



Diseño cálculo y simulación de una máquina trituradora de bolsas plásticas

Nelson Arnulfo Sotaquira Robles

Código: 21131524260

Franklin Yair Cely Salamanca

Código: 21131525324

Universidad Antonio Nariño

Programa de Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2022

Diseño cálculo y simulación de una máquina trituradora de bolsas plásticas

Nelson Arnulfo Sotaquira Robles

Franklin Yair Cely Salamanca

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director (a):

Msc. Ing. Víctor Alberto López Gutiérrez

Línea de Investigación:

Diseño y construcción de máquinas automatización industrial e ingeniería mecánica

Universidad Antonio Nariño

Programa de Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2022

Nota de Aceptación

El trabajo de grado titulado _____, Cumple con
los requisitos para optar

Al título de _____.

_____.

Firma del Tutor

_____.

Firma Jurado

_____.

Firma Jurado

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el desarrollo, bendiciéndonos y dándonos fuerzas para continuar con nuestras metas trazadas sin desfallecer. A nuestros padres que, con apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que lográramos culminar nuestra carrera profesional.

Franklin: *“Dedico este trabajo fruto de mi esfuerzo y dedicación a mis padres Luis y Yamile quienes forjaron en mis valores como la responsabilidad y el deseo de superación. A ellos todo mi amor y agradecimiento pues siempre han sido mi guía y apoyo.”*

Nelson: *“En especial a mis padres, esposa e hijos quienes han estado ahí presentes apoyándome de manera incondicional, por brindarme con sus consejos confianza, en los momentos de dificultades ellos me alentaron y animaron a continuar este proceso de formación profesional. A mi esposa gracias por estar siempre en esos momentos, brindándome su amor, paciencia y comprensión. También dedico este trabajo a mis familiares y seres queridos que ya no se encuentran físicamente entre nosotros pero que desde donde lo permite nuestra FE siguen acompañándome para verme conseguir un logro más”*

Agradecimientos

Agradecemos muy especialmente a nuestro director de proyecto Magister Ingeniero Víctor Alberto López Gutiérrez quien con su compromiso y profesionalismo estuvo muy atento al desarrollo de nuestro de formación alentándonos a pesar de los inconvenientes muy firmemente sin desfallecer además de estar pendiente en el avance y desarrollo de la tesis propuesta incentivándonos en todo momento a fortalecer la investigación buscando la mejora continua logrando de esta manera buscar la excelencia para desempeñarnos en un ambiente laboral, exigente y competitivo.

Resumen

La gestión de residuos es un problema global que está fuera de control. Algunos países dan mayor importancia a estos valorizándolos, mientras que otros no prestan suficiente atención a este problema.

Para asegurar la eficiencia en las etapas de selección y clasificación de una planta de tratamiento de residuos, estos deben estar fuera de la bolsa o embalaje que los contienen. La máquina abre bolsas propuesta, ha de ser una máquina específicamente diseñada para romper y vaciar las bolsas de todos los tamaños que llegan tanto a plantas de tratamiento de residuos urbanos como a plantas de clasificación de envases y residuos.

Las características principales de esta máquina, serán su simplicidad y eficacia. Con estas condiciones serán minimizados los costos de consumo y mantenimiento. Así mismo, deberá cumplir con el objetivo de abrir o rasgar hasta las bolsas más pequeñas esperando poder agilizar la primera etapa dentro del proceso de transformación de los residuos.

Se plantea que la disposición final de la bolsa se realice junto con los residuos contenidos, los cuales continúan a un proceso de selección y trituración, contribuyendo dentro del proceso cementero transformándolo como combustible alternativo derivado de los residuos con el fin de conseguir un valor agregado.

Palabras Claves: Reciclaje, residuos sólidos, relleno sanitario, planta de tratamiento de residuos, combustible alternativo, economía circular

Abstrac

Waste management is a global problem that is out of control. Some countries give greater importance to these by valuing them, while others do not pay enough attention to this problem.

To ensure efficiency in the selection and classification stages of a waste treatment plant, these must be outside the bag or packaging that contains them. The proposed bag-opening machine must be a machine specifically designed to break and empty bags of all sizes that reach both urban waste treatment plants and packaging and waste classification plants.

The main characteristics of this machine will be its simplicity and efficiency. With these conditions, consumption and maintenance costs will be minimized. Likewise, it must meet the objective of opening or tearing even the smallest bags, hoping to speed up the first stage in the waste transformation process.

It is proposed that the final disposal of the bag be carried out together with the contained waste, which coincides with a selection and grinding process, contributing to the cement process by transforming it as an alternative fuel derived from waste in order to achieve added value.

Keywords: Recycling, solid waste, landfill, waste treatment plant, alternative fuel, circular economy

Contenido

	Pág.
1. Introducción	13
2. Justificación	20
3. Objetivos	22
3.1 Objetivo general.....	22
3.2 Objetivo específico	22
4. Marco Teórico.....	23
4.1 Tipo de caracterización de residuos no peligrosos aprovechables en una trituradora de bolsas plásticas.....	23
5. Alcance	32
6. Metodología aplicada.....	33
6.1 Estudio	33
6.2 Método.....	34
6.3 Enfoque de investigación.....	34
6.4 Fuentes y técnicas de recolección de la información.....	35
6.5 Ubicación dentro de la línea de trabajo	36
6.5.1 Usuarios directos y empleo de los resultados directos	36
6.5.2 Cálculos	37
7. Diseño final maquina	80
8. Conclusiones.....	82

9. Resultados	¡Error! Marcador no definido.
Referencias Bibliográficas	85

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Actividades productivas más generadoras de RESPEL	14
Figura 2. Pirámide general de recuperación y disponibilidad de materiales	16
Figura 3. Beneficios del tratamiento de residuos en proceso de horno cementero.....	17
Figura 4. Pilares de la metodología economía circular.....	18
Figura 5. Caracterización físico química de residuos sólidos.....	24
Figura 6. Composición porcentual de los residuos sólidos domiciliarios.....	25
Figura 7. Tipos de residuos sólidos presentes en la micro ruta S-202.....	26
Figura 8. Porcentaje de generación de los residuos sólidos domiciliarios.....	27
Figura 9. Proyección Anual de la Generación de residuos sólidos Domiciliarios.....	28
Figura 10. Registro de datos de la ruta caracterizada el día miércoles en la jornada de la tarde – Residuos.....	29
Figura 11. Registro de datos de la ruta caracterizada el día miércoles en la jornada de la tarde - Residuos no peligrosos - Residuos aprovechables - Plásticos PE-AD	29
Figura 12. Registro de datos de la ruta caracterizada el día miércoles en la jornada de la tarde – Residuos no peligrosos - Residuos aprovechables - Plásticos PE-BD	30
Figura 13. Registro de datos de la ruta caracterizada el día miércoles en la jornada de la tarde – Residuos no peligrosos - Residuos aprovechables – Plásticos PP.....	30
Figura 14. Características mecánicas del material.....	38
Figura 15. Características técnicas y mecánicas.....	38

Figura 16. Detalles generales.....	39
Figura 17. Sección de cizallado.	40
Figura 18. Sección triangular de cizallado constante.....	40
Figura 19. Sección de cizallado triangular.....	41
Figura 20. Cizalla con cuchillas inclinadas.....	42
Figura 21. Diseño de una trituradora de pet.....	43
Figura 22. Aceros recomendados para el corte de diferentes materiales	44
Figura 23. Volumen disponible para residuo a ser triturado.....	45
Figura 24. Detalle de las cuchillas en la posición inicial de corte	47
Figura 25. Posición cuchillas.	48
Figura 26. Disposición de las Cuchillas Parte Izquierda.	49
Figura 27. Aceros recomendados para el corte de diferentes materiales	50
Figura 28. Cuchilla montada en la porta cuchillas tipo.	51
Figura 29. Anclaje de una estrella de corte.....	52
Figura 30. SAE Handbook, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa.; Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio. Norton diseño mechanic.	53
Figura 31. Disposición de las cuchillas en el eje móvil.....	54
Figura 32. Muestra la disposición de Fuerzas de corte y el torque originado por la potencia de transmisión.....	55
Figura 33. Análisis Von Misses Combinación de esfuerzos máximos componente mecánico	56
Figura 34. Factor de Seguridad en el ensamble mecánico motriz	57
Figura 35. Torque vs posición angular, diseño volante	61
Figura 36. Coeficientes de fluctuación recomendados.	62

Figura 37. Geometría típica de volante de inercia.	64
Figura 38. Características de Volante de Inercia.	65
Figura 39. Tamaño de cuña según diámetro de eje.....	66
Figura 40. Disposición Maquina en su funcionamiento interno.	68
Figura 41. Cálculo de Esfuerzos combinados por Von Misses. Software Inventor 2022.	69
Figura 42. Factor seguridad Software Inventor 2022	70
Figura 43. Enmallado por elementos finitos para simulación de cargas presentes en los apoyos o donde se ubicarán los rodamientos.	72
Figura 44. Factor de seguridad para el montaje cuchillas volante de inercia en maquina trituradora de bolsa.	74
Figura 45. Esfuerzo combinado Von Misses en la cuchilla y el apoyo de rodamiento	75
Figura 46. Fuerza de reacción donde se colocaría el rodamiento	76
Figura 47. Carga equivalente en rodamiento rígido de bolas. Catálogo SKF.....	77
Figura 48. Condiciones de selección de rodamiento para eje rotor. Catálogo SKF	78
Figura 49. Imagen vista de la máquina	80
Figura 50. Lista de partes constitutivas de la Maquina.....	81

1. Introducción

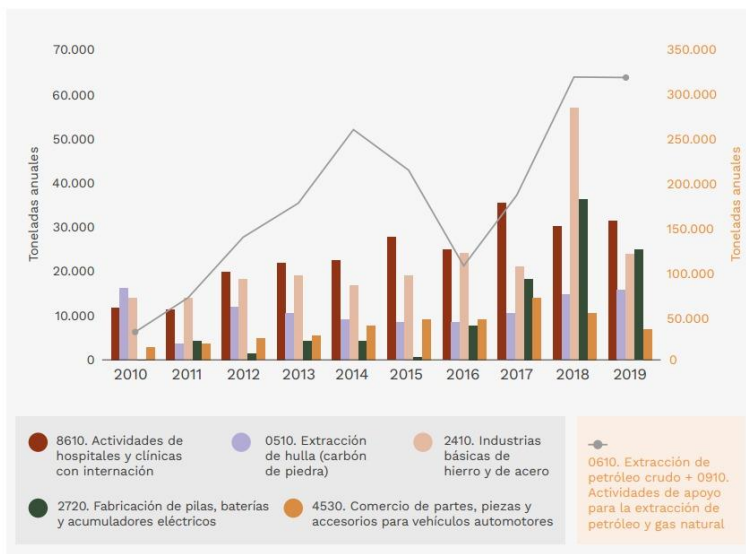
En la actualidad el problema de los residuos sólidos generados que se están presentando en el sector industrial han dado origen a la generación de un proyecto de grado para la opción de ingeniero electromecánico en la Universidad Antonio Nariño sede Tunja , para con el desarrollo de este proyecto se pueda garantizar la disposición adecuada de los residuos sólidos urbanos y lo generado por los diferentes sectores industriales, esto conlleva a que nosotros en el desarrollo de la presentación de este proyecto generemos nuestro título como ingenieros electromecánicos y solucionemos el tratamiento de residuos sólidos en el empleo eficiente de energías generadas a partir de estos residuos, pero para la cual se necesita realizar en primera instancia un tratamiento de peletizado de residuo solido en este caso bolsas de PET; sin embargo para estudiar el desarrollo de este proyecto de grado se implementa el análisis mediante el uso de software de Diseño especializado (Inventor o SolidWorks), donde se realiza la simulación para de esta manera determinar las condiciones mecánicas, diseño de componentes y las condiciones de funcionamiento así como las condiciones de tratamiento de residuos y cantidades a tratar en el desarrollo del proyecto a futuro, cuando se implementa la segunda fase del proyecto que se plantea sea la fabricación y desarrollo en primera instancia de un prototipo y posterior fabricación de una máquina trituradora de bolsas.

Esta simulación va a ser determinante en la toma de decisión para la fabricación de una máquina trituradora industrial la cual va a generar en el tratamiento de los residuos sólidos el aprovechamiento en la industria cementera, que solucionara una problemática específica para la utilización de residuos plásticos como generador de combustible alternativo en la industria cementera.

La solución para el problema se piensa a partir de emplear este tipo de residuos como combustibles alternativos para la reducción del consumo de combustibles fósiles. (IDEAM, 2022)

Figura 1.

Actividades productivas más generadoras de RESPEL



Fuente: tomado de: IDEAM 2020

El IDEAM informo en el 2020, los residuos peligrosos habían sufrido un incremento de acuerdo a lo que se muestra en la gráfica anterior, esto conlleva a que los residuos peligrosos que son aquellos que tienen algún índice de contaminación por hidrocarburos , no puedan ser reutilizados en la industria de transformación o en la industria de reciclaje ; por tal motivo y dentro de estos residuos se encuentran las bolsas generadas por las plantas cementeras, la solución para el problema se piensa a partir de emplear este tipo de residuos como combustibles alternativos para la reducción de combustibles fósiles (IDEAM, 2022)

- Para el presente diseño se tomó como trabajo de apoyo las referencias de algunos estudios realizados previamente en la implementación de máquinas trituradoras para residuos sólidos una de ellas es:
- CHANGOLUISA TOAQUIZA ANGELA VANESSA (2022) con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA ECOM EN LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS PARA MINIMIZAR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL”, trabajo en el cual se efectuó una investigación desarrolla una máquina para la trituración de botellas plásticas PET.
- Monroy M., German M (2021)" PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA ENVASES PLÁSTICOS POS CONSUMO PARA LA FABRICACIÓN DE HOJUELAS”, trabajo en el cual se realiza el diseño mecánico y eléctrico de control para una maquina generadora de pelet en hojuelas de pet, a partir de residuos poliméricos post industria.
- CAVIEDES A. JUAN D. (2020), "DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA PARA PLÁSTICO PET”, Maquina desarrollada como solución para el tratamiento de residuos sólidos a partir de botellas PET, para proceso de conversión y reemplazo en la industria de procesamiento de plástico, generar envases en el mismo tipo de plástico, es de anotar que para nuestro caso esta referencia se toma para empleo en generación de energía por proceso de combustión.

Figura 2.

Pirámide general de recuperación y disponibilidad de materiales



La disposición final de residuos sólidos de las ciudades, poblaciones e industrias en general son un gran problema ambiental y de salud. Por ejemplo, Bogotá, como capital colombiana, produce en promedio día 1 kg de residuos por habitante (7.901.653 habitantes según último censo) y en la actualidad se depositan 6.500 toneladas diarias de residuos no gestionados en el relleno sanitario Doña Juana, de las cuales, el 80% tiene potencial de aprovechamiento o reutilización en técnicas como el co-proceso. el relleno sanitario Doña Juana, de las cuales, el 80% tiene potencial de aprovechamiento o reutilización en técnicas como el co-proceso.

Se entiende el co-proceso como una integración ambientalmente segura de los residuos generados por una industria o fuente conocida, como insumo a otro proceso productivo. La tecnología se conoce como co-proceso porque la destrucción segura de residuos ocurre paralelamente al proceso de manufactura, por ejemplo, en la industria del cemento, el aprovechamiento de residuos como fuente de energía a muy altas temperaturas y con un largo tiempo de residencia a lo largo del tránsito por el horno.

Figura 3.*Beneficios del tratamiento de residuos en proceso de horno cementero*

Citando otro ejemplo de inadecuada disposición de residuos urbanos tenemos la crisis que vivió el relleno sanitario Terrazas de porvenir entre los años 2017 y 2019 al colapsar por capacidad y vida útil. Este relleno se encuentra cerca de la ciudad de Sogamoso, donde en promedio se están depositando entre 180 a 220 ton día de residuos los cuales son generados por los 44 municipios del departamento de Boyacá.

Las afectaciones que conllevan no hacer disposición final y adecuada de residuos generan pasivos ambientales negativos con impacto en generaciones futuras. Por el contrario, ejecutar un ciclo de equilibrio para el manejo de residuos es una acción importante que transformará positivamente la calidad de vida de todos.

El presente proyecto, se plantea en el marco del uso del aprovechamiento eficiente de los residuos sólidos generados a nivel industrial e inclusive MSW (Municipal Solid Waste Residuo Sólidos Urbano), ya que estos, después de clasificados, pueden llegar a ser empleados como combustible alternativo dentro de procesos industriales (cementero) gracias a su poder calorífico.

La valorización energética de los residuos puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes gaseosos, líquidos y sólidos. Además, tiene un gran potencial

para ayudar a cumplir las obligaciones de régimen ambiental, y puede contribuir significativamente al desarrollo sostenible y economía circular.

Figura 4.

Pilares de la metodología economía circular.



En el marco de las consideraciones hasta aquí descritas, se presentan algunos referentes empíricos que anteceden a la presente investigación, y brindan luces sobre el estado actual de la cuestión respecto al diseño de máquinas trituradoras. Se trae a colación un trabajo a nivel de Ingeniería realizado por Hernández M, José L y Fonseca L, Diego, en 2017 donde se hizo un estudio para desarrollar una trituradora de PET en Duitama Boyacá, para la empresa FUNDACIÓN ALIANZA FORESTAL DE COLOMBIA E.S.P, esto con el fin de evaluar el comportamiento energético de los residuos de botellas encontrados en zona rural perteneciente a la empresa. La justificación del desarrollo de una investigación de estas características, es bajo la

necesidad de proveer una nueva forma de evaluación y planeación del empleo de este tipo de biomasa, dándole una posibilidad de reutilización y de uso eficiente de la energía (DomainMarket, 2011).

En síntesis, este trabajo de desarrollo ingenieril requiere de un antecedente de simulación que garantice el mejor diseño y la adaptación de los materiales y condiciones normativas, para desarrollar acciones a escala tipo prototipo y nivel de laboratorio, experimentación en resultados comparativos para poder escalar el proyecto a nivel industrial.

2. Justificación

Al realizar este proyecto, se trata de motivar a la industria para que aporten al mejoramiento académico e institucional, apoyando diferentes proyectos que puedan generar emprendimiento, desarrollo sostenible y aprovechamiento de recursos en desuso. Su implementación podrá significar la sustitución de un proceso que se hace en forma manual, con un rendimiento en kilogramos hora de material procesado que se considera cuello de botella en la recuperación de residuos sólidos.

De esta forma, se puede decir que la implementación de una máquina abre bolsas tipo triturador contribuye a ampliar el campo de conocimiento de los estudiantes que cursan materias electivas o con relación en aprovechamiento de energías renovables. Los estudiantes de las facultades de ingeniería en general serán beneficiados con nuevas tecnologías que están en pleno apogeo y a la vez son competitivas de manera global.

Se puede concluir, que la implementación de energías a partir de residuos sólidos, basadas específicamente en la combustión de combustibles alternos y biomasas, tiene una gran importancia y tienen fundamentos ecológicos y rentables. Esto, unido al importante incremento de plantas generadoras de energía térmica a partir de residuos sólidos instaladas en los últimos años, hace que los sistemas de recuperación de residuos sean de mucha ayuda para la generación y desarrollo de los diferentes tipos de plantas, incluyendo las empresas que emplean este tipo de energías para sus procesos.

En cuanto a la educación superior, y en nuestro caso específico, la implementación de nueva tecnología que contribuye al uso eficiente de la energía y aprovechamiento eficiente de

recursos, minimizando el impacto negativo al medio ambiente, nos lleva a estar a la vanguardia en procesos industriales, mostrando una relación estrecha entre Universidad – Industria.

Adicional a lo anterior podemos concluir que este trabajo de grado da pie al desarrollo de investigación basada en simulación, lo que ahorra en proceso y consumo de recursos para dar un concepto de ingeniería a la implementación de un proyecto posterior físico evitando reproceso y teniendo una aproximación muy real de la maquina final diseñada.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar, calcular y evaluar mediante simulación por elementos finitos la funcionalidad de una máquina trituradora de bolsas plásticas.

3.2 Objetivo específico

Diseño y cálculo de los diferentes elementos y componentes de armado y ensamble de máquina trituradora de bolsas propuesta.

Modelar y simular 3D movimiento y esfuerzos mediante la aplicación de cargas, los esfuerzos presentes en una máquina trituradora de bolsas plásticas en condiciones reales de funcionamiento.

Analizar y Validar el diseño de los elementos mecánicos a ensamblar en la máquina trituradora de bolsas plásticas, apoyados en diseños existentes de máquinas semejantes, mediante la aplicación de método elementos finitos en software especializado.

4. Marco Teórico

4.1 Tipo de caracterización de residuos no peligrosos aprovechables en una trituradora de bolsas plásticas.

Los residuos aprovechables que serán empleados para la obtención de material triturado, materia prima para combustión, fueron evaluados con base en un estudio realizado por la empresa INGENSAM S.A.S, en colaboración con Cooservicios, para la región de Sogamoso y sus alrededores donde se hayan empresas que potencialmente harían uso de la maquina prototipo para la utilización del producto final dentro de su proceso de fabricación como sustituto de combustible tradicional luego del reprocesos que se realiza sobre los mismos, las tablas características del producto que nos interesa se presentan extraídas de dicho informe , el cual tiene fecha de aplicación agosto del 2021.

Figura 5.*Caracterización físico química de residuos sólidos*

TIPO DE RESIDUO	CLASIFICACION	PESO REAL RESIDUOS SEMANA (Kg)	PESO REAL RESIDUOS SEMANA (Ton/Semana)	PESO PROYECTADO RESIDUOS MES (Ton/Mes)	PESO PROYECTADO RESIDUOS ANUAL (Ton/Año)	COMPOSICION PORCENTUAL %	DENSIDAD (Kg/m3)	
	Vidrio (Botellas, Recipientes) por color (Verde)	268.801	0.269	1.075	12.902	0.17%	99	
	Residuos Metálicos (Cobre)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00%	0	
	Residuos Metálicos (Aluminio)	2252.813	2.253	9.011	108.135	1.40%	599	
	Residuos Metálicos (Acero)	1274.845	1.275	5.099	61.193	0.79%	281	
	Textiles (Ropa, Limpiones, trapos)	14490.319	14.490	57.961	695.535	8.98%	656	
	Madera (Aserrín, Palos, Cajas, Guacales, Estibas)	911.578	0.912	3.646	43.756	0.57%	224	
	Cuero (Ropa y Accesorios)	29.867	0.030	0.119	1.434	0.02%	13	
	Empaques Compuestos (TETRA PAK)	1429.621	1.430	5.718	68.622	0.89%	468	
	Aprovechables Plásticos	PET	2665.623	2.666	10.662	127.950	1.65%	295
		PE-AD	15259.608	15.260	61.038	732.461	9.46%	358
		PVC	1328.943	1.329	5.316	63.789	0.82%	58
		PVC-Rígido	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00%	0
		PVC-Flexible	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00%	0
		PVC-Emulsión	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00%	0
		PE-BD, PE-LBD	6732.606	6.733	26.930	323.165	4.17%	278
PP		3972.590	3.973	15.890	190.684	2.46%	412	
PS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00%	0		

Fuente: Tomado de: (IGESAM S.A.S, 2021)

En la tabla 1 se presenta la caracterización de la recolección de residuos sólidos, se aprecia que tenemos disponibles 30 toneladas de recursos sólidos aprovechables representados por PET, polietileno de alta y baja densidad, polipropileno y algunos PVC de estas 30 toneladas el único no aprovechable es su totalidad es el PVC siendo considerado un polímero de baja utilización por su bajo punto de fusión y generación de gases que puede acarrear la presencia de elementos cancerígenos sin embargo como es una proporción mínima no corresponde ni al 10 % del total del recolectado en aprovechables plástico, no contamos con toda esta disposición para poder reutilizar estos elementos pero si vamos a hacer una muestra piloto de tal manera que se puedan aprovechar el 15 % o 20 % de los recursos aprovechables plásticos de segunda utilización para reemplazar en

las empresas cementeras y empresas de generación de energía que en algún momento necesiten reemplazar combustibles fósiles o combustibles naturales renovables.

Figura 6.

Composición porcentual de los residuos sólidos domiciliarios.



Fuente: Tomado de: (IGESAM S.A.S, 2021)

De acuerdo a la composición porcentual de los residuos sólidos domiciliarios identificados en la ruta azul de la empresa Igesam S.A.S, encargada de la recolección de residuos sólidos de Sogamoso en dicha zona vemos que porcentualmente los polímeros reutilizables son muy bajo el porcentaje del total de los residuos, y para contribuir en la generación de energías limpias a partir de productos de desechos, el prototipo de la maquina trituradora contara con una capacidad aproximada de 100 kilogramos por hora.

Figura 7.

Tipos de residuos sólidos presentes en la micro ruta S-202.



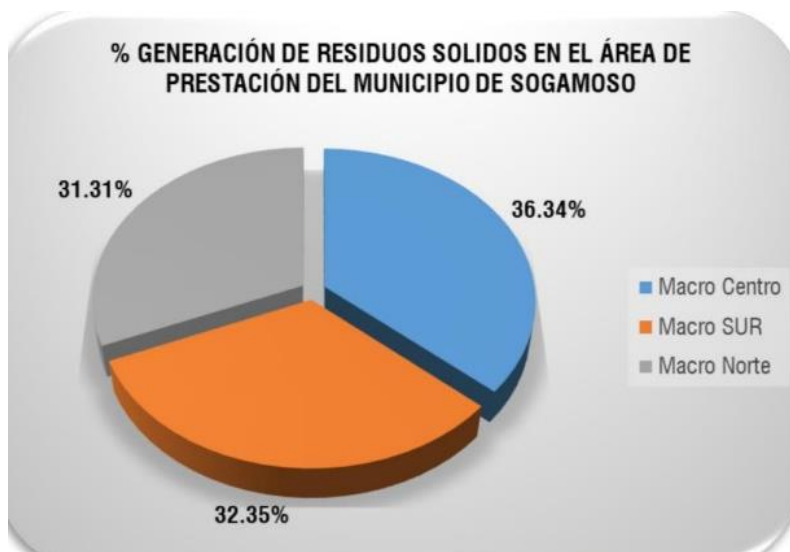
Fuente: Tomado de: (IGESAM S.A.S, 2021)

Para nosotros 100 kilogramos hora de procesamiento en una maquina prototipo podría ser empleada durante todo el día será una generación de energía suficiente considerando que normalmente el consumo de un motor eléctrico de dos caballo en kilovatios hora es aproximadamente cuatro kilovatios hora, es decir que la utilización y la generación de combustible es adecuada para nuestro proyecto, sin embargo esto es lo que se va a comprobar con el desarrollo del prototipo y se va a tomar una muestra representativa de lo que se expone en el documento de caracterización de recolección que ponemos en conocimiento tengamos en cuenta que esto es solamente para la región sur correspondiente a Sogamoso, pero con este dato podemos desarrollar una propuesta de solución en función del uso y empleabilidad de dicho elemento, nosotros como diseñadores pensando en la optimización en el proceso de trituración consideramos que una muestra representativa del 0,2 % que es lo que corresponde a 100 kilos del total de la recolección

en esa zona nos da una idea del alcance que podría tener una máquina de mayor capacidad para la generación y transformación de los residuos en combustibles para la industria pesada.

Figura 8.

Porcentaje de generación de los residuos sólidos domiciliarios.

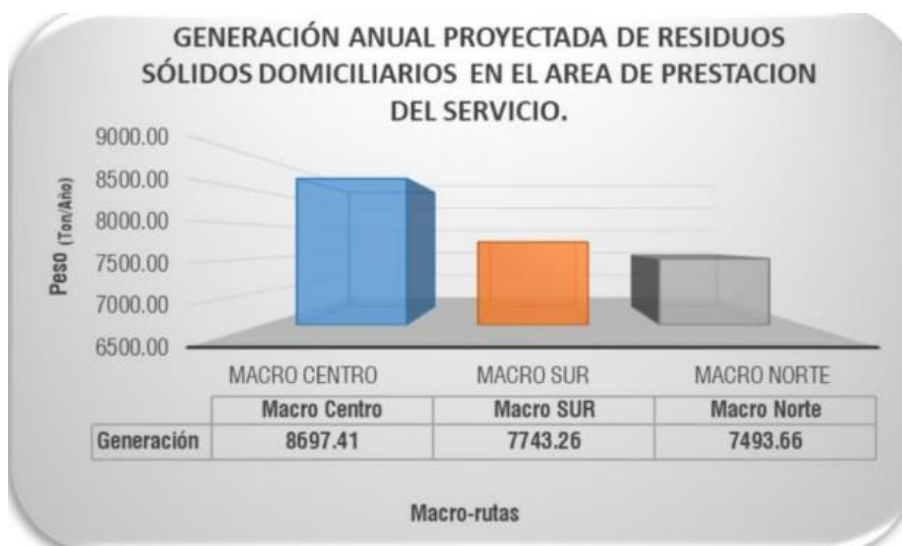


Fuente: Tomado de: (IGESAM S.A.S, 2021)

De acuerdo al estimado por Ingesam S.A.S empresa recaudadora de los residuos sólidos en Sogamoso y sus aledaños para el sector sur correspondiente al sector que se presenta en la figura 7 con el color anaranjado se tiene una recolección del 32,35% algo promedio de las otras dos regiones, el estimado que se tiene para la totalidad es de aproximadamente 100 toneladas semana , luego es muy posible que la solución que se presenta para la utilización de esos residuos aprovechables en forma de combustible sea adecuada en la zona propuesta.

Figura 9.

Proyección Anual de la Generación de residuos sólidos Domiciliarios.






Fuente: Tomado de: (IGESAM S.A.S, 2021)

La caracterización del polímero y su presentación para el empleo se mostrará más adelante sin embargo dejamos constancia de que la maquina tendrá la capacidad de procesar ese material si se encuentra acompañado de partículas que lo contaminan ejemplo partículas metálicas o partículas cerámicas.

Figura 10.

Registro de datos de la ruta caracterizada el día miércoles en la jornada de la tarde – Residuos.

TIPO DE RESIDUO	FOTOGRAFIA
Residuos aprovechables – Plásticos PET	
Peso: 0,7 Kg	
	

Fuente: Tomado de (IGESAM S.A.S, 2021)

Figura 11.


Registro de datos de la ruta caracterizada el día miércoles en la jornada de la tarde - Residuos no peligrosos - Residuos aprovechables - Plásticos PE-AD

TIPO DE RESIDUO	FOTOGRAFIA
Residuos aprovechables – Plásticos PE-AD	 
Peso: 3,4 Kg	
	
	

Fuente: Tomado de (IGESAM S.A.S, 2021)

Figura 12.




Registro de datos de la ruta caracterizada el día miércoles en la jornada de la tarde – Residuos no peligrosos - Residuos aprovechables - Plásticos PE-BD

TIPO DE RESIDUO	FOTOGRAFIA
Residuos aprovechables – Plásticos PE-BD	
Peso: 1,9 Kg	
	

Fuente: Tomado de (IGESAM S.A.S, 2021)

Figura 13.

Registro de datos de la ruta caracterizada el día miércoles en la jornada de la tarde – Residuos no peligrosos - Residuos aprovechables – Plásticos PP.

TIPO DE RESIDUO	FOTOGRAFIA
Residuos aprovechables – Plásticos PP	
Peso: 0,6 Kg	
	

Fuente: Tomado de (IGESAM S.A.S, 2021)

Las anteriores ilustraciones nos muestran la presentación de una recolección típica de un día de la semana en este caso es el día miércoles en una jornada característica de recolección como se puede apreciar los polímeros van acompañados de impurezas y algunos residuos adicionales y esto en la clasificación puede ser no seleccionado por tal motivo el molino o la trituradora deberá presentar un espacio suficiente en el volumen de trabajo para de esta manera poder triturar los polímeros presentados, como se puede apreciar en las ilustraciones el envase no está totalmente limpio pero nosotros podemos utilizarlo para el procesamiento debido a que son generadores de combustible, es de anotar que los polímeros en este tipo de presentación no pueden ser mezclados para un reproceso en transformación de plástico , cuáles son los procesos de transformación de plásticos que conocemos: inyección de plástico, soplado de plástico, extracción de plástico para formar película, desde ese punto de vista no son compatibles para una transformación de polímero pero si son compatible para generar energía a partir de la combustión de ellos , por ello nuestro proyecto busca volverlos granulados o en hojuelas de tal manera que puedan entrar en el proceso de combustión en los hogares de combustión de una caldera o un horno y aporten el poder calorífico que pueda reemplazar combustibles sólidos como los fósiles o como las maderas que se utilizan.

5. Alcance

En el desarrollo de este proyecto se contempla que por medio de la simulación de una maquina trituradora de bolsas se pueda validar dicho diseño por medio de software especializado de manera que se dé como conclusión sustentable para la maquina generada con posterioridad tenga una capacidad de procesamiento superior a 50 kg/hora de residuos sólidos.

Se espera con este proyecto ofrecer una solución innovadora, con el menor impacto ambiental posible al eliminar un porcentaje del volumen de residuos sólidos enviados a relleno, lo cual beneficiará inicialmente a las comunidades en general.

En el aspecto económico, social y ambiental se espera que en el futuro la máquina se posicionará como alternativa para incentivar la gestión adecuada de los residuos desde la fuente de generación y de interés para el desarrollo tecnológico de la región.

Además, con la implementación de la idea de diseño de una máquina trituradora desarrollada en físico como prototipo en una fase dos apoyados en la simulación realizada, se espera automatizar un proceso que hoy en día se hace de manera manual.

6. Metodología aplicada

6.1 Estudio

En este proyecto se hace un análisis descriptivo del desarrollo de un molino triturador y una simulación empleando software especializado de diseño mecánico para determinar posterior a la simulación las características más importantes de la máquina en cuanto a componentes mecánicos, características geométricas, características mecánicas específicas, con respecto a dicha máquina para poder procesar residuos sólidos de carácter bolsa plástica que puede ser PEBD polietileno de baja densidad o de polipropileno, que se tiene como residuo utilizable en las industrias cementeras de la región de Tunja y sus alrededores, el método que se emplea es un método inductivo pues se parte de lo particular del problema es decir de los residuos que se tienen con una propuesta de diseño de una maquina la cual tiene como fuente de energía un motor eléctrico y que solventara el funcionamiento , la utilización de estos residuos sólidos para poder emplearlos como combustible alternativo en el desarrollo de la obtención del producto final de las plantas cementeras y en remplazo de combustibles de usos fósiles como la gasolina, el ACPM o el aceite. El desarrollo del panel de la máquina trituradora, conlleva una investigación detallada de máquinas similares empleadas en otros lugares del país y se planteó el desarrollo de un prototipo a escala para luego implementar el proyecto a gran escala desarrollando maquinas similares en los diferentes puntos donde se obtengan residuos sólidos de este tipo bolsas plásticas y que nos permitan utilizar el método de trasformación de polímero en el combustible alternativo que deseamos.

6.2 Método

Para realizar el desarrollo de la simulación se emplea un método analítico que consiste en tomar todas las variables de corte y resistencia especificadas para las materias primas empleadas en la fabricación por proceso primario de bolsas plásticas y en función de estas características utilizar la información para simular y validar con ayuda de software especializado de diseño y concluir si las condiciones de fuerzas y esfuerzos simulados están acorde para lograr transformar esa materia residual en Pellets u hojuelas que luego puedan ser empleadas en combustibles en el hogar de una caldera o en el hogar de un incinerador de los mismo produciendo la suficiente energía para realizar el proceso propio de la industria en nuestro caso la industria cementera, de esta manera logramos fortalecer la competitividad y sostenibilidad de la industria teniendo un aprovechamiento de los residuos sólidos dispuestos como tal. Cabe anotar que la simulación realizada en un software de diseño mecánico, es una herramienta que beneficia el poder concluir la caracterización de los componentes mecánicos sin realizar dicho proceso de manera física, esto en la industria manufacturera se conoce como procesamiento 5.0 lo que ahorra en errores de diseño, al poder observar un comportamiento simulado muy real al que se obtendrá posterior en la maquina final.

6.3 Enfoque de investigación

El enfoque que se va a emplear en esta investigación es cualitativa y cuantitativa , pues se tienen propiedades de los polímeros que se van a transformar tales como resistencia al corte , temperatura de proceso y estos datos matemáticos que empleamos para determinar cuáles son las

características propias de la maquina prototipo para que en su trasformación o conversión a hojuelas o pellets; el polímero no pierda características de combustión de tal manera nos sirva de energía alternativa para el uso en calderas y en los hogares de los incineradores que producen energía para el proceso propio del producto final de las cementeras, este diseño de trituradoras de residuos sólidos toma como fundamento diseños previos de trasformación de polímeros por medio de trituración en combustible, materia prima pet y debido a que este (pet) es uno de los polímeros más empleados de único uso, se quiere hacer un uso adecuado de la energía y de los recursos utilizándolo como fuente secundaria de energía para las maquinas del procesamiento de los cementos. En cuanto a las características iniciales de la máquina para el proceso de trituración es de anotar que los requerimientos de fuerzas de corte, potencia de la máquina, volante de inercia que requiere dicha maquina son tomados de una máquina de condiciones similares para procesamiento de residuos plásticos y homologado a los resultados que se esperan en la propuesta de diseño desarrollada en este trabajo.

6.4 Fuentes y técnicas de recolección de la información

Se utilizan dos tipos de fuentes de información una fuente primaria y una fuente secundaria ; la primaria que tenemos como recurso para el desarrollo de esta investigación corresponde al uso eficiente de materias primas residuales que se tiene en la industria cementera en la ciudad de Tunja y sus municipios cercanos estos residuos sólidos pueden ser empleados de acuerdo a la información suministrada por los generadores de dichos residuos como combustible alterno para el proceso de trasformación del producto de la materia prima de estas industrias es decir el cemento , por tal motivo se van a tomar los datos de procesabilidad y uso final de dichos residuos sólidos;

secundaria corresponde a toda la bibliografía empleada referente al tema de investigación es decir toda la información relacionada con máquinas trituradoras de polímeros , dentro de la bibliografía relacionada se mencionan tres proyectos de grado, libros de diseño, información consultada en revistas especializadas, en internet y el contexto de los software de diseño que se pueden emplear para la simulación de los elementos mecánicos diseñados en este prototipo, teniendo en cuenta que con la simulación en esos Software nosotros podemos dar una aproximación muy cercana al desempeño del prototipo final calculado bajo el concepto de elementos finitos que conllevan al desarrollo del prototipo y nos dará un muy buen acercamiento al desarrollo de la maquina final en su desarrollo industrial

6.5 Ubicación dentro de la línea de trabajo

Esta propuesta de prototipo como desarrollo de proyecto de grado se ubica dentro de la línea de investigación del ciclo profesional de Ingeniería Electromecánica De La Universidad Antonio Nariño De Tunja

6.5.1 Usuarios directos y empleo de los resultados directos

El desarrollo del proyecto de investigación generara a los usuarios beneficiarios un concepto teórico y práctico del uso eficiente de los residuos sólidos en este caso bolsas de plástico y puede ser empleado por: los ciudadanos común que deseen tener un uso secundario de residuos sólidos en este caso bolsas plásticas, los recicladores para generar una segmentación de mercado en cuanto a las materias primas derivadas de polímeros a la comunidad de empresas que requieren







el uso del plástico triturado como material de combustión para generación de energía en procesos propios de transformación o de generación de productos.

6.5.2 Cálculos

Ecuación 1. Cálculo de las cuchillas de corte

Para esta debemos determinar cuál es el tipo de cuchillas seleccionadas y el tipo de montaje que vamos a requerir para el corte de la bolsas plástica de residuos sólidos; algo importante a tener en cuenta: el material de fabricación de las bolsas puede ser polietileno de baja densidad, de acuerdo a la siguiente tabla 3 se presentan las características técnicas y mecánicas de este material, o puede ser fabricado en polipropileno también se anexa tabla 4 donde se muestran las características mecánicas de este material; para el cálculo de las cuchillas vamos a tener en cuenta el tipo de material propio de la cuchilla para lo cual también se anexa una tabla con características de aceros de acuerdo al acero más empleado en cuchillas de corte en este caso para polímeros, polietileno de baja densidad o polipropileno.

Figura 14.*Características mecánicas del material.*

Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Polietileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Polietileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, laminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores, tubos
Polietileno de baja densidad	PEBD		Film adhesivo, Bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento contenedores flexibles, tuberías para riego,	Bolsas para residuos, e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado
Policloruro de vinilo	PVC		Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario,	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores
Polipropileno	PP		Envases para productos alimenticios, Cajas, tapones, piezas de automoviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas multiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS		Botellas, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina

Fuente: Tomado de: (Recytrans, 2022)

Figura 15.*Características técnicas y mecánicas.*

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD	MÉTODO
GENERAL			
Índice de fluidez (190°C/2,16 kg)	0,25	g/10 min	ISO 1133
Densidad a 23°C	921	kg/m ³	ISO 1183
MECÁNICAS			
Resistencia a la tracción en el punto de rotura	16	MPa	ISO 527-2
Alargamiento en el punto de rotura	600	%	ISO 527-2
Módulo de Flexión	260	MPa	ISO 178
TÉRMICAS			
Fragilidad en frío (-76°C)	0	roturas	ASTM D 746
Temperatura de reblandecimiento Vicat (10N)	95	°C	ISO 306
ELÉCTRICAS			
Constante dieléctrica (1MHz)	2,3	-	ASTM D 1531
Factor de disipación eléctrica (1MHz)	3E-4	-	ASTM D 1531
Resistividad volumétrica DC a 23°C	>1E15	ohm·cm	ASTM D 257

Fuente: Tomado de: (Repsol, 2022)

Figura 16.*Detalles generales.***REPSOL HEALTHCARE® HPR02CMD**

HPR02CMD is a medium-low melt flow rate propylene-ethylene random copolymer with good transparency, high gloss and excellent surface finish. It is formulated with additives according to the end use of the item in order to reinforce the thermal stability.

This grade has been produced with a Phthalate Free Catalytic system.

For specific information on sterilization resistance, please contact the Technical Service & Development Department.

Applications

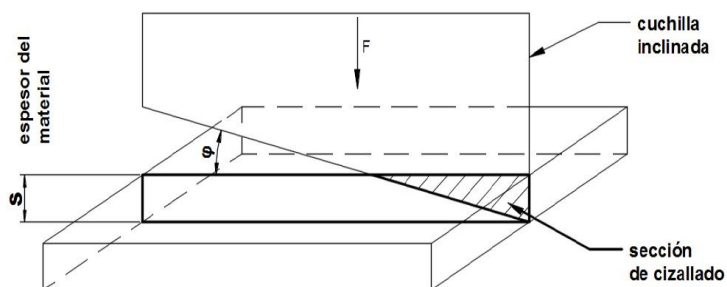
- Pharmaceutical packaging
- Healthcare applications

Recommended melt temperature range from 185 to 215°C. Processing conditions should be optimized for each production line. Physical blends with other materials might cause incompatibilities.

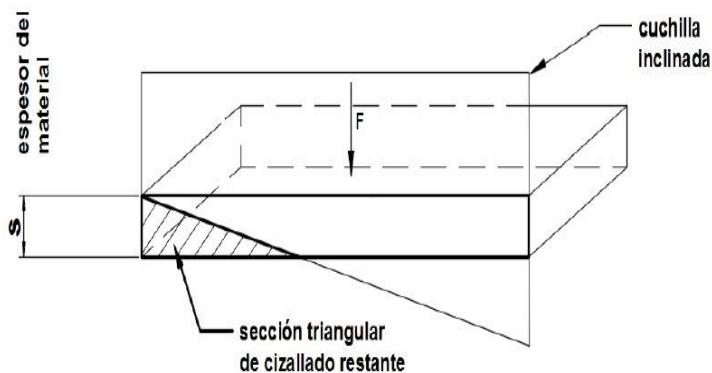
PROPERTIES	VALUE	UNIT	TEST METHOD
GENERAL			
Melt Flow Rate (190°C, 2.16 kg)	1.6	g/10 min	ISO 1133
Density at 23°C	902	kg/m ³	ISO 1183
Melting temperature	143	°C	Internal (DSC)
MECHANICAL			
Flexural Modulus	800	MPa	ISO 178
Charpy Impact Strength (23°C, notched)	22	kJ/m ²	ISO 179
OTHER			
HDT (0.45 MPa)	70	°C	ISO 75

Fuente: Tomado de: (Repsol, 2022)

Para el diseño de la geometría de la cuchilla como se muestra en la siguiente figura 9 vamos a tener un diseño de cuchilla inclinada, la fuerza en la cuchilla inclinada se presenta de acuerdo a la ecuación 5.

Figura 17.*Sección de cizallado.*

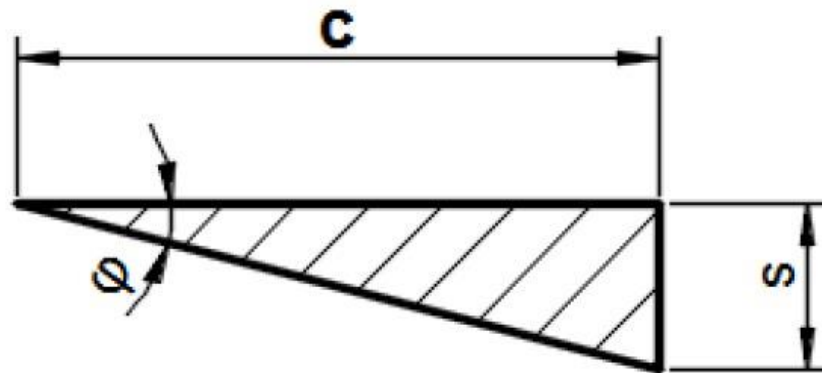
Como se muestra en la figura 10 para realizar el corte con cuchilla inclinada se tiene que calcular la fuerza necesaria F_H para cortar una sección triangular, y al mantener esta fuerza se puede mantener constante durante el avance de la cuchilla, el corte se realiza con un máximo corte con la Fuerza F_H se mantiene durante la sección de corte y posteriormente se comienza a bajar la intensidad de la fuerza de corte hasta llegar a la sección restante como se muestra en la figura 11.

Figura 18.*Sección triangular de cizallado constante*

Sobre el cálculo de la sección de corte se determina el ancho de la cuchilla, teniendo en cuenta que el prototipo es a escala vamos a tomar una distribución de cuchillas sucesivas en un arreglo secuencial, estas cuchillas tendrán un ancho de cuchilla de 20 milímetros y a partir de ese ancho tomaremos el cálculo de la fuerza de corte. El cálculo de la fuerza de corte se tomará con la resistencia máxima del polímero en este caso el polipropileno que tiene una resistencia de cizalla de 8 Mega pascales (MPa), no tomamos la resistencia de cizalla del polietileno porque como es más baja queda dentro de la ventana de observación del polipropileno; de acuerdo a esto ambos polímeros podrían ser cortados con la fuerza de corte calculada.

Figura 19.

Sección de cizallado triangular



En la figura 11 se observa la sección transversal y en la ecuación se presenta la fuerza de corte calculada.

$$A_{\Delta} = \frac{C * S}{2}$$

$$tg(\varphi) = \frac{s}{c}$$

$$c = \frac{s}{\operatorname{tg}(\varphi)}$$

$$A_{\Delta} = A_s = \frac{s^2}{2 * \operatorname{tg}(\varphi)}$$

Donde A_{Δ} : sección triangular de cizallado.

S: espesor de la plancha cortar.

φ : Angulo de inclinación de la cuchilla.

$$F_H = \frac{t_B * s^2}{2 * \operatorname{tg}(\varphi)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde

F_H : Fuerza de corte.

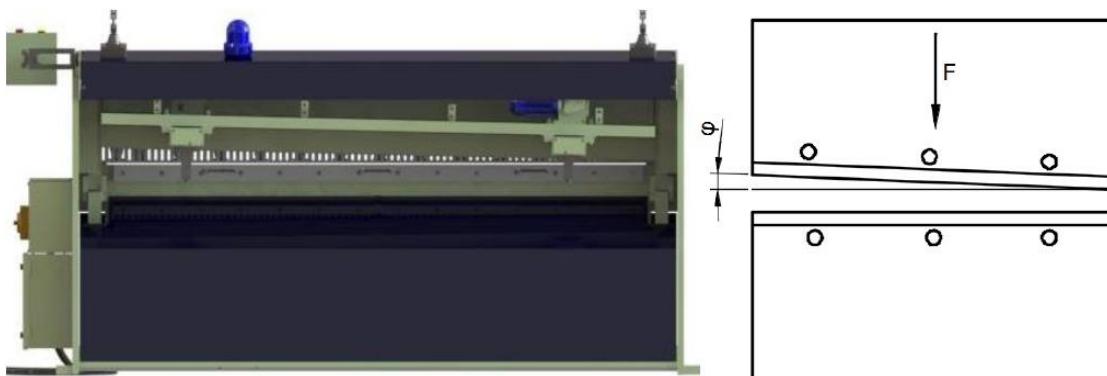
t_B : resistencia a la cizalladura.

S: espesor de la plancha a cortar.

φ : Angulo de inclinación de la cuchilla

Figura 20.

Cizalla con cuchillas inclinadas



Cómo se observa en la ecuación 2.8, a medida que se aumenta el ángulo de inclinación (φ), la fuerza de corte (FH) disminuye. Ahora bien, según el manual de DUBBEL y basándose en varios experimentos en los cuales se prioriza la calidad en el acabado del corte se establece (DUBBEL, 2003): $\varphi=1.5^{\circ}-10^{\circ}$

Figura 21.

Diseño de una trituradora de pet.



Fuente: Tomado de: (Mateus & Mateus)

Se va a tomar la disposición de las cuchillas como se presenta en la figura 13, esto con relación a que es un diseño realizado y que cumplió con las expectativas de general el pellet o la hojuela a partir de botellas de pet, para nuestro caso se empleara para el corte de bolsa plástica ya sea de polipropileno o de polietileno de baja densidad.

La ventaja principal que se encuentra en este tipo de diseño es que el efecto que genera de corte entre la cuchilla fija y la cuchilla móvil es más adecuado para el corte de los pellets y adicionalmente la cuchilla puede realizarse de manera intercambiable , la complejidad de fabricación no es tan alta es posible que no se presente un buen corte cuando el material se vuelve

particulado muy fino pero esto va a general que el costo sea bajo debido a que se pueden intercambiar las cuchillas; otra ventaja es que al tener un gran número de cuchillas cortando los residuos sólidos de tal manera que nos va a ahorrar en costo de mantenimiento.

Para el corte se espera tener una capacidad de tolva de 30 centímetros de largo, 20 centímetros de ancho y 30 centímetros de alto, la bolsa debe venir particulada o segmentada en un volumen aproximado de 10 centímetros por 10 centímetros por máximo 30 centímetros, en ese cubicaje esperamos poder tener todas las bolsas de tal manera que el giro del elemento mecánico de corte (rotor) frente a la cuchilla fija pueda permitir un corte adecuado.

Figura 22.

Aceros recomendados para el corte de diferentes materiales

ACEROS RECOMENDADOS PARA EL CORTE DE DIFERENTES MATERIALES			
TIPO DE CUCHILLA	ESPESOR DE MATERIAL A CORTAR	MARCA C.G.A.	DUREZA DE TRABAJO EN HRC
Cuchillas circulares y planas Para corte de lámina y chapa en frío	Hasta 2mm	1-2379	58-62
		FOR 821	60-64
		1-2436	58-62
	Hasta 4mm	1-3343/TSP-4	58-64
		1-2379	58-60
		FOR 821	58-64
	Hasta 10mm	1-2510	56-60
		1-2550	56-58
		1-2360	56-58
	Más de 10mm	1-2767	48-54
Cuchillas para papel	Todos los espesores	1-2363	56-60
		1-2379	58-62
		FOR 821	60-64
		1-2436	58-62
		BIMETALICO 2552	58-60
		BIMETALICO 18% Cr	60-64
Cuchillas para plástico	Todos los espesores	1-2363	58-60
		1-2379	58-62
		FOR 821	60-64
		1-3343/TSP-4	58-64
Cuchillas para corte en caliente	Todos los espesores	Marca CGA 1-2367	46-50

Fuente: Tomado de: (Cia. General de Aceros S.A., 2019)

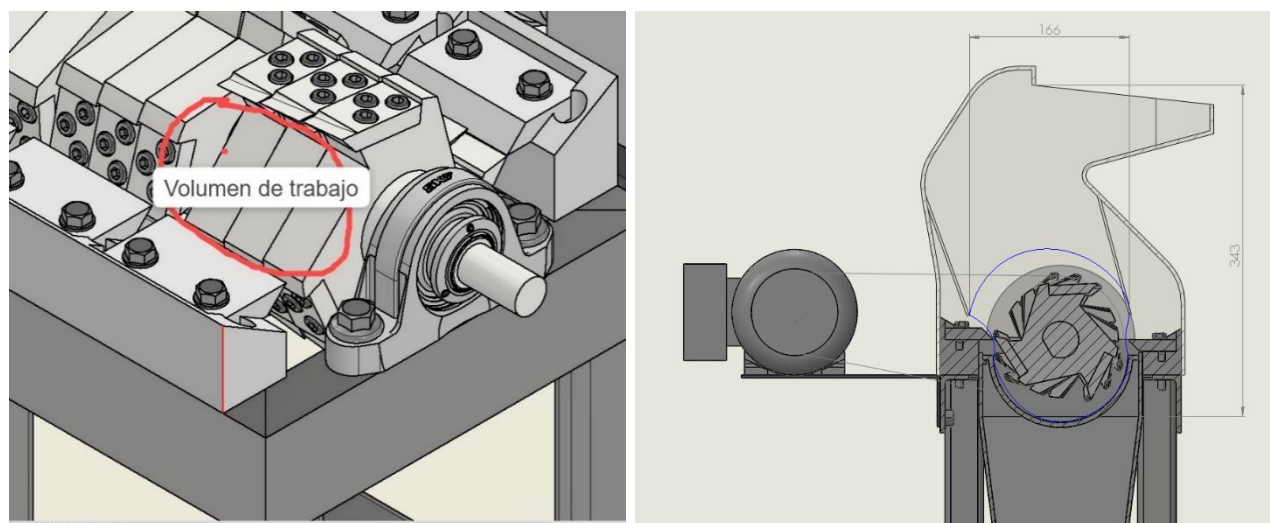
Para el cálculo de la fuerza de corte en polímeros PP, y polietileno de baja densidad que corresponde a bolsa plástica se encontró que dicha fuerza es aproximadamente de 1000 Newton, teniendo a consideración posibles apilamientos de bolsas debido a rasgaduras previas o a contacto con elementos como el alcohol que la pueden descomponer, el cálculo se presenta a continuación.

Ecuación 2. Capacidad de la trituradora cc^3 Volumen de material procesado

El volumen de la tolva corresponde a 30 centímetros de alto, 20 centímetros de ancho y 30 centímetros de largo para un total de 18000 cm^3 ; esta capacidad esta para desarrollar en un diámetro de volteo de las cuchillas de 15 centímetros con una separación de las cuchillas móviles de 5 centímetros de espacio de ubicación y una capacidad de recepción en diámetro especializado de acuerdo como se muestra en la figura14 siguiente correspondiente a 5 centímetros de diámetro de aglutinamiento de la bolsa en la recepción tolva.

Figura 23.

Volumen disponible para residuo a ser triturado



Como se aprecia el volumen de trabajo será el espacio disponible donde se va a depositar el residuo solido las bolsas, botellas o demás productos plásticos que van a ser triturados se deja

este espacio y ese ataque de la cuchilla en un ángulo de 5° grados para que la conformación del corte sea a manera de tijera.

Ecuación 3. Capacidad de la trituradora cc^3 Volumen de material procesado El volumen de la tolva se fija de acuerdo a parámetros convencionales para este prototipo, para el diseño se tuvo en cuenta el montaje correspondiente a un motor de 1.5 caballos o aproximadamente 1300 vatios de tal manera que la capacidad de la tolva queda determinada por un largo, ancho y alto en función también del volumen de bolsa a triturar, las ecuaciones son las siguientes:

$$\text{Volumen de la tolva} = 30cm * 20cm \times 30cm$$

$$\text{Volumen de la tolva} = 18000cm^3$$

$$\text{Capacidad de tolva} = V * (1 - FEV)$$

$$FEV = \text{fraccion de espacios vacios.}$$

Para nuestro caso se escoge un espacio de espacios vacíos del 80 %, esto nos determina que la capacidad de la tolva lo hallaremos de acuerdo al siguiente calculo:

$$FEV = 80\% = 0,8$$

$$\rho = 1,5 \text{ gr/cm}^3$$

$$T = \text{capacidad de tolva en gramos}$$

$$T = V * (1 - FEV)\rho$$

$$T = 18000cm^3 * (1 - 0,8) * 1,5gr/cm^3$$

$$T = 5400gr = 5,4Kg$$

De acuerdo al cálculo realizado nos damos cuenta que la capacidad de la tolva sería de 5.4 Kilogramos sin embargo como es bolsa no compactada esta capacidad se reduce aunque hemos considerado que la fracción de espacios vacíos es del 80 %, determinando como tal que el espacio ocupado por el material a general molienda apenas será del 20 % de la capacidad, como la bolsa

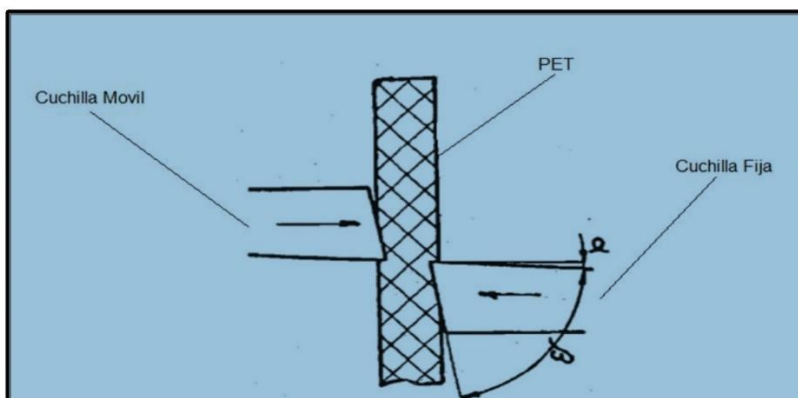
se considera un sólido no fácil de particular nosotros vamos a considerar 5 kilogramos como el volumen residual que esperamos obtener del proceso de molienda después de ser colocado el depósito sobre la tolva.

Ecuación 4. Cálculo en la fuerza de corte en las cuchillas

La fuerza de corte para fracturar o cortar materiales como el PEBD o el PP (polietileno, polipropileno), se hace necesario tener unas cuchillas de corte dispuestas de acuerdo al detalle de la siguiente figura 15.

Figura 24.

Detalle de las cuchillas en la posición inicial de corte



Fuente: Tomado de: (Mario Rossi, Reimpreso 1979)

Las cuchillas tienen un arreglo dispuesto de manera que se generen los filos de corte, como se muestra en la figura anterior el ángulo de corte β : 70° a 80° y el ángulo de ataque α : 4° a 6° , los dos filos cortantes generan un ángulo de apertura γ : 8° a 10° .

En la figura 16 se presenta el ensamble real de la cuchilla fija y la cuchilla móvil del diseño realizado en el software inventor, la disposición de cuchillas tendrá un total de 12 juegos de porta cuchillas cada juego de porta cuchillas tiene tres cuchillas de corte distanciadas 120° grados y cada

trio de porta cuchillas va a estar ligado a una cuchilla fija en dos posiciones contra puestas a 180° grados, la figura 16 muestra una posición derecha pero ya en el diseño cuando sea entregado los planos del producto se va a observar esa misma disposición al lado izquierdo.

Figura 25.

Posición cuchillas.

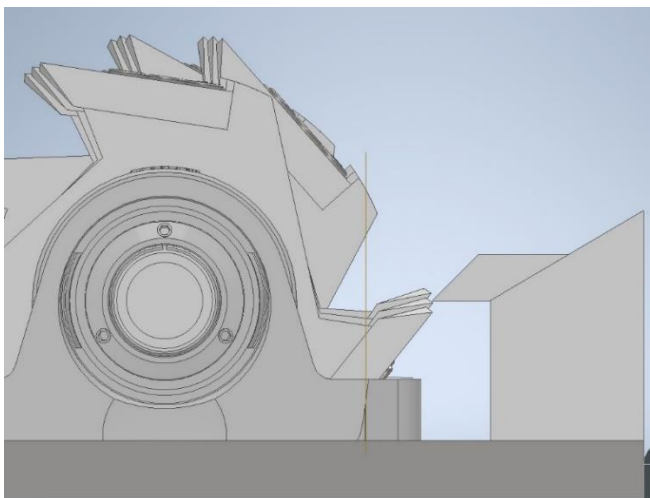
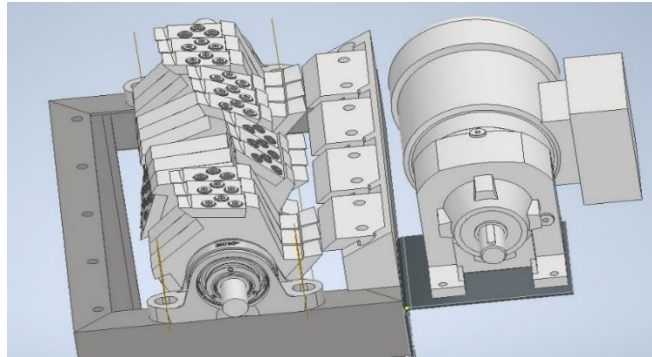


Figura 26.

Disposición de las Cuchillas Parte Izquierda.



Como se aprecia en la figura 17 la disposición de las cuchillas permite el espacio de compilación del material para molienda, tenga espacio significativo que permitan el anclaje y el corte de la película o del material de residuo solido de bolsa. Para hallar la fuerza de corte para nuestra bolsa de papel y para determinar el espesor de la cuchilla a emplear vamos a utilizar la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{1}{2} \frac{s^2}{\tan\varphi} * t$$

F_c = Fuerza de corte

S = espesor material

t = esfuerzo de cizalla

φ = ángulo de cizalla

La fuerza de corte necesaria para la ruptura de los segmentos de partición de la bolsa plástica residuo, en polietileno de baja densidad o en polipropileno que son los materiales más empleados para la fabricación de bolsa plástica y teniendo un calibre de 0,0008 metros, es decir

de 8 décimas como espesor máximo de bolsa, vamos a tener una fuerza de corte en cada cuchilla de 325 Newton y a continuación mostramos el cálculo correspondiente

$$\text{Calculo fuerza de corte } F_c = \frac{0,5 (0,0008m)^2}{Tg 5^\circ}$$

$$F_c = 325 N$$

Como material de corte para las cuchillas se selecciona uno de la siguiente tabla 7 de aceros para cuchillas, esta tabla fue tomada de aceros recomendados para el corte de materiales en cuchillas industriales.

Figura 27.

Aceros recomendados para el corte de diferentes materiales

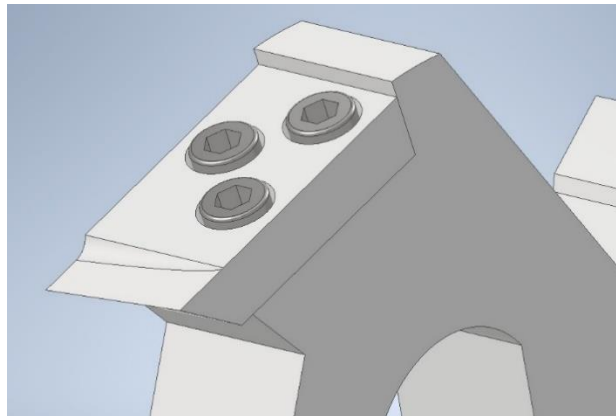
ACEROS RECOMENDADOS PARA EL CORTE DE DIFERENTES MATERIALES			
TIPO DE CUCHILLA	ESPESOR DE MATERIAL A CORTAR	MARCA C.G.A.	DUREZA DE TRABAJO EN HRC
Cuchillas circulares y planas Para corte de lámina y chapa en frío	Hasta 2mm	1-2379	58-62
		FOR 821	60-64
		1-2436	58-62
	Hasta 4mm	1-3343/TSP-4	58-64
		1-2379	58-60
		FOR 821	58-64
	Hasta 10mm	1-2510	56-60
		1-2550	56-58
		1-2360	56-58
	Más de 10mm	1-2767	48-54
Cuchillas para papel	Todos los espesores	1-2363	56-60
		1-2379	58-62
		FOR 821	60-64
		1-2436	58-62
		BIMETALICO 2552	58-60
		BIMETALICO 18% Cr	60-64
Cuchillas para plástico	Todos los espesores	1-2363	58-60
		1-2379	58-62
		FOR 821	60-64
		1-3343/TSP-4	58-64
Cuchillas para corte en caliente	Todos los espesores	Marca CGA 1-2367	46-50

Fuente: Tomado de: Cuchillas industriales (Cia. General de Aceros S.A., 2019)

Normalmente el acero seleccionado para cuchillas de acuerdo a recomendación de la compañía nacional de aceros es el 1- 2379 un acero con excelente templabilidad que alcanza fácilmente los 65HRC que corresponde a una herramienta de corte por cizalladura; para el diseño tuvimos en cuenta que se debe tener un ángulo de corte de entrada de la cuchilla hacia el material pero y también es de notar que en el diseño se coloca 12 filas de cuchillas que van a entrar en contacto con dos filos de corte fijos ubicados a 180° con un ángulo de ataque de entre 20° y 30° grados respectivamente, esto nos garantiza que en presencia de aglomeración del plástico, la cuchilla va a ejercer el corte correspondiente se presenta una figura 18 de la cuchilla tipo que se va a colocar sobre los porta cuchillas es de anotar que los porta cuchillas tienen una inclinación sobre el anclaje para ser ubicados sobre el eje del porta cuchillas o eje móvil.

Figura 28.

Cuchilla montada en la porta cuchillas tipo.



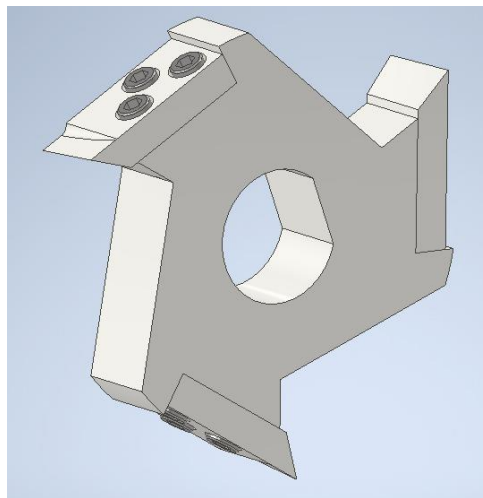
Las cuchillas irán montadas en una estrella de soporte de cuchillas la cual estará anclada por intermedio de una cara plana ubicada dentro de la cuchilla y acomodada o apoyada por unos buges separadores para que se disponga el arreglo en 4 filas de cuchillas organizados con tres

estrellas soporte por cada fila estas van rotadas 120° para poder determinar un corte en hélice y que la cuchilla no se sobre esfuerce en la entrada de material de aporte.

En la figura 19 mostramos como se presenta el anclaje de una estrella de corte con sus tres cuchillas, con sus tres puntas de corte y la disposición de cada plana en el eje para la atracción correspondiente.

Figura 29.

Anclaje de una estrella de corte



Estos porta cuchillas se montan directamente en el eje de transmisión para la validación de la carga y determinar el factor de seguridad correspondiente a la elaboración previa del prototipo ; es decir para realizar una simulación por intermedio de un software de diseño en este caso Inventor vamos a mostrar el esfuerzo que se presenta en el eje y determinar el factor de seguridad de material es decir antes de fatiga para la correspondiente transmisión es de anotar en este tipo de simulaciones para no requerir tanto la maquina lo importante es poder determinar las cargas a ubicar dentro del simulador y los esfuerzos obtenidos al final de la simulación se hace como efecto

de validación de los cálculos determinados y también para exponer un resultado comparativo frente al diseño propio que se plantea es decir al prototipo.

Figura 30.

SAE Handbook, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa.; Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio. Norton diseño mechanic.

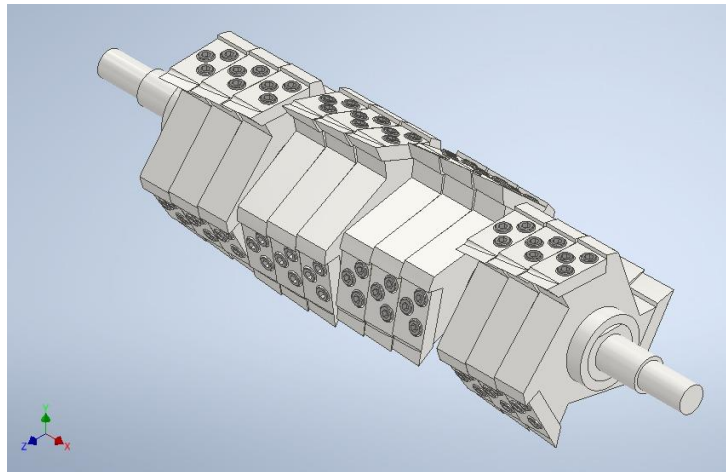
Número SAE/AISI	Condición	Resistencia a la fluencia por tensión (0.2% de deformación remanente)		Resistencia última a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1010	rolado en caliente	26	179	47	324	28	95
	rolado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	rolado en caliente	30	207	55	379	25	111
	rolado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	rolado en caliente	38	259	68	469	20	137
	normalizado @ 1 650 °F	50	345	75	517	32	149
	rolado en frío	64	441	76	524	12	149
	templado y revenido @ 1 000 °F	75	517	97	669	28	255
	templado y revenido @ 800 °F	84	579	106	731	23	302
	templado y revenido @ 400 °F	94	648	123	848	17	495
1035	rolado en caliente	40	276	72	496	18	143
	rolado en frío	67	462	80	552	12	163
1040	rolado en caliente	42	290	76	524	18	149
	normalizado @ 1 650 °F	54	372	86	593	28	170
	rolado en frío	71	490	85	586	12	170
	templado y revenido @ 1 200 °F	63	434	92	634	29	192
	templado y revenido @ 800 °F	80	552	110	758	21	241
	templado y revenido @ 400 °F	86	593	113	779	19	262
1045	rolado en caliente	45	310	82	565	16	163
	rolado en frío	77	531	91	627	12	179

Una vez realizado el análisis por elementos finitos para el caso de un análisis estático y colocando las cargas correspondientes para el caso de la figura que se va a presentar las cargas corresponde a la fuerza de corte en las cuchillas de 325 Newton de dos cuchillas que entran en contacto con las cuchillas móviles y estas entran en contacto con las cuchillas fijas esto debido a que presenta un ángulo de desviación precisamente para que el contacto de cuchilla a cuchilla no

sea en el mismo instante presentándose la posibilidad de un desgarre, de acuerdo al diseño planteado las cuchillas tienen una inclinación de 5° grados lo que les da un comportamiento tipo tijera en el cual la cuchilla no desgarra el material sino entra a cortarlo el ejemplo típico es una tijera manual en la cual el operados hace palanca en dos puntos distintos y las cuchillas entran con un ángulo de aplicación cortando materiales muy delgados como lo es en nuestro caso, estamos considerando bolsas de un calibre 18 20 que es típico de bolsas para contenidos de residuos sólidos y es la bolsa planteada para el diseño del prototipo.

Figura 31.

Disposición de las cuchillas en el eje móvil.

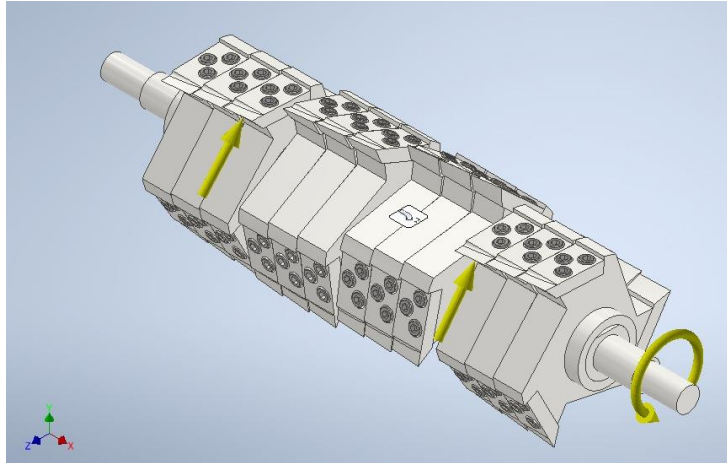


En la figura 20 se muestra la posición de las cuchillas para la matriz de corte del eje móvil como se puede apreciar las cuchillas tienen un ángulo de inclinación lo que nos da la posibilidad de que solo un par de cuchillas entren en contacto con las cuchillas fijas el diseño está determinado para que ese par de cuchillas sean las que realizan el corte y así sucesivamente la secuencialidad de corte que se va a tener en la disposición de las cuchillas móviles, a esta disposición le haremos

un estudio de modelamiento como se puede apreciar esa disposición de cuchillas está sustentada por unas cuchillas removibles que son ancladas por medio de tres tornillos cada una.

Figura 32.

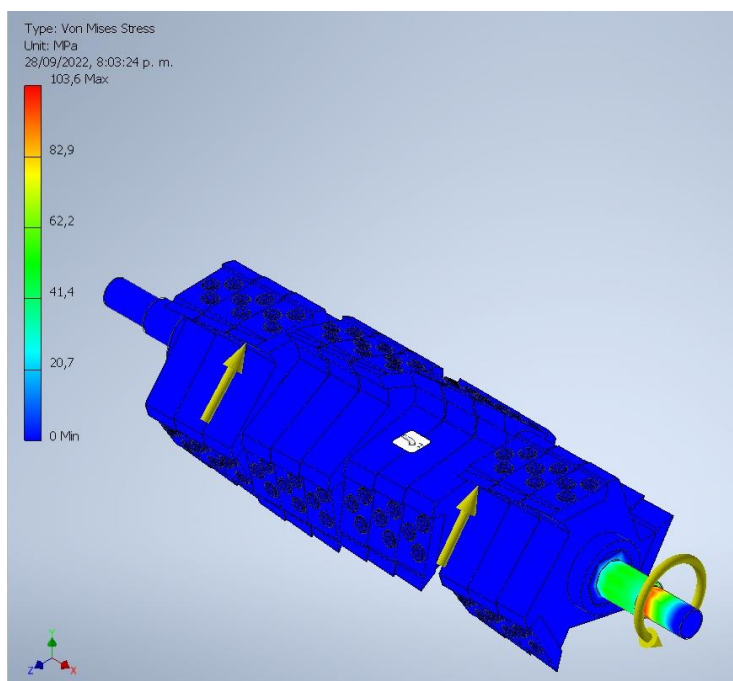
Muestra la disposición de Fuerzas de corte y el torque originado por la potencia de transmisión.



En la figura 21 se muestra la disposición de la fuerza en la pareja de cuchillas que se activan en cada momento de corte esta fuerza corresponde a 325 Newton por cada cuchilla y esta fuerza de corte es brindada por la oposición frente a la cuchilla fija y el movimiento rotacional dado por el torque para el cual tenemos una potencia de entrada de 1500 vatios es decir aproximadamente dos caballos de potencia y un giro después del reductor de 150 RPM una vez ubicada esta potencia.

Figura 33.

Análisis Von Mises Combinación de esfuerzos máximos componente mecánico



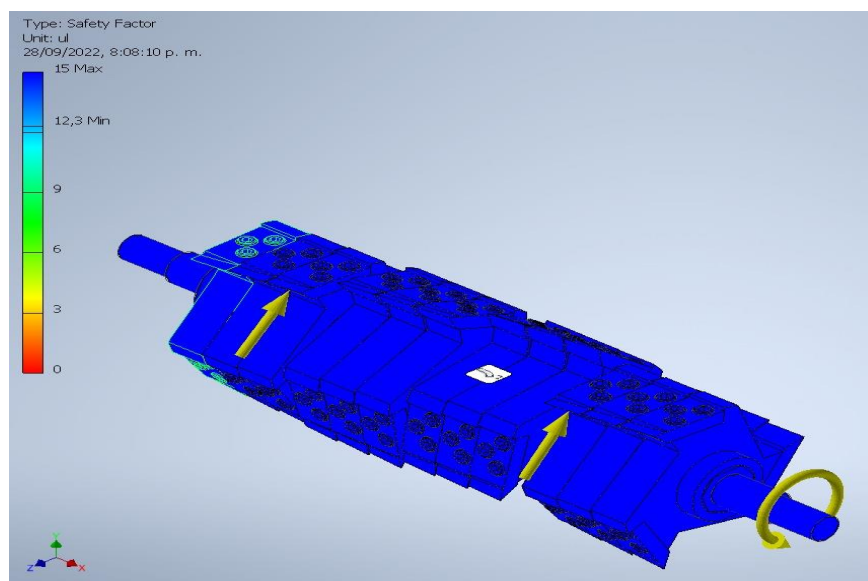
Después de realizar un análisis de Von Mises nos indica que se tiene esfuerzos combinados figura 22; los esfuerzos en este caso son esfuerzos torsionales, ósea cortantes y esfuerzos flectores , estos esfuerzos considerados y con ayuda del software inventor nos brinda una capacidad de carga donde esperamos determinar que el eje junto con el montaje de las cuchillas y las cargas ya explicadas con anterioridad nos brinde la posibilidad de determinar cuál sería el factor de seguridad que tenemos para nuestro diseño , nos basamos en esta conclusión apoyados en el software para que en la fabricación podamos comparar resultados y determinar si los resultados entregados por el software son adecuados a el material que se seleccionó en cada uno de los componentes.

Como se puede apreciar el valor máximo del esfuerzo para el caso de esfuerzos combinados este sería el esfuerzo alternante ósea esfuerzo máximo que soporta cada uno de los componentes

del mecanismo el esfuerzo máximo corresponde a 103,6 Megapascales teniendo en cuenta que el esfuerzo del material que aplicamos en el eje (material SAE 10 45) este material que corresponde a un acero especial sin tratamiento normalizado únicamente tal cual lo entrega la compañía general de Aceros o BOLER en ese caso presenta ese esfuerzo máximo en lo que consideramos uno de los concentradores de esfuerzo donde se presenta de acuerdo a la colorimetría el color rojo con este esfuerzo máximo de 103,6 Megapascales de esfuerzo alternante podemos encontrar también el factor de seguridad de diseño de material correspondiente al diseño presentado; este diseño presentado se va a evaluar en funcionamiento con el prototipo inicial para determinar si es factible escalarlo a una maquina real.

Figura 34.

Factor de Seguridad en el ensamble mecánico motriz



El factor de seguridad que se aprecia en la figura 23, logrado a partir del estudio de análisis estático bajo el criterio de cargas combinadas ya explicadas anteriormente (torsión y flexión) es

de 12,3 este factor de seguridad es suficiente para nuestro diseño por eso se toma la decisión de que este montaje es el que se va a presentar como prototipo el factor de seguridad nos indica que el material es prestante hasta una carga máxima de 200 Newton metro es decir si duplicamos la potencia de corte a la misma velocidad o si duplicamos la velocidad de corte a la misma potencia es decir a dos caballos, o sea se duplica la potencia de corte a 4 caballos y se mantiene la velocidad de 150 RPM o se amplía la velocidad a 300 RPM y se mantiene la potencia de 2 caballos para el montaje.

Porque podemos afirmar lo anterior debido al estudio que sea realizado en función del criterio de fallas de un Von Misses cargas combinadas nos indica que para un análisis estático el factor de seguridad que se logra bajo cargas máximas (cargas de condiciones críticas) ya sea en torque o en flexión, vamos a tener en la fatiga una reducción aproximada del 70% de la resistencia de la fatiga lo que implicaría una reducción de ese mismo 70% en el factor de seguridad ; si estamos hablando que tenemos un factor de seguridad de 12% es posible que el factor de seguridad de vida infinita sea de aproximadamente de 4, este factor de seguridad de vida infinita es el que se toma por carga, pero considerando que es una máquina de impacto es decir una máquina de corte se considera de impacto la fuerza que nosotros calculamos es una fuerza promedio , el esfuerzo que se tiene es un esfuerzo alternante y va a existir un esfuerzo medio que va a determinar la amplitud del ciclaje que se genera, como es una maquina rotacional el ciclaje podría afectar y reducir ese factor de vida infinita de 4 a 2 y con un factor de seguridad 2 entramos a una vida critica en el mantenimiento de los elementos mecánicos rotacionales principalmente, por tener un factor de seguridad con posibilidad de reducirse y también por el concepto de ser un elemento mecánico de impacto tomamos la determinación que el factor de seguridad del material o de vida de bajo ciclaje

(de 0 a 1000 ciclos) es adecuado para nuestro diseño, proseguimos con el diseño experimental bajo el prototipo para corroborar nuestra teoría y aplicarla en la maquina industrial.

Ecuación 5. Cálculo del volante de inercia

Se debe tener el torque promedio nosotros estamos hablando de un torque promedio de acuerdo al calculo que hicimos en el eje porta cuchillas de 100 Newton metro por tal motivo aplicaremos la ecuación correspondiente al torque promedio este torque se integra de 0 a 2 P es decir un ciclo del torque en función de la distancia recorrida angularmente ósea 2 P Radianes se presenta la ecuación para tal fin:

$$T_{promedio} = T_m = \frac{\int_0^{2\pi} T(\theta) d\theta}{2\pi \text{ rad}}$$

$$T_{promedio} = \frac{100Nm * 1,57rad}{2\pi \text{ rad}} = 50Nm$$

Luego que tenemos el torque promedio se calcula la máxima variación de energía teniendo en cuenta la parte positiva es decir del torque promedio al torque máximo esto con relación a nuestra tabla de variación de torque. Para el cálculo se necesita determinar el torque de corte, el torque de corte vamos a tener en cuenta la longitud vertical de corte para nuestro caso la longitud vertical de corte corresponde a 0,025metros es decir 2,5 centímetros esa será la longitud de corte que vamos a tomar como característica de corte en el descenso o en el corte vertical de la hojuela, teniendo en cuenta el giro de corte se debe expresar en radianes nosotros tenemos que el giro de corte correspondiente para nuestro componente va a ser la longitud de corte por la cantidad de veces que pasa por una vuelta del eje de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Radianes \text{ de corte} = R_c = \frac{L_c * 6}{r_{rodillo}}$$

Como vimos en el montaje se tiene tres cuchillas por cada estrella de montaje eso quiere decir que las veces que pasa en una sola vuelta las cuchillas móviles por las fijas va a ser de dos

veces, y el radio del rodillo como se muestra en el plano correspondiente del ensamble del montaje cuchilla y porta cuchilla es de 140 milímetros dividido en 2, el número de veces que la cuchilla corta es seis en el paso por las cuchillas fijas, eso quiere decir que tendríamos un R_c o radianes de corte serian igual a la longitud de corte 0,025 metros por seis dividido 0,07 metros esto nos da 2,14 radianes que en ángulo nos da 245° grados se puede apreciar en el siguiente calculo:

$$\text{Radianes de corte} = \frac{L_c * 6}{0,07 m}$$

$$R_c = \frac{0,025 m * 6}{0,07m} = 2,14 rad = 245^\circ$$

$$T_{corte} = F_{corte} * r_{rodillo}$$

El torque de corte corresponde a la fuerza de torque por el diámetro de corte del rodillo; teníamos una fuerza de corte de 325 Newton y el diámetro de rodillo de 0,07 metros entonces nuestro torque de corte es 50Newton metro la mitad del calculo que entrega el motor; como para nuestro caso el torque de corte y el torque promedio están dando el mismo valor no tendríamos variación de energía que significa ello que si nuestra variación de energía es cero pues no se necesitaría volante de inercia pero como es una máquina de triturador necesita el volante de inercia en el otro extremo de la transmisión de potencia precisamente porque si no tiene volante de inercia las cuchillas podrían trabarse en el momento de corte por entrapamiento del plástico de corte , para garantizar que no se va a tener una descompensación en el corte vamos a generar una gráfica de torque en función de la potencia del motor que se selección para este caso dos caballos de potencia y en función de la velocidad que requerimos para el corte en este caso 180 Rpm, se podría incrementar la velocidad de corte pero esto generaría un posible calentamiento en el plástico teniendo en cuenta que no estamos triturando un plástico que se considere frágil , ejemplos de plásticos frágil está el poliestireno cristal o el Pet, nosotros estamos triturando un plástico que se

considera elastoplástico caso polipropileno, caso polietileno de baja densidad o de alta densidad y también esta característica de ser un plástico con características elastoplásticas permiten antes del corte un estiramiento adicional por esta razón es importante determinar el volante de inercia que se coloca al otro extremo del molino para garantizar que las cuchillas lleven un sentido de corte y efectivamente realicen el corte sobre la película delgada que estamos considerando es la bolsa; se va a tomar como características la tabla 8.

Figura 35.

Torque vs posición angular, diseño volante



Como se explicó el torque promedio lo tomaremos como 50Nm y el torque máximo 250° lo vamos a tomar como 100Nm, eso nos determina una variación de energía teniendo únicamente la parte positiva del torque es decir la sección que comprende desde el torque medio hasta el torque máximo en un ángulo correspondiente de 245° grados que es cuando entra la cuchilla de corte y realiza este en las tres posiciones, allí sería el mayor esfuerzo que realizaría la cuchilla en el corte, esa energía máxima está determinada en la siguiente ecuación:

$$E_{max} = \int_0^{\theta} 2\pi(T(\theta) - T_m) d\theta$$

$$E_{max} = (100-50) \text{ Nm} * 2,14 \text{ rad} = 107 \text{ J}$$

La energía es de 107 Joule esa es la energía que necesitamos compensar con el volante de inercia

Figura 36.

Coefficientes de fluctuación recomendados.

TIPO DE APLICACIÓN	COEFICIENTE DE FLUCTUACIÓN
Máquinas eléctricas	0,003
Motores de transmisión por correas	0,03
Máquinas de molienda de granos	0.02
Transmisiones por engranes	0.02
Maquinas por estampado o martillado	0.2
Máquinas de herramientas	0.03
Máquinas para fabricación de papel	0.025
Máquinas para bombeo	0.03 a 0.05
Máquinas para cortar	0.03 a 0.05
Máquinas giratorias	0.01 a 0.02
Máquinas para industria textil	0.025
Trituradora	0.1 a 0.2
Troqueladora	0.05 a 0.1

Fuente: Tomado de: (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia , 2019)

De la Tabla 9, se toma el coeficiente de fluctuación como 0,2 que es el correspondiente a las trituradoras, en función de ese coeficiente y utilizando una matriz de resolución de ecuaciones de sistemas de ecuaciones lineales con dos incógnitas , determinamos el valor de la velocidad media y el valor de la velocidad máxima para nuestro sistema, teniendo una velocidad máxima nosotros colocamos para el cálculo de la potencia una velocidad 150 Rpm pero considerando que

podríamos eventualmente obtener a la salida del motor reductos una velocidad de 500 Rpm vamos a considerar que nuestra velocidad promedio es de 450Rpm lo que al ser convertidos a radianes por segundo nos entrega una velocidad promedio de 48 radianes por segundo, con esa velocidad angular promedio de 48 radianes por segundo entramos a aplicar la siguiente ecuación que corresponde al cálculo del volante inercia de acuerdo al diseño de Shigley referenciado en nuestra bibliografía (Nisbett & Keith, 2010).

$$I_{volante} = I_v = \frac{107 J}{C_f (\omega_m)^2} = \frac{107 J}{0.2 * (48 * \frac{rad}{s})^2} = 0.23 kg m^2$$

Con el dato de 0,23 Kg por metro cuadrado, es decir la inercia del volante, vamos a desarrollar la geometría típica de un volante de inercia normalmente los volantes de inercia tienen un radio externo, un radio interno o un radio mayor o menor y un ancho; de esa manera vamos a desarrollar nuestro volante teniendo en cuenta las condiciones que hemos seleccionado para el volante de inercia.

Figura 37.

Geometría típica de volante de inercia.



Fuente: Tomado de: (Enciclopedia Británica, 2018)

En la figura 24 se puede observar el diseño preliminar de un volante de inercia como se ve tenemos un radio interior, un radio exterior y un ancho de volante y a eso le sumamos el valor de masa de cubo o del dado de transmisión que será con el cual se conecta con el eje; presentaremos el diseño ya calculado del volante aplicado en la máquina que estamos desarrollando.

$$R_{mayor} = 0.15 \text{ m}$$

$$R_{menor} = 0.1 \text{ m}$$

$$\rho = 7833 \text{ kg/m}^3$$

$$h = 0.04 \text{ m}$$

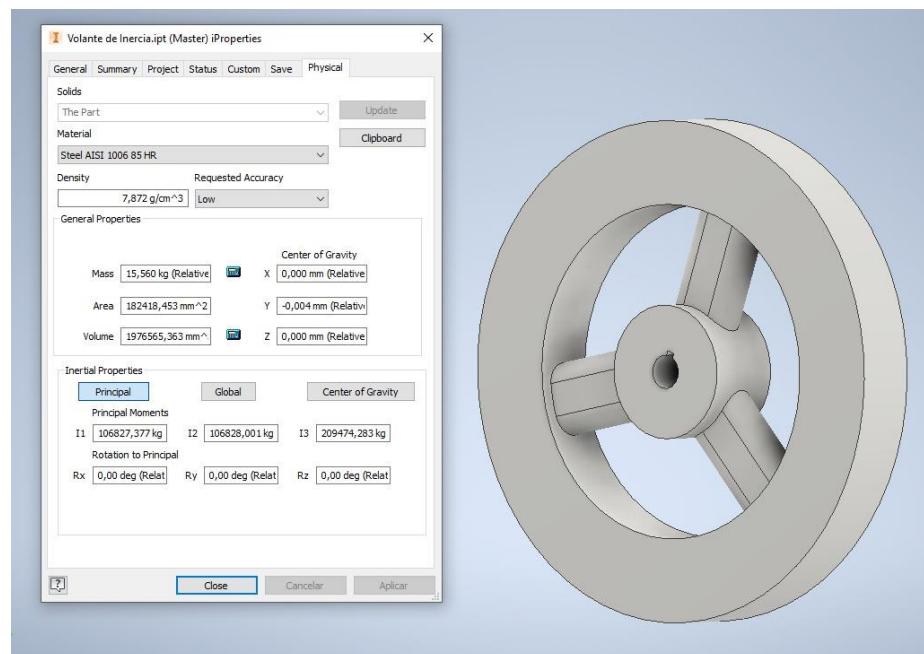
$$I_{volante} = 0.2 \text{ kg/m}^2$$

De acuerdo a los datos que estamos colocando previos y de acuerdo a una iteración que se realizó vamos a determinar que nuestro volante tiene un radio mayor de 0,15m un radio menor de 0,1m la densidad del acero es de 7,8 gramos por centímetro cúbico o lo que corresponde a 7833 kilogramos por metro cúbico y el valor del ancho del volante es de 4 centímetros; esto nos da una

inercia de volante de 0,2 kilogramos por metro cuadrado que es muy aproximado a lo que teníamos como cálculo inicial para dicho volante , lo compensamos con la masa de la manzana con la que se comunica el eje y con esto obtenemos un valor suficiente para mantener el corte en las cuchillas.

Figura 38.

Características de Volante de Inercia.



De acuerdo al diseño del volante se aprecia en la figura 25, que la masa total es de 15,56 kilogramos y la inercia de movimiento rotacional es de 0,2 kilogramos por metro cuadrado; si incluimos la manzana de tracción del volante esta inercia asciende a 0,23 kilogramos por metro cuadrado y el peso total se mantiene en 15,6 kilogramos, con eso garantizamos que el corte sea efectivo y de acuerdo a nuestro diseño de cuchillas que tenemos vamos a general un corte tipo tijeras, es de anotar que aunque el diseño preliminar se considera sobre 150 RPM observando el comportamiento que tengamos en las pruebas piloto si se ve necesario se incrementara la velocidad

hasta 500 Rpm; estas consideraciones ya las tuvimos en cuenta en el cálculo del torque medio para el cálculo de este volante de inercia.

Figura 39.

Tamaño de cuña según diámetro de eje.

Diámetro del eje (in)	Ancho nominal de la cuña (in)	Diámetro del tornillo prisionero (in)	Diámetro del eje (mm)	Ancho x alto de la cuña (mm)
$0.312 < d \leq 0.437$	0.093	#10	$8 < d \leq 10$	3 x 3
$0.437 < d \leq 0.562$	0.125	#10	$10 < d \leq 12$	4 x 4
$0.562 < d \leq 0.875$	0.187	0.250	$12 < d \leq 17$	5 x 5
$0.875 < d \leq 1.250$	0.250	0.312	$17 < d \leq 22$	6 x 6
$1.250 < d \leq 1.375$	0.312	0.375	$22 < d \leq 30$	8 x 7
$1.375 < d \leq 1.750$	0.375	0.375	$30 < d \leq 38$	10 x 8
$1.750 < d \leq 2.250$	0.500	0.500	$38 < d \leq 44$	12 x 8
$2.250 < d \leq 2.750$	0.625	0.500	$44 < d \leq 50$	14 x 9
$2.750 < d \leq 3.250$	0.750	0.625	$50 < d \leq 58$	16 x 10
$3.250 < d \leq 3.750$	0.875	0.750	$58 < d \leq 65$	18 x 11
$3.750 < d \leq 4.500$	1.000	0.750	$65 < d \leq 75$	20 x 12
$4.500 < d \leq 5.500$	1.250	0.875	$75 < d \leq 85$	22 x 14
$5.500 < d \leq 6.500$	1.500	1.000	$85 < d \leq 95$	25 x 14

Fuente: Tomado de: (Diseño de cuñas, 2022)

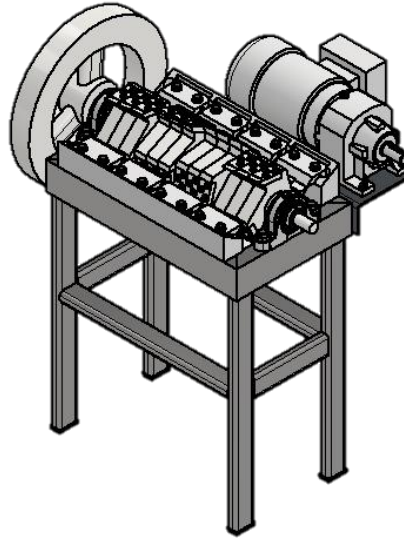
Para el diseño del anclaje eje volante se tuvo en cuenta los datos de la tabla 11 la cuñas se selecciona de acuerdo al diámetro del eje de trasmisión en este caso nuestro eje tiene 20 milímetros sin embargo no se tomó una cuña de 6 milímetros por protección al eje debido a que lo recomendable es que no exceda la cuarta parte del diámetro del eje del ancho de la cuña , se tomó una cuña de 5 milímetros cuadrada y una longitud de 36 milímetros estos datos corresponden al diseño que se está planteando sin embargo son experimentales y se comprobaran en el prototipo si es funcional o si definitivamente ahí que aumentar el diámetro del eje.

Ecuación 6. Diseño del eje

Como se puede apreciar en la figura 26 la disposición de la máquina y su funcionamiento las cuchillas estarán arregladas y montadas sobre un eje de transmisión el cual tiene un volante en la parte posterior precisamente para asegurar que el corte se realice por intermedio de las cuchillas, la fuente de potencia en este caso será un motor eléctrico de corriente alterna de 1,5 caballos , acoplado a un motor reductor que reduce la velocidad de giro de 3600 Rpm a 500 Rpm máxima la relación de transmisión sería aproximadamente de 6 a 1, con esta disposición esperamos lograr un torque de corte de 100 Nm y poder emplear la disposición de las 12 cuchillas que van a conformarse en grupos de 2 cuchillas móviles y dos cuchillas fijas es decir que en una revolución completa tendremos en aproximación 72 cortes por giro, esta disposición de 72 cortes por giro no sería posible sin el diseño adecuado por eje para este diseño y para considerar los diámetros que se utilizaron se tiene en cuenta los valores de fuerza y torque previamente asignados y aplicados directamente sobre el eje, cuáles son los esfuerzos que se presentan sobre este eje esfuerzos cortantes debido a la transmisión de potencia y las cuñas de anclaje que tienen el volante y la transmisión que se hará por medio de correa polea y las fuerzas de corte que serían 2 por cada uno de los filos de corte en el fijo como en el móvil correspondiente a 325N.

Figura 40.

Disposición Maquina en su funcionamiento interno.



$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(k_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

La anterior ecuación ha sido tomada de Norton, la cual es la ecuación de cálculo del diámetro de un eje en función de los esfuerzos cortantes y de los esfuerzos por flexión; teniendo en cuenta que el cortante siempre es generado por un torque en esta ecuación el momento alternante se toma como la combinación de esfuerzos de tensión y la combinación de esfuerzos por flexión presentes en el eje esto se determina manualmente sin embargo para nuestro calculo y apoyándonos en un software especializado en diseño lo vamos a asumir en función del factor de seguridad corregido de acuerdo a las cargas que se presentan en el eje.

$$\left(\frac{\sigma_a}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{t_m}{S_{ys}} \right)^2 = 1$$

La ecuación que se presenta es la de cálculo de fatiga apoyada en la teoría de fatiga Goodman Modificado, esta ecuación compara el esfuerzo alternante contra el esfuerzo de fatiga y

con la corrección del cortante medio comparado contra el esfuerzo de fluencia; ese Goodman modificado está fundamentado en la ecuación de Von Mises que es la ecuación de cálculo de vida finita para un elemento mecánico en este caso el eje que es un elemento mecánico en rotación.

Figura 41.

Cálculo de Esfuerzos combinados por Von Mises. Software Inventor 2022.

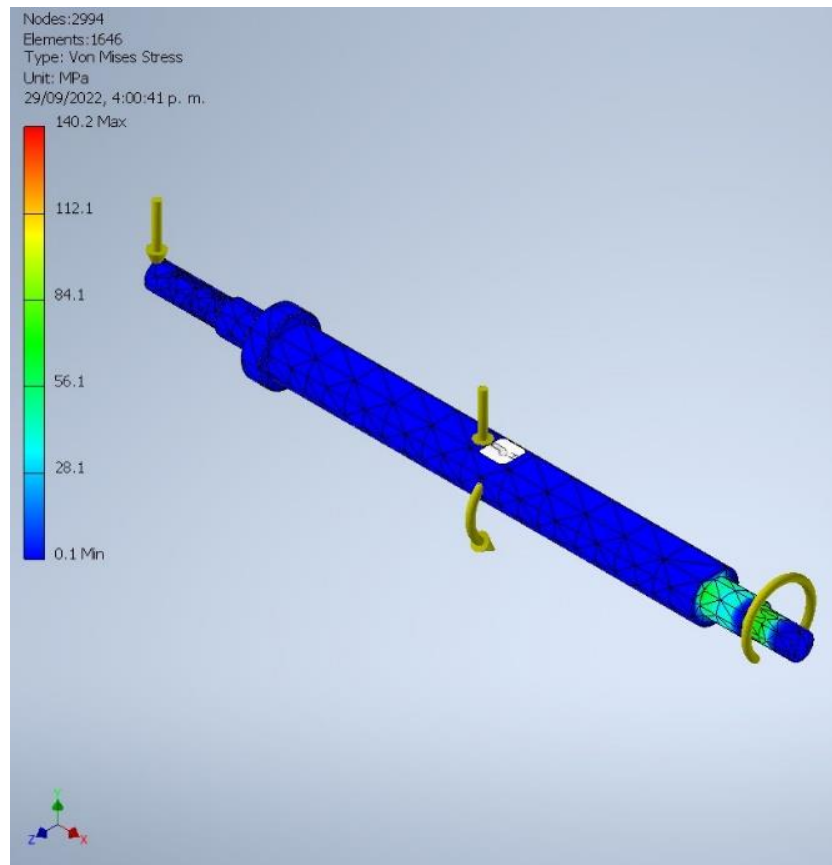
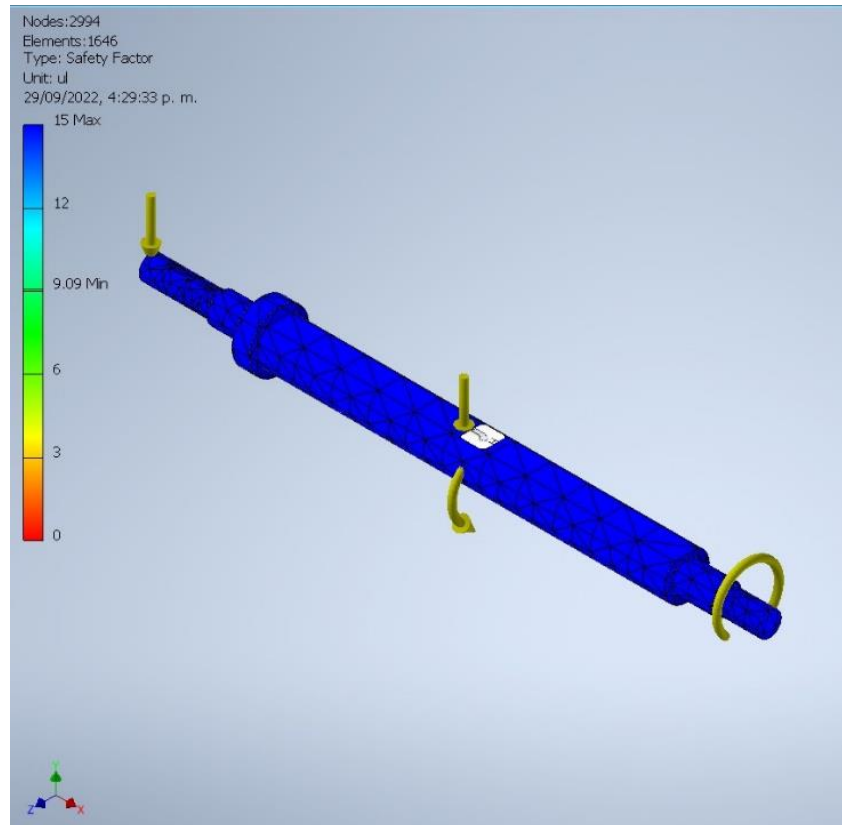


Figura 42.

Factor seguridad Software Inventor 2022



Habíamos realizado un cálculo previo cuando estábamos analizando el torque para el corte de las cuchillas este que se está presentando en este momento para el diseño del eje presenta un comparativo en factor de seguridad de 9 comparado con uno anterior de 12; porque se reduce , la explicación es que en este cálculo del eje se ha incrementado el valor de la fuerza de flexión originada por el peso del volante de inercia el cual reduce el factor de seguridad en tres precisamente por el peso colocado en la parte posterior del eje.

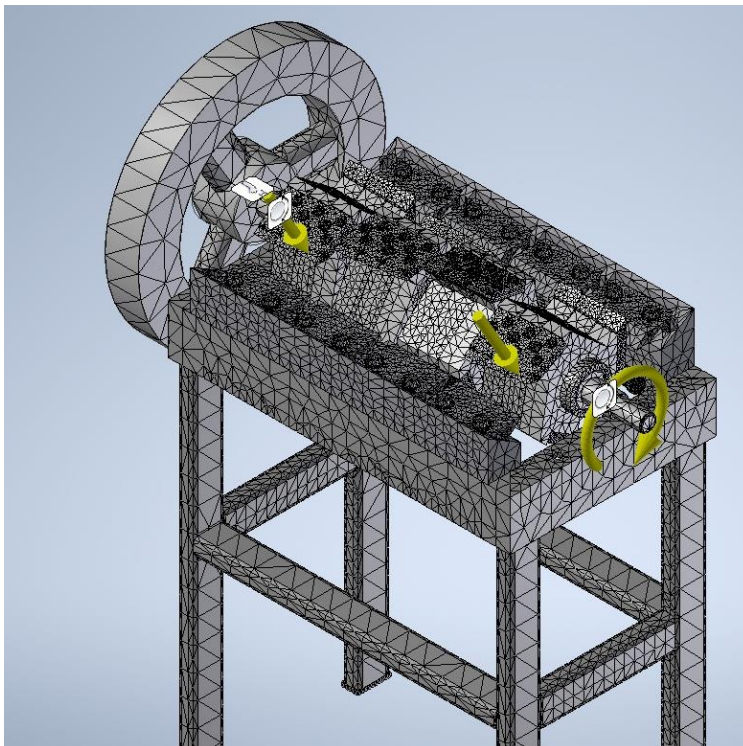
De acuerdo a las investigaciones de fatiga que se tiene para un eje el ciclaje que se tiene es continuo la fuente de potencia es continua pero sin embargo con la continuidad se va a obtener que no habrá sobre saltos de cargas en algún momento por impacto como si ocurre en un martillo, o en

una estructura de choque en este caso no habrá impacto el movimiento es muy uniforme pero la teoría si aplicamos fatiga en el caso de Goodman modificado , nos indica las bibliografías que la reducción en factor de seguridad es de un 60% a un 70% es decir que para nuestro eje estaríamos hablando que el factor de seguridad de vida infinita estaría alrededor de un 4 o 3,5 como factor de seguridad ; este factor de seguridad para un prototipo es adecuado podríamos reducirlo más en función de la calidad del material que tenemos pero consideramos que el material en el cual se puede fabricar el eje un 10 20 o un máximo de 10 45 soporta adecuadamente las cargas de corte y las cargas de flexión que se le presenta.

Toda la geometría del eje del desarrollo y del diseño del eje se presenta en el plano correspondiente al eje como anexo a este trabajo , en función a esa geometría se realizó el cálculo en el software especializado, en ese eje se tiene un diámetro mínimo de 20 milímetros si lo aproximamos a pulgadas seria $\frac{3}{4}$ de pulgada ; ese diámetro es el de acople de polea que va a la transmisión de potencia y es el del acople del volante de inercia en la parte posterior es el diámetro del eje mínimo sobre el cual se experimenta la mayor carga de esfuerzo como se aprecia en la colorimetría del esfuerzo de Von Misses, si queremos determinar cuál es ese esfuerzo máximo como lo apreciamos en la figura el esfuerzo máximo que nos presenta el material en el concentrador de esfuerzo de la polea es de 140,2 Mega pascales, sin embargo para obtener el factor seguridad se toma como base el esfuerzo de fluencia del material para este caso aproximadamente 700 Mega pascales.

Ecuación 7. Calculo y selección de rodamientos de apoyo del eje principal**Figura 43.**

Enmallado por elementos finitos para simulación de cargas presentes en los apoyos o donde se ubicarán los rodamientos.



En la figura se aprecia como se coloraron las dos cargas de corte correspondientes cada una a 325 newton como ya lo habíamos expresado en el capítulo de diseño del eje y un torque aproximado de 100 newton metro que corresponde a una potencia de dos hp (caballos de fuerza) y una velocidad de giro de 500 rpm, es posible que esta velocidad de giro de 500 rpm sea posterior a haber realizado un tratamiento por una transmisión por polea y correa que es la que genera la reducción desde 1800 o 2400 o 3600 rpm que tiene el motor en su velocidad de giro a convertirla en 500 rpm que sería la velocidad de giro del eje para generar el corte de la bolsa plástica.

Una vez obtenidos los parámetros de carga específicos para este caso Fuerzas de Corte en las cuchillas, Torque generado para la transmisión de potencia de la fuente, motor eléctrico a eje de corte donde se encuentran los subconjuntos de cuchillas se realiza la simulación e software por método de elementos finitos y así obtener la generación de los esfuerzos presentes en la estructura que van a determinar Fuerzas resultantes en los apoyos y cargas de transmisión que se deben tener en cuenta para la selección de los rodamientos.

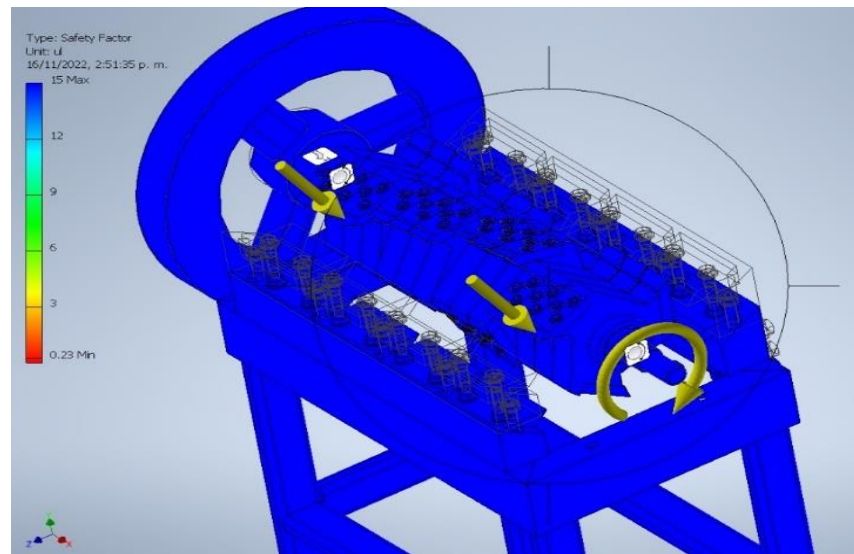
Es de anotar que en la figura se muestra el componente volante de corte como se explicó en el apartado correspondiente al diseño del volante si vamos a considerar un molino; el molino debe tener una contra masa que asegure el corte de la cuchilla de otra manera la cuchilla no tendría la fuerza suficiente de los 325newton para poder cortar el material y como este material de procesamiento que es en gran parte polipropileno o polietileno de baja densidad podría perfectamente generar atascamientos o desgarre del material que no sería particulado y que no podría tenerse en la distribución correspondiente al corte y selección que hace la criba del material particulado posterior al proceso.

El modelo también presenta una configuración de cuchillas separadas como habíamos descrito en el apartado correspondiente al cálculo de las cuchillas de corte que tienen un Angulo correspondiente a 5 grados lo que facilita el corte de elementos delgados en este caso estamos teniendo espesores de pared de la bolsa plástica entre 0,1 mm y 0.8 mm de tal manera que estos calibres podrían presentar dificultad al corte sin embargo por tener ese ángulo de inclinación el corte se va a facilitar esto se tomó de un diseño previo realizado en la Universidad de Barranquilla donde diseñaron una máquina para corte de PET este diseño conlleva una cuchilla particular que tiene un espesor de pared de 1 mm y son una serie de cuchillas consecutivas que harina la función de cortar o picar el material en ese caso de una botella plástica.

Haciendo similitud a lo que observamos en el diseño previo considerado vamos a tomar nuestra configuración de cuchillas con este Angulo de 5 grados para poder garantizar el corte particulado de la bolsa una vez cortada la bolsa se genera un cribado o una selección del componente cortado en la criba esta criba tiene agujeros en su longitud correspondientes a 6 mm lo que indica que el material que atravesase dicha criba tamiz de selección podrá ser creado para un post-procesamiento ya sea como combustible o para un post-procesamiento del mismo plástico de segunda mano .

Figura 44.

Factor de seguridad para el montaje cuchillas volante de inercia en maquina trituradora de bolsa.

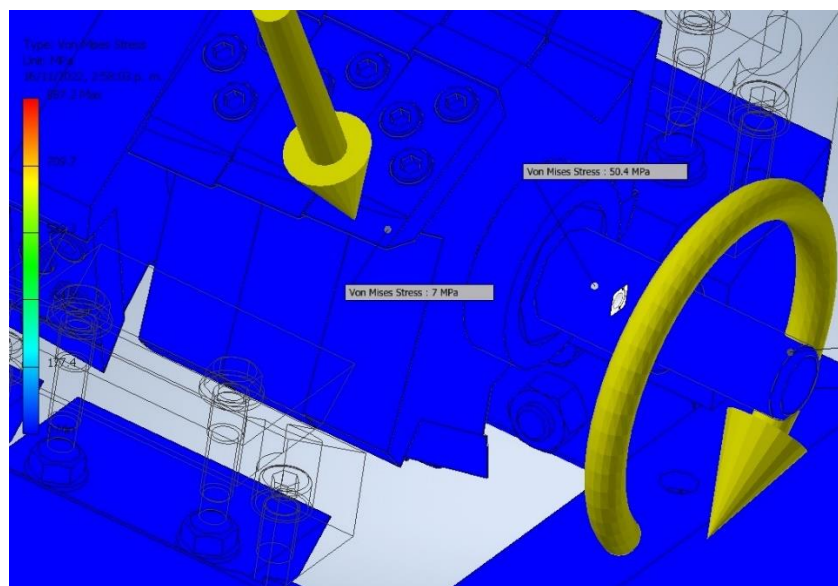


Como podemos observar la figura 30 del Factor de seguridad mostrada en la simulación del software especializado encontramos que la variación del factor de seguridad se encuentra entre un factor de seguridad de 12 a 15 unidades este factor de seguridad teniendo en cuenta que es una

máquina de alto desgaste debido a que sufre fatiga por el funcionamiento continuo y por la exposición que va a tener a fuerzas cortantes precisamente por su función específica y también por lo que va a tener una carga restrictiva una carga de flexión esto podría eventualmente originar que en las uniones en los soportes se genere unas deflexiones que puedan originar el daño de los elementos en contacto en este, caso los elementos de contacto del soporte serán los rodamientos para la selección de los rodamientos vamos a calcular en función del software de diseño cual es la carga disponible o la carga presente en los sitios de apoyo de los rodamientos.

Figura 45.

Esfuerzo combinado Von Mises en la cuchilla y el apoyo de rodamiento

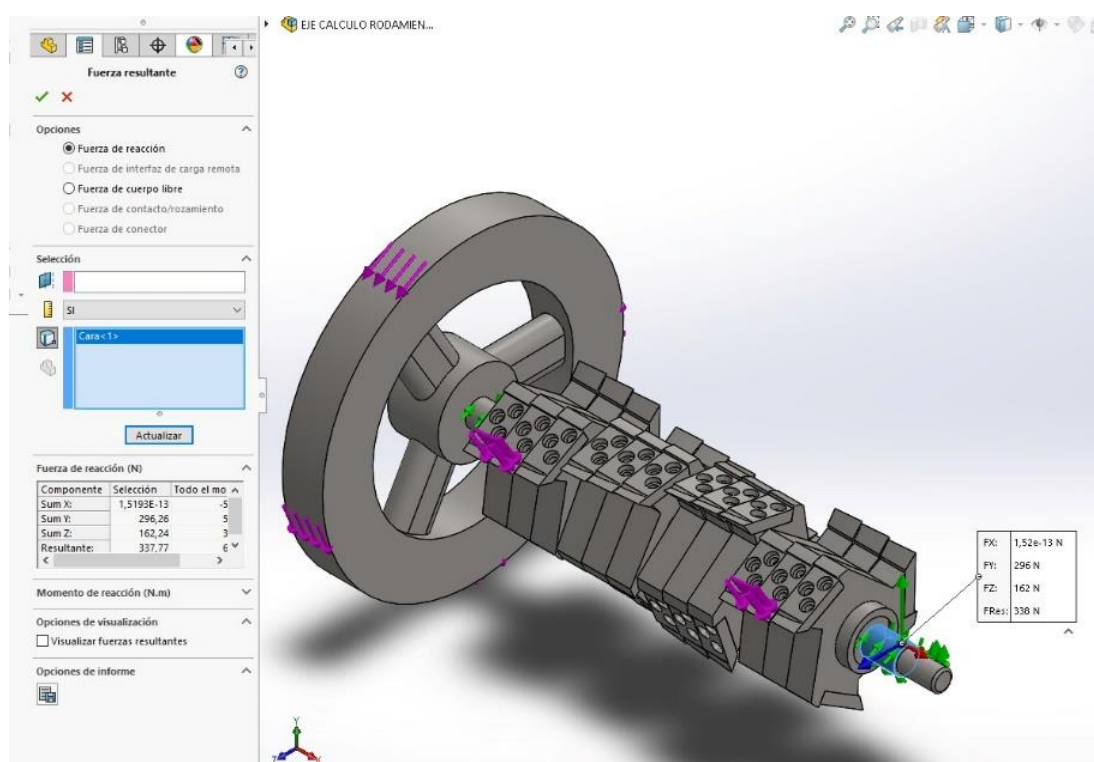


Como se puede apreciar el esfuerzo de combinado de flexión y cortante presente en los filos de corte de la cuchilla apenas llega a 7 Megapascales mientras que el esfuerzo de apoyo en los rodamientos que corresponde en gran parte a los esfuerzos de flexión llega a los 50 Megapascales teniendo en cuenta que el acero empleado para la fabricación del eje y de las

cuchillas es una aleación de acero al carbono especial al caso de las cuchillas SAE 1045 para el caso del eje SAE 1020, su esfuerzo de fluencia se encuentra alrededor de 120 Megapascales lo que nos da a entender que los elementos seleccionados para este corte son suficientemente capaces de realizar la función para la cual fueron desarrollados y diseñados.

Figura 46.

Fuerza de reacción donde se colocaría el rodamiento



Como se aprecia en la figura 32 la fuerza de reacción corresponde a la posición del rodamiento corresponde a 336 newtons también se aprecia en las fuerzas correspondientes a los ejes xyz pero la fuerza resultante es la que vamos a tener en cuenta por ser una carga de flexión esa fuerza resultante es la fuerza de apoyo que va a soportar el rodamiento como es una carga radial vamos a considerar el empleo de rodamientos rígidos de bolas, el diámetro que se utiliza

para la presentación del apoyo es de 25 mm por tal motivo vamos a considerar que la referencia de rodamiento rígido de bolas lo vamos a buscar en el diámetro correspondiente de 25 mm. El rodamiento de apoyo que se encuentra en la posición cerca al volante tiene una carga inferior por tal motivo la selección del rodamiento que se haga para la posición indicada en la figura 30 será la misma que se tome para el rodamiento ubicado cerca al volante de inercia

Figura 47.

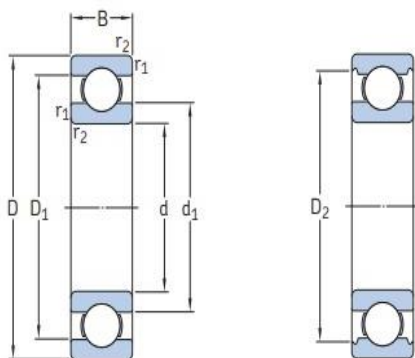
Carga equivalente en rodamiento rígido de bolas. Catálogo SKF.

Cargas		
	Rodamientos rígidos de una hilera de bolas	Rodamientos rígidos de bolas de acero inoxidable
Carga mínima	$F_{rm} = k_r \left(\frac{v n}{1\,000} \right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$	
Para obtener más información (→ página 86)	El peso de los componentes soportados por el rodamiento, junto con las fuerzas externas, suele exceder la carga mínima requerida. Si no es el caso, el rodamiento debe someterse a una carga radial adicional. Para las aplicaciones en las que se utilizan rodamientos de una hilera o rodamientos rígidos de ...	
Capacidad de carga axial	Carga axial pura → $F_a \leq 0,5 C_0$ Rodamientos pequeños ¹⁾ y rodamientos de series livianas ²⁾ → $F_a \leq 0,25 C_0$	Carga axial pura → $F_a \leq 0,25 C_0$
	Una carga axial excesiva puede reducir considerablemente la vida útil del rodamiento.	
Carga dinámica equivalente del rodamiento	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$	

En el caso de este rodamiento se tiene una fuerza axial de 162 newtons y una fuerza radial de 296 newtons la componente de fuerza radial en x es mínima tendiente a cero por eso no se toma a consideración como se puede apreciar la carga radial es mucho más alta que la carga axial por tal motivo se determina que vamos a tomar una fuerza radial aproximada de 300 newtons para el cálculo de la carga equivalente y la vida en ciclos del rodamiento.

Figura 48.

Condiciones de selección de rodamiento para eje rotor. Catálogo SKF



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
25	37	7	4,1	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	61805
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	61905
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,06	16005
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,078	6005

Una vez hemos determinado que la carga equivalente de nuestro rodamiento es 300 newtons la velocidad de giro 500 rpm podemos determinar de acuerdo a la siguiente ecuación la vida en horas del rodamiento para tal fin vamos a tomar la referencia intermedia 61,905 con esta referencia observamos su carga dinámica y en función de su carga dinámica expresada en kilo newtons vamos a determinar el margen de la vida en horas del rodamiento.

$$P_{equiv} = 300 \text{ N}$$

L = vida en ciclos

n = velocidad de giro = 500 rpm

L_H = vida en horas

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \text{vida en ciclos}$$

$$L_{10H} = \frac{1000000}{60 \times n} L_{10} = \text{vida en horas}$$

$$L_{10H} = \frac{1000000}{60 \times 500 \text{ rpm}} \left(\frac{7020 \text{ N}}{300 \text{ N}} \right)^3$$

C = 7020N para la referencia 61905 SKF

$$L_{10H} = 425.000 \text{ horas}$$

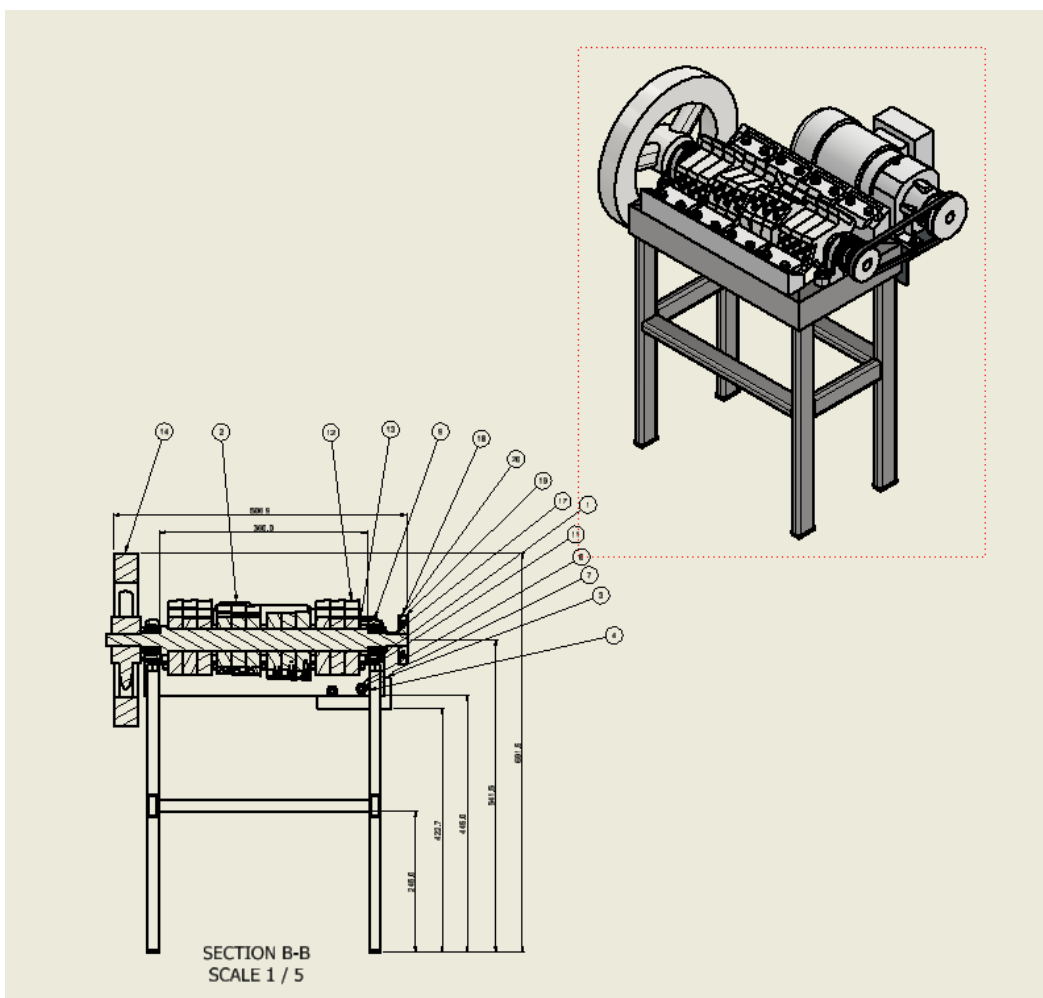
Como se puede apreciar en el cálculo del rodamiento para la referencia 61905 Catalogo de rodamientos SKF La vida en horas del rodamiento corresponde a 425.000 horas se debe considerar que todos los cálculos que se están haciendo son cálculos estáticos inicialmente pero posteriormente se debe considerar el fenómeno de fatiga debido a que esta máquina es una máquina de rotación expuesta a cargas de impacto y esas cargas de impacto pueden disminuir su resistencia en cuanto a sus factores de confiabilidad hasta en un 70% es decir que si nosotros estamos considerando una vida en hora de 425.000 horas para el molino realmente podríamos ver disminuida esa vida en horas a 110.000 horas debido precisamente al fenómeno de fatiga presentada.

7. Diseño final maquina

Se presenta en la figura 33 la maquina final que se construirá, esta imagen solo es a manera de información para detallar el montaje como tal, el detalle de dimensiones y partes que la constituyen se entrega como anexos en los planos de detalle.

Figura 49.

Imagen vista de la máquina



Las partes que constituyen dicha maquina se presentan en la tabla siguiente, es de anotar que se muestra la maquina sin cubierta para que se tenga una idea de su funcionamiento, ya que si se cubre no se puede ver la disposición interna.

Figura 50.

Lista de partes constitutivas de la Maquina

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	ESTRUCT INFERIOR	
2	1	motor reductor	STEP AP214
3	1	SOPORTE MOTOR	
4	1	ANSI B18.2.3.4M - M6 x 1x20	Metric Hex Flange Screws
5	4	ANSI B18.2.3.4M - M6 x 1x25	Metric Hex Flange Screws
6	4	AS 1112 - M6 Type 5	ISO metric hexagon nuts, including thin nuts, slotted nuts and castle nuts
7	2	AS 1427 - M10 x 20	ISO metric machine screws
8	2	ANSI B18.2.4.2M - M10x1,5	Metric Hex Nuts Styles 2
9	2	SKF_SYK 25-1 LD	STEP AP214
10	4	Bolt GB/T 16674.1 M12 x 30	Hexagon bolts with flang - Small series
11	4	ANSI B18.2.4.2M - M12x1,75	Metric Hex Nuts Styles 2
12	1	Ensamble Eje porta cuchillas	
13	1	Ensamble Cuchilla Fija Tipo 1	
14	1	Volante de Inercia	
15	1	BS 4235-1 - Form A 5x5x36	Metric keys and keyways- Parallel and taper keys square
16	1	Ensamble Cuchilla Fija Tipo 2	
17	1	CNS 169 - 5 x 5 x 22	Parallel Key
18	1	V-Belt	
19	1	Grooved Pulley1	
20	1	Grooved Pulley2	

8. Conclusiones

Como se puede apreciar en el análisis cuidadoso que se ha hecho de este trabajo la selección de material que se tuvo en cuenta para los elementos críticos del molino para este caso el eje que es el que trasmite la potencia de corte y en función de los parámetros observados en molinos semejantes donde podemos constatar que las fuerzas de corte para generar el triturado de la bolsa van a estar oscilando entre 300 y 315 newtons como fuerza de corte podemos concluir que como se observa en la simulación el factor de seguridad inicial estático correspondiente a las cargas aplicadas sobre el eje es un factor de seguridad de 9, inicialmente podemos pensar que ese factor de seguridad de 9 es muy alto pero debemos considerar que como es una maquina rotativa puede generar unos esfuerzos de fatiga precisamente por ese movimiento vibratorio y de corte que va a presentar un análisis posterior y una disminución de su resistencia a la fatiga hasta del 70% esa disminución en resistencia a la fatiga nos va a generar un factor de seguridad final después de fatiga de 3 ese factor de seguridad de 3 sería el de operación de la maquina y consideramos que para una máquina de corte es adecuado desde la presentación la conclusión se hace en función de las figuras que se presentaron de esfuerzos calculados bajo la teoría de Von Mises presentado en el cálculo del diseño del eje.

Una vez hecha una revisión bibliográfica sobre maquinas trituradoras de diferentes productos plásticos entre ellos : botellas, bolsas y los neolinos residuos propios del proceso de manufactura de inyección soplado o extruccion de plástico observamos que la configuración de las cuchillas de corte no puede ser una configuración plana de corte si no que en todos los diseños se debe presentar un corte inclinado entre 3 y 5 grados esa misma configuración se tuvo en cuenta

en el diseño presentado sustentado en los cálculos realizados para la determinación de la fuerza de corte sobre el material y esta inclinación configura nuestro corte como si fuera un corte a manera de cizalla o tijera evitando que el material se desgarre y que se presente una mayor durabilidad de la cuchilla en el corte final es de anotar que para el diseño también se tuvo en cuenta segmentar la cuchilla móvil en tres particiones que van a generar pues el movimiento secuencial de corte que evita el desgarre del plástico, en el diseño se incorpora también una criba de selección de producto final esta criba tiene agujeros de diámetro 6 mm como se presenta en el dibujo y esta criba hará la selección del material particulado, del material triturado para su posterior empleo, los agujeros de 6 mm se diseñaron en función de los pellets que se obtienen en el proceso de corte de un producto similar botella plástica de PET encontrado como revisión bibliográfica de nuestro trabajo, este diámetro de 6 mm presenta un suficiente volumen para poder dar por cortado las características de nuestro plástico.

Se diseño un volante de inercia para asegurar el corte, cual es la razón de generar un volante de inercia en la parte posterior a la transmisión de potencia se genera un volante de inercia debido a que la maquina como tal no operaria en función de corte si no cuenta con una masa inercial que sostenga el corte para ser más claros en esta conclusión vamos a recurrir a la similitud que se presenta cuando nosotros estamos cortando papel con unas tijeras, nosotros tenemos un punto de apoyo que es el centro de las tijeras y en la parte posterior tenemos anclados los dos dedos de palanca que van a realizar el corte, es similar la presencia del volante de inercia y debe garantizar que se realice el corte, para esta caracterización basándonos en la investigación de volantes de inercia generados en trabajos de molinos similares calculamos como se presenta en el cálculo de volante de inercia de este trabajo calculamos una masa de 15.5 kg como masa suficiente para realizar el corte de la bolsa y sustentar dicha trituración.

De acuerdo a las cargas presentadas para este molino y teniendo en consideración que se va a tener es la presente entre las dos cuchillas de corte estas cargas las consideramos radiales por tal motivo se determinó seleccionar un rodamiento referencia SKF 61905 corresponde a un rodamiento rígido de bolas que de acuerdo a los cálculos presentados en la descripción de rodamientos nos indica que vamos a tener una vida útil aproximadamente de 120 a 150 mil horas de trabajo traducido a años de trabajo consecutivo podríamos indicar que estaríamos hablando de 15 años en los cálculos teóricos nos está entregando 425000 horas de servicio sin embargo tomamos la tercera parte debido a que las cargas cuando se están presentando en un molino por la fatiga que es presentada por la vibración del mismo movimiento rotacional puede generar una disminución en resistencia a la fatiga de hasta un 70% como lo mencionamos anteriormente

Para nuestro molino tenemos una capacidad de tolva en masa a moler de 5.4 kg con la velocidad de 500 rpm que consideramos es la velocidad adecuada de corte y una capacidad del 20% de suministro de material molido consideramos que aproximadamente vamos a tener un flujo de material de 5 kilo cada 5 minutos lo que nos da para nuestra cuchilla 60 kilos de procesamiento por hora sería la capacidad del molino con las condiciones determinadas inicialmente, para lograr los 60 kilos por hora de material procesado consideramos una potencia instalada del motor de alimentación de la máquina de 2 caballos de potencia y consideramos que la velocidad de giro del motor cambiara las rpm de salida del motor de 3600 hasta 1200 rpm una relación 1-3 sin embargo esperamos tener un cálculo definitivo cuando se realice la maquina prototipo.

Referencias Bibliográficas

- Abreu, J. L. (Diciembre 2014). *El Método de la Investigación* (Vol. 9). Mexico: International Journal of Good Conscience. Obtenido de <http://www.spentamexico.org>
- Bach, P., & Cajusol Baldera, H. (2020). *Diseño de una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora “bravo”- tucume, lambayeque*. Perú, ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, Universidad Señor De Sipán. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe>
- Bruna Tapia, R. A., & Suárez Coca, J. I. (2016). *Diseño de trituradora de botellas PET*. México, Sede Viña Del Mar, Universidad Técnica Federico Santa María. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream>
- Caviedes Aguirre, J. D. (2020). *Diseño de una máquina trituradora para plástico PET*. Bogotá, Fundacion Universidad De America. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co>
- Changoluisa, V., & Toaquiza, A. (2022). *Implementación de una máquina trituradora de botellas de plástico en la empresa ecom en la ciudad de santo domingo de los tsáchilas para minimizar la contaminación ambiental*. Ecuador, LA MANÁ. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec>
- Cia. General de Aceros S.A. (5 de Enero de 2019). *Página Principal*. Obtenido de <https://www.cga.com.co/?s>

- Cordero, F., Marquez, J., Rodriguez-Mirasol, J., & Rodriguez, T. (2001). *Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis, fuel* (Vol. 80). Elsevier. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(01\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(01)00034-5).
- CRAI USTA. (20 de Septiembre de 2022). *Diseño de cuñas*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/>
- DomainMarket. (2011). *Página Principal*. (Norma Oficial Mexicana) Obtenido de <https://www.domainmarket.com>
- Enciclopedia Británica. (16 de Noviembre de 2018). *Imagen*. Obtenido de <https://cdn.britannica.com/s:300x300/09/609-004-30713ABA.jpg>
- Felipe, D. (2019). *Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa Industria Recuplast S.A.S*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co>
- Flower Leiva, L. (1990). *Controles y automatismos electricos* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia.: Telemecanique de Colombia S.A.
- Fundación Aequae. (2020). *Página Principal*. Recuperado el 2022, de <https://www.fundacionaqua.org>
- Greenpeace España. (2016). *Plásticos en los Océanos Datos, Comparativas e Impactos*. Greenpeace. Madrid - España: Dossier de Prensa. Obtenido de <https://archivos.es.greenpeace.org>
- Grupo SPR. (s.f.). *Página Principal*. Obtenido de <http://www.grupo-spr.es/>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta ed.). (INTERAMERICANA, Ed.) Mexico: Mc Graw Hill. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr>

- Hoyos Mateus, D., & Hoyos Mateus, M. R. (s.f.). *Diseño de una trituradora de PET*. Trabajo de Grado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co>
- IDEAM. (2022). *Página Principal*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co>
- IGESAM S.A.S. (2021). *Caracterización físico química de residuos sólidos*. PORCOSERVICIOS S.A E.S.P, Colombia.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. (Noviembre 2020). *Información Ambiental en Hogares ESPND 2019*. Quito - Ecuador. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Nisbett, R. G., & Keith, J. (2010). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (octava ed.). McGraw Hill. Obtenido de <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com>
- Recytrans. (2022). <https://www.recytrans.com/gestor-de-residuos/>. Obtenido de Recytrans: <https://www.recytrans.com>
- Repsol. (2022). *Página Principal*. Obtenido de <https://quimicaonline.repsol.com/>
- Rossi, M. (Reimpreso 1979). *Prensas y máquinas para el trabajo de la chapa*. En: *estampado en Frio de la Chapa*. (Novena ed.). Madrid: Dossat.
- Sheavly, S. B., & Register, K. M. (2013). Marine Debris & Plastics: Environmental Concerns, Sources, Impacts and Solutions. *of polymers and the environment*, 15(4), 301 -305. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris>
- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (2019). *Diseño y calculo de volantes*. Colombia, Bogota . Obtenido de <https://edoc.site/diseo-y-calculo-de-volantes>
- Vanegas Useche, L. V. (2018). *Diseño de Elementos de Máquinas* (primera ed.). Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

