 1°. Ámbito. El presente decreto desarrolla el Código Nacional de los Recursos Naturales y de la Protección al Medio Ambiente¹⁷.

GUIA TECNICA COLOMBIANA GTC 53-3¹⁸

Casco ecológico. Vidrio quebrado proveniente de envases que han sido descartados y recolectados por organismos públicos o privados. Su utilización contribuye al ahorro de energía.

Envase retornable. Envase que tiene unas características de resistencia mecánica tales que puede ser llenado y utilizado varias veces.

Envase no retornable. Envase que unas características de resistencia mecánica tales que puede ser llenado y utilizado una sola vez, antes de ser reciclado.

Triturar. Quebrar los envases para reducir el tamaño hasta una granulometría definida

4.3 MARCO CONCEPTUAL – TEÓRICO

Entre los residuos sólidos que se generan, esta el vidrio, este material se funde alrededor de (1200 a 1500) °C. Esta constituido esencialmente por arena de sílice acompañado de caliza y otros materiales que le dan los diferentes coloraciones.

¹⁶ DECRETO 2436 del 2008 - Ministerio de ambiente, vivienda desarrollo territorial

¹⁷ DECRETO 4688 del 2055 – Ministerio de ambiente, vivienda desarrollo territorial

¹⁸ GUÍA TÉCNICA Colombia GTC 53-3. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para el aprovechamiento de envases de vidrio.



Además este se clasifica de manera en general en industrial y doméstico, se entiende por vidrio industrial, a todo tipo de envases para productos alimenticios y químicos, vidrio plano para ventanas, fibra óptica, bombillas etc. En el vidrio domestico, se tiene almacenamiento de productos como son vinos, cervezas, yogures, etc.

Los colores más comunes y utilizados del vidrio se clasifican en tres grupos principales como son: verde, amabar, y transparente; de los cuales los mas utilizados son:

El verde (60%). Utilizado masivamente en botellas de vino, cava, licores y cerveza, aunque en menor cantidad en este último.

El claro (25%). Usado en bebidas gaseosas, cervezas, medicinales, perfumería y alimentación en general.

El extraclaro (10%). Empleado esencialmente en aguas minerales, tarros y botellas de decoración.

El opaco o ámbar (5%). Aplicado en cervezas y algunas botellas de laboratorio¹⁹.

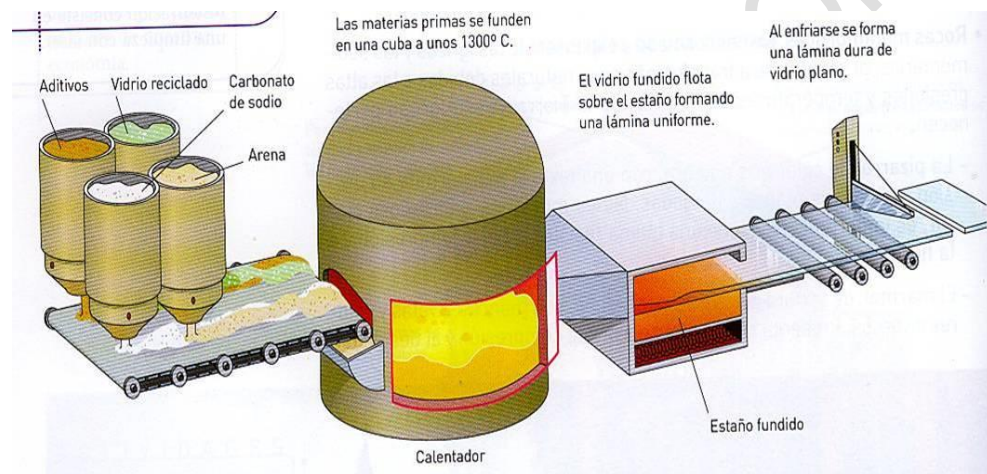
De acuerdo a estos datos se da a entender que mas del 42% de vidrio reciclado proviene del sector domestico. Por otra parte para reciclar el vidrio, lo primero que se debe hacer es la selección de los distintos colores, luego se procede a su limpieza, aunque el vidrio este mezclado, no influye para la producción de nuevos envases, ya que el vidrio de color se lo trata con descolorante, es por eso la importancia del blanco, ya que es más puro y minimiza el uso de decolorante. Es así como este se lo puede reciclar en un 100%, este tipo de material se lo encuentra cotidianamente en envases de consumo de alimentos, licor, medicina y demás objetos etc.

Esta clasificación del tipo de vidrio da a conocer las diferentes características que cada uno posee, en tanto a la transformación de residuos sólidos, el reciclaje transforma materiales usados, que de otro modo serían simplemente desechos, en recursos muy valiosos. La recopilación de botellas usadas, latas, periódicos, etc. son reutilizables y de allí a que, llevarlos a una instalación o puesto de recogida, sea el primer paso para una serie de pasos generadores de una gran cantidad de recursos financieros, ambientales y cómo no de beneficios sociales. Algunos de estos beneficios se acumulan tanto a nivel local como a nivel mundial.

¹⁹ Reciclaje. Disponible en internet: <http://ec2-107-21-65-169.compute-1.amazonaws.com/content/ABAAAgyMAAI/reciclaje>

Es por esto que en el proceso de elaboración y fabricación de productos de vidrio, consta básicamente de cuatro etapas: Mezclado de materias primas y vidrio reciclado, fusión, moldeo y por ultimo un tratamiento de alivio de tensiones. La materia prima utilizada consiste básicamente en: arena silícea, ceniza de soda, caliza, feldespato y bórax. Los productos fabricados en este proceso corresponden básicamente a vidrio plano, vidrio para envases y objetos de vidrio prensado y/o soplado. Además el proceso de trituración que se emplea en la Fundación Tresol, se lo hará de una manera tecnificada, para si lograr una mayor eficiencia en cuanto a la disminución de las cantidades de botellas de vidrio que se generan y ayudar a contribuir con la disminución de la contaminación al medio ambiente.

Figura 2. Proceso de reciclaje del vidrio



Fuente:<http://www.aulatecnologia.com/ESO/TERCERO/teoria/petres/materialesconstruccion.htm>

De acuerdo a la imagen anterior se puede observar como es el uno de los procesos de transformación de vidrio a partir del reciclado de mismo, y con unos agregados como es la arena, aditivos, carbonato de sodio y vidrio reciclado, que son dados ya en una industria, y que después pasan por un proceso para así después obtener un nuevo producto a partir de un vidrio ya reciclado y previamente preparado, seleccionado y listo para su transformación y así darle un nuevo uso. Además este proceso es a nivel general, como es una industria que se dedique completamente a la producción total o parcial de productos de vidrio, o solamente enfocados en algún producto.

Para esto existen procesos de triturado, y mecanismos de trituración como son:

-Rotura y trituración: “En la rotura del vidrio no es deseable si se produce antes de la separación por colores. No es fácil separar el vidrio roto del flujo de los residuos mezclados, pasando a convertirse en un material de vidrio mezclado que no tiene

valor real para los usuarios del calcín. Si los envases de vidrio van a recuperarse para ser vendidos a los fabricantes de envases o a otros usuarios de calcín limpio y libre de contaminantes, entonces hay que realizar una selección por colores antes de que se produzcan roturas.”²⁰ Por ende se debe tener en cuenta que en proceso de rotura y trituración, el material haiga pasado un proceso de clasificación de color por botella, para disminuir los gastos que se producen al producir nuevos envases de vidrio.

Tipos de molinos de trituración:

Trituradores de quijadas: “El quipo para la reducción no muy fina de grandes cantidades de sólidos, consiste en unidades de baja velocidad llamadas trituradores; de los cuales existen varios tipos comunes. En el primer tipo, que corresponde a un triturador de quijadas, al alimentación se hace pasar entre dos quijadas pesadas o placas planas”²¹.

Figura 3. Imagen de una trituradora de quijadas



Fuente: <http://www.sbmperu.com/ver/trituradoras-pemandibula>

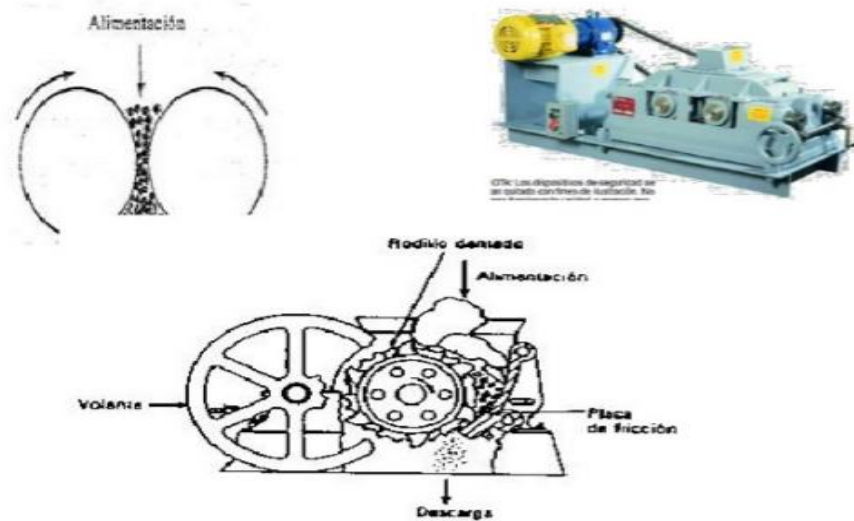
Molinos de rodillos: “Los rodillos giran en sentido contrario, a velocidades iguales o diferentes. El desgaste de los rodillos suele ser un problema grave. La relación de reducción varía entre 4:1 y 2.5:1. También se usan los rodillos únicos que giran contra una superficie fija, así como rodillos corrugados y dentados.

²⁰ TRITURACIÓN. Disponible en Internet: <http://proindustriales.blogspot.com.co/2013/05/trituración.html>

²¹ MÁQUINARIA reducción de tamaño. Disponible en Internet: http://www.academia.edu/9474388/máquinaria_reduccion_de_tama%C3%B1o. p. 9.

Muchos productos alimenticios, que casi siempre son blandos, tales como haría, soya y almidón, que muelen con rodillos.”²²

Figura 4. Imagen de una trituradora de rodillos



Fuente:http://www.academia.edu/9474388/máquinaria_reduccion_de_tama%C3%B1o

Molinos de martillos: “Los molinos de martillos se usan para reducir partículas tamaño intermedio a DIMENSIONES pequeñas o a polvos. Con frecuencia la alimentación entra por la parte superior de la coraza y las partículas se rompen a medida que caen por el cilindro. El material se rompe por el impacto de los martillos y se pulveriza al pasar por la estrecha abertura entre los martillos y la coraza. Por último, el polvo pasa por un tamiz o malla en el extremo de descarga.

²² Ibid., p. 9.

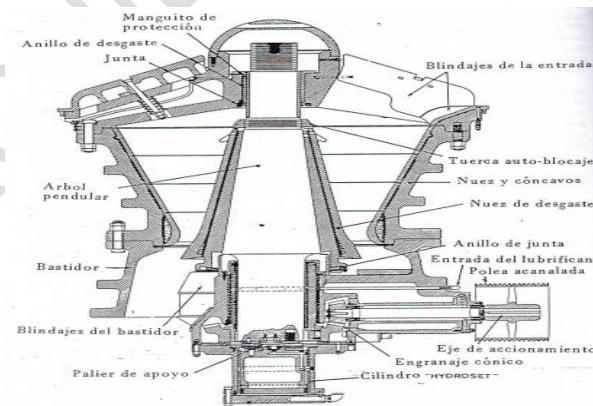
Figura 5. Imagen de una trituradora de martillos



Fuente:[http://www.academia.edu/9474388/máquinaria_reduccion_de_tama%C3%](http://www.academia.edu/9474388/máquinaria_reduccion_de_tama%C3%99)

Trituradoras giratorias:“El triturador giratorio, se ha convertido en el más predominante en el campo de la trituración de minerales duros en trozos de gran tamaño. Se podría considerar que su acción es la de un mortero manual. La cabeza trituradora móvil tiene forma de cono truncado invertido, y está en el interior de una coraza que tiene el mismo contorno. La cabeza trituradora gira excéntricamente y el material que se tritura queda atrapado entre el cono externo y el cono interno giratorio.”²³

Figura 6. Imagen de una trituradora giratoria



Fuente:http://www.academia.edu/9474388/máquinaria_reduccion_de_tama%C3%B1o

²³ Ibid., p. 8.



5. DISEÑO DE ASPECTOS METODOLÓGICOS

5.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Línea tecnológica: En la corporación universitaria autónoma de Nariño existen tres líneas de investigación la empresarial, la social y la tecnológica, la propuesta a desarrollar se encuentra enfocada en la tecnológica, : “Es claro que el mundo tecnológico ha venido cambiando de manera vertiginosa, siendo una preocupación permanente para la Universidad, la formación de profesionales capaces de responder efectivamente a las constantes transformaciones que la tecnología presenta, a través de la asimilación, adecuación y desarrollo de tecnología, base de la competitividad y productividad”²⁴.

Además la tecnología es uno de los parámetros fundamentales hoy en día, ya que teniendo en cuenta la industrialización en sectores económicos que ejercen un avance tecnológico ayudan a la transformación de maquinaria, el desarrollo y evolución de la misma, y estas son bases fundamentales para conseguir una mayor eficiencia, mejor calidad de productos, y óptimos procesos, en cuanto al desarrollo tecnológico de maquinaria.

5.2 ENFOQUE

Enfoque cuantitativo Para el desarrollo del proyecto se basa en un enfoque cuantitativo que afirma “Utiliza la recolección y análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamientos de una población”²⁵. Relativo a la cantidad, es el análisis que fija la cantidad de botellas de vidrio de diferente color, y con la recopilación de información se puede determinar la necesidad que tiene la Fundación Tresol en cuanto a la trituración de botellas de vidrio.

5.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se basa en un tipo de investigación experimental el cual se define como: “un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para

²⁴ CORPORACIÓN UNIVERSITARIA autónoma de Nariño, centro de investigación CIDAE 2008

²⁵ COOPORACION UNIVERSITARIA autonoma de nariño. Centro de investigación, desarrollo y asesoría empresarial CIDAE. Lineas de investigación 2009



recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver²⁶, para la realización de este prototipo trituradora de botellas de vidrio se tendrá en cuenta la capacidad de trituración y el personal que va a llevar a cabo esta acción, y así comprobar y experimentar con resultados que tengan una respuesta positiva frente a las expectativas del prototipo

5.4 MÉTODO

Para el caso del proyecto se utilizara un método investigativo inductivo el cual afirma que “Se trata de método científico más usual, en el pueden distinguirse cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y la contrastación²⁷. Este método ayuda de una manera eficiente porque es algo fundamental en la investigación, en cuanto a mejorar el proceso de trituración de vidrio, y así poder lograr una mejor rendimiento de triturado.

5.5 VARIABLES

Variables dependientes:

Temperatura

Tipo de material por la ubicación de la máquina

Variables independientes:

La máquina trituradora, óptima para la transformación de botellas de vidrio en pequeñas partículas que serán almacenado y enviados para su respectivo proceso

²⁶ LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL. Disponible en Internet: <http://noemagico.blogia.com/2006/092201-la-investigacion-experimental.php>. [citado 01 Diciembre de 2012 9:22 pm].

²⁷ DEFINICIONES. Disponible en Internet: <http://definición.de/método-inductivo/>



5.6 DETERMINACIÓN DEL UNIVERSO INVESTIGATIVO

5.6.1 Determinación de la población. Personas que están dedicadas a la trituración de botellas de vidrio, ya que el trabajo de investigación se llevara a cabo en el municipio de Tumaco (fundación Tresol) el cual cuenta con un promedio de 40 personas directas que se dedican al reciclaje, además esta fundación viene implementado cosas nuevas para así mejorar su producción y de la misma manera ayudar con el medio ambiente contribuyendo a la disminución de la contaminación del medio ambiente. Además el proyecto se enfoca en tecnificar el proceso de triturado lo que es de gran ayuda para la Fundación.

5.6.2 Determinación de la muestra. Para determinar la muestra se tiene en cuenta las personas que se dedican al reciclaje para la fundación. Las personas principalmente a encuestar es el Gerente de Tresol, y los que están relacionados con dicha Fundación.



6. ELEMENTOS DE ADMINISTRACIÓN Y CONTROL

6.1 RECURSOS

6.1.1 Institucionales. Estos recursos son por parte de la CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE NARIÑO, como son; la biblioteca, el taller ACME de máquinas y herramientas, salas de informática, asesoría de docentes que conozcan el tema.

6.1.2 Humanos. Los recursos humanos hacen referencia a todas las personas involucradas en el desarrollo del proyecto a nivel de coordinador, docentes y todas las personas que conforman el personal de la universidad, incluyendo los integrantes quienes desarrollan el proyecto y asesor del proyecto.

Tabla 2. Recursos humanos

Recursos humanos		
NOMBRES	PROFESIÓN	CARGO
Jairo Burbano	Docente	Asesor metodológico
Oscar Pantoja	Ingeniero Mecánico	Coordinador del programa de Ingeniería Mecánica
James Vedoya	Representante Fundación Tresol	Gerente.
Wilmer Tarapues	Estudiante	Estudiante
Franklin Ruales	Estudiante	Estudiante

6.1.3 Técnicos. Las herramientas que serán necesarias para la realización de este proyecto se encuentran las siguientes: torno, soldador fresadora, pintura, herramientas de taller, entre otros.

6.1.4 Financieros. Para la realización de este proyecto se tendrá en cuenta los recursos económicos de los estudiantes de ingeniería mecánica Wilmer Tarapues y Franklin ruales.



6.2 PRESUPUESTO

Tabla 3. Presupuesto

ELEMENTOS	PRECIO
Motor 5 hp	1.500.000
Rodillos punta acero	1.000.000
Poleas	200.000
Ejes	50.000
Mano de obra	300.000
Pintura	50.000
Estructura metálica	300.000
Varios	300.000
TOTAL	4.000.000



6.3 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 4. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Investigar qué tipo de material de utiliza para realizar los martillos de trituración de vidrio, además del tipo de material en común para su funcionamiento.	■															
Realizar planos y cálculos principales de los elementos a mecanizar		■														
Analizar los objetos físicos y electrónicos al acoplar la máquina, en su funcionamiento			■													
Alinear Rodillos principales y secundarios, con su requerido trabajo en torno y fresa				■												
Identificar los tipos de conexión eléctrica para el mando de control de la máquina.					■											
Identificar controles de mando.						■										
Construcción de esquema principal de caja de trituración.							■									
Colocar la relación de transmición de potencia, que incluye; engranajes, poleas y bandas.								■								
Construcción de tolva y acoplacion de elementos mecánicos total de la máquina.									■							
Analizar las condiciones de operación ele proceso de triturado, ya en una puesta en marcha de la máquina										■						
Realizar pruebas de funcionamiento											■					
Diseñar y hacer elementos de protección para disminuir el riesgo de accidentes laborarles.												■				
Investigar y realizar la parte teórica de trabajo como planos y marco teóricos													■	■		
Diseñar planos de cada parte de la máquina máquina															■	■



7. CONCEPTO DE DISEÑO

7.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS USUARIOS

Al identificar los usuarios, son directamente la Fundación Tresol, y las personas que se dedican al proceso de reciclaje de residuos sólidos. Además al analizar la necesidad y beneficios de las máquinas trituradoras de vidrio, para la Fundación T, se ha analizado que esta requiere disminuir la gran aglomeración que producen los desechos de vidrio, con una máquina que cumpla con características de un óptimo funcionamiento y un fácil manejo de operación.

7.2 NECESIDADES INTERPRETADAS DE LOS USUARIOS

El proyecto se está llevando a cabo en un entorno en el cual el usuario requiere parámetros para el proceso de trituración de vidrio, como es el de garantizar la seguridad en el operario de la máquina, ver que el producto triturado sea el adecuado, mirando que este en un rango apropiado para luego ser enviado a Peldar- Medellín, otro de las necesidades es el peso adecuado de la máquina y el mecanismo de trituración es por eso que se requiere que la máquina sea de fácil transporte y que el mecanismo que se va implementar que es el de rodillos cumpla con las expectativas que se requiere al final.

En la Fundación es indispensable una máquina trituradora de botellas de vidrio, que cumpla lo siguiente:

- Operación de la máquina 8 horas mínimo, en proceso de triturado
- 700 a 1200 botellas trituradas en 1 hora
- Fácil manejo de operación
- El triturado final debe estar en un rango de 1 a 2 cm
- Debe cumplir con la ergonomía, seguridad industrial y tablero de control
- Ayudar con el impacto ambiental

Es así que de las anteriores necesidades que se requieren por el usuario sean proyectadas y tenga un fin en común el cual es ver un producto de triturado acorde a lo que la fundación necesita.

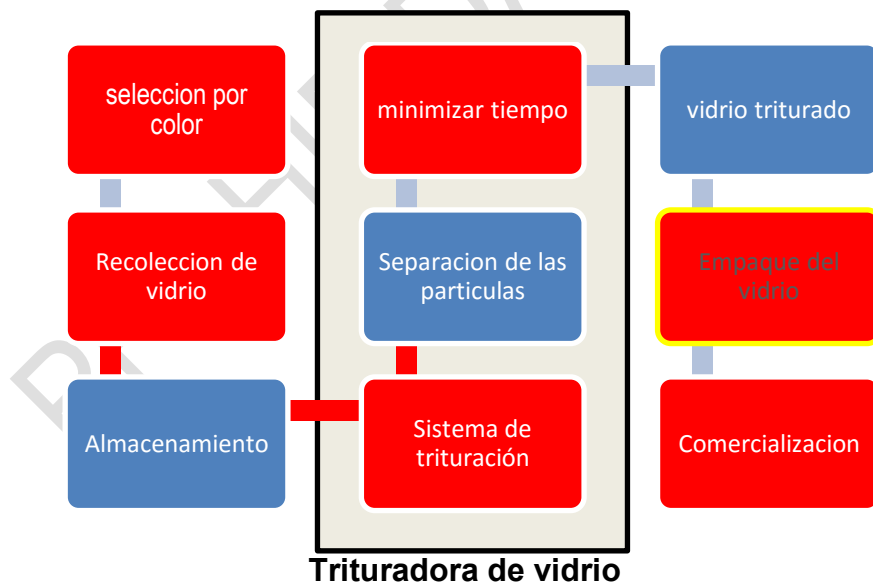
7.3 ANÁLISIS DEL PROCESO Y DEL PRODUCTO

El proceso de trituración comienza con una específica clasificación de botellas por su color, luego el operario encargado realizara la alimentación de botellas en la tolva, que luego caen en la caja de trituración que esta compuesta por las 2 fases de rodillos de triturado, y asi finalmente obtener un granulado acorde a lo que el cliente requiere que es aproximadamente de 1 a 2 cm de triturado.

Condiciones de entrada del producto: La entrada de la materia prima, que en este caso son las botellas de vidrio, deben tener un proceso anterior de limpieza y libre de impurezas, que luego se intruduciran manualmente por el operario engargado, el cual debe tener las condiciones de seguridad industrial al momento de operar la máquina.

Condiciones de salida del producto: El vidrio granulado resultante es aproximadamente de 1 a 2 centímetro de diámetro, una vez finalizado el proceso de triturado, este es empacado para asi despues ser utilizado como materia prima donde lo funden y vuelven a ser envases de vidrio

Figura 7. Identificación de las funciones de la máquina a partir del Diagrama de proceso



Fuente: Esta investigación

7.4 ANÁLISIS FUNCIONAL

El proceso que realiza la máquina trituradora de botellas de vidrio, esta compuesto por 2 etapas principales. Inicia con la entrada de material en la tolva, luego se tritura en partículas de vidrio por medio de un sistema de transmisión de potencia, que da movimiento a los rodillos trituradores, que esta compuesto en dos fases de trituración, y finalmente caen en la tolva de descargue por medio del efecto de gravedad. También contará con la implementación de un sistema de absorción de partículas de vidrio que es el ciclón que va estar ubicado en la parte de atrás de la tolva de alimentación, para disminuir la cantidad de polvillo que se pueda generar. La máquina trabaja con un motor trifásico de 5 hp y su transmisión de potencia es por medio de bandas, piñones y poleas. La puesta en marcha de la máquina es por medio de un panel de control, que tiene un encendido, apagado, retroceso, y paro de emergencia.

Figura 8. Diagrama de caja negra para la función principal de la máquina

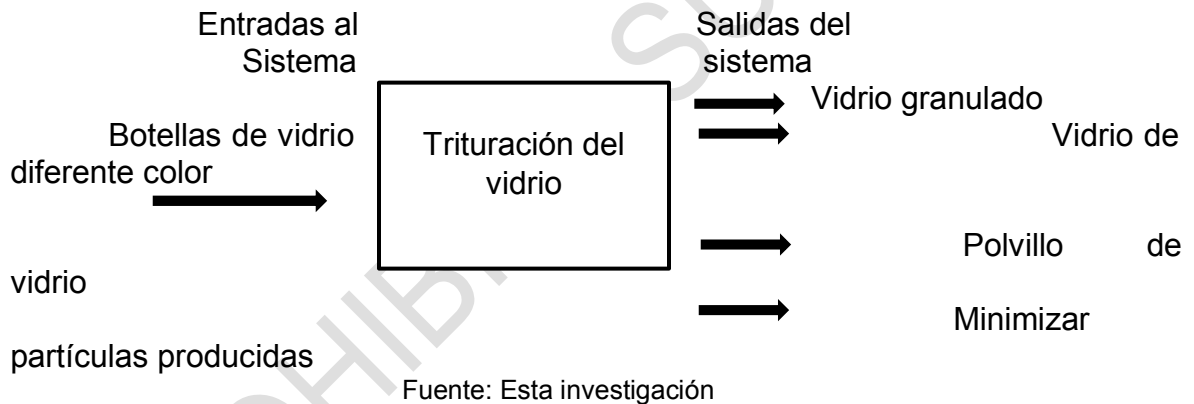


Figura 9. Diagrama de caja transparente del accionamiento de la máquina

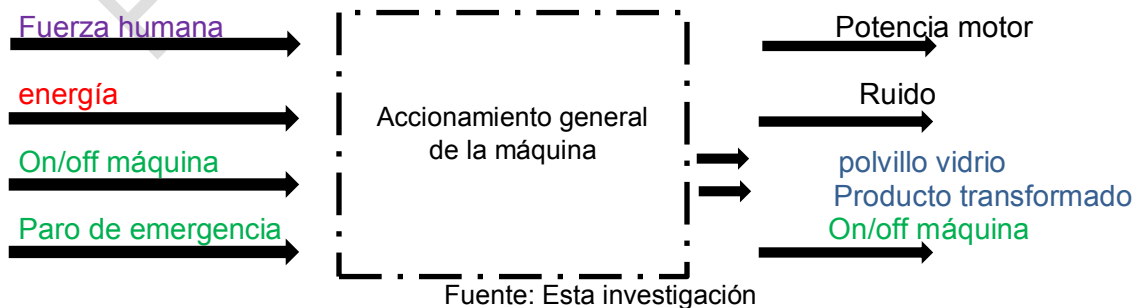
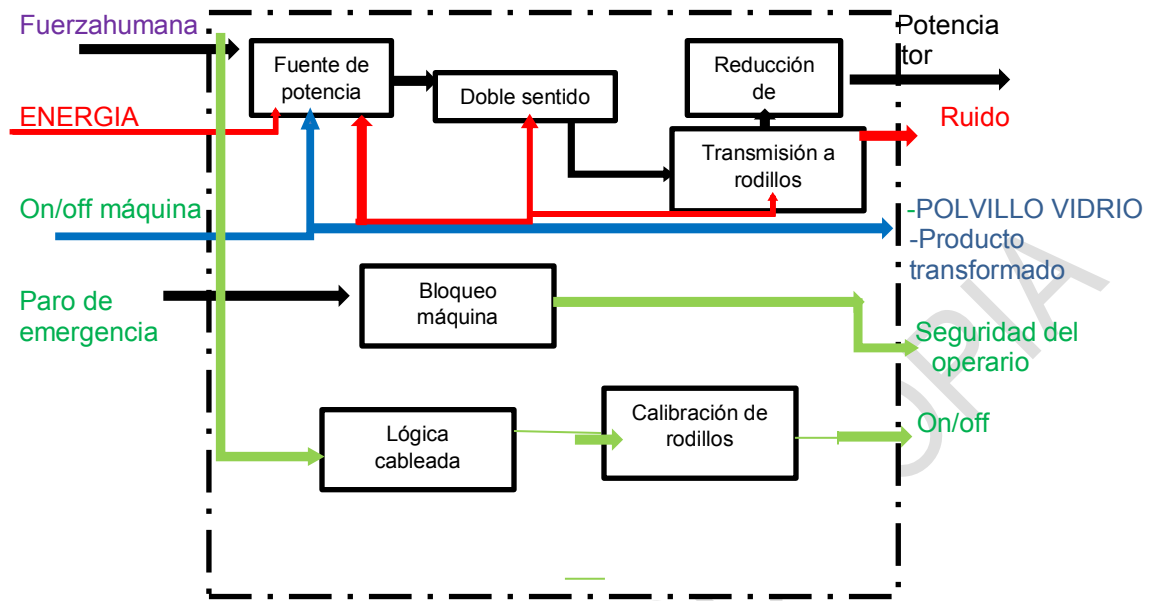


Figura 10. Diagrama de caja negra de accionamiento general de la máquina



Fuente: Esta investigación

7.5 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Tabla 3. Requerimientos de diseño

REQUERIMIENTO DE DISEÑO		W	D
REQUERIMIENTO			
1. SISTEMA			
1.	Debe trabajar mínimo 8 horas diarias	X	
2.	Capacidad de trituración de 700 a 1200 botellas / hora		X
3.	Las condiciones ambientales donde se va a realizar el procesos de triturado es Bajo techo, con una temperatura entre 10°C y 40°C, con posibles ambientes salinos.		X
4.	Funcionamiento de la máquina con motor eléctrico	X	
5.	La máquina va a tener un peso promedio que sea fácil de maniobrar y de trasladarla de un lugar a otro 300 kg		X
2. PROCESO			
1.	El control de velocidad, detención, apagado del motor y bloqueo se hará por medio de lógica cableada		X
2.	El proceso de alimentación del producto se realizara		



	manualmente a una tolva, para luego por medio de rodillos va a realizar el proceso de triturado		X
3.	Se necesitara de un operario para el funcionamiento de la máquina		X
3. SEGURIDAD			
1.	La máquina deberá contar con un paro de emergencia		X
2.	Únicamente ingresara el producto como son botellas de vidrio para conservar la integridad del operario y vida útil de los componentes		X
3.	Información visible para la operación de la máquina		X
4.	La máquina a diseñar utilizara elementos estándar para su fácil cambio y mantenimiento		X
4. CONFIGURACION DE LOS EQUIPOS			
1.	Minimizar al máximo el costo de inversión	X	
2.	Bajo costo de operación: energía, mantenimiento, y repuestos		X
3.	Confiabilidad de la máquina	X	
4.	No utilizar elementos de importación		X
5. FUNCIONALIDAD			
1.	Buena ergonomía para la operación de la máquina	X	
2.	Alimentación de las botellas de vidrio a la tolva de ingreso, con una altura máxima de 1 metro		X
3.	Fácil mantenimiento	X	
4.	Durabilidad	X	

Fuente: Esta investigación

7.6 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Tabla 6. Evaluación por desempeño relativo

DESEMPEÑO RELATIVO	CALIFICACIÓN
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Fuente: Esta investigación

De acuerdo a la anterior tabla se hizo los criterios de evaluación.



Tabla 7. Criterios de evaluación




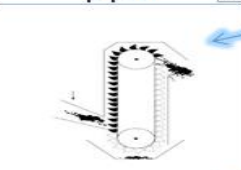
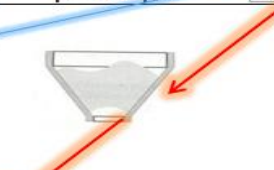


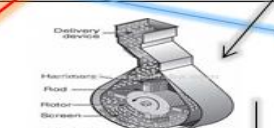
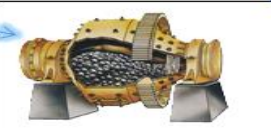




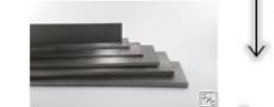










No.	Necesidad	Importancia
1	La máquina se adaptara a cualquier tipo de terreno	4
2	Fácil cambio ade motor eléctrico	4
3	Tiempo de trituración del vidrio según las especificaciones deseadas	4
4	Controles mínimos para manejo de la máquina	4
5	Proceso de buena calidad	5
6	Seguridad durante el proceso	5
7	Minimización de contaminación	5
8	Seguridad de la máquina	5
9	Realizable mantenimiento y durabilidad de los componentes	5

Fuente: Esta investigación

PROHIBIDO

7.7 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA PROPUESTA DE DISEÑO

Tabla 8. Matriz de selección

FUNCION	SOLUCIONES POSIBLES		
	1	2	3
MATERIAL	 papel	 plastico pet	 VIDRIO
INGRESO DE MATERIAL	 CANGILONES	 TOLVA	 BANDA TRASPORTADORA
TIPO DE MOLINOS	 MOLINO DE RODILLOS	 MOLINO DE MARTILLOS	 MOLINO DE BOLAS
sistema de emision de polvo	 ciclón	 agua	 Filtros de Bolsa o Mangas
Material para la estructura	 lamina acero 1040	 ACERO AL CARBONO	 hierro estructural
tipo de movimiento al rodillo	 polea	 engranaje	 piñón cadena
Tipo de alimentacion de la maquina	 MOTOR DIESEL	 MOPTOR STIRLIN	 MOTOR ELECTRICO
Tablero de Mando	 TABLERO DIGITAL	 TABLERO SEMI AUTOMATICO	 TABLERO MANUAL

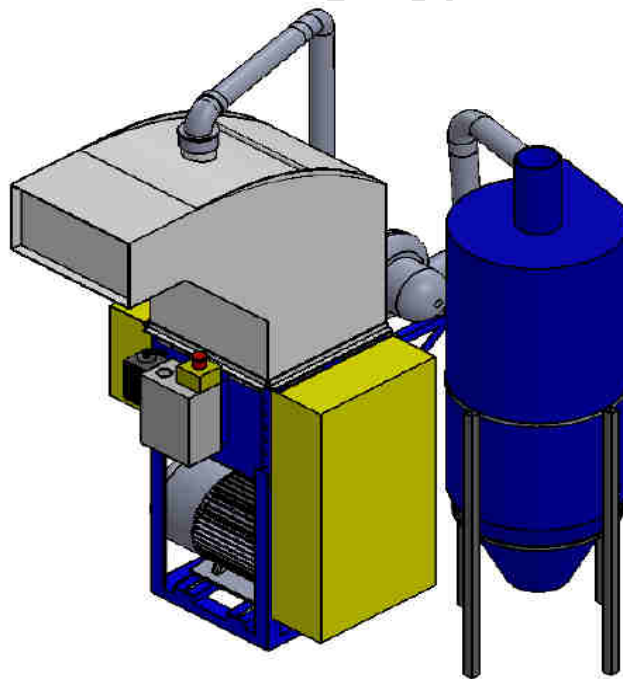
De acuerdo a la matriz de selección, la línea mas adecuada es la línea roja, ya que permite un mejor ajuste en los sistemas a implementar en la máquina.

7.8 BOCETO Y DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

El prototipo de máquina trituradora de botellas de vidrio va a realizar una operación de triturado en 2 etapas, para así lograr un objetivo del producto que es de 1 a 2cm de granulado del material de vidrio, además los materiales a utilizar para la construcción de este, es un acero 1045 como eje principal en el la caja de trituración; que consta de 2 rodillos de una primera fase, y 2 rodillos en la segunda fase, los cuales van a estar a expuestas al trabajo diario, así mismo como las puntas de Tornillo Prisionero que son las que se encargan de partir las botellas, que los componen que son las enya que la máquina va estar expuesta en la Fundación Tresol, en Tumaco donde las sales marinas hacen que cualquier tipo de material, y en lo que se refiere a metales, sufren corrosión y desgaste del mismo.

Ademas se implementara un sistema de ciclón que ayudara a disminuir la cantidad de partículas de vidrio que se produzcan al momento de triturado.

Figura 11. Boceto general de la trituradora de vidrio



Fuente: Esta investigación



8. DISEÑO DE DETALLE

8.1 CÁLCULOS

Teniendo en cuenta los elementos que se necesitan para el funcionamiento de la máquina se definen los elementos que se deben calcular para permitir su funcionalidad y de acuerdo a los resultados su construcción. También se especifican los elementos normalizados que se emplean adecuados a los criterios de selección de los mismos que se consiguen en el mercado para la construcción de la máquina.

8.1.1 Elementos normalizados.

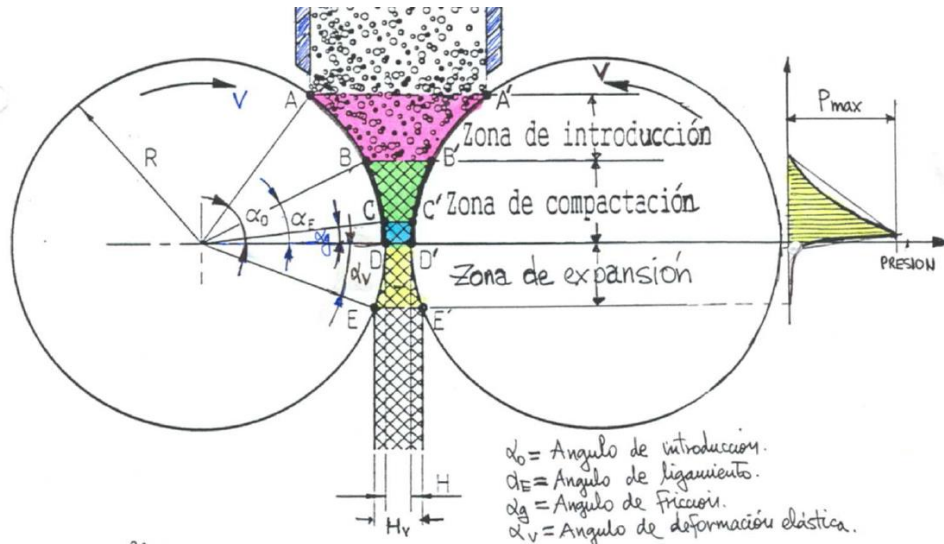
Tabla 9. Elementos normalizados

SISTEMAS	ELEMENTOS	NOR	NO NOR	CÁLCULO Y CRITERIOS DE SELECCION
1. Potencia	• Motor	X		- Rpm y HP
	• Ejes		X	- Diámetros
	• Rodamiento	X		- Tipo de carga y vida útil
	• Banda de transmisión	X		- Tipo de banda - Número de bandas - Longitud de banda
	• Poleas acanaladas	X		- Diámetro polea conductora - Diámetro polea conducida
2. Bastidor.	• Estructura en perfil angular o L		X	- Rigidez en la estructura - Esfuerzos de deflexion
	• Soldadura	X		- Electrodo 7018 y 6013
3. Triturado.	• Rodillos		X	- Número de rodillos, de diferentes diámetros ya que son en 2 fases.
	• Puntas de rodillos		X	- Selección de material de punta tipo Tornillo prisionero en las 2 etapas de trituración.
4. Alimentación.	• Tolva		X	- Capacidad de carga de materia prima a triturar - Dureza del material de la tolva
5. Salida del material	• Tolva de descargue		X	- Capacidad de descarga
6. Control.	• Contactor	X		- Intensidad de corriente - Voltaje
	• Control de mando	X		
	• Relé	X		

Fuente: esta investigación

8.1.2 Resúmenes de diseño. Para el diseño de rodillos se estimó valores experimentales para encontrar las variables de comparación como la magnitud de presión necesaria para dar ruptura al material y reducir el tamaño.

Figura 12. Prensa de cilindros de alta presión. Áreas de compactación



Fuente: Molino de cilindros de alta presión. En línea <
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituraciónMateriasPrimas.pdf>>

Donde²⁸

- $\alpha_0 =$ Angulo de introducción del material
- $\alpha_E =$ Angulo de compactación
- $\alpha_v =$ Angulo de expansión
- $H =$ Separación entre los rodillos

Se determinaron los ángulos de las zonas de introducción, compactación, expansión y sus valores son:

$$\alpha_0 = 60^\circ \qquad \alpha_E = 35^\circ \qquad \alpha_v = -30^\circ$$

Y la distancia de separación entre los rodillos de la primera fase de trituración $H = 45 \text{ mm}$

Con un ángulo $\alpha_E = 35^\circ$ la altura de la zona de compactación resulta ser de $L = 52 \text{ mm}$

²⁸ Molino de cilindros de alta presión. Disponible en Internet: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.CEMENTOS.TrituraciónMateriasPrimas.pdf>

Nota: El ancho del material a triturar está dado por el envase de vidrio de mayor diámetro que podría entrar en la máquina.

8.1.3 Diámetro del cilindro. El diámetro de los cilindros viene dado en función del tamaño máximo del bloque que hay que triturar (D_{\max}).

Tabla 10. Coeficiente para determinar el diámetro del rodillo

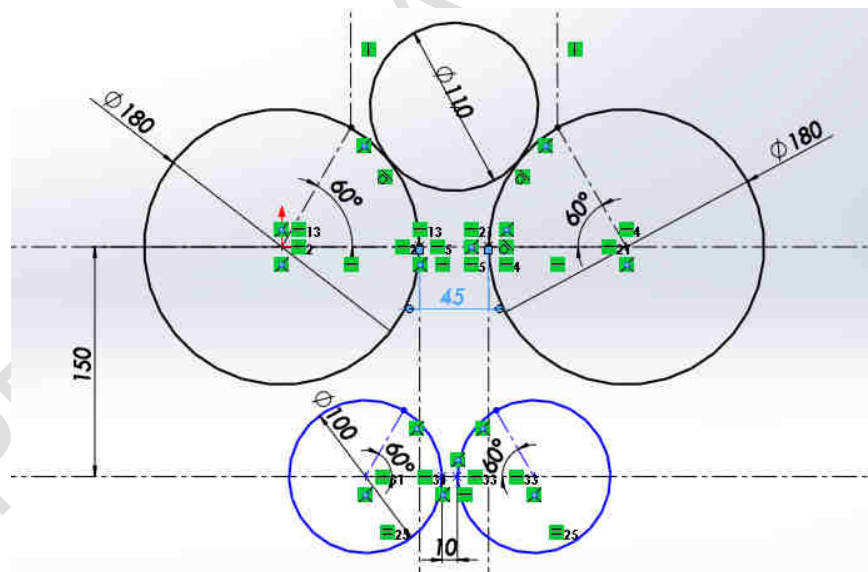
Serie Normal	$D_{\text{cilindro}} = 3 D_{\text{max de la roca}}$
Serie Pesada	$D_{\text{cilindro}} = (1.5 \text{ a } 3) D_{\text{max de la roca}}$

Fuente: En línea < <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com.co/2014/04/trituradora-de-rodillos-iii.html> >

Para el estudio se aplicó un coeficiente de 1.6 y el material a triturar tiene un diámetro máximo de 110mm. Por lo tanto se tiene que los rodillos son:

$$\text{Diámetro del rodillo} = 180\text{mm}$$

Figura 13. Geometría de los rodillos-Primera fase y segunda fase



Fuente: Esta investigación

La distancia de separación entre los rodillos de la segunda fase de trituración es de $H = 10\text{mm}$, los ángulos de las zonas se conservan y se aplica el mismo coeficiente. Por lo tanto el diámetro del rodillo en la segunda fase de trituración es de:

$$\text{Diámetro del rodillo} = 100\text{mm}$$



Resumen diámetro de los rodillos

Rodillo	Diámetro(mm)	Longitud del rodillo(mm)
1. Primera fase	200	350
2. Segunda fase	100	350

La longitud de los rodillos se estableció de acuerdo a la botella que presenta mayor longitud o también llamada altura. Para nuestro estudio la botella de mayor longitud fue la botella de champaña con una altura de 300 mm.

Potencia de motor: Para determinar la potencia del motor se empleó el índice de trabajo de Bond la cual está dada por:

$$W = Wi * 11 \left(\frac{\sqrt{F80} - \sqrt{P80}}{\sqrt{F80} * \sqrt{P80}} \right)$$

Donde

$W =$ Consumo Especifico de Energia (Kwh/ton)

$F80 =$ Tamaño 80% pasante en la alimentacion (μm o mm)

$P80 =$ Tamaño 80% pasante en el producto (μm o mm)

$Wi =$ Indice de Trabajo de Bond

En la siguiente Tabla se encuentran los valores de índice de Bond según el material a triturar. Para el estudio el material a triturar es vidrio.

Tabla 11. Índice de Bond

MATERIAL	Wi
Taconita	14.87
Trapp	21.1
Vidrio	3.08

Fuente: Trituración - Apuntes de ingeniería Mecánica. En línea < <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com.co/2014/04/trituradora-de-rodillos-iii.html> >

Tabla 12. Consumo especifico de energía

Datos	Resultado
1 Etapa $F80 = 110m = 110000\mu m$ $P80 = 45mm = 45000\mu m$	$W = 1.82 KWh/Ton$
2 Etapa $F80 = 45mm = 45000\mu m$ $P80 = 10mm = 10000\mu m$	$W = 0.179 kwh/Ton$

Fuente: Esta investigación.



La capacidad de trituración fue estimada de 300 Kg/h=0.3 Ton/h tanto para la primera fase como para la segunda.

Tabla 13. Potencia en cada etapa

VARIABLES		ECUACION	
$Pot = Potencia\ Total\ Requerida\ (Kw)$ $T = Capacidad\ de\ trituracion\ (\frac{Ton}{h})$		$Pot = T * W \quad ()^{29}$	
$Pot_m = Potencia\ util$		$Pot_m = 1.3 * Pot \quad ()^{30}$	
DATOS	ETAPA 1	ETAPA 2	RESULTADO
	$W = 1.82$ $T = 0.3$	$W = 0.179$ $T = 0.30$	1 ETAPA $Pot_m = 709.8\ Watts$ 2 ETAPA $Pot_m = 2378.57\ Watts$

Fuente: Esta investigación.

La potencia total fue determinada por la suma de la potencia útil de cada etapa por lo tanto la potencia del motor a usar es de:

$$P_{motor} = 3143\ W = 4.21\ Hp$$

Se seleccionó un motor de 5 Hp debido a que en el mercado no existen motores de referencia de la potencia previamente calculada.

Criterios de selección velocidad rotacional de rodillos: El motor eléctrico a seleccionar es de bajas revoluciones con el fin de reducir las un grado más por medio del mecanismo banda - polea y obtener un torque alto para el proceso de la compresión. Comercialmente en el mercado se encuentra motores de 900 rpm siendo este el que presenta las más bajas revoluciones comparado con otros motores. Se tuvo en cuenta el criterio que mayores revoluciones el torque disminuye y viceversa pero si las revoluciones son muy bajas se llega a perder la fuerza centrífuga que generan los rodillos ya que estos poseen una masa considerable debido al tamaño. Por lo tanto el torque a considerar debe vencer la inercia de los rodillos y la carga de material a comprimir. De manera que las revoluciones a seleccionar son de 281 Rpm.

²⁹ TRITURACIÓN. Apuntes de ingeniería Mecánica. Disponible en Internet: <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com.co/2014/04/trituradora-de-rodillos-iii.html>>

³⁰ Ibid., p. 3.



Tabla 14. Revolución específica de rodillos - 1 Etapa

PARAMETROS EJE 1 ETAPA					
POTENCIA	REVOLUCIONES		TORQUE		TORQUE
5 Hp	3600	Rpm	87,5	Lb*in	9,921875 N*m
5 Hp	1800	Rpm	175	Lb*in	19,84375 N*m
5 Hp	900	Rpm	350	Lb*in	39,6875 N*m
5 Hp	700	Rpm	450	Lb*in	51,0267857 N*m
5 Hp	500	Rpm	630	Lb*in	71,4375 N*m
5 Hp	281	Rpm	1120,9964	Lb*in	127,112989 N*m

Fuente: Esta investigación.

Tras varias iteraciones se llegó a que el mejor valor de las revoluciones es de 359 pues se obtiene un Torque considerable y va a generar fuerza centrífuga.

Para la segunda etapa de compresión se tuvo en cuenta que el material es de menor tamaño comparado con la primera etapa por lo que se necesitara mayor fuerza centrífuga es decir mayor fuerza de impacto y un torque considerable que venza la inercia de los rodillos y la carga de material a comprimir.

Tabla 15. Revolución específica de rodillos - 2 Etapa

PARAMETROS EJE 2 ETAPA					
POTENCIA	REVOLUCIONES		TORQUE		TORQUE
5 Hp	700	Rpm	450	Lb*in	51,0267857 N*m
5 Hp	600	Rpm	525	Lb*in	59,53125 N*m
5 Hp	500	Rpm	630	Lb*in	71,4375 N*m
5 Hp	450	Rpm	700	Lb*in	79,375 N*m
5 Hp	281	Rpm	1120,99644	Lb*in	127,112989 N*m

Fuente: Esta investigación.

Tras varias iteraciones se llegó a que el mejor valor de las revoluciones es de 450 pues se obtiene un Torque considerable y va a generar fuerza centrífuga considerable para realizar la compresión.

Capacidad de trituración: La capacidad de trituración se la puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$T = \rho * v * W * H \quad \text{Ecuacion() }^{31}$$

Dónde:

³¹ Ibid.



$T =$ Capacidad de la máquina (T/h)

$W =$ Longitud de los cilindros (m)

$v =$ Velocidad periférica de los cilindros (m/s)

$\rho =$ densidad del vidrio

$H =$ Separación entre los rodillos(m)

Para determinar capacidad de trituración la máquina fue necesario conocer la velocidad periférica la cual se encontró con las “rpm” y con el radio de los rodillos valores que se establecieron anteriormente. Al igual se usaron los valores de la longitud y separación de los rodillos definidos anteriormente. Para el estudio usa la densidad del vidrio. Esto aplico fue aplicado para las dos etapas de trituración

Tabla 16. Parámetros capacidad de trituración 1 – Etapa

DATOS	VALOR	
W	350mm	0.35m
H	45mm	0.045m
v	$3.76 \frac{m}{s}$	359 rpm
ρ	$2500 \frac{Kg}{m^3}$, tipo sodo – cálcicos ³²	
La capacidad de trituración de la máquina de rodillos para un material de vidrio tipo sodo cálcico es:		
$T = 148.05 \frac{kg}{h}$		

Fuente: Esta investigación.

Tabla 17. Parámetros capacidad de trituración 2 – Etapa

DATOS	VALOR	
W	350mm	0.35m
H	10mm	0.01m
v	$2.6 \frac{m}{s}$	496 rpm
ρ	$2500 \frac{Kg}{m^3}$, tipo sodo – cálcicos ³³	
La capacidad de trituración de la máquina de rodillos para un material de vidrio tipo sodo cálcico en la segunda etapa es:		
$T = 102.37 \frac{kg}{h}$		

Fuente: Esta investigación.

³² Disponible en Internet: https://es.wikiversity.org/wiki/Vidrios_cer%C3%A1micos

³³ Ibid.



La capacidad de trituración total de la máquina fue determinada por la suma de la capacidad de la etapa 1 y la etapa 2 dando como resultado

$$T = 250.41 \text{ Kg/h}$$

Fuerza de compresión “FC”:

Para llevar a cabo el proceso de trituración se determina la fuerza de compresión a partir del esfuerzo de compresión del vidrio, el arco de compresión y la altura de contacto entre la botella y el rodillo.

$$\sigma_{\text{Vidrio a compresion}}^{34} = 981 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuacion}()^{35}$$

Tabla 18. Fuerza de compresión de cada botella

TIPO BOTELLA	Ø (mm)	ARCO DE COMPRESIÓN(mm)	ALTURA(H) (mm)	FC (Fuerza compresión)(N)
Whisky	110	31.92	125	3914190
Aguardiente	90	28.82	125	3534052.5
Champaña	80	27.13	135	3592961.5
Cerveza	60	23.48	130	2994404.4
Jugo Hit	55	22.58	120	2622801.6

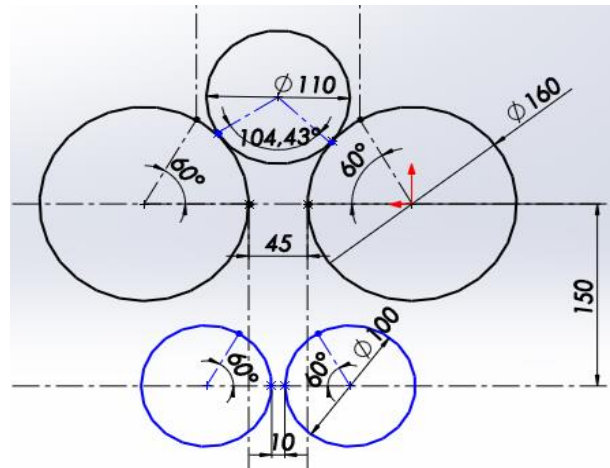
Fuente: Esta investigación.

Se estima para el proceso de trituración la fuerza de 3914190 N debido a que esta presentara el mayor estado crítico en los rodillos y también determina la potencia mínimo del motor para el proceso.

³⁴ Ibid.

³⁵ BEER P, Ferdinand. Mecánica de materiales, 5 Ed. Mexico: McGraw – Hill, 2006. p. 5.

Figura 14. Arco compresión- Botella whisky

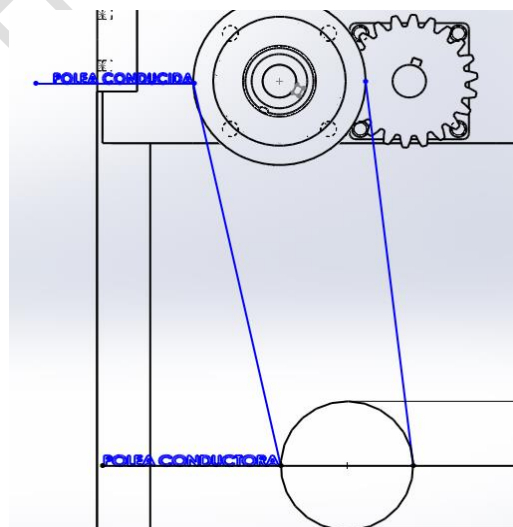


Fuente: Software CAD- Solidworks V. 2013

Cálculo de transmisión por banda-correa:

Fase 1: El sistema de transmisión utiliza bandas y poleas en V. Tiene una polea acanalada de entrada en la flecha del motor eléctrico especificada a 5 Hp a una velocidad de 900 rpm. Y en la salida una polea acanalada en el eje que se va a utilizar para el proceso de compresión del vidrio de fase 1 durante 8,5 horas diarias a 281 rpm previamente calculadas. Por lo tanto se estima poleas estándar de diámetro 60 mm para la conductora y diámetro de la polea conducida de 130 mm.

Figura 15. Transmisión motor a fase 1 (Compresión)



Fuente: Esta investigación



Según Robert Mott del libro de diseño de elementos de máquinas de la Tabla 13-1 se selecciona un factor de servicio (fs.) de 1.3 (Pág. 274 4 Edición). También se estima un valor entre centros de 342 mm por la disposición de espacio que se tiene y el motor posee un sistema de tensiómetro. La distancia entre centros es de 302 mm corregida

Tabla 19. Consideraciones selección de bandas en V

VARIABLES	ECUACIONES
<p>$P_{in} = \text{Potencia de entrada } vv \quad (5Hp)$</p> <p>Criterio funcionamiento de máquinas trituradora= Factor de servicio.</p> <p>Fs=Factor de servicio=1.3</p> $P_{in} = 5 * 1.3$	<p>$\text{Potencia de diseño} = P_{in} * fs \quad (23)^{36}$</p> <p>Del libro de Mott³⁷ a partir de la figura 13-9 se sugiere utilizar una banda 3VX</p>
<p>$W1 = \text{Velocidad angular entrada (rpm)}$</p> <p>$W2 = \text{Velocidad angular salida (rpm)}$</p> <p>$r1 = \text{Radio polea conductora (in o mm)}$</p> <p>$r2 = \text{Radio polea conducida (i o mm)}$</p> <p>$W1 = 900 \text{ rpm}$</p> <p>$r1 = 30 \text{ mm}$</p> <p>$r2 = 65 \text{ mm}$</p> <p>Despejando “W2= Velocidad de salida real” se tiene</p> $W2 = \frac{W1 * r1}{r2}$	$\frac{W1}{W2} = \frac{r2}{r1} \quad (24)^{38}$

³⁶ MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas, 4 Edición. Mexico: PEARSON Educación, 2006. p. 539.

³⁷ *Ibid.*, p. 274.

³⁸ NORTON. Diseño de maquinaria, 3 Ed. Mexico: Ed Pirtene Hall, 2005. p. 421.

<p>$P_{RL} = \text{Potencia real (Hp)}$</p> <p>$P_a = \text{Potencia agregada (Hp)}$</p> <p>$P_{esp} = \text{Potencia especifica (Hp)}$</p> <p>De acuerdo a la banda 3V, las revoluciones de entrada y el diámetro de la polea conductora de la Figura 7 – 10 del libro de Mott (4 Edición - Pág. 275) se tiene una potencia especifica de $P_{esp} = 2,5 \text{ Hp}$</p> <p>De acuerdo a la relación (r^2/r_1) de la Figura 7 -13 del libro de Mott (4 Edición - Pág. 276) se tiene una potencia agregada de $P_a = 0,94 \text{ Hp}$</p>	<p>$P_{RL} = P_{esp} + P_a \quad (26)^{39}$</p> <p>$P_{RL} = 2,91 \text{ Hp}$</p>
<p>$L = \text{Longitud banda (in)}$</p> <p>$C = \text{Distancia entre centros}$ $C = 302 \text{ mm}$ $D1 = 60\text{mm}$ $D2 = 130\text{mm}$</p>	<p>$L = 2C + 1,57(D2 + D1) + \frac{(D2 - D1)^2}{4C} \quad (28)^{40}$</p>
<p>$P_C = \text{Potencia corregida (Hp)}$</p> <p>Se selecciona los coeficientes de contacto Coeficiente de contacto $C_\theta = 0,9$ (Tabla 7-14)⁴¹ Se selecciona los coeficientes según la longitud de la banda ya calculada Coeficiente de longitud $C_L = 0,94$ (Tabla 7-15)⁴²</p>	<p>$P_C = C_\theta * C_L * P_{RL} \quad (29)^{43}$</p> <p>$P_C = 0.9 * 0.94 * 2.91$</p>

³⁹ Op., cit. Diseño de elementos de máquinas. p. 546.

⁴⁰ Ibíd., p. 547.

⁴¹ Ibíd., p. 277.

⁴² Ibíd., p. 277.

⁴³ Ibíd., p. 547.



$N_B = \text{Numero de bandas}$ <i>Potencia de diseño = 6,5 Hp</i> $P_c = 2,91 \text{ Hp}$	$N_b = \frac{\text{Potencia de diseño}}{P_c} \quad (30)^{44}$
RESULTADOS	
<i>Potencia de diseño = 6,5 Hp</i>	
<i>Relacion (r^2/r_1) = 3.2</i>	
<i>D1 = 60 mm y D2 = 130 mm</i> <i>W2 = Velocidad de salida real = 281 rpm</i>	
$P_{RL} = 2,91 \text{ Hp}$	
$L = 49,3 \text{ in} = 906.3 \text{ mm}$	Longitud banda estándar = 35 in
<i>Potencia corregida = 2,91 Hp</i>	
<i>Numero de bandas = 2,23 bandas (Utilizar 2 bandas)</i>	

Fuente: Esta investigación.

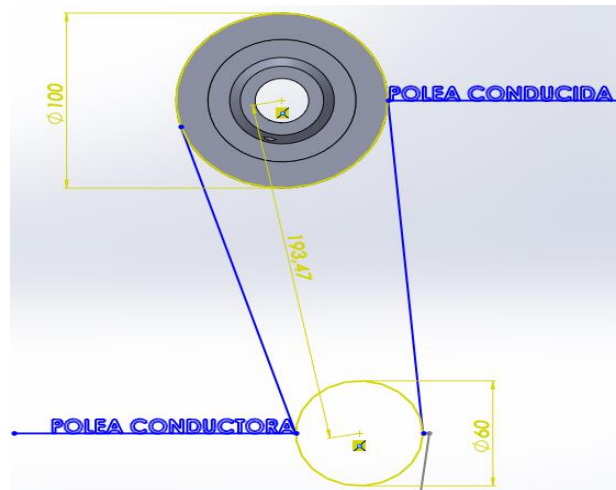
Del catálogo de distribuidor de bandas en V POWER FLX se selecciona dos bandas estándar de longitud 35 in⁴⁵.

Fase 2: El sistema de transmisión utiliza bandas y poleas en V. Tiene una polea acanalada de entrada en el eje a 5 Hp a una velocidad de 281 rpm. Y en la salida una polea acanalada en el eje que se va a utilizar para la Fase 2 del proceso de compresión durante 8,5 horas diarias a 450 rpm previamente calculadas. Por lo tanto se estima poleas estándar de diámetro 255 mm para la conductora y diámetro de la polea conducida de 180 mm.

⁴⁴ *Ibíd.*, p. 285.

⁴⁵ TRASMISIÓN DE potencia. Disponible en internet: <http://www.ipitequipos.com/catalogos/GATES/GATES%20Bandas%20Industriales.pdf>.> P17

Figura 16. Trasmision fase 2 a fase 1 (Compresión)



Fuente: Esta investigacion.

Según Robert Mott del libro de diseño de elementos de máquinas de la Tabla 13-1 se selecciona un factor de servicio (*fs.*) de 1.3 (Pág. 274 4 Edición). También se estima un valor entre centros de 199 mm por la disposición de espacio que se tiene y que el sistema posee tensiómetros así que es posible regular la distancia entre centros.

Tabla 20. Consideraciones selección de bandas en V

VARIABLES	ECUACIONES
$P_{in} = \text{Potencia de entrada } vv \quad (5Hp)$ Criterio funcionamiento de máquinas trituradora= Factor de servicio. Fs=Factor de servicio=1.3 $P_{in} = 5 * 1.3$	$\text{Potencia de diseño} = P_{in} * fs \quad (23)^{46}$ Del libro de Mott ⁴⁷ a partir de la figura 13-9 se sugiere utilizar una banda 3VX

⁴⁶ Op. Cit., MOTT, Robert. p. 539.

⁴⁷ *Ibíd.*, p. 274.

<p> $W1$ = Velocidad angular entrada (rpm) $W2$ = Velocidad angular salida (rpm) $r1$ = Radio polea conductora (in o mm) $r2$ = Radio polea conducida (i o mm) </p> <p> $W1 = 281 \text{ rpm}$ $r1 = 30\text{mm}$ $r2 = 50\text{mm}$ </p> <p>Despejando “$W2$= Velocidad de salida real” se tiene</p> $W2 = \frac{W1 * r1}{r2}$	$\frac{W1}{W2} = \frac{r2}{r1} \quad (24)^{48}$
<p> P_{RL} = Potencia real (Hp) P_a = Potencia agregada (Hp) P_{esp} = Potencia especifica (Hp) </p> <p>De acuerdo a la banda 3V, las revoluciones de entrada y el diámetro de la polea conductora de la Figura 7 – 10 del libro de Mott (4 Edición - Pág. 275) se tiene una potencia especifica de $P_{esp} = 2,5 \text{ Hp}$</p> <p>De acuerdo a la relación (r^2/r_1) de la Figura 7 -13 del libro de Mott (4 Edición - Pág. 276) se tiene una potencia agregada de $P_a = 0,94 \text{ Hp}$</p>	$P_{RL} = P_{esp} + P_a \quad (26)^{49}$ $P_{RL} = 2,91 \text{ Hp}$
<p> L = Longitud banda (in) C = Distancia entre centros </p>	

⁴⁸ Op. Cit., NORTON. p. 421.

⁴⁹ Ibid., p. 546.



<p>$C = 193.4 \text{ mm}$ <i>Diametro polea conductora</i> = $D1$ $= 60\text{mm}$ <i>Diametro polea condcucida</i> = $D2$ $= 100\text{mm}$</p>	$L = 2C + 1,57(D2 + D1) + \frac{(D2 - D1)^2}{4C} \quad (28)^{50}$ <p>$L=640\text{mm}$</p>
<p>$P_c = \text{Potencia corregida (Hp)}$ Se selecciona los coeficientes de contacto Coeficiente de contacto $C_\theta = 0,9$ (Tabla 7-14)⁵¹ Se selecciona los coeficientes según la longitud de la banda ya calculada Coeficiente de longitud $C_L = 0,94$ (Tabla 7-15)⁵²</p>	$P_C = C_\theta * C_L * P_{RL} \quad (29)^{53}$ $P_C = 0.9 * 0.94 * 2.91$
<p>$N_B = \text{Numero de bandas}$ <i>Potencia de diseño</i> = $6,5 \text{ Hp}$ $P_c = 2,91 \text{ Hp}$</p>	$N_b = \frac{\text{Potencia de diseño}}{P_C} \quad (30)^{54}$
RESULTADOS	
<i>Potencia de diseño</i> = $6,5 \text{ Hp}$	
<i>Relacion</i> (r^2/r_1) = 1.6	
$D1 = 60 \text{ mm}$ y $D2 = 100 \text{ mm}$ $W2 = \text{Velocidad de salida real} = 450\text{rpm}$	
$P_{RL} = 2,91 \text{ Hp}$	
$L = 25,1\text{in} = 640 \text{ mm}$	Longitud banda estándar= 25 in
<i>Potencia corregida</i> = $2,91 \text{ Hp}$	
<i>Numero de bandas</i> = $2,23 \text{ bandas}$ (Utilizar 2 bandas)	

Fuente: Esta investigación.

⁵⁰ *Ibíd.*, p. 547.

⁵¹ *Ibíd.*, p. 277.

⁵² *Ibíd.*, p. 277.

⁵³ *Ibíd.*, p. 547.

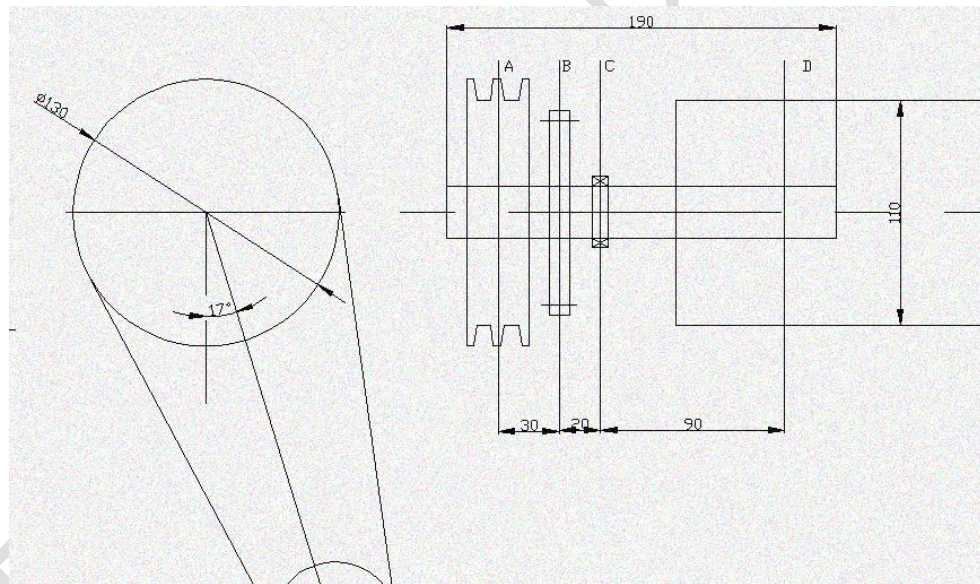
⁵⁴ *Ibíd.*, p. 285.

Del catálogo de distribuidor de bandas en V POWER FLX se selecciona dos bandas estándar de longitud 25 in⁵⁵.

Es de importancia mencionar que la transmisión de potencia entre ejes se realiza por banda, con uso de un motor y no con dos en comparación a otras máquinas del mismo tipo. Por consecuencia se tuvo que implementar el sistema de transmisión con piñones el cual permite invertir el giro de los rodillos que es requerido para el proceso de compresión.

Cálculo de eje⁵⁶: Para el diseño del eje se estableció que estará sometido a cargas de flexión como caso común en el estudio de resistencia de materiales. Las cargas a considerar son las que se generan por el efecto de la transmisión de potencia que se da entre las poleas, rodillos, eje y las cargas debido a la compresión. También hay que considerar las reacciones que se generan en los rodamientos ubicados en el eje. A continuación en la figura se muestra un arreglo de los elementos a considerarse para el diseño.

Figura 17. Arreglo de elementos en eje – Medidas en mm



Fuente: Diseño realizado en AutoCAD Versión 2010.

⁵⁵ TRASMISIÓN DE potencia. Disponible en Internet:

<http://www.ipitequipos.com/catalogos/GATES/GATES%20Bandas%20Industriales.pdf>.> P17

⁵⁶ Op. Cit., MOTT, Robert. p. 533.



Procedimiento:

1. Calcular la velocidad de giro del eje:

El motor eléctrico que se seleccionó para la máquina es que el presente las más bajas revoluciones y que se encuentre comercialmente en el mercado por tanto el de 900 rpm cumple la condición. Lo anterior es con el fin de llegar a 281 rpm para el proceso de compresión mediante el mecanismo banda en V - polea. Las revoluciones escogidas son estimaciones con criterios como a mayores revoluciones el torque disminuye y para el proceso de trituración se debe tener un torque considerable, pero si son las revoluciones son muy bajas se llega a perder la fuerza centrífuga que generan los rodillos.

2. Determinar el par torsional o potencia en el eje

La potencia del motor pertenece a 5 Hp trifásico AC-220V.

$$T = \frac{63000 * P}{n} \quad (Lb * in) \quad Ecuacion(1)$$

Donde:

T = torque sobre el eje ($Lb * in$)

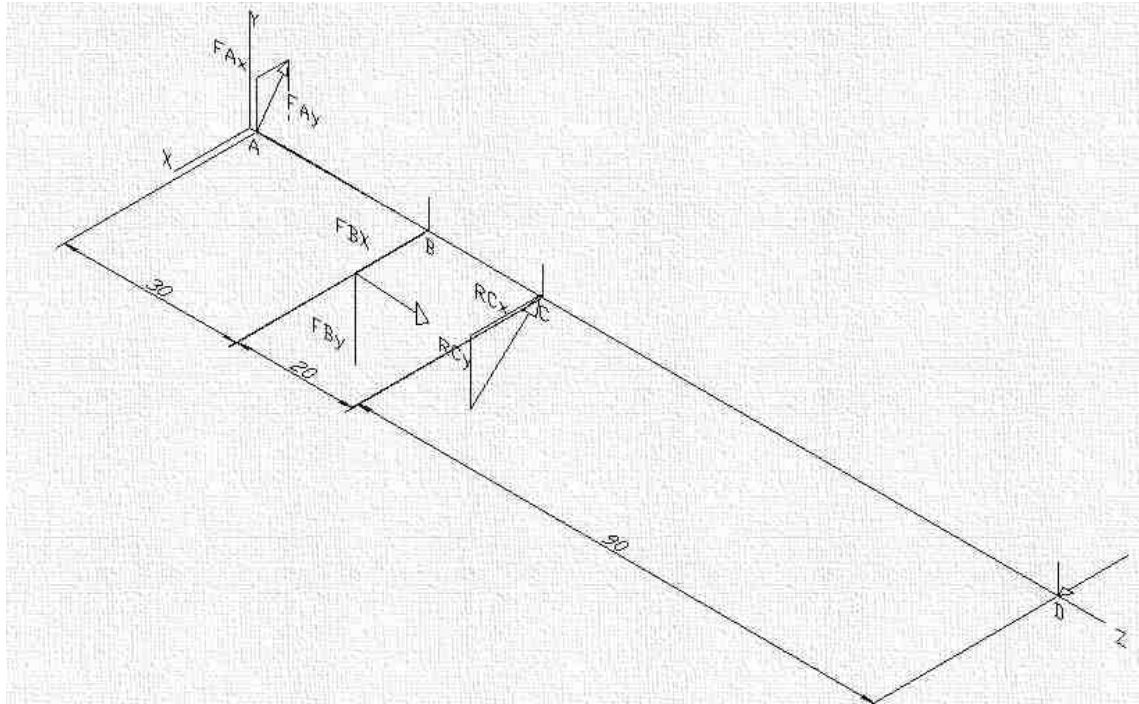
P = Potencia (Hp)

n = Velocidad de rotacion (rpm)

$$T = \frac{63000 * 5 Hp}{281} = 1120,9Lb * in$$

3. Determinar las fuerzas que causan los elementos que se montan sobre el eje.

Figura 18. Diagrama de cuerpo libre – eje – DIMENSIONES (mm)



Fuente: Diseño realizado en AutoCAD Versión 2010.

3.1 Para determinar las fuerzas que genera la polea se aplican las siguientes ecuaciones:

Tabla 21. Fuerzas en (A)

VARIABLES		ECUACIONES	
$D = \text{Diametro primitivo de la polea conducida (in)}$		$F_s = 1,5FN \text{ (Lbf)}$ (57)	
$T = \text{Torque (Lb * in)}$			
$F_s = \text{Fuerza flexionante en A (Lbf)}$			
$FN = \text{Fuerza Neta (Lbf)}$		$FN = \frac{2T}{D} \text{ (Lbf)}$ (58)	
DATOS	$D = 9,84 \text{ in}$ $T = 851,31 \text{ Lb * in}$ $\text{Angulo } \theta = 24^\circ$	$FN = 173,03$ $F_sA = 259,54$	$F_sAx = -237,1 \text{ Lbf}$ $F_sAy = -105,56 \text{ Lbf}$

Fuente: Esta investigación.

⁵⁷ Op., cit. Diseño de elementos de máquinas.p. 539.

⁵⁸ Ibíd., p. 539.



Tabla 22. Fuerzas en (E)

VARIABLES		ECUACIONES
<i>D = Diametro primitivo de la polea conducida (in)</i> <i>T = Torque (Lb * in)</i> <i>F_s = Fuerza flexionante en E(Lbf)</i> <i>FN = Fuerza Neta (Lbf)</i>		$FN = \frac{2T}{D} \quad (Lbf) \quad ()^{59}$ $F_s = 1,5FN \quad (Lbf) \quad ()^{60}$
DATOS	<i>D = 4,72 in</i> <i>T = 851,31 Lb * in</i>	<i>FN = 360,72 Lbf</i> <i>F_{sE} = 641,08 Lbf</i>

Fuente: Esta investigación.

3.2. Determinar fuerzas por causa del proceso de compresión en los rodillos:

FC. En estática las fuerzas se distribuyen uniformemente en área o lo largo de una longitud. Por lo tanto la *FC'*(Fuerza de compresión) se distribuye a lo largo del rodillo y se toma *FC*(Fuerza de compresión en C) como fuerza puntual.

Tabla 23. Fuerzas en (C)

VARIABLES		ECUACIONES
<i>FC = Fuerza de compresion en C (Lb)</i> <i>FC' = Fuerza de compresion (Lb * in)</i> <i>Lr = Largo de rodillo (in)</i>		$FC = \frac{FC'}{Lr} \quad ()$
DATOS	<i>FC' = 3914190 N * mm = 879949 Lbf * in</i> <i>Lr = 350 mm = 13,77 in</i>	<i>FC = -2514,14 Lbf</i>

Fuente: Esta investigación.

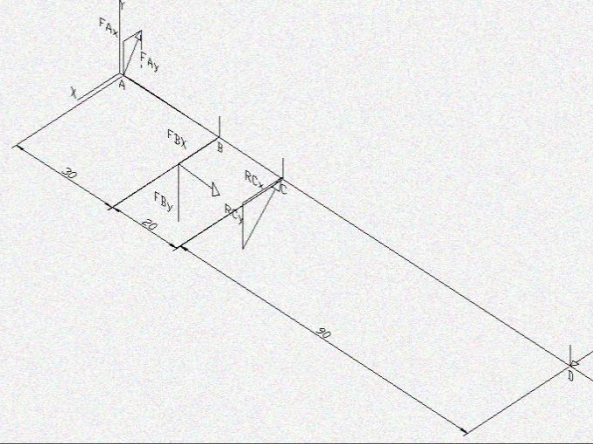
4. Determinar reacciones en los rodamientos

Con el estudio estático se determinaron las reacciones R1x, R1y, R2x y R2y aplicando la sumatoria de momentos y sumatoria de fuerzas igual a cero. En la Tabla siguiente se muestran los resultados.

⁵⁹ *Ibíd.*, p. 539.

⁶⁰ *Op.*, cit. Diseño de elementos de máquinas. p. 539.

Tabla 24. Reacciones rodamientos

VARIABLES		ECUACIONES	
$\sum F_x = \text{Sumatoria de fuerzas en } X$ $\sum F_y = \text{Sumatoria de fuerzas en } Y$ $\sum M = \text{Sumatoria momentos}$		$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M = 0 \quad (17)^{61}$	
			
DATOS	EN X $F_C = -2514,14 \text{ Lbf}$ $F_{sE} = 641,08 \text{ Lbf}$ $F_{sAx} = -237,1 \text{ Lbf}$	EN Y $F_{sAy} = -105,56 \text{ Lbf}$	$R_{X1} = 1726,23 \text{ Lbf}$ $R_{Y1} = 125,73 \text{ Lbf}$ $R_{X2} = 383,58 \text{ Lbf}$ $R_{Y2} = -20,17 \text{ Lbf}$

Fuente: Esta investigación.

5. Determinar la Magnitud máxima de la función momento:

En este paso se sumaran las componentes de las fuerzas de cada componente montado en el eje y hallar la fuerza total de cada una para luego determinar los momentos respectivos y de esta manera hallar su máxima magnitud. Luego se determina la magnitud máxima de los momentos de cada punto donde se ha situado los componentes montados en el eje.

⁶¹ Op. Cit., BEER, Ferdinand. p. 3.



Tabla 25. Momento flector

VARIABLES		ECUACIONES	
$V = \text{Fueza cortante neta (Lbf)}$		$V = \sqrt{Ax^2 + Ay^2} \quad (18)^{62}$	
$M = \text{Momento flector neto (Lbf * in)}$		$M = \sqrt{Mx^2 + My^2} \quad (19)^{63}$	
DATOS	PLANO XZ $MB_x = -772,52$ $MC_x = 4515,17$ $MD_x = 1910,63$	PLANO YZ $MB_y = -343,07$ $MC_y = -181,71$ $MD_x = 0$	$M_B = 845,27 \text{ Lbf * in}$ $M_C = 4515,17 \text{ Lbf * in}$ $M_D = 1910,63 \text{ Lbf * in}$

Fuente: Esta investigación.

6. Selección de material de prueba y resistencia a la fatiga corregida:

Tabla 26. Material eje

MATERIAL DE PRUEBA	PROPIEDADES
Acero de bajo carbono AISI 1020 rolado en frio (Tabla 7.1) ⁶⁴	Baja sensibilidad a la entalla y costo.
	$S_{ult} = 68Ksi$ $S_y = 57Ksi$
	Resistencia a la fatiga $S_n = 0,5 * S_{ult}$ $(20)^{65}$ $S_n = 34000 \text{ Psi}$
	Resistencia a la fatiga corregida $S_n' = S_n * (C_m) * (C_{st}) * (C_r) * (C_s) * (C_a)$ $(21)^{66}$ $S_n' = 23120 \text{ Psi}$

Fuente: Esta investigación.

Según el libro de diseño de elementos de máquinas de Robert Mott (4 Edición) Los factores de criterio de selección escogidos son:

- **Factor de material C_m .**

De acuerdo al material seleccionado de la Tabla 8.1 se escoge el factor que se relacione con el tipo de acero forjado.

$$C_m = 1.0$$

⁶² Ibid.

⁶³ Ibid., p. 345.

⁶⁴ Op. Cit., NORTON, Robert L. p. 990.

⁶⁵ Ibid., p. 274.

⁶⁶ Ibid., p. 174.



- **Factor tipo de esfuerzo C_{st} :**

De acuerdo al tipo de esfuerzo que el eje va a experimentar se escoge de la Tabla 8.2 un factor que se relacione con un esfuerzo a flexión

$$C_{st} = 1.0$$

- **Factor de confiabilidad C_r :**

De acuerdo al factor confiabilidad de la Tabla 8.3, el diseño del eje tendrá una confiabilidad del 0,50 lo que permitirá que se minimice la posibilidad de que el falle o se produzca una ruptura en él.

$$C_r = 1.0$$

- **Factor de tamaño C_s :**

Para la estimación de tamaño del eje se debe tener en cuenta su diámetro. El diseño del eje tiene por diámetro 75 mm para darle rigidez y evitar concentraciones dinámicas. De esta manera de la Tabla 8.4 se selecciona un factor de tamaño.

$$C_s = 0.85$$

- **Factor de superficie C_a :**

El factor de superficie se refiere al tipo de proceso que el material haya sido expuesto al terminar su fabricación. El eje tendrá un proceso de maquinado y de la Figura 8.1 se selecciona el factor de superficie

$$C_a = 0.8$$

7. Factor de concentración de esfuerzo a la fatiga (K_f) y factor de seguridad (N):

El acople de los accesorios poleas, y rodillos se lleva a cabo por medio de cuñeros de perfil. Por lo tanto el factor de concentración es igual para las secciones.

$$K_f = 2.0.$$

Según el libro de diseño de elementos de máquinas de Robert Mott (4 Edición, Pág. 185) se escogió un factor de seguridad $N = 2$. Debido a que el eje será de un material dúctil y estará sometido bajo cargas dinámicas y se tiene una confianza promedio de funcionalidad sin entrar en sobredimensiones de eje.



8. Cálculo diámetro del eje (D):

Una vez determinadas todas las variables de la ecuación para el cálculo del diámetro eje se procede a conocer el valor del diámetro mínimo del eje.

Tabla 27. Diámetro eje

VARIABLES	ECUACIONES
<i>N = Factor seguridad deseado</i> <i>Kf = concentración de esfuerzo</i> <i>M = Momento flector (Lbf * in)</i> <i>Sn' = Resistencia a la fatiga c (Psi)</i> <i>T = Torque medio (Lbf * in)</i> <i>Sy = Resistencia a la fluencia (Psi)</i> <i>D = Diametro eje (in)</i>	$D = \sqrt[3]{\frac{32N}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{Kf*M}{Sn'}\right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{T}{Sy}\right]^2}} \quad (22)^{67}$ <p><i>Nota: Compatible con la Norma ANSI B106.IM-1985.</i></p>

Fuente: Esta investigación.

Tabla 28. Diámetros admisibles del eje

Sección	N	Kf	M(Lbf)	Sn'(Psi)	T(Lb*in)	Sy(Psi)	D(min)	D(nom)(In)
A	2	2	55,88	23120	858,31	57000	0,63	1,25
B	2	2	845,27	23120	858,31	57000	1,14	1,25
C	2	2	4515,17	23120	858,31	57000	1,27	1,25
D	2	2	1910,63	23120	858,31	57000	1,13	1,25
E	2	2	328,62	23120	858,31	57000	0,93	1,25

Fuente: Esta investigación.

Se decide igualar los diámetros D1, D2, D3, D4, D5 para minimizar el maquinado⁶⁸ y para minimizar costos de fabricación.

Selección de rodamientos: Para la selección de rodamientos se tuvo en cuenta el diámetro mínimo del eje el cual es 1,5 in = 38 mm, las cargas más elevadas en proceso de compresión y la velocidad rotacional más crítica de 496 rpm. Se seleccionó un rodamiento de una hilera de bolas por costo y eficiencia. Del libro de diseño de elementos de máquina de Robert Mott y la Tabla 14-4 (Pág. 612- 4 Edición) se determinó una duración de diseño de rodamiento de 4000 – h – Equipo agrícola.

⁶⁷ *Ibíd.*, p. 556.

⁶⁸ *Ibíd.*, p. 557.

Tabla 29. Selección de rodamiento

VARIABLES	ECUACIONES
<i>Pd</i> = Carga de diseño de rodamiento <i>V</i> = Factor de rotación <i>R</i> = Carga radial Para <i>R</i> = 1726 Lbf <i>V</i> = 1.0 Si lo que gira es la pista interior del rodamiento ⁶⁹	$Pd = VR \quad (30)^{70}$
<i>fL</i> = factor por duración <i>fn</i> = factor por velocidad <i>C</i> = Carga dinámica De la (Tabla 14-12) ⁷¹ <i>fn</i> = 0,5 <i>fL</i> = 2,0	$C = Pd * \frac{fL}{fn} \quad (31)^{72}$
<i>Pd</i> = 1726 Lbf	
<i>C</i> = 6904Lbf	

Fuente: Esta investigación.

Del mismo autor de la Tabla 14-15 se seleccionó un rodamiento de número 6308 (Pág. 609 4 Edición) porque es compatible con el diámetro del eje y está por encima de la carga dinámica calculada con el valor de 7050 Lbf. Así mismo del catálogo de chumaceras SKF se seleccionó una SYNT 75 F⁷³

Cálculo tornillo chumacera: La chumacera va a recibir toda la carga de empuje que se genera en la compresión al igual que los tornillos de fijación de la misma. La carga de empuje es 3600000 N pues es la fuerza de compresión de la botella de Whisky y se multiplica por 2 por que presenta dos rodillos. Como tal para el análisis en primera instancia la carga de empuje no va a generar momento por lo que se simplifica el análisis. Así para determinar el diámetro del perno solo es suficiente con encontrar encuentra el número de distribución de los tornillos.

⁶⁹ Ibíd., p. 613.

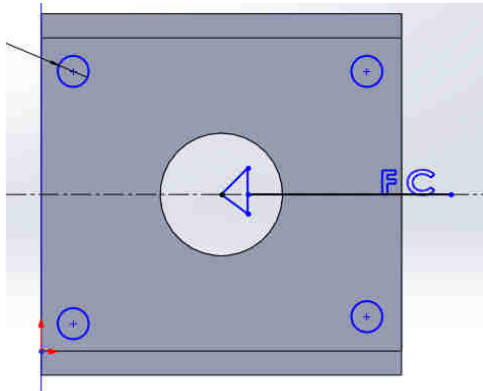
⁷⁰ Ibíd., p. 613.

⁷¹ Ibíd., p. 612.

⁷² Ibíd., p. 613.

⁷³ CATALOGO SKF. Disponible en Internet: En línea <http://comserprorodamientos.com/catalogo-chumaceras-skf.html> >

Figura 19. Distribución de tornillos en el soporte



Fuente: Esta investigación.

Fuente: Software CAD (Diseño asistido por computadora)-SolidworksVersión 2013

El número de tornillos es 4 los cuales están distribuidos en uniformemente formando un cuadro en el soporte de la chumacera como se muestra en la anterior figura.

Tabla 30. Cargas y momento en el tornillo

VARIABLES		ECUACIONES
P = Carga de corte=FC Fs= Carga por perno Nt= número de tornillos		$F_s = \frac{P}{Nt} \quad (32)^{74}$
Datos	P=7200000N Nt=4	$F_s = 1800000N$

Fuente: Esta investigación.

Se seleccionó un ASTM A325⁷⁵ para pernos el cual presenta un esfuerzo cortante ultimo de $Tu = 77000MPa$ y se aplica un factor de seguridad de 3. Por lo tanto y el respectivo esfuerzo cortante admisible es la relación entre el esfuerzo cortante ultimo y el factor de seguridad. Así el valor es de $Ty = 25666MPa$.

⁷⁴ Op., cit. Diseño de elementos de máquinas, 4 Ed. p. 782.

⁷⁵ Ibíd., p. 793.



Tabla 31. Fuerza resultante y selección de tornillo diámetro

VARIABLES		ECUACIONES
$R = \text{Fuerza en el tornillo}$		$R = \sqrt{Fi^2 + Fj^2} \quad (35)^{76}$
		$As = \frac{R}{Ty} \quad (36)^{77}$
$D = \text{Diámetro de tornillo}$		$D = \sqrt{\frac{4As}{\pi}} \quad (37)^{78}$
DATOS	Para $Fi = 698.75N$ $Fj = 0$ $Ty = 25666MPa$	$R = 698.75N$ $As = 0.00007m$ $D = 0,0095m = 10mm$

Fuente: Esta investigación.

Con el análisis anterior se selecciona los tornillos diámetro de 12 mm que se acoplan a las chumaceras son permisibles para tener una mejor seguridad y protección de los diferentes sistemas de la máquina.

Cálculo de selección de blower: Para determinar la capacidad del blower que se va a utilizar se tuvo en cuenta el flujo volumétrico del polvillo que se genera en el proceso de compresión. Se tiene dos etapas de compresión por lo tanto dos flujos volumétricos. De manera que la capacidad del blower es la suma de los dos flujos volumétricos.

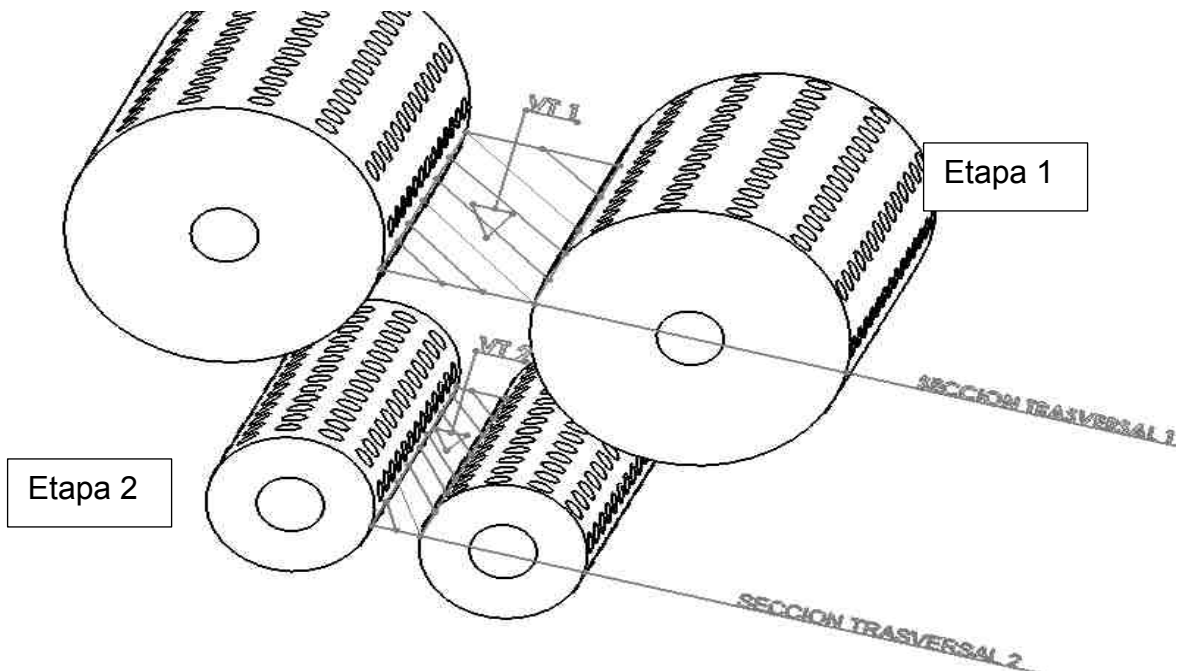
Para determinar el flujo volumétrico se tuvo en cuenta la sección transversal y la velocidad tangencial de los rodillos y su radio. La sección transversal está dada por los espacios entre los rodillos y su longitud.

⁷⁶ Op. Cit., BEER, Ferdinand. p. 100.

⁷⁷ Ibid., p. 782.

⁷⁸ Ibid., p. 783.

Figura 20. Sección transversal y Velocidad tangencial



Fuente: Esta investigación.

Tabla 32. Flujo volumétrico neto

VARIABLES	ECUACIONES
$\tilde{V}T = \text{Flujo masico neto} \left(\frac{m^3}{s} \right)$ $\tilde{V}1 = \text{Flujo masico 1 Etapa}$ $\tilde{V}2 = \text{Flujo masico 2 Etapa}$	$\tilde{V}T = \tilde{V}1 + \tilde{V}2$
$\tilde{V} = \text{Flujo masico} \left(\frac{m^3}{s} \right)$ $A_T = \text{Area transversal} (m^2)$ $V = \text{Velocidad tangencial} \left(\frac{m}{s} \right)$	$\tilde{V} = V * A_T \quad \text{O}^{79}$
$a = \text{separacion de rodillos} (mm)$ $b = \text{longitud de rodillo} (mm)$	$A_T = a * b$
$W = \text{Velocidad angular rodillo} \left(\frac{rad}{s} \right)$ $R = \text{Radio rodillo} (mm)$	$V = W * R \quad \text{O}^{80}$

⁷⁹ YUNUS A, Cengel. Termodinámica, 6 Edición. McGraw-Hill: México. 2009. P223.

⁸⁰ Op., cit. NORTON. Diseño de maquinaria. P421



DATOS	Flujo 1 Etapa	Flujo 2 Etapa	
	$R = 100mm$ $W = 367rpm = 38,43rad/s$ $a = 55mm$ $b = 350mm$	$R = 50 mm$ $W = 510 rpm = 53,4rad/s$ $a = 20mm$ $b = 350mm$	$\tilde{V}1 = 0,074 \frac{m^3}{s}$ $\tilde{V}2 = 0,02 \frac{m^3}{s}$ $\tilde{V}T = 0,094 \frac{m^3}{s}$

Fuente: Esta investigación.

Según el catalogo "" se escogió un blower con capacidad de $0,5 \frac{m^3}{s}$ de 3/8 de potencia debido que en el mercado no se encuentran blower de referencia con capacidad de $\tilde{V}T = 0,094 \frac{m^3}{s}$ por lo tanto se toma el que esté por encima de la capacidad calculada.

Cálculo de selección de ciclón: Para el cálculo del ciclón se tuvo como fundamento la "revista ingenierías" con el artículo "Diseño óptimo de ciclones"⁸¹. Por tal razón en el diseño del ciclón se tuvo en cuenta la densidad de la partícula de vidrio ($\rho_{vidrio} = 2500 \frac{Kg}{m^3}$) y corriente de gas aire a 450°C (Temperatura más crítica para funcionamiento). El caudal de corriente viene dado según el blower seleccionado y es de $0,5 \frac{m^3}{s}$. La operación se realiza a una presión de 85,3KPa. La concentración de las partículas en la corriente de gas es de $2 \frac{g}{m^3}$ y se optó por una eficiencia promedio de separación del 80% (Rango - En 70% menos energía consumida- En 90% mayor consumo de energía). Según la revista ingenierías "para calcular el diámetro del ciclón se selecciona una velocidad de entrada que está en el intervalo de 15.2 a 27.4 m/s"⁸². Para el diseño del ciclón a utilizar se tomó un valor medio del intervalo de 22m/s. También se tuvo en cuenta otros parámetros que aparecen a continuación.

Tabla 33. Parámetros de diseño de ciclón

PARAMETRO	VALOR
diámetro de ciclón	<1.0
Caída de presión	<2488.16
Relación de velocidades(V_i/V_s)	<1.35

Fuente: Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75050911>> P135

La distribución de tamaño de las partículas en la corriente gaseosa se muestra en la siguiente Tabla:

⁸¹ LONDOÑO, Echeverri. Diseño óptimo de ciclones. Disponible en Internet. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75050911>

⁸² Ibíd., p. 135.

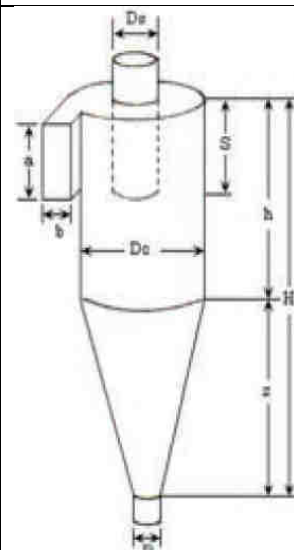
Tabla 34. Distribución de tamaño de las partículas

Tamaño(μm)	%másico
10-30	50
30-50	25
50-100	25

Fuente: Esta investigación.

Selección del tipo de ciclón: como el 50% de las partículas está por debajo de 30 μm , se requiere un ciclón de alta eficiencia según la Tabla1 del artículo “*Diseño óptimo de ciclones*”⁸³. Seleccionamos un ciclón Stairmand cuyas características se muestran a continuación.

Tabla 35. Característica ciclón de alta eficiencia

DIMENSIÓN	NOMENCLATURA	TIPO CICLÓN-STAIRMAND	Grafico
Diámetro del ciclón	D_c/D_c	1.0	
Altura de entrada	a/D_c	0.5	
Ancho de entrada	b/D_c	0.2	
Altura de salida	S/D_c	0.5	
Diámetro de salida	D_s/D_c	0.5	
Altura parte cilíndrica	h/D_c	1.5	
Altura parte cónica	z/D_c	2.5	
Altura total del ciclón	H/D_c	4.0	
Diámetro salida partículas	B/D_c	0.375	
Factor de configuración	G	551.22	
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	
Número de Vórtices	N	5.5	

Fuente: Disponible en: < <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75050911> >.P126

El procedimiento para el cálculo del ciclón se fundamentó en el diseño de ciclones de la revista de ingenierías⁸⁴.

Luego se determinó cada una de las variables que aparecen el grafico del ciclón. Se determinó el área del ducto de entrada relacionando el caudal del blower y la velocidad de entrada escogida con el fin de obtener los valores “a” y “b”

⁸³ *Ibíd.*, p. 125.

⁸⁴ *Ibíd.*, p. 135.



$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.5 \frac{m^3}{s}}{22 \frac{m}{s}} = 0,023m^2$$

De acuerdo a que el área de entrada es un rectángulo se tiene la siguiente relación.

$$a * b = A \qquad a * b = 0,023m^2 \qquad \text{Ecuación (1)}$$

De acuerdo al tipo de ciclón "Stairmand" se tiene las siguientes proporciones.

$$a=0.5DC \quad \text{y} \quad b=0,2DC.$$

Luego se iguala la ecuación 1 con las variables "a" y "b" y realizando las respectivas operaciones algebraicas se tiene el valor DC

$$DC = \sqrt{\frac{0,023}{0.5 * 0.2}} = 0.4m$$

$$a=0.5*0.4=0.2m \qquad b=0.2*0.4=0.08m$$

Las otras DIMENSIONES se hallan con base las proporciones propuestas y el valor "DC" antes calculado. Los valores se muestran en la siguiente tabla

Tabla 36. Dimensiones ciclón

DIMENSIÓN	PROPORCION	NOMENCLATURA	VALOR (m)
Altura de salida	0.5*DC	S	0.2
Diámetro de salida	0,5*DC	Ds	0.2
Altura parte cilíndrica	1.5*DC	H	0.8
Altura parte cónica	2.5*DC	Z	1
Altura total del ciclón	4*DC	H	1.2
Diámetro salida partículas	0.375*DC	B	0.14

Fuente: Esta investigación.

Estimación del número de ciclones necesarios para trabajar en paralelo algunos autores recomiendan que para caudales entre 0.5 y $12 \frac{m^3}{s}$ a condiciones de referencia se utilice un solo ciclón⁸⁵.

Cálculo de la eficiencia del ciclón: para calcular la eficiencia del ciclón se requiere calcular primero si hay o no re suspensión, ya que de presentarse re suspensión en el ciclón, la ecuación de Leith y Licht estaría sobrestimando la eficiencia del ciclón⁸⁶.

Para hallar la relación de velocidades se requiere primero estimar la velocidad equivalente y luego la velocidad de saltación.

Tabla 37. Velocidad equivalente y de saltación

VARIABLE	ECUACION
$W = \text{Velocidad equivalente} (m/s)$ $g = \text{Gravedad} (9.8 m/s^2)$ $\mu = \text{Viscosidad del gas (aire)} (Kg/ms)$ $\rho_p = \text{Densidad partícula} (Kg/m^3)$ $\rho = \text{Densidad gas portador} (Kg/m^3)$	$W = \sqrt[3]{\frac{4 * g * \mu * (\rho_p - \rho)}{3 * \rho^2}} \quad ()^{87}$

⁸⁵ Ibid., p. 136.

⁸⁶ Ibid., p. 136.

⁸⁷ Ibid., p. 131.

$V_s = \text{Velocidad de saltacion (m/s)}$ $V_i = \text{Velocidad entrada del gas (m/s)}$ $Kb = \text{Factor comun}$		$V_s = \frac{4.913 * W * Kb^{0.4} * DC^{0.067} * \sqrt[3]{V_i^2}}{\sqrt[3]{1 - Kb}}$
Datos	Suponiendo que la corriente gaseosa es aire, éstas son las propiedades del aire a 450 °C y 85.3 kPa: $\mu = 3,57 * 10^{-5}$ $\rho = 0,411$ $\rho_p = 2500$ $Kb = 0,2$ Dato seleccionado anteriormente $V_i = 22$	$W = 1,91 \text{ m/s}$ $V_s = 42,23 \text{ m/s}$

Fuente: Esta investigación.

Luego se realizó la relación entre velocidades para determinar si hay re suspensión o no

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{22}{42,23} = 0,52$$

Como ($\frac{V_i}{V_s} < 1,35$)⁸⁹, No hay re suspensión del material particulado. Por lo tanto la ecuación Leith para determinar la eficiencia del ciclón si aplica en este modelo. A continuación los parámetros del ciclón que aparecen en la siguiente Tabla y se determina la eficiencia del ciclón con la ecuación de Leith.

Tabla 38. Parámetros ciclón

DIMENSIÓN	NOMENCLATURA	TIPO CICLÓN-STAIRMAND
Factor de configuración	G	551.22
Número cabezas de velocidad	NH	6.4
Número de Vórtices	N	5.5

Fuente: Esta investigación.

Los análisis teóricos revelan que “n” debe ser igual a 1.0 en ausencia de fricción de pared (vórtice libre). No obstante, las mediciones reales señalan que “n” puede

⁸⁸ *Ibíd.*, p. 131.

⁸⁹ *Ibíd.*, p. 136.



variar de 0.5 a 0.7 de acuerdo con el tamaño del ciclón⁹⁰. Para el diseño del ciclón se tomó un valor medio de $n=0.6$. Luego para cada diámetro de partícula se obtiene “ T_i ” aplicando la siguiente ecuación que aparece en la Tabla.

Tabla 39. Tiempo de relajación

$T_i = \frac{\rho_p * D_p^2}{18 * \mu}$ ()⁹¹				
VARIABLES		DATOS		
$T_i =$ Tiempo de relajacion para cada partícula, (s) $\rho_p =$ Densidad partícula (Kg/m^3) $D_p =$ Diametro partícula (m) $\mu =$ Viscosidad del gas (aire) Kg/ms		Suponiendo que la corriente gaseosa es aire, éstas son las propiedades del aire a 450 °C y 85.3 kPa $\rho_p = 2500$ $\mu = 3,57 * 10^{-5}$		
RESULTADO (T_i)		Tamaño Partícula	$D_p(\mu m)$	$D_p(m)$
$T_i = 1.55 * 10^{-3}s$	1	10-20	20	$2 * 10^{-5}$
$T_i = 6.22 * 10^{-3}s$	2	30-50	40	$4 * 10^{-5}$
$T_i = 2.18 * 10^{-2}s$	3	50-100	75	$7.5 * 10^{-5}$

Fuente: Esta investigación.

Ecuación de Leith⁹²

$$\eta_i = 1 - e \left[-2 * \left(\frac{G * T_i * Q * (n + 1)}{DC^3} \right)^{\frac{0.5}{(n+1)}} \right]$$

Donde:

$\eta_i =$ Eficiencia ciclón.

$G =$ Factor de configuracion del ciclón

$T_i =$ Tiempo de relajacion para cada partícula, (s)

$Q =$ Caudal de gas $\left(m^3/s \right)$ — — — Caudal del blower

⁹⁰ Ibíd., p. 129.

⁹¹ Ibíd., p. 137.

⁹² Ibíd., p. 138.



$DC = \text{Diametro del ciclon (m)}$
 $n = \text{Exponente del vortice del ciclon.}$

De acuerdo a los diferentes diámetros de partículas se calcularon las eficiencias que luego se realiza sumatoria y se multiplica por la masa para obtener una eficiencia total.

$$\eta T = \sum \eta_i * m_i \quad 0^{93}$$

Donde:

$\eta T = \text{Eficiencia Total.}$
 $\eta_i = \text{Eficiencia ciclon por partícula.}$
 $m_i = \text{Porcentaje masico.}$

Tabla 40. Eficiencia ciclón

Tamaño partícula(μm)	Porcentaje masico. "mi"	Eficiencia ciclón por partícula η_i	$\eta_i * m_i$
20	50	0.9	45
40	25	0.99	24.75
75	25	0.99	24.75
Eficiencia Total			93

Fuente: Esta investigación.

De esta manera el diseño del ciclón es aceptable para su funcionamiento pues en la eficiencia dada el cálculo teórico esta en los rangos de eficiencia alta.

8.1.4 Selección de ajustes y tolerancias. En la selección de ajustes y tolerancias de los componentes que conforman la máquina, se tomó como referencia el libro de diseño de elementos de máquinas, del autor Robert L Mott. Con ayuda de la Tabla 13-3 (Pág. 582- 4 Edición) de ajustes y tolerancias y mediante las DIMENSIONES de los componentes se dio un determinado valor para el ajuste y tolerancia de los componentes.

⁹³ *Ibíd.*, p. 128.



Tabla 41. Ajustes y tolerancias

N°	ELEMENTO	DIMENSIÓN	TOLERANCIA		AJUSTE
			MIN	MAX	
1	Acople polea	1.5 in	-2.5	-3.7	RC5
2	Eje rodillos	1.5 in	-0.4	-0.9	RC2
3	Orificios para los rodamientos	1.5 in	0	+0.7	RC2
4	Acople Piñón	1.5 in	-2.5	-3.7	RC5
5	Acople polea motor	1.5 in	-2.0	-3.0	RC5

Fuente: Esta investigación. "Tolerancias en milésimas de pulgada".

8.2 PLANOS DE LA MÁQUINA

Los planos de la máquina se encuentran al final del trabajo en la sección de anexos.

8.3 SIMULACIONES

Las simulaciones se realizaron en el programa de diseño Solidworks Versión 2013.

Simulación del bastidor sometido a flexión: Se determinó que el bastidor está sometido a un esfuerzo a flexión y la condición de borde fija en los soportes en contacto con el piso. Las fuerzas que actúan sobre el bastidor se determinaron principalmente por la fuerza de compresión del vidrio valor encontrado en la sección anterior donde la mayor fuerza se presenta en la compresión de la botella de Whisk. La obtención de los resultados de la simulación en el programa se muestra en las siguientes tablas.

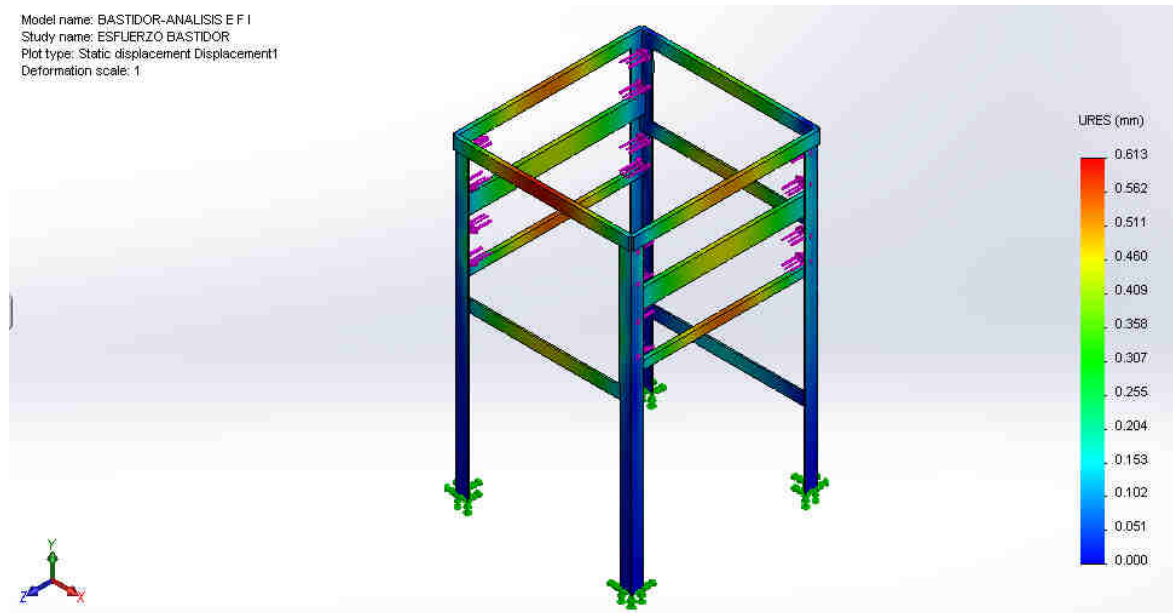
Tabla 42. Propiedades y características del material

PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS	
Nombre de estudio	Esfuerzo bastidor
Nombre del material	Acero 1020
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Módulo de elasticidad	200000MPa
Esfuerzo de tracción	420.51MPa
Esfuerzo de fluencia	351.5Mpa
Tipo de malla	Malla solida
Mallador utilizado	Malla estándar

Verificación jacobiana	4 Puntos
Calidad	Elementos cuadráticos de alto orden
Número de elementos	9008
Número de nodos	20511

Fuente: Software CAD (Diseño asistido por computadora) SolidworksVersión 2013

Figura 21. Análisis de la deformación del bastidor- URES

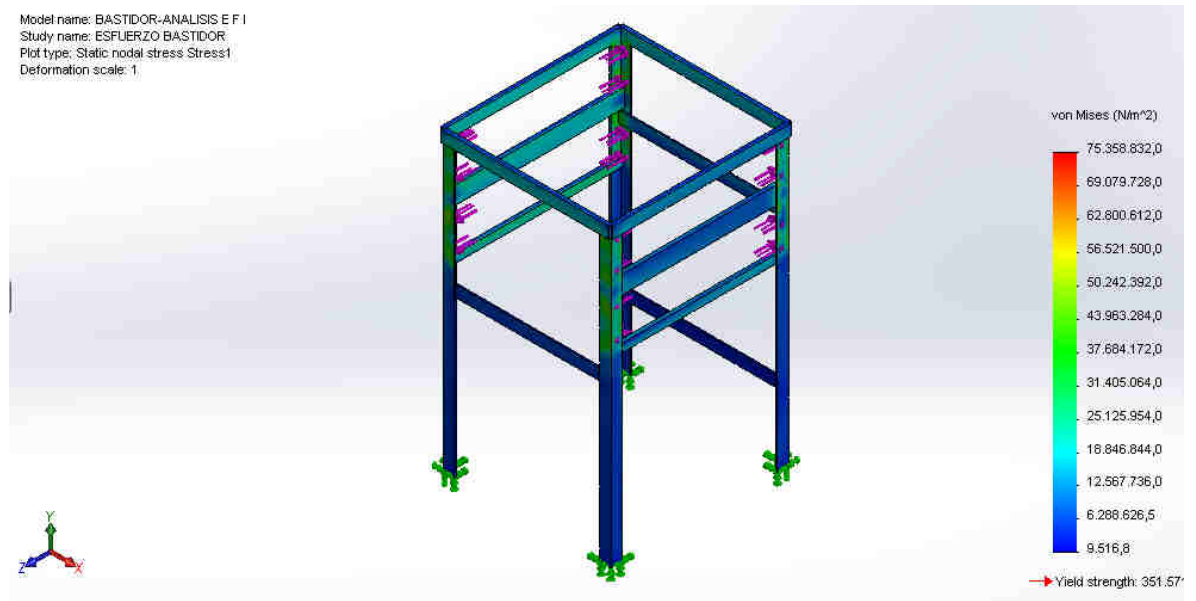


Fuente: Software CAD (Diseño asistido por computadora) SolidworksVersión 2013

PROHIBIDO

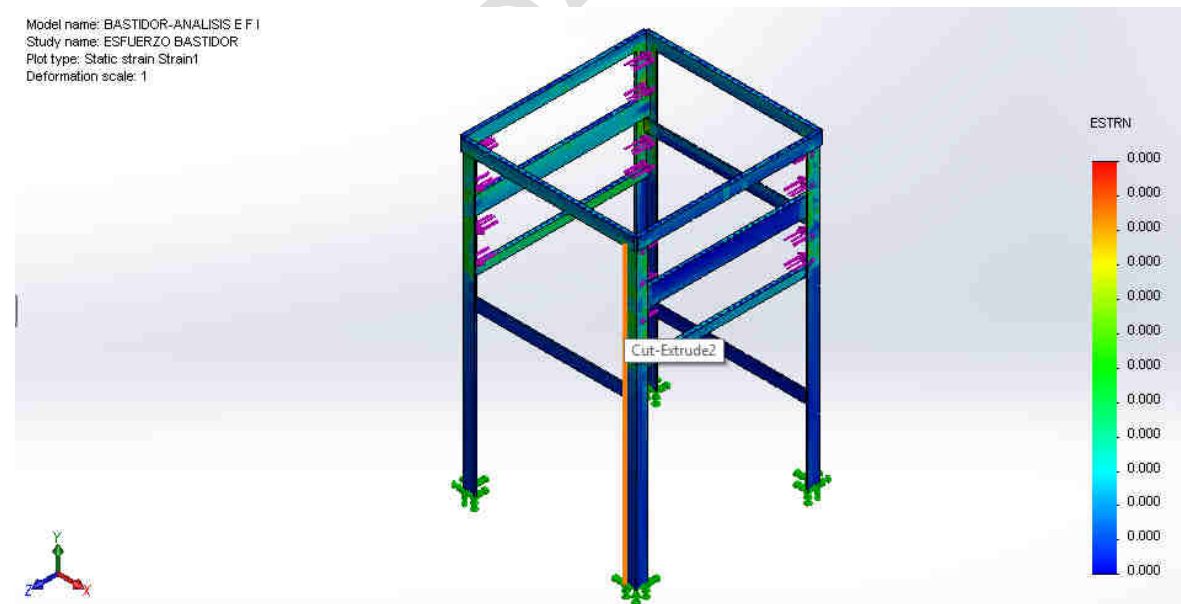


Figura 22. Análisis esfuerzo bastidor-VonMises



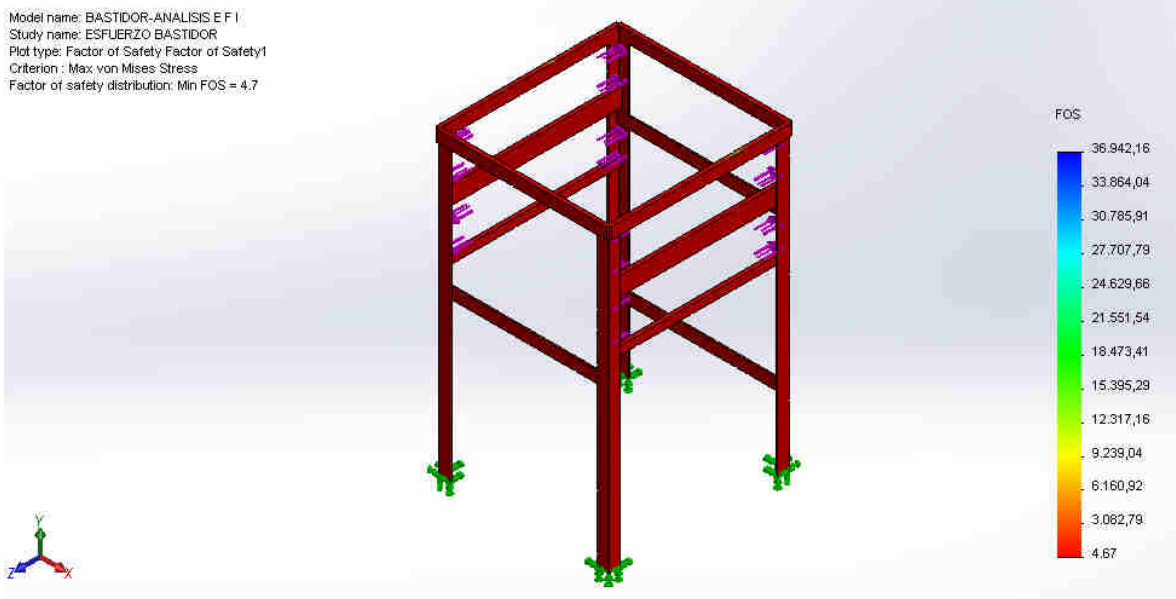
Fuente: Software CAD (Diseño asistido por computadora) SolidworksVersión 2013

Figura 23. Análisis deformación bastidor- ESTRN



Fuente: Software CAD (Diseño asistido por computadora) SolidworksVersión 2013

Figura 24. Análisis factor de seguridad bastidor-FOS



Fuente: Software CAD (Diseño asistido por computadora) SolidworksVersión 2013

Tabla 43. Estudio del bastidor

RESULTADO DEL ESTUDIO			
NOMBRE	TIPO	MINIMO	MAXIMO
Esfuerzo	VON: Tensión de von Mises	9.5Mpa Nodo: 450	75.3Mpa Nodo 15300
Deflexión	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo:237	0,6 mm Nodo:15300
Deformación	ESTRN	0 Nodo:105	0 Nodo:19543
Factor de seguridad	FOS: Facto de seguridad	4.67 Nodo:7034	36e+004 Nodo 456

Fuente: Software CAD (Diseño asistido por computadora) SolidworksVersión 2013

Del anterior análisis se concluye que el esfuerzo máximo es de 75.3 Mpa en el bastidor, la deflexión es permisible, el factor de seguridad mínimo que presenta es de 4.67 y no hay deformación. Lo que indica que el diseño del bastidor está en condiciones de funcionamiento.



8.4 MANUAL DE OPERACIÓN Y SERVICIO

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	82
1. SEGURIDAD	82
1.1 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD	82
1.2 PROTECCIÓN DE OPERARIO	83
2. INSTALACIÓN	84
3. OPERACIÓN	85
4. ELEMENTOS CLAVE PARA UN TRITURADO DE CALIDAD	85
5. LIMPIEZA	85
6. MANTENIMIENTO	86
7. LUBRICACIÓN	87

INTRODUCCIÓN

Usted ha adquirido una máquina trituradora para botellas de vidrio, la cual esta compuesta por diversos materiales, de un optimo funcionamiento y fabricación, lo cual brinda una larga vida útil en la máquina. Para garantizar el buen uso de la máquina, se debe tener en cuenta las indicaciones y operaciones de funcionamiento que están incluidas en este manual.

Lea cuidadosamente los parametros que se encuentran en este manual y siga las instrucciones.

Asistencia técnica

Telefono..... 3177011255

e-mail..... wiltarapues@hotmail.com

1. SEGURIDAD

1.1 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

En la operación o funcionamiento de toda máquina, se debe tener en cuenta la seguridad que se requiere y los elementos de protección personal, como son;



guantes, tapabocas, lentes, botas de punta acero, los cuales brindan no solo protección, sino precauciones para evitar accidentes laborales.

Precauciones:

- Este equipo esta diseñado para triturar solamente botellas de vidrio, no se debe triturar otro elemento diferente, porque causaría daños internos y afectaría el rendimiento de producción.
- No realizar limpieza mientras el equipo este conectado a la energía eléctrica
- No permitir que personas extrañas al uso del quipo, lo manejen.
- Cuando el equipo no se encuentre en funcionamiento de debe desconectar
- No levantar la tolva de alimentación mientras el equipo se encuentra trabajando.
- Nunca introducir la mano en la parte interna de la máquina, cuando este en funcionamiento, porque puede ocasionar daño graves en en la salud e integridad del operario.

1.2 PROTECCIÓN DE OPERARIO

➤ **Competencia del operario para el manejo de la máquina:**

El personal debe ser capacitado para operar la máquina, cumpliendo los requisitos necesarios, como son; tener sus elementos de protección personal, cumplir con las normas establecidas por la empresa, ser capaz de la utilización prevista para este equipo, y tener la edad minima de 18 años de edad.

➤ **Errores de operación**

En este caso, el uso inadecuado por el personal a cargo del equipo, por no tener una capacitación adecuada son causas peligrosas para la integridad del trabajador, ya que se puede gener riesgos laborales y hasta daños en el equipo.

➤ **Recomendaciones para el trabajo**

- Tener elementos de protección personal antes de poner en marcha el equipo
- Tener una mentalidad y disposición de trabajo.
- No realizar operaciones de trabajo, mientras se sienta cansado..
- No trabaje bajo los efectos del alcohol u otros causas que afecten el rendimiento en el trabajo

Tenga en cuenta que no se encuentren personas u otros objetos cerca de una zona peligrosa en el equipo.

➤ Equipos de protección

Los elementos de protección personal son de gran importancia, ya que brindan seguridad y prevención. Se debe tener en cuenta que los elementos como la ropa debe ser conveniente al cuerpo sin estorbar.

Y antes de poner en funcionamiento el equipo, el operario debe prevenirse en dejar elementos como; anillos, pulseras, reloj, etc que pueden ocasionar accidentes



➤ Equipos de protección personal

- Zapatos de seguridad.
- Guantes de trabajo de material resistente.
- Overol.
- Casco de protección.
- Protectores del oído.
- Protección para la cara
- Protección de los ojos.
- Protección respiratoria con aire cargado de polvo.

2. INSTALACIÓN

Antes de conectar la máquina trituradora a fuente de energía eléctrica, se debe verificar lo siguiente:

- Revisar el sistema interno de trituración, en cuanto al estado de los rodillos y tornillos prisioneros grado 10, y verificar si están ajustados correctamente.
- Verificar si la fuente de energía es la adecuada con respecto al del equipo
- Se debe incorporar un medio de desconexión fijo que desconecte todos los polos de la alimentación.
- Verificar la tensión adecuada de las bandas al momento de instalarlas, en el sistema sistema de poleas.



- Asegurese que los tornillos de la caja de trituración estén ajustados correctamente, así como también los tornillos de chumaceras, tornillos de tolva de descargue y los tornillos de sujeción del motor.
- Verificar si está alienado correctamente el motor
- Revisar que todas las partes que componen la máquina estén conectadas adecuadamente
- Después de todo esto, verificar el funcionamiento del equipo conectándolo a la fuente de energía que se requiere.

3. OPERACIÓN

Se debe tener en cuenta los siguientes pasos en iniciar en funcionamiento la máquina:

- Encendido del equipo; la fuente de energía debe ser la adecuada, ya que el motor es de corriente trifásica.
- Colocar materia prima (botellas de vidrio) en tolva de alimentación, este proceso se lo hace manualmente por el operario.
- Recibir el vidrio granulado de la tolva de descargue, y empacarlo.
- Apagar la máquina una vez finalizado el proceso de trituración.

4. ELEMENTOS CLAVE PARA UN TRITURADO DE CALIDAD

- Verificar el ajuste de tornillos prisioneros en rodillos, y que tengan una adecuada alineación.
- Cambiar tornillos prisioneros de los rodillos en caso de daños y desgastes graves.
- Tener en cuenta que en la materia no tenga objetos extraños, como metales u otros objetos que puedan generar riesgos en el equipo.

5. LIMPIEZA

¡PRECAUCION!

SIEMPRE DESCONECTE EL EQUIPO DE LA ENERGIA ELECTRICA ANTES DE DAR SERVICIO O LIMPIEZA.

Se recomienda una limpieza diaria, al finalizar la jornada de trabajo, para evitar fallas que afecten la máquina.



- Retire el tornillo de sujeción de la tolva de alimentación, y levántela cuidadosamente.
- Realice la limpieza en la caja de trituración con aire comprimido.
- Realice la limpieza en general de todos los componentes de la máquina
- Verificar el ajuste de tornillos prisioneros en los rodillos, y poner atención en el desgaste de estos.
- Colocar la tolva de alimentación con su respectivo tornillo de sujeción verificando que este alienada y ajustada correctamente.

6. MANTENIMIENTO

¡PRECAUCION!

SIEMPRE DESCONECTE EL EQUIPO DE LA ENERGIA ELECTRICA

ANTES DE DAR SERVICIO O LIMPIEZA.

Se recomienda un mantenimiento preventivo, ya que este brinda alargar la vida útil de la máquina y así evitar fallas que se puedan presentar, y uno de los principales elementos a tener en cuenta es el cambio de los tornillos prisioneros los cuales están expuestos a mayor desgaste lo cual se hace a las 800 horas.

MANTENIMIENTO DE LAS BANDAS

- Verificar la tensión de la banda con la polea, para así evitar vibraciones y desajustes.
- Si hay un desgaste excesivo o daños deben ser reemplazadas.
- Mantener limpias las bandas, libres de agentes extraños que puedan dañarlas.

ALINEACIÓN DE LAS POLEAS

El alineado de las poleas es muy importante pues un incorrecto alineamiento de las bandas produce desgaste prematuro.

MANTENIMIENTO DE ENGRANAJES

Estos constituyen una aplicación crítica en cuanto a su lubricación, ya que la fuerza de contacto que se generan es relativamente alta, es así que se requiere un tipo de lubricante de alta viscosidad.



Se recomienda utilizar un lubricante de aceite mineral de extrema presión (EP).

Se hay un daño grave como el desgaste en los dientes, o una rotura en el diente del engranaje se recomienda cambiarlo.

CAMBIO DE LAS BANDAS

Para reemplazar las bandas, se procede a desajustar los tornillos prisioneros ubicados en cada polea, y así de esta manera quitarlas, se debe colocar bandas nuevas que cumplan las características óptimas, el tipo de banda en este caso son Tipo A, se procede a colocar las nuevas bandas verificando que las poleas estén alineadas correctamente.

PANEL DE CONTROL ELÉCTRICO

Este es de gran importancia pues brinda el óptimo funcionamiento del equipo.

Para su funcionamiento se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Verificar la conexión del tablero de control con la máquina.
- Encender en break que esta ubicado en la parte interna del tablero.
- Poner en funcionamiento el equipo con la palanca de encendido
- En caso de emergencia la máquina cuenta con un pulsador rojo ubicado en el tablero, para apagar la máquina

En caso de un atascamiento interno la máquina cuenta con una palanca de retroceso, lo cual invierte el sentido de giro del motor.

7. LUBRICACIÓN

La lubricación reduce los desgastes de la máquina, evita oxidación de las piezas, es por esto que es de gran importancia utilizar un tipo de lubricante adecuado ya que con esto se logra arrastrar impurezas que pueden penetrarse en los diferentes elementos que componen la máquina. Se recomienda utilizar una grasa de grado NGLI L la cual el punto mayor de gota es de 260 C°, lo que permite un buen desempeño en cuanto puesta en funcionamiento de la máquina.

PANEL DE CONTROL ELÉCTRICO

Este es de gran importancia pues brinda el óptimo funcionamiento del equipo. Para su funcionamiento se debe tener en cuenta lo siguiente:



- Verificar la conexión del tablero de control con la máquina.
- Encender el break que está ubicado en la parte interna del tablero.
- Poner en funcionamiento el equipo con la palanca de encendido
- En caso de emergencia la máquina cuenta con un pulsador rojo ubicado en el tablero, para apagar la máquina
- En caso de un atascamiento interno la máquina cuenta con una palanca de retroceso, lo cual invierte el sentido de giro del motor.

PROHIBIDA SU COPIA

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

El proceso de construcción de la máquina se hizo en el taller Mayotec ubicado en la ciudad de Pasto.

Se realizó la compra de los diferentes materiales para empezar la construcción que se clasifica en tres sistemas principales:

- Tolva de alimentación
- Caja de trituración; la cual esta compuesta por 3 objetos principales:
 - - Rodillos
 - Chumaceras
 - Ejes
- Bastidor, en la cual va el montaje de la parte superior que es la tolva con la caja de trituración, motor y tolva de descargue.

Figura 25. Imagen de vista lateral de la máquina



Fuente: esta investigación

Se realizó la construcción de la de la tolva de alimentación, utilizando una lámina calibre $\frac{3}{4}$ " antidesgaste para mayor duración y se utilizó soldadura 6011 para unir las diferentes partes que componen la tolva

Figura 26. Construcción tolva



Fuente: esta investigación

Se continúa con el proceso de fabricación de rodillos, los cuales están elaborados en Acero 1045, material que se maquinó (torneado), balanceó y alineó para evitar vibraciones.

Luego se realiza el machuelado en cada rodillo para colocar los tornillos prisioneros cabeza cuadrada de grado 8, con machuelo 5/16" de rosca ordinaria, los cuales cumplen la función principal de triturar las botellas.

Figura 27. Imagen de máquinado del rodillo



Fuente: Esta investigación

Una vez fabricados los rodillos de primera y segunda fase, se continúa con la construcción de la cámara de trituración, en donde se monto los rodillos, los cuales tienen sus respectivos ejes para asegurarlos a cada una de las chumaceras,

la caja esta elaborada en una lámina $\frac{1}{4}$ " anti desgaste para mayor duración y se utilizó soldadura 7018 para unir las diferentes partes que la componen.

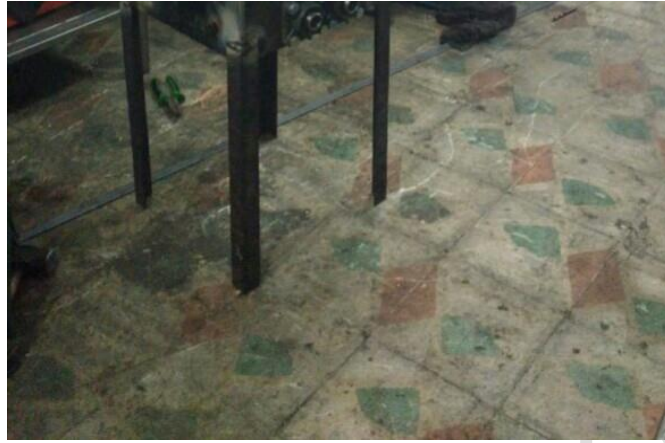
Figura 28. Imagen de construcción de la cámara para ubicar los rodillos



Fuente: esta investigación

Finalizado el proceso de fabricación de la cámara, se elabora el bastidor, en un perfil en L calibre $1 \times 3/16$ " para mayor rigidez, se utilizó soldadura 7018 para unir la cámara con el bastidor.

Figura 29. Imagen de construcción de bastidor



Fuente: Esta investigación

Se elaboro el soporte del motor, en perfil L de 1"3/16, soldadura 6011, el cual se lo ubico en la parte inferior del bastidor.

Figura 30. Imagen de soporte de motor



Fuente: esta investigación

Elaboración de cubre bandas y piñones, material utilizado lamina calibre 20

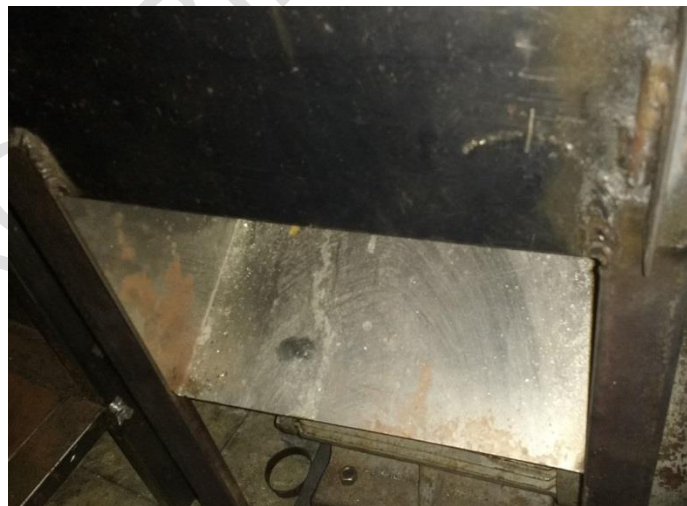
Figura 31. Imagen de tapa de protección



Fuente: esta investigación

Se realizó la construcción de la tolva de descargue de lámina calibre 18 anti desgaste para mayor durabilidad.

Figura 32. Imagen de tolva de descargue



Fuente: esta investigación

Finalizando con todo proceso de construcción de las partes, se tiene el montaje con las diferentes partes que la componen de la máquina

Figura 33. Imagen de máquina construida



Fuente: Esta investigación

9.2 METROLOGIA DE LA MÁQUINA

“La metrología es la ciencia que trata de las mediciones, de los sistemas de unidades adoptados y los instrumentos usados para efectuarlas e interpretarlas.”⁹⁴
Es una manera de analizar y verificar los resultados obtenidos al medir, un elemento. Es así que en el proyecto de investigación se analizaron los elementos más importantes en la máquina, como son:

⁹⁴ Metrología y mecánica de banco. Disponible en Internet:
http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2733_metrologia.pdf



Tabla 44. Elementos de la máquina

Elementos	Medida Basica (mm)	Medida de prueba (mm)	Tolerancia (mm)
Polea de Fase 1 de trituración	102	101.6	0.4
Polea de Fase 2 de trituración	64	63.5	0.5
Polea de motor	64	63.5	0.5
Eje de Fase 1 de trituración	37	38.1	1.1
Eje de Fase 2 de trituración	24	25.4	1.4
Distancia entre centros	192	193.47	1.47

Fuente: Esta investigación

9.3 PUESTA DE OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO A LAS VARIABLES DE OPERACIÓN

En la construcción, operación y evaluación de la máquina se determinó las diferentes variables, como capacidad de trituración, tamaño final de las partículas y su respectiva velocidad de rotación en los rodillos de primera y segunda fase, que cumplan con los requerimientos de diseño adecuados.



Para probar el funcionamiento de la máquina se realizó diferentes pruebas como capacidad de trituración, tiempo y tamaño de la partícula respectivamente.

Prueba de trituración: la máquina diseñada permitió hacer el proceso de trituración en 2 etapas, en la primer etapa se realiza la rotura de las botellas, girando los rodillos a una revoluciones adecuadas para este proceso, en la segunda etapa los rodillos tienen una separación adecuada para, obtener el vidrio granulado que se sugirió en el diseño de la máquina.

En el taller mayotec se realizó las pruebas de trituración de vidrio, con diferentes botellas, los resultados obtenidos fueron muy favorables.

Tabla 45. Datos de las pruebas de trituración en diferentes clases de botellas

Datos	Botella de Aguardiente	Botella de cerveza	Botella Champan	Botella Jugo Hit	Botella de gaseosa
Espesor (mm)	5.96	4.86	6	4.49	5.42
Alto (mm)	270	286	295	159.17	207
Dimetro (mm)	77.02	76.93	87.63	55.13	56
Masa (g)	750	750	750	250	250
Tiempo aproximado de trituración (Seg)	4	4.9	5	3.38	4
Peso de botella triturada (g)	600	500	650	200	250

Fuente: Esta investigación

Según la tabla anterior se da a conocer los resultados obtenidos al triturar diferentes clases de botellas, de donde, la botella de champan tarda mas tiempo al ser triturada y ocupa un espacio mayor de trituración.

La botella en el mercado de reciclaje esta alrededor de \$300 pesos la unidad, con el proceso de trituración se pretende disminuir el volumen que estas ocupan, al ser enviadas a Peldar.

Si se hace la relación volumen vs dinero se tendría una derdida notoria, pero si se hace la relación masa vs dinero se tiene mayor ganancia, ya que en una botella triturarada, se tendría tres botellas que ocuparían el mismo espacio que una botella sin triturar, y las ganancias en dinero seria de 600 pesos más del 100%



9.4 EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Para el cumplimiento de diseño y su evaluación de la máquina se dispone de la siguiente tabla donde se aprecia los resultados

Tabla 46. Evaluación de requerimientos de diseño

TEM	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	CUMPLE		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	Capacidad de trituración	X		Aumento de producción en el proceso de triturado
2	Altura	X		Medidas adecuadas, previamente calculadas para un buen desempeño de la máquina
3	Material de trituración	X		Para toda clase de botellas de vidrio
4	Controles de operación	X		Arranque triangulo con paro de emergencia.
5	Tipo de operación	X		Semi manual
6	Señalización de la máquina	X		Riesgo eléctrico entrada, salida de material y cubre bandas
7	Protección del sistema eléctrico de la máquina	X		Sistema de contator, paro de emergencia e inversor para su operación
8	Tamaño de triturado final	X		Partícula de 1 a 2 cm
9	Ergonomía.	X		Altura 1.60 m

Fuente: Esta investigación



10. CONCLUSIONES

Se concienció sobre el manejo de toda clase de residuos sólidos, en especial de la aglomeración de botellas de vidrio ya que se busca nuevas formas de aprovechar y mejorar el cuidado del medio ambiente.

Se determino utilizar tornillo prisionero grado 8 en vez de puntas de acero 1045

El blower debe tener una capacidad de mayor de $\frac{1}{4}$ Hp de potencia para absorber las partículas de vidrio.

La producción de vidrio triturado, es satisfactorio ya que se logra alrededor de 1700 botellas trituradas por hora, lo cual brinda un amplio rango de producción durante el día.

La implemetacion del sistema de Ciclón a la máquina es de gran ayuda al minimizar la producción de polvillo que se produce.

El proyecto de investigación se realizó acorde a la necesidad que tiene la Fundacion Tresol, quienes son los encargados de brindar un tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos, y en este caso de toda clase de botellas de vidrio, y de esta manera contribuir al desarrollo de una máquina trituradora.

El material del cual se debe componener el sistema de la caja de trituracion es primordial, ya que de esto depende la durabilidad de la máquina, es asi que se decidio por un Acero 1045 en el sistema de rodillos, cabe resaltar que si se aplicaba un tratamiento térmico de temple, el maquinado de estos es complicado, y asi mismo el proceso de machuelado.

El margen de ganacia para la Fundacion se incrementa en mas de un 50% porque se envía mas cantidad en masa del producto triturado que en volumen.



11. RECOMENDACIONES

Las partes que componen la máquina, son desarmables para un posterior mantenimiento preventivo, como es la tolva de alimentación, y el sistema de caja de trituración.

Se debe tener en cuenta la limpieza interna en los sistemas de rodillos, para evitar un desgaste posterior, en los rodamientos y demás elementos que componen la caja principal de trituración.

El tornillo prisionero de grado 8 que es un elemento cortante de las botellas, y que esta ubicado alrededor de los rodillos de trituración que actúa debe tener un mantenimiento preventivo ya que este está expuesto al desgaste. Además el cambio de estos es relativamente de un bajo costo y fácil de adquirir.

Se debe tener buena alineación y balaceo de la máquina principalmente en los rodillos para evitar vibraciones, desajustes y ruido mientras está funcionando.

Realizar un mantenimiento preventivo para evitar problemas que afecten el rendimiento de producción de la máquina, y tener en cuenta las condiciones climáticas en donde afecten el desgaste normal de los elementos de la máquina.



BIBLIOGRAFIA

BEER, Ferdinand. Mecánica de materiales, 5Ed. McGraw-Hill/interamericana editores: México, 2010.

BEER, Ferdinand. Mecánica vectorial para ingenieros Estática, 4 Ed. McGraw-Hill: México. 2005.

BEER, Johnston. Mecánica vectorial para ingenieros Dinámica, 9 Ed. McGraw-Hill/interamericana editores: México, 2010.

Estatuto de seguridad industrial. Disponible en: <http://www.udea.edu.co/portal/page/portal/bibliotecaSedesDependencias/unidadesAcademicas/FacultadNacionalSaludPublica/serviciosProductos/laboratorioSaludPublica/Normas/HigieneAmbiental/Decreto%202400%20de%201979.pdf>

ICONTEC – NTC 24 GUIA PARA LA SEPARACIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA FUENTE 2009. Disponible en http://www.envigado.gov.co/Secretarias/SecretariadeMedioAmbienteyDesarrolloRural/documentos/publicaciones/Guia_residuos.pdf.

ICONTEC-NTC. GESTIÓN AMBIENTAL. RESIDUOS SÓLIDOS. GUÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. GTC 53-2. Ratificada 2004-Julio-28. BIBLIOTECA NACIONAL BANCO DE LA REPUBLICA. Compendio Guías Para La Gestión Integral De Residuos. Área cultural.

ICONTEC-NTC. GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS –GIR. GTC-86. Ratificada 2003-October-22. BIBLIOTECA NACIONAL BANCO DE LA REPUBLICA. Compendio Guías Para La Gestión Integral De Residuos. Área cultural.

LÓPEZ ARENALES José. Motores eléctricos. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/12.pdf>

MOTT, ROBERT L. Diseño de elementos de máquinas, 4 Ed. Pearson educación: México, 2006.

NORTON, Robert. Diseño de maquinaria, 4 Ed. McGraw – Hill: México. 2004.

NORTON. Diseño de maquinaria, 3 Ed. Ed Pirtine Hall: México, 2005.

REPUBLICA DE COLOMBIA. DEPARTAMENTO DE NARIÑO. MUNICIPIO DE TUMACO. PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL 2008 – 2011, Tumaco nuestra pasión social e incluyente. Abril de 2008. PDF. Disponible en:



><http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/tumaco%20-%20nari%C3%B1o%20-%20pd%20-%20diagnostico%20-%202008%20-%202011.pdf><
Diciembre 13 de 2015.

PROHIBIDA SU COPIA



CIBERGRAFIA

Trituración.[En línea].
<http://proindustriales.blogspot.com.co/2013/05/trituración.html>

Nariño. TUMACO. [en línea] http://www.tumaco-narino.gov.co/informacion_general.shtml#geografia

LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL. Disponible en:
<http://noemagico.blogia.com/2006/092201-la-investigacion-experimental.php>
TOLVAS Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO A GRANEL. Disponible en:
<https://prezi.com/-r4y-kpv1cue/tolvas-y-sistemas-de-almacenamiento-a-granel/>.
Citado: 2016 PREZI INC.

Máquinaria reducción de tamaño.[En línea].
http://www.academia.edu/9474388/máquinaria_reduccion_de_tama%C3%B1o.ag.
Pag
Granulometría de la arena/www.galeon.com/matcon/lab03/granulo.do
CONCEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA. Disponible en:
<https://copnia.gov.co/copnia/normatividad/>



ANEXOS

PROHIBIDA LA COPIA



Anexo A. Plano conjunto general

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo B. Plano conjunto general

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo C. Tolva completa

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo D. Eje liso - 1 fase

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo E. Eje liso - 2 fase

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo F. Eje liso primera etapa

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo G. Eje transmisor - 2 fase-

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo H. Cubierta piñones

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo I. Cubierta motor

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo J. Camara de trituracion-2

PROHIBIDA SU COPIA



Anexo K. Cámara de trituración-1

PROHIBIDA SU COPIA