

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA PARA PLÁSTICO PET

JUAN DAVID CAVIEDES AGUIRRE

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.020

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA PARA PLÁSTICO PET

JUAN DAVID CAVIEDES AGUIRRE

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2020

Nota de aceptación

Ing. Miguel Morales Granados
Jurado 1

Ing. Oscar Chamarravi
Jurado 2

Bogotá D.C. febrero del 2.020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados (E)

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad de Ingenierías

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Universidad de América los jurados calificadores y el cuerpo de docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estas ideas son propias del autor.

DEDICATORIA

Dedico este logro principalmente a mi familia la cual estuvo en todo momento apoyándome, aconsejándome y guiándome por el camino adecuado para que así mismo yo pudiera culminar una meta más en mi vida, así mismo agradezco a Dios y las persona que de una u otra forma contribuyeron a mi formación como ingeniero mecánico

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a la universidad de América por la formación como persona y profesional y además estuvo disponible para mí con los maestros a cargo para la realización de este proyecto.

De igual forma a mi familia, novia, amigos y personas cercanas por las frases de apoyo las cuales fueron necesarios para poder culminar esta etapa en mi vida en el ámbito profesional.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	19
INTRODUCCIÓN	20
1. DIAGNÓSTICO	21
1.1 CARACTERIZACIÓN DEL PET	21
1.2 MÉTODOS DE RECICLAJE DEL PET	23
1.2.1 Reciclado Mecánico	23
1.2.2 Reciclado Químico.	24
1.3 PROCESO DE RECICLADO DEL PET	25
1.4 PROCESO DE LA MÁQUINA	27
1.5 COMPONENTES DE BOTELLA PET	28
2. PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS	30
2.1 Requerimientos	30
2.1.1 Granulometría	30
2.1.2 Capacidad.	30
2.1.3 Material	31
2.1.4 Costo de la máquina	31
2.1.5 Consumo energético.	31
2.1.6 Mantenimiento	31
2.1.7 Tamaño botella	31
3. ALTERNATIVAS	32
3.1 ALTERNATIVAS SUBSISTEMA DE CORTE	33
3.1.1 Alternativa A.	33
3.1.2 Alternativa B	33
3.1.3 Alternativa C	34
3.2 SELECCIÓN DE CUCHILLAS	35

4. DISEÑO DETALLADO	37
4.1 SISTEMA DE CORTE	37
4.1.1 Fuerza de corte:	38
4.1.2 Geometría de las cuchillas.	40
4.1.3 Diseño rodillo de corte	43
4.1.4 Validación de carga del rodillo	44
4.1.5 Velocidad de giro.	46
4.1.6 Potencia requerida.	46
4.1.7 Torque de corte	47
4.2 CALCULO DEL VOLANTE DE INERCIA	48
4.2.1 Determinación velocidades mínimas y máximas según coeficiente	50
4.2.2 Calculo de inercia del volante	50
4.2.3 Diseño del volante	50
4.3 SELECCIÓN DEL MOTOR	53
4.4 DISEÑO DEL EJE	55
4.4.1 RESULTADOS DISEÑADOR DE EJES	57
4.4.1.1 Esfuerzo flector	57
4.4.1.2 Esfuerzo torsional	58
4.4.2 SELECCIÓN DE CUÑA	59
4.4.3 SELECCIÓN DE CHUMACERAS	59
4.5 SELECCIÓN DE TRANSMISION	62
4.5.1 SELECCIÓN DE TRANSMISION CON CORREAS	64
4.6 CARCASA.	67
4.6.1 CRIBA	69
4.7 TOLVA	69
4.8 ESTRUCTURA BASE	70
4.9 SELECCIÓN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL	71
4.10. CÁLCULOS TORNILLO SIN FIN	71
4.10.1. Definición del área del canalón	72
4.10.2 Calculo de la capacidad del tornillo	74
4.10.3 Calculo de potencia del tornillo inclinado	75
4.10.4 Selección motor tornillo sin fin	76
4.10.5 Diseño de tornillo.	77

5. SIMULAR MEDIANTE MEF LA ESTRUCTURA	78
5.1 ANÁLISIS DEL ELEMENTO MAS CRITICO DEL SISTEMA.	78
5.1.1 Análisis de tensión Von Mises resultante.	81
5.1.2 Análisis de desplazamiento resultante.	82
6. MANUALES	84
6.1 MANUAL DE ENSAMBLE	84
6.2 MANUAL DE OPERACIÓN	93
6.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO	96
6.3.1 Actividades de mantenimiento	96
7. IMPACTO AMBIENTAL	100
7.1 Matriz de importancia	101
7.1.1 Rangos del impacto.	102
7.1.1.1 Impacto negativo	102
7.1.1.2 Impacto positivo	102
8. EVALUACIÓN FINANCIERA	103
8.1 Costos de ingeniería	103
8.1.1 Costos de talento humano	103
8.1.2 Costos de equipo y software	103
8.1.3 Gastos fungibles	104
8.1.4 Total gastos ingeniería	104
8.2 Costos de fabricación y ensamble	104
8.2.1 Costos de fabricación	104
8.2.2 Costos de ensamble	105
8.3 Costos totales	106
8.4 Evaluación financiera.	106
8.4.1 Calculo del VPN	107
8.4.2 Calculo de la TIR	107
9. CONCLUSIONES	108

10. RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Grafico 1. Toque vs posición angular , diseño volante	48

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Molino cuchillas rotatorias	27
Imagen 2. Cuchillas corte oblicuo	28
Imagen 3. Botella bebida gaseosa	29
Imagen 4. Dos ejes con cuchillas distribuidas	33
Imagen 5. Un eje con cuchillas desfasadas	34
Imagen 6. Un eje con doble cuchilla tipo flecha	35
Imagen 7. Motor Siemens 1LE0102-1AB52-1AA4 3kW	55
Imagen 8. Motor Reductor Mitsubishi GM-SSYF-RH 0.1KW 30/1 reducción	76
Imagen 9. Tornillo sin fin diseñado	77

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades del PET	22
Tabla 2. Código de identificación (SPI)	23
Tabla 3 . Recolección botellas PET	30
Tabla 4. Ventajas y desventajas alternativa 1	33
Tabla 5. Ventajas y desventajas alternativa 2	34
Tabla 6. Ventajas y desventajas Alternativa 3	35
Tabla 7. Criterios de ponderación	36
Tabla 8. Matriz de ponderación	36
Tabla 9. Especificaciones técnicas Botella 2L	37
Tabla 10. Aceros recomendados para el corte de diferentes materiales	42
Tabla 11. Coeficientes de fluctuación recomendados	48
Tabla 12. Motores Siemens jaula de ardilla	54
Tabla 13. Tamaño de cuña según diámetro de eje	57
Tabla 14. Características Chumacera SKF FYJ 40 TF con rodamiento	60
Tabla 15. Vida rodamiento recomendada según diferentes aplicaciones	61
Tabla 16. Factor de carga según aplicación	61
Tabla 17. Factores de Servicio Ks para bandas en V	61
Tabla 18. Potencias nominales de bandas en V estandar	63
Tabla 19. Factor de corrección de transmisiones de banda	65
Tabla 20. Factor de corrección de longitud de banda	64
Tabla 21. Calculo de numero de correas	66
Tabla 22. Tabla comparativa sistema de elevación de material	71
Tabla 23. Tabla de espesores y diámetros típicos de tubería metálica	72
Tabla 24. Coeficiente de relleno del transportador según tipo de material	73
Tabla 25. Valores típicos de capacidad de tornillo en t/h.	74
Tabla 26. coeficientes de inclinación de tornillos sin fin	74
Tabla 27. Fragmento tabla densidades de materiales	75
Tabla 28. Coeficiente de resistencia del material.	76
Tabla 29. Estructura- Propiedades Pieza, Material y Estudio	80
Tabla 30. Resultados de Tensión Von Mises	81
Tabla 31. Resultados de Desplazamiento	82
Tabla 32. Actividades de mantenimiento	98
Tabla 33. Impacto ambiental	100
Tabla 34. Matriz de importancia	101
Tabla 35 Impacto Negativo	102
Tabla 36 Impacto positivo	102
Tabla 37 Talento humano	103
Tabla 38 Equipo y software	104
Tabla 39 Gastos fungibles	104
Tabla 40 Gastos ingeniería	105
Tabla 41 Costos de fabricación	106

Tabla 42 Costos de ensamble	107
Tabla 43 Costos totales	107
Tabla 44 Evaluación financiera	108

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Reciclado mecánico	24
Ilustración 2. Reciclado químico	25
Ilustración 3. Proceso de reciclaje PET	26
Ilustración 4. Diseño básico de rodillo de corte	38
Ilustración 5. Detalle de las cuchillas en la posición inicial de corte	38
Ilustración 6. Triángulo sobre el cual actúa la fuerza de corte	39
Ilustración 7. Cálculo de fuerzas de corte	39
Ilustración 8. Forma de corte de las cuchillas en flecha	41
Ilustración 9.- Cuchilla seleccionada	42
Ilustración 10. Disco de soporte	42
Ilustración 11. Soporte de cuchillas inclinado	43
Ilustración 12. Rodillo de corte fuerzas y soportes fijos de simulación	44
Ilustración 13. Resultados simulación	44
Ilustración 14. Vista lateral cuchillas	45
Ilustración 15. Geometría típica de volante de inercia	51
Ilustración 16. Cálculo de volante de inercia en Solid Edge	52
Ilustración 17. Volante de inercia diseño detallado	53
Ilustración 18. Dimensiones elegidas para el eje	55
Ilustración 19. Fuerzas y torques a los que está sometido el eje	56
Ilustración 20. Esfuerzo flector eje	57
Ilustración 21. Esfuerzo cortante eje	57
Ilustración 22. Esfuerzo de torsión	58
Ilustración 23. Diagrama SN del acero	58
Ilustración 24. Fuerza sobre chumaceras	60
Ilustración 25. Ecuación de vida del rodamiento	61
Ilustración 26. Ecuación de potencia de correa corregida	63
Ilustración 27. Cálculo de momento de inercia de la polea mayor en hierro	67
Ilustración 28. Diseño de carcasa de rodillo	67
Ilustración 29. Sistema de ajuste de cuchillas	68
Ilustración 30. Carcasa corte lateral	67
Ilustración 31. Criba de filtrado	69
Ilustración 32. Diseño de tolva de alimentación	70
Ilustración 33. Estructura base	70
Ilustración 34. Estructura- Apoyos fijos	75
Ilustración 35. Carga 1 Sección Cámara de Molienda	79
Ilustración 36. Carga 2 Sección del motor	79
Ilustración 37. Factor de seguridad	81
Ilustración 38. Visualización de los resultados de tensión	82
Ilustración 39. Visualización de los resultados de desplazamiento	83
Ilustración 40. Mesa del moto reductor	84
Ilustración 41. Cuchillas fijas	85

Ilustración 42. Sistema tensor cuchillas fijas	85
Ilustración 43. Bandeja Orientación	86
Ilustración 44. Flanches cuadrados	86
Ilustración 45. Montaje Criba	87
Ilustración 46. Sujeción de cuchillas móviles	87
Ilustración 47. Unión Eje principal con la carcasa	88
Ilustración 48. Sujeción estructura a la carcasa	88
Ilustración 49. Alineación de poleas	89
Ilustración 50. Instalación y Tensión de correas	89
Ilustración 51. Instalación del guarda correas	90
Ilustración 52. Sujeción de la cortina de seguridad	90
Ilustración 53. Fijación por medio de tornillo seguridad	91
Ilustración 54. Sujeción de rodamientos al sin fin	91
Ilustración 55. Sujeción tolva salida al sin fin	92
Ilustración 56. Abrazadera y cardan	92
Ilustración 57. Interruptor de on/off	93
Ilustración 58. Tolva de alimentación	94
Ilustración 59. Tolva alimentación vista lateral	94
Ilustración 60. Almacenamiento del material	95
Ilustración 61. Tornillo sin residuos pet	95
Ilustración 62. Pasador de seguridad	96
Ilustración 63. Botón parado de emergencia	97
Ilustración 64. Tornillos de calibración para cuchilla fija	97

ANEXOS

pág.

Anexo A. Planos

RESUMEN

Inicialmente se realizó una búsqueda de información acerca del proceso de trituración de las botellas plásticas de PET, mediante el cual se pudo obtener un panorama acerca de la problemática que se origina en torno a este material, después se realizó una recopilación de datos de pequeñas y medianas empresas de reciclaje para poder determinar los parámetros y requerimientos a los cuales trabajaría la máquina.

Después se realizó una búsqueda de información la cual permitió determinar las tecnologías actuales utilizadas en la trituración del PET, conociendo lo anterior se ejecutaron una serie de alternativas que permitieron seleccionar uno de los subsistemas de la máquina y que a su vez cumpliera con los parámetros establecidos inicialmente.

Ya con la alternativa seleccionada para el subsistema de corte, se realizó el diseño detallado de la máquina de cada uno de sus componentes, y a continuación se analizó la estructura de la maquina por medio de elementos finitos para comprobar que soporta las cargas a las que está sometida.

De igual manera se realizó el plano de ubicación, luego los planos de los componentes, y por último el de ensamble.

Finalmente se redactaron los manuales de operación y de mantenimiento de la maquina bajo los parámetros de diseño, seguido por el análisis financiero del proyecto.

PALABRAS CLAVE: Diseño, maquina-trituradora y PET.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto es *importante* debido a que existen en el mundo grandes cantidades de plástico que se descomponen aproximadamente en 700 años y que afectan la vida de los animales en el mar puesto que las micro partículas plásticas pueden almacenar partículas tóxicas formando así una cadena de mortalidad entre estos y los seres humanos.

El principal problema se *origina* en los botaderos y las calles puesto que cada vez más se encuentran contaminadas por la presencia de este polímero el cual causa un mal aspecto visual y ocasiona taponamiento en los sistemas de drenaje, puesto que los fabricantes de PET no han tenido en cuenta su reciclaje debido a que su producción es relativamente fácil.

El *objetivo* general de este proyecto es el “Diseño de una máquina trituradora para plástico PET”. Para el desarrollo del mismo, se deben tener en cuenta los siguientes objetivos específicos;

- Diagnosticar la situación actual del proceso de trituración de plástico
- Establecer los parámetros básicos y requerimientos funcionales
- Plantear alternativas del subsistema de triturar el plástico
- Desarrollar el diseño detallado
- Simular mediante el MEF la estructura de la máquina
- Elaborar planos de ubicación, fabricación, ensamble y montaje
- Elaborar manuales de operación y mantenimiento
- Evaluar impacto ambiental en la fabricación de la máquina
- Evaluar financieramente el proyecto

El *alcance* que contiene este proyecto está basado exclusivamente en el diseño de la máquina, debido a que su diseño es netamente teórico se tomó como referencia empresas de reciclaje pequeñas y medianas.

Este trabajo de grado tiene como *significado* solucionar la disminución de botellas plásticas de PET en los botaderos y calles de la ciudad.

Este proyecto será *aplicado* para las empresas de reciclaje las cuales no cuentan con la maquinaria para triturar el PET.

Este proyecto presenta una *limitación* importante la cual es que solamente se realizara el diseño de la máquina, más no a la construcción de la misma.

1. DIAGNÓSTICO

Actualmente en el mundo se ha ido tomando conciencia acerca del aprovechamiento de los desechos plásticos los cuales han venido causando un gran daño al medio ambiente, debido a que su descomposición tarda aproximadamente 700 años, gracias a acuerdos o incentivos por parte de algunos gobiernos se ha podido motivar a las personas a que separen y clasifiquen los desechos para que así sea más fácil para las empresas reutilizar estos desechos en otras aplicaciones. Lastimosamente Colombia de los 11,6 millones de toneladas que genera al año, solo aprovecha el 17% según cifras¹ oficiales, pero cada año se crean nuevas empresas las cuales ven en el negocio del reciclaje una oportunidad para mejorar el medio ambiente y contribuir a la reutilización de estos desechos.

En este proyecto se tomará como referencia el PET de las botellas de consumo de bebidas azucaradas o de agua.

1.1 CARACTERIZACION DEL PET

Los termoplásticos son fácilmente reciclables debido a que tienen la capacidad de fundirse cuando se calientan y por lo tanto se pueden moldear repetidas veces sin alterar demasiado sus propiedades entre ellos se encuentran: PET, PVC, PP, PEAD, PEBD, PS, EPS y PC

El tereftalato de polietileno (PET) fue patentado² como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickinson en 1.941. La producción comercial de fibra de poliéster comenzó en 1.955, desde entonces se registró un espectacular crecimiento del producto a partir del descubrimiento de sus múltiples posibilidades de uso, a partir de 1.976 se lo usa para la fabricación de envases, principalmente para bebidas. También se utiliza para envasar agroquímicos, limpiadores líquidos, y medicamentos.

Este se fabrica³ a partir de dos materias primas derivadas del petróleo las cuales son: etileno y paraxileno, cuya forma es de pequeños cilindros o chips, los cuales, tras un proceso de secado se funden e inyectan a presión en máquinas de múltiples cavidades dándoles preformas. Por último, son soplados con aire limpio a presión hasta llegar a su forma final.

¹ EL COLOMBIANO. Colombia entierra millones de pesos por no reciclar [En línea]. [consultado el 4 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.elcolombiano.com/especiales/que-hacer-con-la-basura/colombia-entierra-millones-de-pesos-por-no-reciclar-FD3410601>

² QUIMINET. Historia del PET. [En línea]. [Consultado el 8 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm>

³ ESPACIO SUSTENTABLE. ¿Qué es el PET y como se recicla?.[En línea] [Consultado el 10 de diciembre del 2018]. Disponible en:<https://espaciosustentable.com/que-es-el-pet-y-como-se-recicla/>

El PET posee una gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y al impacto, resistencia química, alto grado de transparencia, capaz de conservar el sabor y aroma de los alimentos, estas propiedades han hecho de este plástico un producto con altas demandas en el mercado global.

Tabla 1. Propiedades del PET

DATOS TECNICOS PET				
POLIETILENTEREFTALAO				PET
PROPIEDADES MECANICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
A 23°C				
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1.39
RESIST. A LA TRACC. (FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	D-638	53455	900
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	D-790	53452	1450
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	Kg.cm/cm ²	D-256	53453	> 50
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm ²	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D- 2240	53505	85 - 87
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D- 1894		--
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D- 1894		0.2
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MUY BUENA

Fuente. INDUSTRIAS JQ. [Sitio web]. Buenos aires: Plásticos de ingeniería.
[Consulta: 15 de diciembre del 2018]. Disponible en: <http://www.jq.com.ar/>







Los plásticos están diferenciados⁴ según un Código de Identificación de Plásticos, que es un sistema utilizado internacionalmente en el sector industrial para distinguir la composición de resinas en los envases y otros productos plásticos.

⁴ GESTORES DE RESIDUOS. La clasificación de los plásticos. [En línea]. [Consultado el 12 de diciembre del 2018]. Disponible en: <https://gestoresderesiduos.org/noticias/la-clasificacion-de-los-plasticos>

Esto fue realizado por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) en el año 1.988, con el fin de propiciar y dar más eficiencia al reciclaje.

Podemos encontrar que dentro de esta clasificación el PET es el numero 1 esto quiere decir que es 100% reciclable debido a sus propiedades químicas.

Tabla 2. Código de identificación (SPI)

Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Poliétileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Poliétileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, laminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores, tubos
Poliétileno 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: RECYTRANS [Sitio web]. Valencia: recytrans productos [Consultado 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.recytrans.com/>

1.2 MÉTODOS DE RECICLAJE DEL PET

Estos hacen referencia a los métodos⁵ los cuales se utilizan para un correcto reciclado del PET, los cuales presentan ventajas y desventajas uno sobre otro.

1.2.1 Reciclado Mecánico. Se basa en el tratamiento de los residuos plásticos mediante métodos físicos de purificación y la reducción de los mismos a escamas o flakes de PET, los cuales pueden ser extrudidos y granulados en forma de pellets. El producto obtenido presenta propiedades inferiores al PET virgen y la imposibilidad de ser utilizado nuevamente en envases que estén en contacto con alimentos por el grado de contaminación que presenta.

⁵ TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. Métodos de reciclaje. [En línea]. [Consultado el 16 de diciembre]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-quimico-de-pet.html>

Recientemente se han desarrollado métodos denominados de súper-limpieza (super clean) que permiten obtener PET por reciclaje mecánico. El PET obtenido mediante estos métodos es apto para el uso en contacto con alimento. Consisten en tratamientos de descontaminación térmica, químico-físico (hidrólisis superficial de soda cáustica-tratamiento térmico) y mediante extracción con disolventes.

Ilustración 1. Reciclado mecánico



Fuente: TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. [Sitio web]. Buenos Aires: métodos de reciclaje. [Consulta 17 diciembre 2018]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-quimico-de-pet.html>

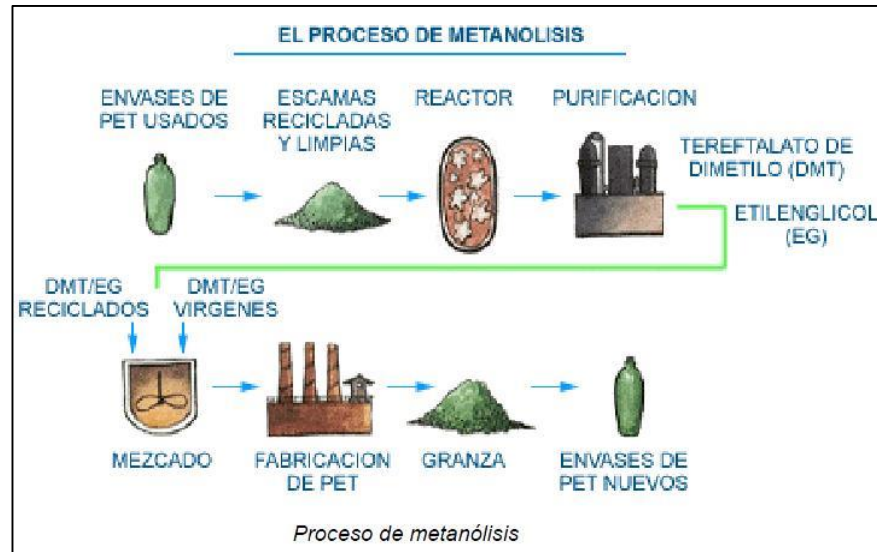
1.2.2 Reciclado Químico. Es una alternativa viable para el tratamiento de desechos de PET. Este método presenta la ventaja que hace posible la obtención de materias primas orgánicas que posteriormente podrían ser usadas para producir nuevamente PET apto para estar en contacto con alimentos u otros materiales con distintas propiedades. Pero esto dependerá del grado de pureza que presenten los monómeros obtenidos.

Cabe destacar que previo a todo proceso de reciclaje químico le precede un reciclaje mecánico para la obtención de escamas de PET. El tamaño de las escamas puede variar entre 2 (o menos) a 10 mm. Una granulometría más fina significa una disminución en el tiempo del proceso debido a un incremento en la velocidad reacción por el aumento de la superficie de contacto.

De los procesos químicos para la despolimerización de PET, la metanólisis, la hidrólisis y sobre todo la glicólisis, son los procesos más utilizados. Sin embargo, la metanólisis e hidrólisis se llevan a cabo a condiciones de presión y temperatura

mayores que en el caso del glicólisis, y, además, debido a las condiciones ácidas o básicas de la hidrólisis, esta puede generar mayores problemas ambientales.

Ilustración 2. Reciclado Químico



Fuente: TECNOLOGÍA DE LOS PLASTICOS. [Sitio web]. Buenos aires: métodos de reciclaje. [Consulta 17 diciembre 2018]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-quimico-de-pet.html>

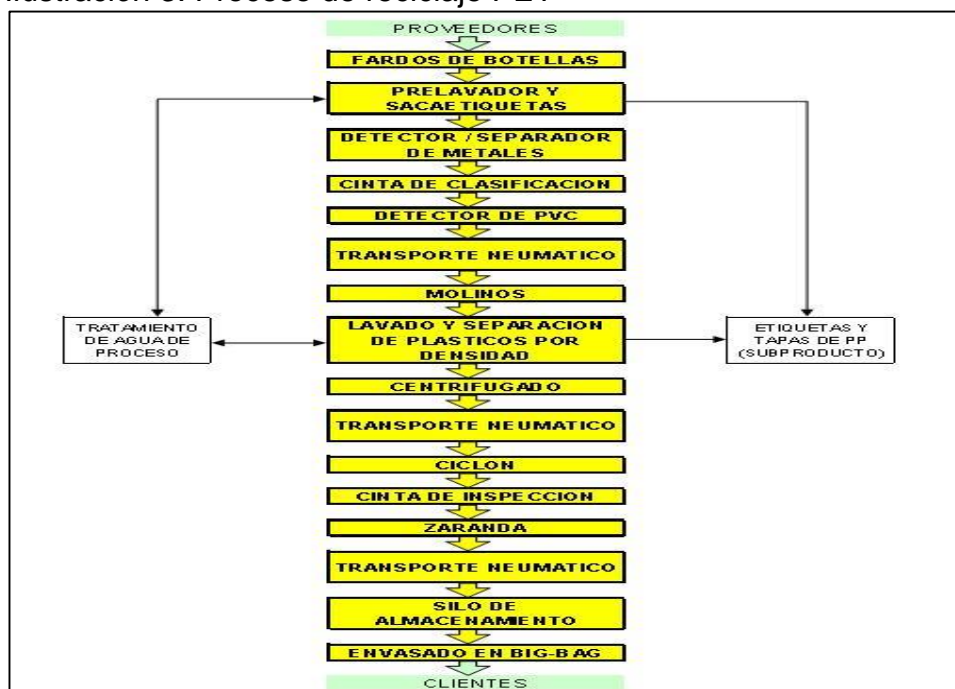
1.3 PROCESO DE RECICLADO DEL PET

Como se mencionó en el apartado anterior, podemos encontrar dos métodos de reciclar, mecánicamente y químicamente, debido a que en el proyecto se involucra la trituración el enfoque será el reciclado mecánico.

En el reciclado mecánico encontramos una serie de procesos a los que el PET va a estar sometido, siendo su limpieza y procesamiento posibles sin la intervención química en la estructura de este.

En el siguiente diagrama se muestran todas las etapas por las cuales pasa las botellas PET desde su recolección hasta forma en escamas.

Ilustración 3. Proceso de reciclaje PET



Fuente: TECNOLOGÍA DE LOS PLASTICOS. [Sitio web]. Buenos aires: métodos de reciclaje. [Consulta 17 diciembre 2018]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-quimico-de-pet.html>

De todo el proceso de reciclaje de botellas PET, en el triturado el objetivo es reducir los envases PET, este proceso se realiza mediante un molino granulador de cuchillas, teniendo en cuenta que reducir el tamaño ayuda a un manejo más fácil de este en cuanto a transporte y almacenaje.

El molino granulador de cuchillas son los que más se utilizan para la trituración de botellas PET debido a que el proyecto se enfoca en este tipo de maquina a continuación se describirán las partes que componen a esta;

Para la alimentación de PET al molino, este posee una tolva de alimentación la cual está ubicada en la parte superior del molino, después de la tolva de alimentación se encuentra la tobera, la cual permite posicionar al PET directamente en la cámara de corte.

Para realizar el corte o triturado del PET existen diferentes tipos de sistemas de cuchillas rotatorias, un ejemplo es el sistema de cuchillas de corte oblicuo cuya cualidad es realizar corte suave y limpio, las cuchillas tienen una curvatura, no son totalmente rectas, para completar la configuración de la cámara de corte de este tipo de sistema, se tienen los porta cuchillas, se sujetan las cuchillas oblicuas, a su vez los porta cuchillas van fijos en un eje rotatorio el cual está soportado en medio

de chumaceras e impulsado por un motor eléctrico, que conduce su potencia mediante poleas, generalmente el conjunto es como la imagen 1.

Imagen 1. Molino de cuchillas Rotatorias



Fuente: INTEREMPRESAS. [Sitio web]. Madrid: Molinos No solo Granular [Consulta 18 de diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/123244-Molinos-no-solo-granular-o-triturar.html>

Imagen 2. Cuchillas corte oblicuo

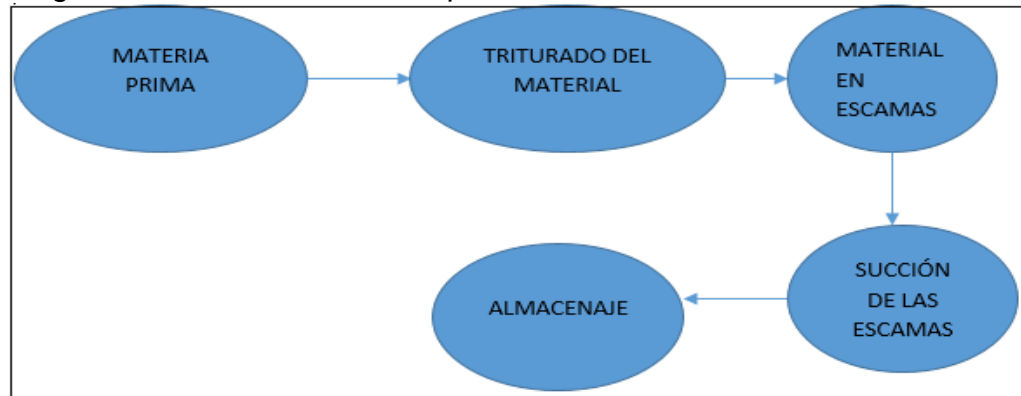


Fuente: COMESA. [Sitio web]. CDMX: Molinos para plástico. [Consulta 18 diciembre 2018]. Disponible en: <https://comesa-mex.com/para-plastico-pet.html>

1.4 PROCESO DE LA MÁQUINA

El proceso de triturado de la máquina debe seguir la siguiente secuencia;

Diagrama 1. Proceso de la máquina.



Fuente: elaboración propia

La máquina propuesta es un molino que por lo general es alimentado por una banda transportadora, el cual recibe todo el material por la tolva de alimentación, luego de la trituración, las escamas son transportadas neumáticamente para así ser almacenadas y transportadas de una manera más fácil y practica para su comercialización

1.5 COMPONENTES DE BOTELLA PET

Los componentes⁶ principales de la botella son: el envase mismo, la tapa y la etiqueta. A continuación, se detalla cada uno de ellos;

- El envase en sí mismo es PET, la materia prima que a nosotros nos interesa principalmente
- La tapa tiene dos componentes, el de la tapa con su anillo de seguridad que es de PP (polipropileno) ó PEAD (polietileno de alta densidad) y la junta de hermeticidad interior que le confiere estanqueidad a la tapa impidiendo que se escape el anhídrido carbónico. El material de la junta de hermeticidad, en general, es de EVA (etilenvinilacetato)
- Por último, la etiqueta, compuesta principalmente de PP, PEBD (polietileno de baja densidad) ó papel. Pero además hay dos componentes más: la tinta con que se imprimen las etiquetas y los adhesivos con que se las pega. Las tintas tienen

⁶ TÉCNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. Componentes de la botella PET. [En línea]. [consultado el 18 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-quimico-de-pet.html>

Imagen 1. Botella bebida gaseosa



Fuente: TÉCNOLOGIA DE LOS PLASTICOS. [Sitio web]. Buenos aires: producción de escamas de PET. [consultado 19 diciembre 2018]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/12/produccion-de-escamas-de-pet.html>

2. PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS

En el siguiente capítulo se describirán los parámetros y requerimientos, los cuales deben estar perfectamente definidos para el funcionamiento de la máquina, y que a partir de estos se pueda elegir la mejor alternativa para este proyecto.

2.1 REQUERIMIENTOS

Estos son los requerimientos del cliente para el diseño de la máquina, los cuales permitirán satisfacer las necesidades del mismo.

2.1.1 Granulometría. Se requiere que el tamaño de grano sea 12,7mm de diámetro⁷ para que el flujo de alimentación sea constante, cabe resaltar que la botella debe estar totalmente libre de cualquier otro tipo de polímero e impurezas.

2.1.2 Capacidad. La máquina estará dispuesta en una jornada de trabajo legal de 8 horas por día, para determinar el flujo másico de botellas que la maquina será capaz de procesar en un día, primero se tiene que hacer un ponderado de la producción en una planta de reciclaje, para este caso se tomaron los datos aproximados de las recicladoras ubicadas en el centro de la ciudad.

Tabla 3 . Recolección botellas PET(PYMES)

Volumen	Peso	Peso/día
350 ml	15 g	10 Kg
500 ml	17 g	3 Kg
600 ml	19 g	2 Kg
1 l	33 g	2.5 Kg
2 l	60 g	2.5 Kg

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se puede concluir que la cantidad total es de 20 kg, debido a que es la cantidad de material a la cual llegan al centro de reciclaje aproximadamente, las botellas de 2 L son las que servirán de referencia para la longitud del eje y el diámetro del rotor puesto que son las de mayor diámetro y altura.

2.1.3 Material. La máquina trituradora será diseñada con materiales que no sean corrosivos y que de igual forma no afecten la calidad del producto.

⁷ASACLEAN. Criba de Molino de PET. [En línea] [consultado el 24 de diciembre del 2018] Disponible en: <https://www.asaclean.com/reciclado-tamano-de-grano-y-su-relacion-con-algunos-defectos-en-piezas-de-plastico/>

2.1.4 Costo de la máquina. Este es un parámetro de gran importancia debido a que ya existen en el mercado varias de estas máquinas, logrando así manejar en el diseño una excelente calidad a un menor costo.

2.1.5 Consumo energético. Se diseñará la máquina con el menor consumo energético para no generar altos costos en su funcionamiento.

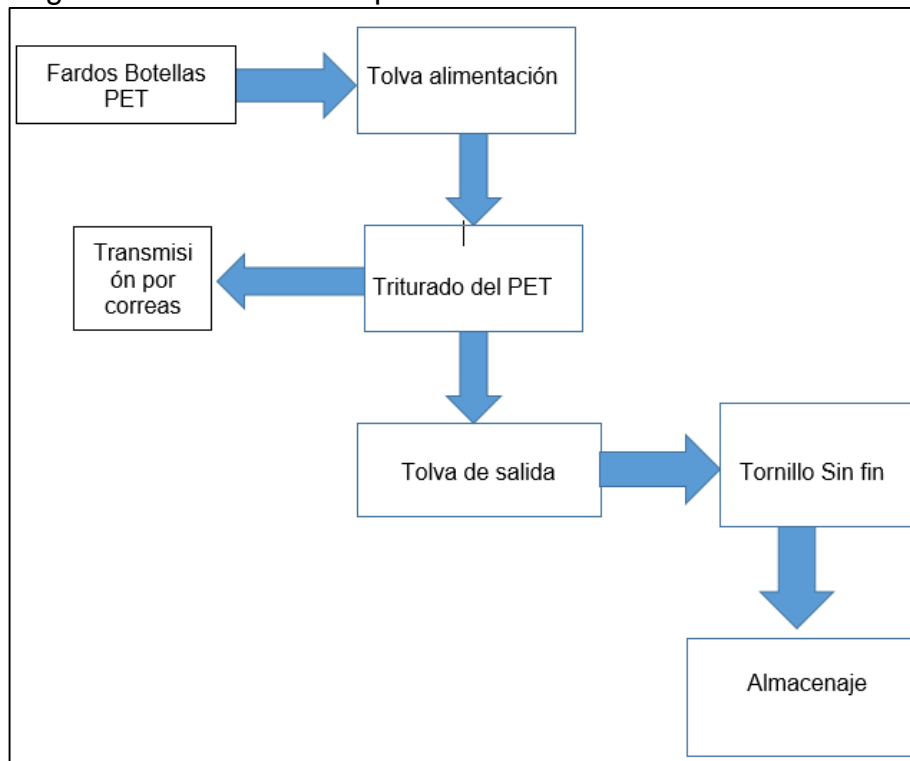
2.1.6 Mantenimiento. La máquina será diseñada para que el operario pueda realizar su inspección sin ningún tipo de complejidad y de fácil acceso a la cámara de corte.

2.1.7 Tamaño botella. Las botellas que ingresarán a la máquina irán desde 350 ml hasta 2L capacidad, estas podrán estar aplastadas esto permitirá una optimización del proceso

3. ALTERNATIVAS

En este capítulo se realizará un análisis del subsistema de corte para así poder evaluar cada una de las cuchillas utilizadas en este proceso, cabe resaltar que las alternativas no consideran el tipo de máquina puesto que para el molido del PET se utiliza generalmente la descrita ya en la figura 3. A continuación se realizara el diseño conceptual el cual permitirá visualizar los subsistemas mediante bloques.

Diagrama 2. Diseño conceptual de los subsistemas



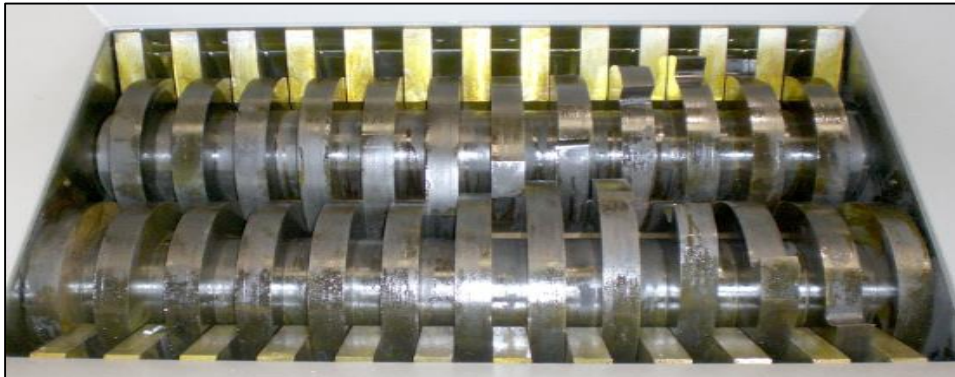
Fuente. elaboración propia

3.1 ALTERNATIVAS SUBSISTEMA DE CORTE

Las siguientes son las alternativas del subsistema de corte;

3.1.1 Alternativa A. Dos ejes de cuchillas distribuidas, Estas se caracterizan por la composición de dos ejes las cuales sus cuchillas poseen forma de fresas de corte que actúan en sentido contrario para ir atrapando el material y molerlo.

Imagen 2. Dos ejes con cuchillas distribuidas



Fuente: TRITOTUTTO, [Sitio web]. Poncarale: Trituradora Industrial de dos ejes [Consultado 28 diciembre 2018] Disponible en: <http://www.tritotutto.com/es/trituradora-industrial-de-dos-ejes-tritotutto-photogallery>

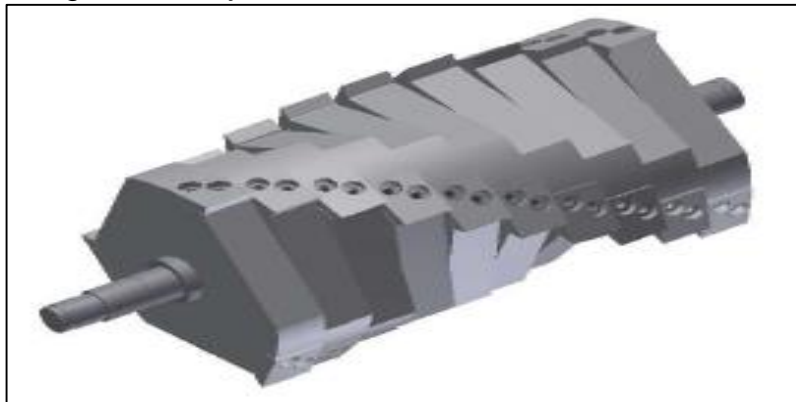
Tabla 4. Ventajas y desventajas alternativa 1

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor fuerza de corte ejercida por la presión entre cuchillas ▪ Menor recirculación de material debido a la cantidad de cuchillas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La separación entre cuchillas debe ser la adecuada para evitar fricción ▪ Se debe cambiar la fresa completa si falla una cuchilla ▪ Aumento de temp. Podría derretir la botella y adherirla a las cuchillas ▪ Complejidad en la fabricación

Fuente: elaboración propia

3.1.2 Alternativa B. Un eje con cuchillas desfasadas, Este se caracteriza por que sus cuchillas son discos individuales los cuales pueden ser macizos o con algún injerto en las puntas, su distribución tiene forma helicoidal de manera que cuando actúa arrastra el plástico hacia un punto acumulando de forma continua el material

Imagen 3. Un eje con cuchillas desfasadas



Fuente: DISEÑO DE UNA TRITURADORA DE PET. [sitio web] Bogota: trabajo de grado.[consulta 28 diciembre 2018]. Disponible en:<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5292/1/DanielHoyosMarcosHoyos2017.pdf>

Tabla 5. Ventajas y desventajas alternativa 2

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Efecto sin fin entre cuchilla móvil y la fija ▪ Mejor recirculación por la forma de las cuchillas ▪ Cuchillas intercambiables 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Complejidad de fabricación ▪ Acumulación de material por falta de filo en las cuchillas ▪ Costo elevado ▪ Un gran de numero de cuchillas ▪ Alto costo en el mantenimiento

Fuente: elaboración propia

3.1.3 Alternativa C. Un eje con cuchillas dobles tipo flecha, este se caracteriza por poseer alternativamente el corte doble inclinado mediante la disposición de las cuchillas tipo flecha, gracias a esta disposición el eje transporta el producto hacia el centro y lo mantiene alejado de las paredes laterales.

Imagen 4. Un eje con doble cuchilla tipo flecha



Fuente: EJE CON DOBLE CUCHILLA TIPO FLECHA. [Sitio web]. Ciudad Valles: ajuste de cuchillas. [Consulta 29 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9oaoxzJVEcQ>

Tabla 6. Ventajas y desventajas Alternativa 3

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">▪ Fácil fabricación▪ Reduce el desgaste en las paredes▪ Evitan que se plastifiquen productos sensibles al calor▪ Cuchillas intercambiables▪ Bajo costo▪ Distancia de corte constante a través de la longitud de las cuchillas	<ul style="list-style-type: none">▪ Probabilidad de desajuste

Fuente. elaboración propia

3.2 SELECCIÓN DE CUCHILLAS

En este capítulo se realizará la evaluación de las alternativas por medio de una matriz de ponderación, con el objetivo de seleccionar la más adecuada basada en algunos criterios impartidos por el cliente.

A continuación, se asignará el respetivo puntaje de ponderación para los criterios suministrados por el cliente tal como se muestra en el cuadro 6. El valor ira de 1 a 5, siendo 1 el menos importante y 5 indispensable

Tabla 7. Criterios de ponderación

Costo	5
Mantenimiento	2
Eficiencia de corte	4
Fabricación	3

Fuente: elaboración propia

- Costo: este criterio hace referencia al valor de diseño de las cuchillas
- Mantenimiento: este criterio evalúa la complejidad y cantidad de tareas necesarias para realizar el mantenimiento
- Eficiencia de corte: este criterio evalúa el desempeño de las cuchillas fijas y móviles teniendo en cuenta la relación de vueltas/corte ,es decir, la cantidad de vueltas que se requieren para cortar una parte de la botella
- Fabricación: este criterio hace referencia a la fabricación de la relación entre las cuchillas móviles y fijas

El resultado de la matriz de ponderación se obtiene multiplicando cada valor de la alternativa por el criterio evaluado, su valor será de 1 a 9, siendo 1 el inferior y 9 el superior, de acuerdo a su cumplimiento

Tabla 8. Matriz de ponderación

Criterios	Ponderación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	5	5	6	8
Mantenimiento	2	3	7	9
Eficiencia corte	4	5	8	9
Fabricación	3	4	6	8
Puntaje		63	94	118

Fuente: elaboración propia

Se puede observar en los resultados de la matriz que la alternativa 3 es la indicada para el proyecto que se está realizando, debido a que cuenta con varios aspectos fundamentales los cuales permiten satisfacer la necesidad del cliente, cabe resaltar que la matriz de ponderación fue realizada por el autor del proyecto.

4. DISEÑO DETALLADO


En este capítulo se realizará el diseño detallado de la máquina y la geometría de la misma, para poder así establecer los valores adecuados para un óptimo funcionamiento.

4.1 SISTEMA DE CORTE

En el sistema de trituración se realizará el cálculo del eje el cual es de gran importancia debido a que este será quien soporte las cargas, así mismo se verá afectado a la fatiga y deflexión, para establecer las dimensiones del radio de giro de corte y la longitud del eje es necesario conocer las dimensiones de la botella de mayor capacidad que ingresara a la máquina.

Tabla 9. Especificaciones técnicas Botella 2L

2 Litros P.T.	
Capacidad nominal	2000 ml
Capacidad hasta la boca	2.028 ml
Tolerancia	± 10 ml
Material	PET
Peso	62 gr
Tolerancia	± 2 gr
Dimensiones	
Altura	271 mm
Tolerancia	± 1 mm
Diámetro	110 mm
Tolerancia	± 1 mm
Boca	
Tipo	Presión
Diámetro interno	25 mm
Tolerancia	± 0.2 mm
Diámetro externo	32 mm
Tolerancia	± 0.2 mm
Uso	Alimentario

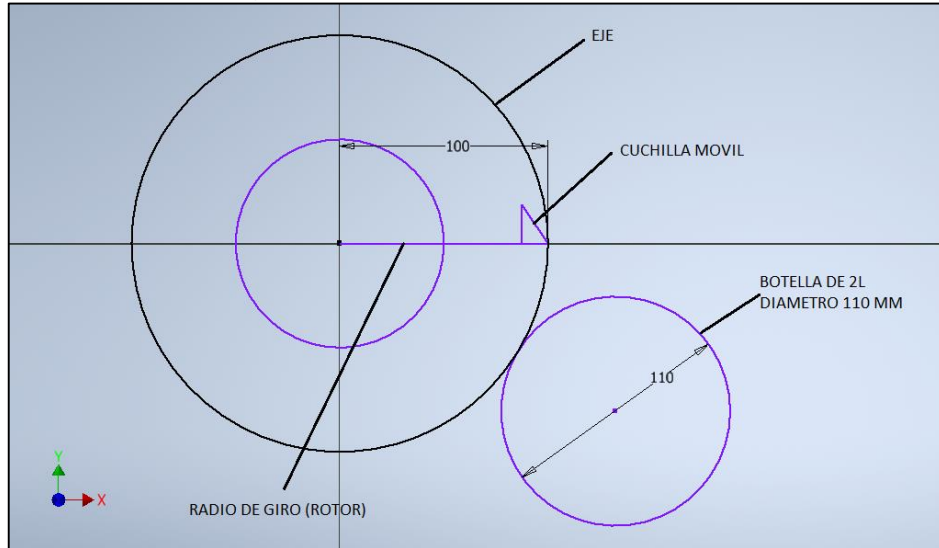


Fuente: PLASTICOS TORRIJOS. [sitio web] Toledo: Catagolo_esp, pág. 6 [Consulta 2 enero 2019]. Disponible en: http://www.plasticos-torrijos.com/catalogo_esp.pdf

Se puede observar que la altura de la botella es de 271 mm, este dato sirve para colocar una longitud no menor a esta debido a que no permitiría el ingreso de estas botellas al sistema de corte, para este diseño se determinara una longitud de 300 mm.

Ahora bien, teniendo en cuenta el diámetro de la botella que es de 110 mm, se deberá garantizar que el radio del rotor (giro) permita tener un abrasamiento o agarre con la botella, es decir, que el valor este cercano a los 110 mm, para este diseño se tomó un radio de rotor de 100 mm como se muestra en la siguiente figura.

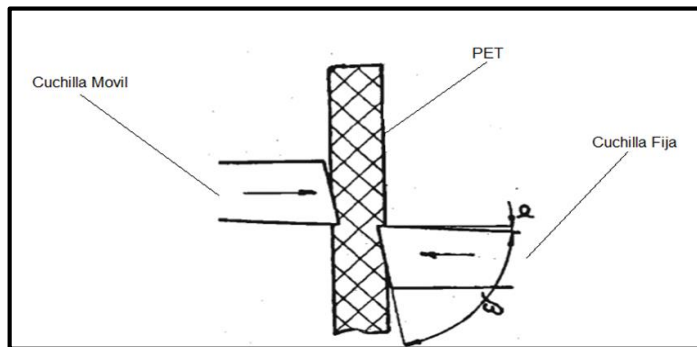
Ilustración 2. Diagrama Funcional Básico



Fuente: elaboración propia

4.1.1 Fuerza de corte: Es la fuerza⁸ necesaria para poder romper o fracturar el PET, las cuchillas están dispuestas de manera que sus planos inclinados generen los filos de corte, teniendo en cuenta que 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° . Como se observa en la siguiente figura.

Ilustración 3. Detalle de las cuchillas en la posición inicial de corte



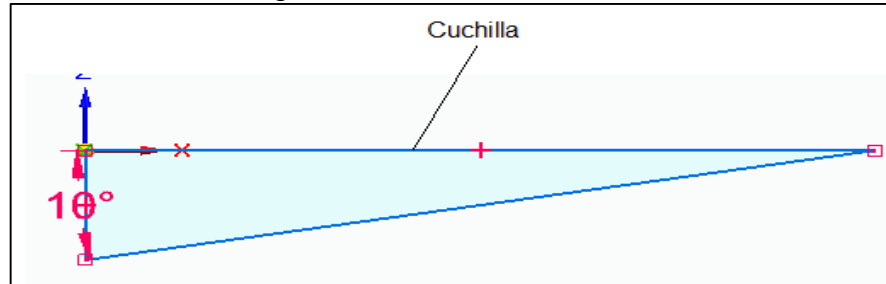
Fuente. Rossi, Mario. Prensas y máquinas para el trabajo de la chapa. En: estampado en Frio de la Chapa. Novena Edición. 1978. Editorial Dossat pag. 271

La fuerza de corte se encuentra dada por el producto del área del triángulo del material solicitado en este caso el PET (con el ángulo de apertura de los filos

⁸ . Rossi, Mario. Prensas y máquinas para el trabajo de la chapa. En: estampado en Frio de la Chapa. Novena Edición. 1978. Editorial Dossat pág. 271

cortantes y para este caso se tomará 10°) y el esfuerzo de ruptura del material como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 4. Triangulo sobre el cual actúa la fuerza de corte



Fuente: elaboración propia

Teniendo el ángulo de abertura entre los filos cortantes 10°, y conociendo el espesor de la rosca de la botella que es de 1,8 mm (puesto que esta es la parte de mayor grosor), el PET posee un esfuerzo a la ruptura de 88.25 MPA según la Tabla 1.

Ilustración 5. Calculo de fuerzas de corte

Cizallas de Cuchillas Paralelas

$F_H = \tau_B \cdot L \cdot s$
 $F_H = \tau_B \cdot A_s$

F_H : Fuerza de corte.
 τ_B : Resistencia a la cizalladura.
 L : Longitud de cizallamiento.
 s : Espesor de la plancha a cortar.
 A_s : Sección de cizallado.

Cizallas de Cuchillas Inclinadas

$F_H = \frac{\tau_B \cdot s^2}{2 \cdot \tan(\varphi)}$

F_H : Fuerza de corte.
 τ_B : Resistencia a la cizalladura.
 φ : Ángulo de inclinación de la cuchilla. (Dubbel: 1.5° – 10°)
 s : Espesor de la plancha a cortar.

Material	Resistencia a la rotura $\sigma_B \left[\frac{N}{\text{cm}^2} \right]$	Resistencia a la cizalladura $\tau_B \left[\frac{N}{\text{cm}^2} \right]$
Aluminio	110	70
Cobre	220..390	180..290
Acero St37	360..440	280..350
Acero St50	490..590	390..470

En aceros:
 $\tau_B = 0,8 \cdot \sigma_B$

Fuente: ESPE ,Ecuador, Rehabilitación de la cizalla....,pag 46 [En línea]. [Consulta 5 enero 2018]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10817/T-ESPE-049338.pdf>

Para hallar la fuerza de corte para una única rosca se procede a utilizar la siguiente ecuación;

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

Donde:

$F_c = \text{Fuerza de corte}$

$s = \text{espesor material}$

$\tau = \text{esfuerzo de cizalladura}$

$\varphi = \text{angulo de cillaza}$

$$F_{\text{corte_unico}}: 0,5 * \frac{(0.0018m)^2}{\tan 10^\circ} * 88.25 \text{ MPa}$$

$$F_{\text{corte_unico}}: 0.5 * 1.83 \times 10^{-5} m^2 * 88.25 \text{ MPa}$$

$$F_{\text{corte_unico}} \approx 800 \text{ N}$$

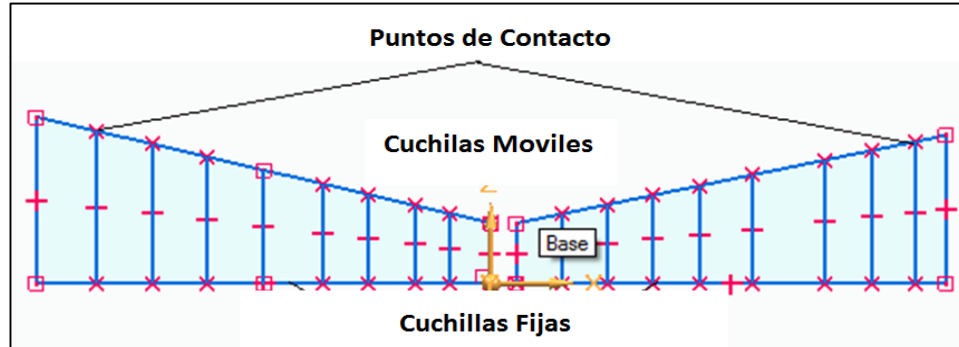
La fuerza necesaria para la ruptura de un segmento de una rosca de PET es de 800N. Sin embargo se debe considerar que la maquina puede estar cortando toda una línea entera de segmentos si está muy llena, por lo cual es deseable una fuerza de corte que equivalga a que las 2 cuchillas estén cortando juntas dos fragmentos gruesos, lo cual implica que:

$$F_{\text{corte}} \approx F_{\text{corte_unico}} * 2 = 1600 \text{ N}$$

4.1.2 Geometría de las cuchillas: Se dispone de ambas cuchillas de esta manera (efecto cizalla) como se mencionó en el capítulo 3, debido a que el punto de contacto entre la botella y estas se realiza en dos momentos a la vez como se aprecia en la figura y permite trasladar el material hacia el centro evitando contacto con las paredes y generar algún desgaste en elementos estructurales, las cuchillas móviles⁹ poseen cierto ángulo debido a que es mejor realizar varias operaciones sucesivas de cizallamiento de longitud corta, en vez de cortes completos de mayor longitud que requieren abundante fuerza y a su vez causan un mayor impacto, que retribuye a un sobre diseño general de la máquina.

⁹ Perry H Robert. Aumento y reducción de tamaño. En: Manual del ingeniero químico, Sexta edición, editorial Mc Graw hill, 8-32

Ilustración 6. Forma de corte de las cuchillas en flecha



Fuente: elaboración propia

Para seleccionar el material de las cuchillas es necesario tener en cuenta que estas deben poseer una gran dureza, resistencia al desgaste y tenacidad, por ende, tener un alto contenido de carbono como se muestra en la siguiente tabla.

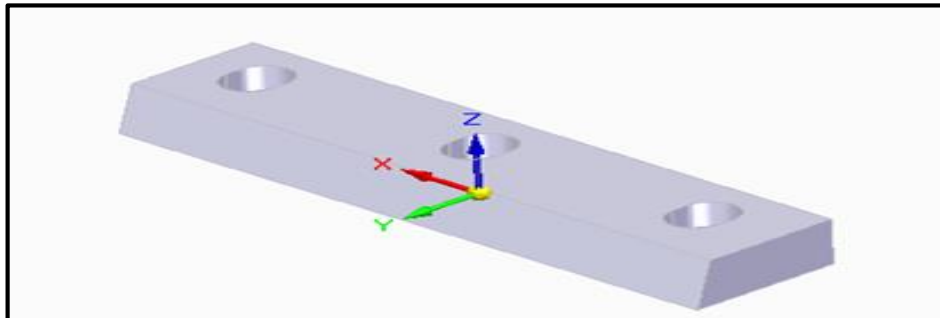
Tabla 10. Aceros recomendados para el corte de diferentes materiales

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
	Hasta 4mm	1-2436	58-62
		1-3343/TSP-4	58-64
	Hasta 10mm	1-2379	58-60
		FOR 821	58-64
		1-2510	56-60
		1-2550	56-58
	Más de 10mm	1-2360	56-58
	Cuchillas para papel	Todos los espesores	1-2767
1-2363			56-60
1-2379			58-62
FOR 821			60-64
1-2436			58-62
BIMETALICO 2552			58-60
Cuchillas para plástico	Todos los espesores	BIMETALICO 18% Cr	60-64
		1-2363	58-60
		1-2379	58-62
		FOR 821	60-64
Cuchillas para corte en caliente	Todos los espesores	1-3343/TSP-4	58-64
		Marca CGA 1-2367	46-50

Fuente: "Cuchillas industriales" [sitio web]. Bogota D.C.: aceros recomendados para el corte de diferentes materiales. [consulta 5 enero 2019] Disponible en http://www.cga.com.co/images/document/ficha_cuchillas_industriales.pdf

Se seleccionarán las cuchillas marca CGA 1-2379, de la empresa *Cia. General de Aceros* debido a que presentan una alta resistencia al desgaste, cuenta con una excelente templabilidad (penetración de la dureza) y una alta tenacidad comparados con aceros tipo D3,D6.las cuchillas móviles y fijas deben poseer un espesor el cual les permita por resistencia de materiales soportar las cargas a las cuales están sometidas, en el final de esta sección se realizara un análisis de elementos simple para validar la rigidez del soporte. Se elige la referencia de 3 agujeros con un largo de 150mm y Angulo de corte de 13.5°

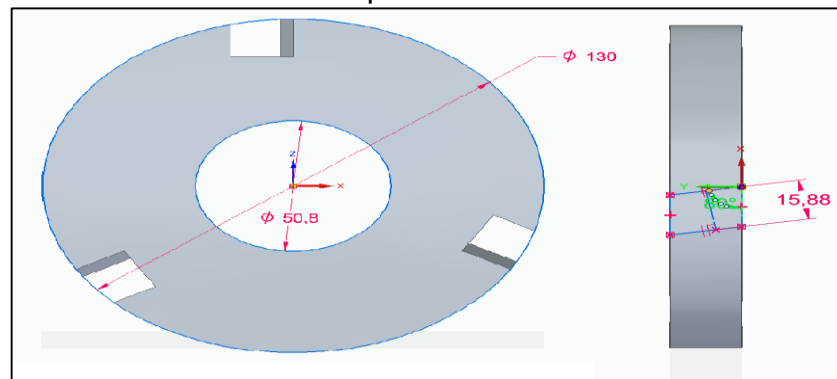
Ilustración 7.- Geometría de la cuchilla seleccionada



Fuente: elaboración propia

4.1.3 Diseño rodillo de corte: El soporte de las mismas depende del diseño del rodillo, en este caso se desea realiza un diseño muy simplificado, consiste en tres discos soldados al eje principal y los soportes para 3 filas de cuchillas móviles, este diseño de 3 filas de corte en el rodillo y 2 en fijos permite que nunca trabajen más de un frente de corte al tiempo, evitando picos de potencia y estancamientos.

Ilustración 8. Disco de soporte

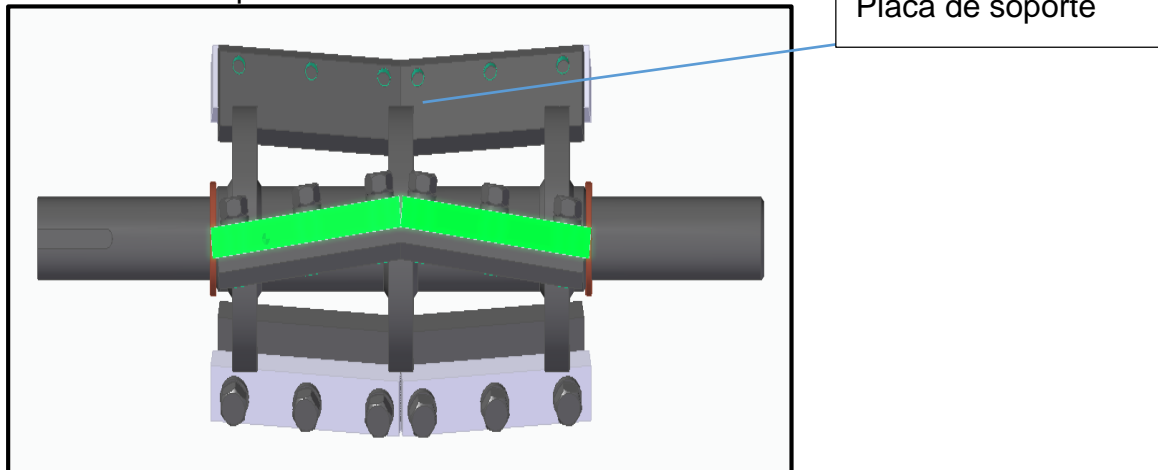


Fuente: elaboración propia

Las placas de soporte de las cuchillas serán similares en tamaño y longitud, y un espesor de 15 mm que con ayuda de las ranuras inclinadas en los discos de soporte

como se ve en la Ilustración superior, imponen la inclinación de 10° diseño de flecha en las cuchillas. Adicional los agujeros de soporte para las cuchillas serán roscados, evitando que las tuercas puedan llegar a generar algún accidente y el material será un Acero A36.

Ilustración 9. Soporte de cuchillas inclinadas



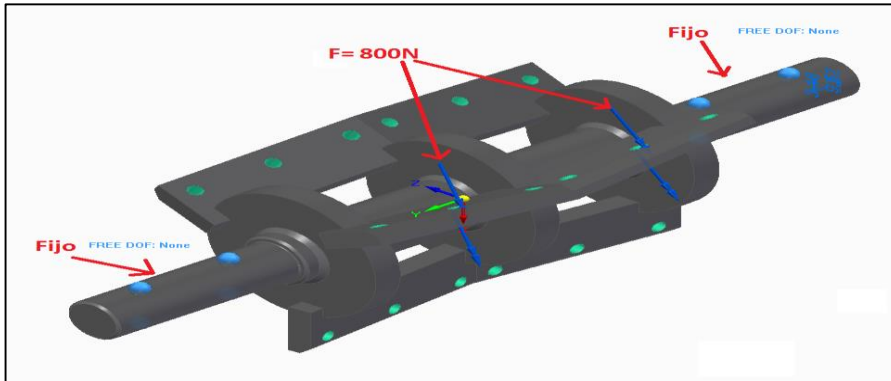
Fuente: elaboración propia

Para los pernos de soporte no se requiere ningún calculo adicional, pues solo deben ser del diámetro de los agujeros de las cuchillas impuesto por el fabricante, en este caso 12 mm, que corresponde a un tornillo M12 y grado 8 por su alta resistencia, sin embargo se procura que la rosca sea de paso fino y el uso de guasas en vez de arandela para evitar el aflojamiento de las cuchillas por las vibraciones que se presenten.

4.1.4 Validación de carga del rodillo: Para la simulación de esfuerzos se aplicaran las fuerzas de corte ya calculadas de 800 N en un par de cuchillas de la misma fila, ya que se requiere que los esfuerzos en toda la estructura del rodillo sean menores a la vida infinita del material (50% de esfuerzo de fluencia en acero 1045 = 379MPa en la referencia menos resistente)¹⁰

¹⁰ Cia. General de Aceros S.A . SAE 1020 y SAE 1045,pag 3 [En linea] Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>

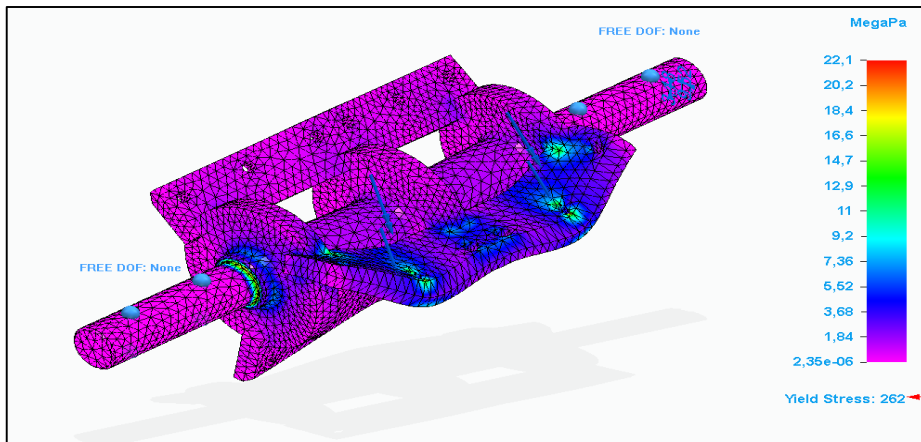
Ilustración 10. Rodillo de corte fuerzas y soportes fijos de simulación



Fuente: elaboración propia

Los resultados de la simulación son los siguientes,

Ilustración 11. Resultados simulación



Fuente: elaboración propia

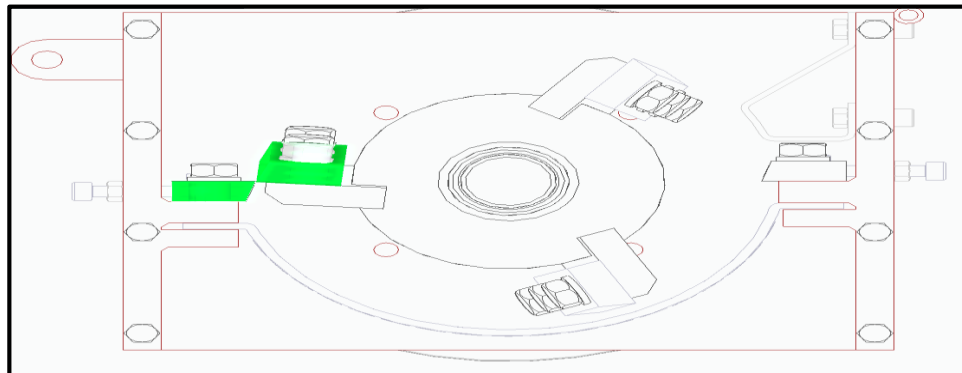
Como podemos ver el esfuerzo máximo causado es de apenas 22.1MPa, que es mucho menor al esfuerzo de fluencia del acero 1045 que es de 379MPa que a su vez representa el 5.83 % del esfuerzo de fluencia, en las siguientes secciones se valida porque a pesar de los resultados se conserva un eje tan grueso.

4.1.5 Velocidad de giro. Es la velocidad a la cual el eje se encuentra girando para poder así realizar el proceso de trituración del plástico, se tiene que para un rotor de 200 mm es recomendable¹¹ una velocidad aproximadamente entre 900 rpm para una trituradora de cuchillas de 2-5hp ,para este diseño se tomara una velocidad de 500 rpm conservadora y más segura , ya que es un primer diseño , diferente a las referencias de máquinas comerciales que son diseños probados y mejorados múltiples veces, más seguros y depurados.

4.1.6 Potencia requerida. Es la potencia que requiere el sistema para llevar acabo la trituración del material. Para lo anterior es necesario el cálculo de torque y velocidad angular promedio esperada, teniendo en cuenta la inclusión de un volante de inercia, ya que el torque es discontinuo, ya que las cuchillas trituradoras cortan de manera intermitente.

Primero se debe obtener un gráfico de torque vs posición angular del rotor de corte. Y así realizar el análisis para la selección de la inercia necesaria en un volante y obtener la potencia que realmente se necesita.

Ilustración 12.Vista lateral cuchillas



Fuente: elaboración propia

Al revisar el diseño se tiene que cada cuchilla corta 2 veces por revolución, lo cual da un total de 6 cortes por revolución, tomando como velocidad base $500rpm = 8.3rps$ se tiene:

$$8.3rps * \frac{6 \text{ cortes}}{rps} = 50 \frac{\text{cortes}}{s}$$

Luego al tener un tamaño de segmento de 12.5mm y una botella de 270mm de alto por 100 mm de diámetro, suponiendo que un corte a lo largo del diámetro de la

¹¹ Perry H Robert. Manual del ingeniero químico, Sexta edición, editorial .Mc Graw hill,8-32 ,tabla 8-17 Aumentó y reducción de tamaño

botella requiere una potencia similar a cortar la rosca se simplificara el problema de potencia requerida por botella así:

$$\text{Numero}_{\text{cortes}} = \text{Num}_{\text{cortes}} = \frac{\text{Alto de botella}}{\text{Ancho de corte deseado}} = \frac{270\text{mm}}{12.5\text{mm}} \approx 22 \text{ cortes}$$

Si se supone que puede llevar acabo otro ciclo completo en convertir tiras en segmentos pequeños, se estima que la máquina utilizará alrededor de 1 segundo en promedio procesando cada botella de 2 litros.

4.1.7 Torque de corte. El Torque que ejerce la maquina tal como se mencionó previamente sucede de forma intermitente. Para calcularlo se estima el peor caso de corte, en el cual la cuchilla oblicua corta en toda la longitud, lo anterior implica que el recorrido de la cuchilla realizando corte en una cuchilla de longitud de 15cm con un ángulo de 10°

$$L_{\text{corte vertical}} = L_c = 0.15\text{m} * \sin(10^\circ) = 0.026\text{m} = 2.6\text{cm}$$

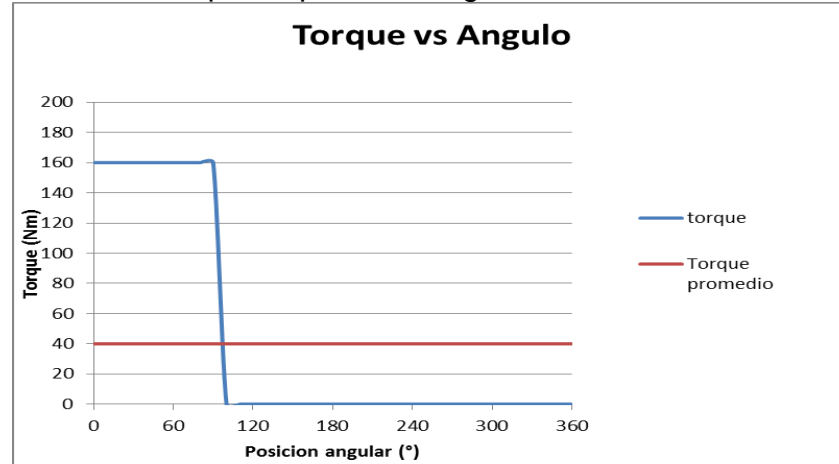
En ese orden si el corte completo se realiza 6 veces en una sola vuelta se puede obtener el segmento de vuelta que el torque es ejercido por las cuchillas.

$$\text{Radianes de corte} = R_c = \frac{L_c * 6}{r_{\text{rodillo}}} = \frac{0.026\text{m} * 6}{\left(\frac{0.2}{2}\right)\text{m}} \approx 1.57\text{rad} \approx 90^\circ$$

$$T_{\text{corte}} = F_{\text{corte}} * r_{\text{rodillo}} = 1600\text{N} * \frac{0.2\text{m}}{2} = 160\text{N.m}$$

Seguido a lo anterior se juntan todas las secuencias de corte en una única, es decir 90° en total

Grafico 1. Toque vs posición angular, diseño volante



Fuente: elaboración propia

4.2 CALCULO DEL VOLANTE DE INERCIA

Primero se debe calcular el torque promedio¹²

$$T_{promedio} = T_m = \frac{\int_0^{2\pi} T(\theta) d\theta}{2\pi rad} = \frac{80 N.m * 1.57 rad}{2\pi rad} = 40 N.m$$

Luego se calcula la máxima variación de energía solo teniendo en cuenta la parte positiva respecto al eje del torque promedio

$$E_{max} = \int_0^{2\pi} (T(\theta) - T_m) d\theta = (160 - 40) N.m * 1.57 rad = 188.4 J$$

Cálculo velocidades de operación

Para este aspecto se usarán las siguientes ecuaciones:

$$Coeficiente\ de\ variación = C_f = \frac{(\omega_{max} - \omega_{min})}{\omega_{promedio}}$$

$$\omega_{promedio} = \omega_m = \frac{(\omega_{max} + \omega_{min})}{2}$$

¹² Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica, Novena edición, editorial Mc Graw hill, 16-12 Volantes de inercia

El coeficiente de variación C_f permite definir correctamente el tamaño del volante y determinar la variación máxima de velocidad angular que tendrá con dicho volante

Tabla 11. Coeficientes de fluctuación recomendados

Tipo de Aplicación	Coeficiente de fluctuación
Máquinas eléctricas	0.003
Motores con transmisión por correas	0.03
Máquinas de molienda de granos	0.02
Transmisiones por engranajes	0.02
Máquinas 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: UPTC, Colombia, Diseño y cálculo de volantes, pag 10 [En línea]. [Consultado 10 enero 2019]. Disponible en: <https://edoc.site/diseo-y-calculo-de-volantes-pdf-free.html>

Según la tabla 11 se obtiene que $C_f = 0.2$ para trituradoras

4.2.1 Determinación velocidades mínimas y máximas según coeficiente: Ya que la velocidad elegida para el rodillo como ya se mencionó es de 500rpm, y como no es posible superar esta velocidad pues el motor no va a girar más rápido en condiciones de operación típica, 500 rpm será la velocidad máxima del rodillo, adicional se elige un coeficiente de variación de 0.1 tal como se recomienda en la Tabla 11.

$$\text{Variables} \Rightarrow C_f = 0.1 \quad \omega_{max} = 500rpm \quad \omega_{min} = ? \quad \omega_m = ?$$

$$\text{Sistema de ecuaciones} = \begin{cases} 0.1 * \omega_m = 500rpm - \omega_{min} \\ 2 * \omega_m = \omega_{min} + 500rpm \end{cases}$$

Usando un solve de sistemas de ecuaciones, como wólfram Alpha ingresando “solve 0.2x=500-y, 2x=y+500”, se obtiene:

$$\text{Variables} \Rightarrow C_f = 0.1 \quad \omega_{max} = 500rpm \quad \omega_{min} = 410rpm \quad \omega_m = 454rpm \\ \approx 47.5rad/s$$

4.2.2 Cálculo de inercia del volante: Para el cálculo del volante se requiere la energía máxima, el coeficiente de fluctuación y la velocidad angular media que ya fueron calculadas.

$$I_{volante} = I_v = \frac{E_{max}}{C_f * (\omega_m)^2} = \frac{188.4J}{0.2 * \left(\frac{47.5rad}{s}\right)^2} \approx 0.41 kg * m^2$$

4.2.3 Diseño del volante: Basado en el resultado anterior de inercia $I_{volante} = 0.41kg * m^2$ se procede a diseñar un volante de forma estándar, es decir un cilindro hueco de pared gruesa o anillo, para el cual se usarán las ecuaciones.

Ilustración 13. Geometría típica de volante de inercia



Fuente: Enciclopedia Británica [En línea]. [Consultado 16 de Noviembre de 2018]. Disponible en: <https://cdn.britannica.com/s:300x300/09/609-004-30713ABA.jpg>

$$I_{volante} = \left(\frac{2 * \pi * h * \rho}{4}\right) * (R_{mayor}^4 - R_{menor}^4)$$

h : profundidad del anillo

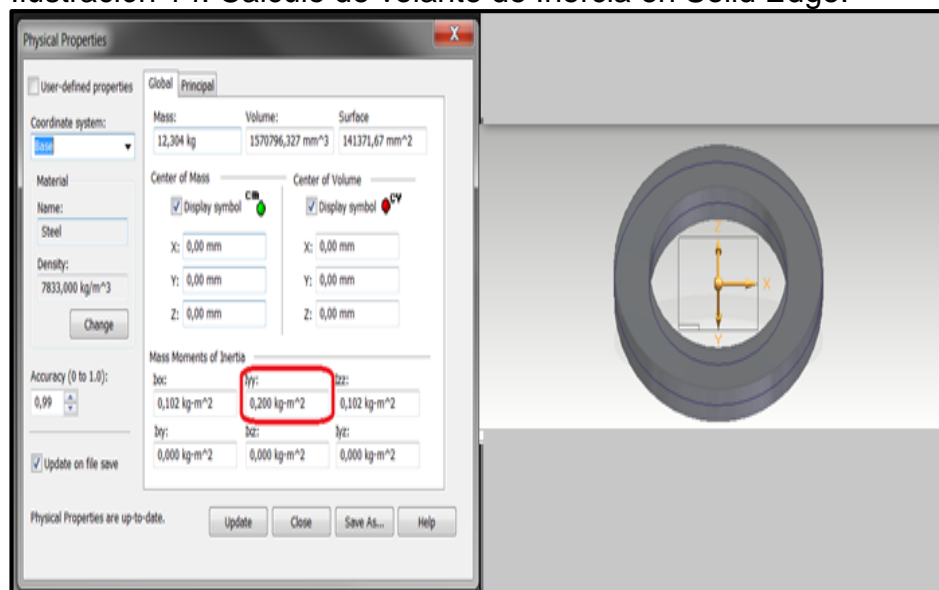
ρ : densidad del material

Puesto que se tienen 3 variables que ajustar R_{mayor} , R_{menor} y h se decide llegar a los valores finales de forma iterativa, de la siguiente forma, primero se hace una aproximación con la ecuación de inercia de un cilindro hueco¹³. Luego se procede a compararla con el software de CAD (en este caso Solid Edge), al estar confirmada la coincidencia entre ambas se procede a iterar entre las dimensiones en el CAD hasta obtener el valor de momento de inercia de masa que se requiere y unas dimensiones ajustadas al diseño.

¹³ Hyperphysics ,Momento de inercia de cilindro hueco [Consultado 15 de enero de 2019]Disponible en :<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/solido/minercia.html>

$$\begin{aligned}
 I_{volante} &= \frac{1}{2} * m = \frac{1}{2} * \left(2\pi * h * (R_{mayor}^2 - R_{menor}^2) \right) * \rho * ((R_{mayor}^2 - R_{menor}^2)) \\
 &= \left(\frac{2 * \pi * h * \rho}{4} \right) * (R_{mayor}^4 - R_{menor}^4) \\
 &= \left(\frac{2 * \pi * 0.04m * \frac{7833kg}{m^3}}{4} \right) * ((0.15m)^4 - (0.1m)^4) \\
 I_{volante} &= (492.16m^{-2}.kg) * 4.062 * 10^{-4}m^4 = 0.2 kg.m^2
 \end{aligned}$$

Ilustración 14. Calculo de volante de Inercia en Solid Edge.



Fuente: elaboración propia

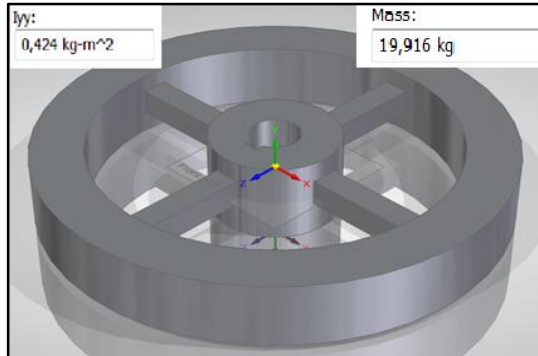
Luego de varias iteraciones se llega al diseño de detalle con dimensiones razonables.

$$D_{mayor} = 360mm, D_{menor} = 280 \text{ y } h = 50mm$$

$$I_{volante} = 0.41 kg.m^2$$

Y adicionando el cuerpo interior y la manzana para el eje se obtiene el siguiente volante con un $I_{volante} = 0.424 kg.m^2$ solo un poco mayor por los radios y la manzana con una $M_{volante} = 19.9kg$

Ilustración 15. Volante de inercia diseño detallado



Fuente: elaboración propia

4.3 SELECCIÓN DEL MOTOR

Este elemento es el encargado de transformar algún tipo de energía en energía mecánica y de esta forma poder mover el eje o rodillo a través del sistema de transmisión, la relación entre la potencia (P), la velocidad de giro (W) y el par de torsión en un eje se describe con la ecuación;

$$T = \frac{P}{W}$$

4.3.1 Cálculo de la potencia del motor. Para el cálculo de la potencia del motor se tiene $w = 500 \text{ rpm}$ y $T_m = 40 \text{ N.m}$, así mismo se debe tener en cuenta la ecuación mencionada anteriormente,

$$P_{motor} = P = W * T = \frac{500 \text{ rpm} * 2 * \pi}{60 \text{ s}} * 40 \text{ N.m} = 7.93 \text{ rps} * 2 * \pi * 40 \text{ N.m}$$

$$P_{motor} = 2000 \text{ w}$$

Hay que tener en cuenta que estos poseen un factor de servicio que es suministrado por el fabricante y que para un motor trifásico jaula ardilla alta eficiencia totalmente cerrado, de uso general es de F.S: 1.15, con lo que finalmente optemos una potencia de;

$$P_m = 2000 \text{ w} * 1.15 = 2300 \text{ w} = 3.08 \text{ HP}$$

A continuación se realiza una búsqueda en el catálogo de siemens con la potencia calculada, con una velocidad de 1800 rpm que es lo que manejan normalmente los motores, obteniendo así la siguiente referencia 1LA01824FE21

Tabla 12. Motores siemens jaula de ardilla

Totalmente cerrados con ventilación exterior Montaje: horizontal (F1) Aislamiento clase F Diseño NEMA B según norma MG-1 33°C temperatura ambiente a una altitud de 2300 msnm 40°C temperatura ambiente a una altitud de 1000 msnm				Motores a prueba de explosión para atmósferas de División 1, Clase 1, Grupo D - Clase 2. Grupos F&G Para otra clasificación, favor de consultarnos. Factor de servicio: 1.0 Motores RGZESD 1.15 Motores RGZE y RGZESD 1.25 Motores RGZE y RGZESD Armazones 143T a 256T en 2 y 4 polos		
Descripción				Modelo		
Potencia en HP	Velocidad en RPM	Tensión a 60 Hz en Volts	Tamaño Armazón NEMA	RGZE Uso general Catálogo Spiridon	RGZESD Uso pesado Catálogo Spiridon	RGZESD A prueba de explosión Catálogo Spiridon
0.5	900	230/460	143T	1LA01438FP21	No disponible	No disponible
0.75	1800	230/460	143T	1LA01434FE21	*	1MJ01434XE21
	1200	230/460	143T	1LA01436FE21	*	1MJ01436XE21
	900	230/460	145T	1LA01458FE21	*	No disponible
1	3600	230/460	143T	1LA01432FE21	A7B10000020167	1MJ01432XE21
	1800	230/460	143T	1LA01444FE21	A7B10000020169	1MJ01444XE21
	1200	230/460	145T	1LA01456FE21	A7B10000014868	1MJ01456XE21
	900	230/460	182T	1LA01828FE21	A7B10000020180	1MJ01828XE21
1.5	3600	230/460	143T	1LA01442FE21	A7B10000020181	1MJ01442XE21
	1800	230/460	145T	1LA01454FE21	A7B10000020182	1MJ01454XE21
	1200	230/460	182T	1LA01826FE21	A7B10000020184	1MJ01826XE21
	900	230/460	184T	1LA01848FE21	A7B10000020185	1MJ01848XE21
2	3600	230/460	145T	1LA01452FE21	A7B10000020186	1MJ01452XE21
	1800	230/460	145T	1LA01464FE21	A7B10000020187	1MJ01464XE21
	1200	230/460	184T	1LA01846FE21	A7B10000020188	1MJ01846XE21
	900	230/460	213T	1LA02138FE21	A7B10000020189	1MJ02138XE21
3	3600	230/460	182T	1LA01822FE21	A7B10000014829	1MJ01822XE21
	1800	230/460	182T	1LA01824FE21	A7B10000014845	1MJ01824XE21
	1200	230/460	213T	1LA02136FE21	A7B10000014869	1MJ02136XE21
	900	230/460	215T	1LA02158FE21	A7B10000020190	1MJ02158XE21
5	3600	230/460	184T	1LA01842FE21	A7B10000014850	1MJ01842XE21
	1800	230/460	184T	1LA01844FE21	A7B10000014846	1MJ01844XE21
	1200	230/460	215T	1LA02156FE21	A7B10000014890	1MJ02156XE21
	900	230/460	254T	1LA02548FE21	A7B10000020191	1MJ02548XE21

Fuente. CATALOGO MOTORES SIEMENS [Sitio web] Colombia: selección de motores. [consulta 20 enero 2019]. Disponible en :http://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/6825/mod_resource/content/1/Motores%20NNM.pdf

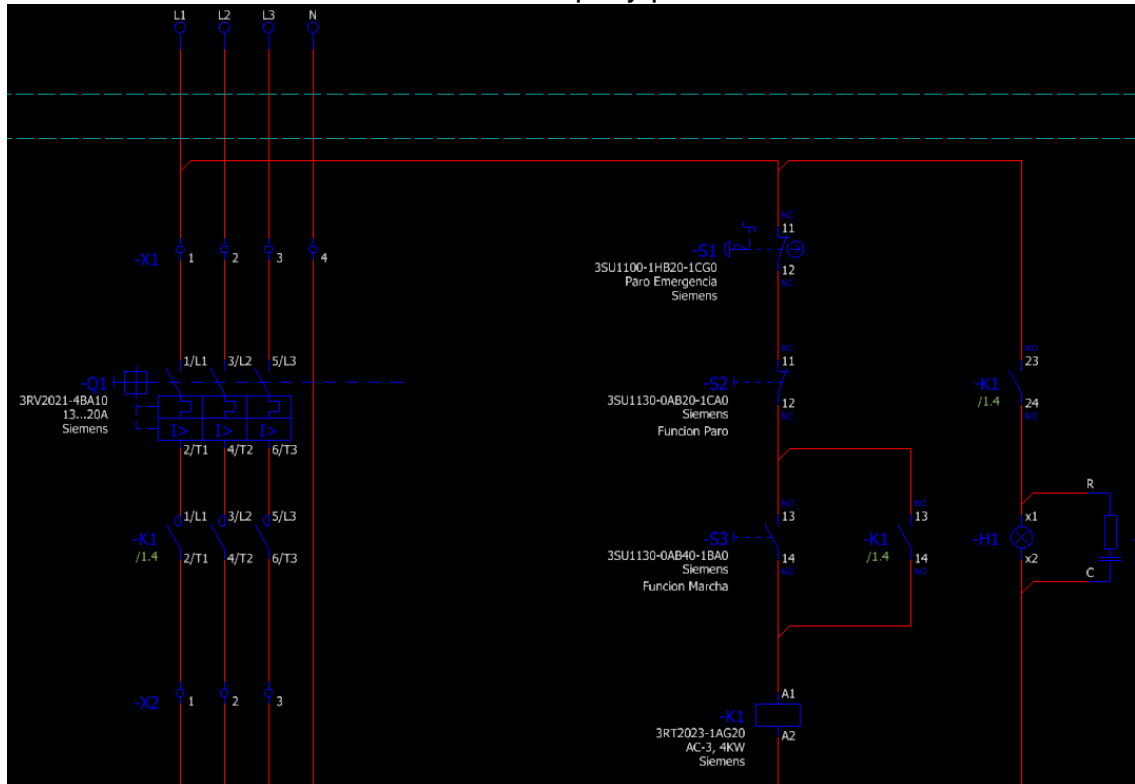
Imagen 5. Motor Siemens 1LA01824FE21 3kW



Fuente. CATALOGO MOTORES SIEMENS [Sitio web]. Colombia: selección de motores [consulta 20 enero 2019] Disponible en :http://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/6825/mod_resource/content/1/Motores%20NNM.pdf

Se debe realizar el sistema de control de arranque y protección del motor debido a que este sufrirá de daños debido a algún sobrecalentamiento que se genere por algún material adicional al PET, el plano para un motor de 3 hp es el siguiente, en el anexo B se podrá observar el plano completamente.

Ilustración. Sistema de control de arranque y protección motor de 3 HP



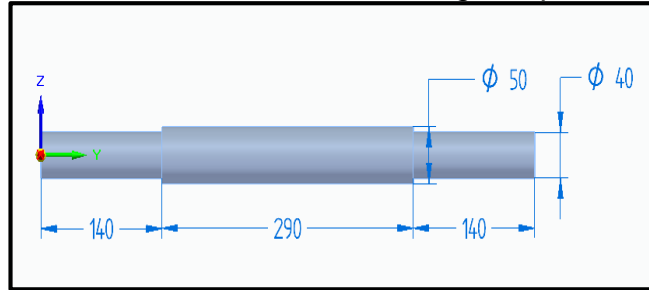
Fuente: elaboración propia

4.4 DISEÑO DEL EJE:

El diseño del eje para esta máquina debe considerarse las fuerzas de trabajo que soportará, las posiciones de las mismas, la condición de impacto constante y fatiga. Para la realización del eje se usará un asistente de diseño y cálculo de ejes, como la *Referencia de Ingeniería* de Solid Edge (Engineering Reference), las cuales incluyen un diseñador de ejes.

Como dimensiones base se usarán las siguientes, teniendo en cuenta el largo del rodillo de cuchillas de 280mm y teniendo en cuenta que la estructura del rodillo se arma soldada sobre el eje; Por lo anterior se decide ser muy holgado en las dimensiones del eje en cuanto espesor, pues las múltiples soldaduras deforman el acero, causando desalineamientos entre los extremos, lo cual no es deseable. También se prefiere usar un acero fácil de soldar y maquinarse como lo es un 1020 ó 1040. Así se asignan las siguientes dimensiones para el eje

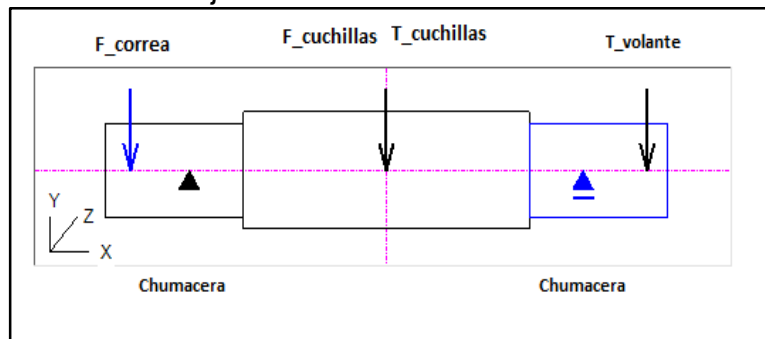
Ilustración 16. Dimensiones elegidas para el eje



Fuente: elaboración propia

Con estas dimensiones básicas se dispusieron las fuerzas a las que está sometido el eje.

Ilustración 17. Fuerzas y torques a los que está sometido el eje



Fuente: elaboración propia

Las magnitudes y cálculos de los elementos presentes en la Ilustración 17 son:

$$F_{correa} = \frac{T_{promedio}}{R_{Polea_{mayor}}} = \frac{40N.m}{5in} = \frac{40N.m}{0.127m}$$

$\approx 314N$ Con un Diámetro de polea de 10 pulgadas

$$F_{cuchillas} = F_{corte} = 160 N.m$$

Según el cálculo de fuerza de corte de la sección anterior,

$$T_{cuchillas} = T_{corte}$$

Según lo calculado en la sección anterior,

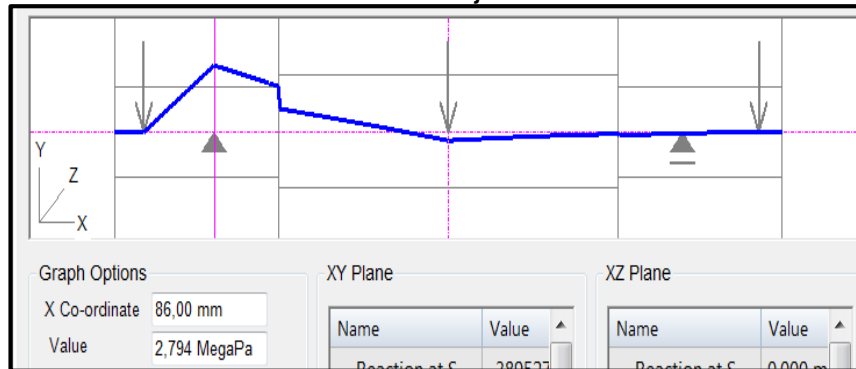
$$T_{volante} = -T_{cuchillas}$$

Es el torque igual en magnitud y opuesto al corte

4.4.1 Resultados diseñador de ejes. A continuación se muestran los resultados de los esfuerzos que actúan en el estos se obtuvieron del software de Solid Edge

4.4.1.1 Esfuerzo flector

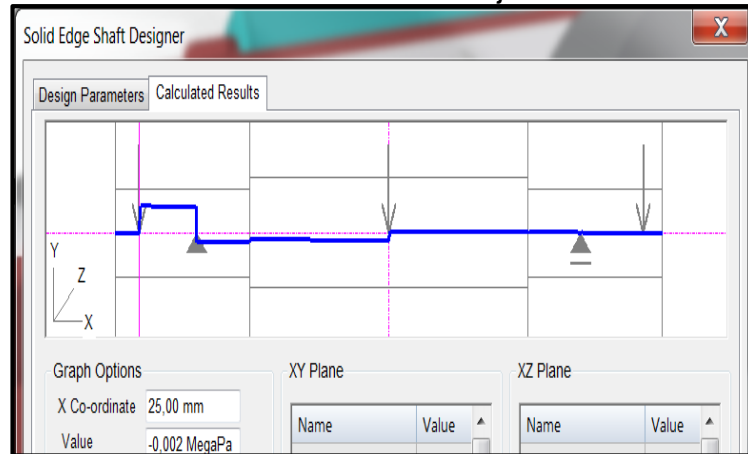
Ilustración 18. Esfuerzo flector eje



Fuente: elaboración propia

Se tiene como resultado máximo **2.794MPa**

Ilustración 19. Esfuerzo cortante eje

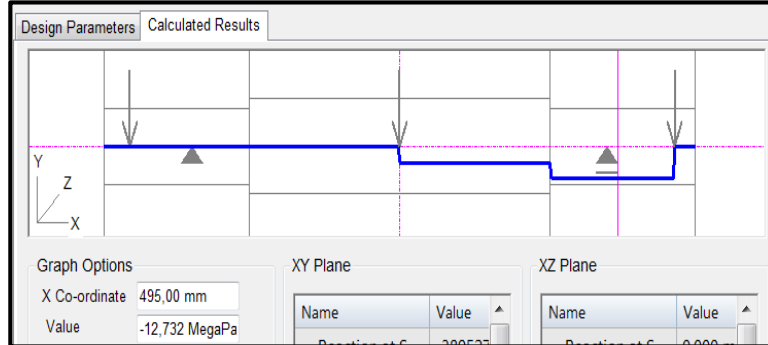


Fuente: elaboración propia

Se tiene como resultado máximo **0.002MPa**

4.4.1.2 Esfuerzo torsional. En la siguiente ilustración se puede observar el comportamiento al que estará sometido el eje debido al esfuerzo de torsión que se presenta.

Ilustración 20. Esfuerzo de torsión

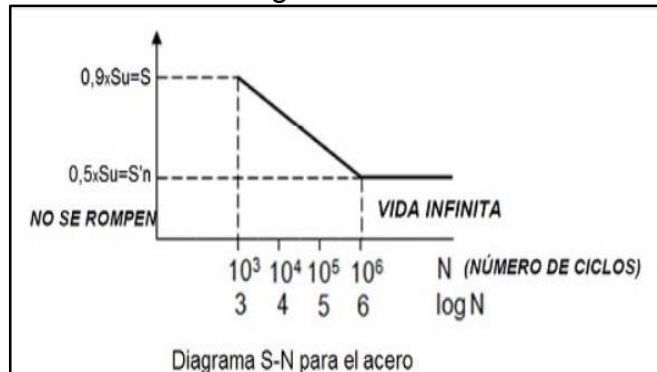


Fuente: elaboración propia

Se tiene como resultado máximo -12.732 MPa

Observando los resultados del diseñador de ejes , se tiene que el máximo es el esfuerzo generado por la torsión el cual es de 12.732 MPa ,que no es relevante respecto al esfuerzo de un acero típico como el 1045¹⁴ ,el cual maneja un esfuerzo de fluencia de 379 MPa en el peor caso

Ilustración 21. Diagrama SN del acero



Fuente: Hermegildo ,Rodríguez Galbarro, Resistencia Mecánica a Fatiga [sitio web]. Diagrama SN del acero [consulta 25 enero 2019] Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>

Por ende queda validado el diseño del eje según el diagrama SN, tiene vida infinita ya que se el esfuerzo máximo al que está sometido (12 MPa) es inferior al 50% del esfuerzo ultimo del acero 1040 (650 MPa) lo cual implica que no se romperá bajo las

¹⁴CIA GENERAL DE ACEROS S.A. .SAE 1020 y SAE 1045: propiedades de los aceros [en línea]. [Consultado el 26 de enero del 2019]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>,

condiciones de trabajo a las que será sometido, además de poder soportar los esfuerzos residuales adicionales dejados por las soldaduras que se le aplicaran sin necesidad de tratamiento térmico posterior, que pueden superar los 200MPa¹⁵

4.4.2 Selección de cuña: Se realiza la selección de la cuña por medio de la siguiente tabla conociendo el diámetro del eje

Tabla 12. Tamaño de cuña según diámetro de eje

Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, W	Altura, H	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 1/8	1/4	1/4	3/16
1 1/8	1 1/4	5/16	5/16	1/4
1 1/4	1 1/2	3/8	3/8	1/4
1 1/2	2 1/4	1/2	1/2	3/8
2 1/4	2 1/2	5/8	5/8	7/16
2 1/2	3 1/4	3/4	3/4	1/2
3 1/4	3 1/2	7/8	7/8	5/8
3 1/2	4 1/2	1	1	3/4
4 1/2	5 1/2	1 1/4	1 1/4	7/8
5 1/2	6 1/2	1 1/2	1 1/2	1

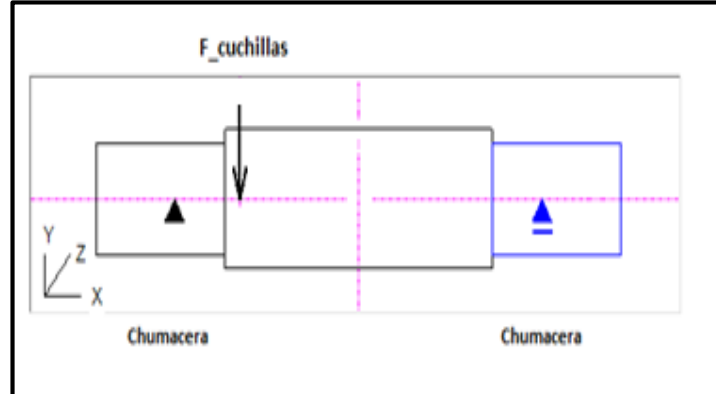
Fuente: Diseño de cuñas, pág. 1 [En línea]. [Consultado 16 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/1802/2016-Anexo%209-Dise%C3%B1o%20de%20cu%C3%B1as.pdf?sequence=9&isAllowed=y>

La cuña elegida se selecciona según dimensiones recomendadas, según la Tabla 12 para un eje de 40mm, corresponde una cuña cuadrada de 3/8" (9.5mm) con profundidad de 1/8 en el cuñero del eje.

4.4.3 Selección de chumaceras: Para la selección de chumaceras es importante saber la carga máxima a la cual son sometidas y su tipo, en esta situación se usará la máxima condición de carga, el caso donde la tensión de la correa en la polea no contrarresta la de las cuchillas, para dicha situación se aplica solo la fuerza de corte de las cuchillas $F_{corte} = 1600N$

¹⁵ ALVARES , ALDO , Determinación de esfuerzos residuales generados por la soldadura GMAW en placas de acero 1018ed .Pag 8 [En línea]. Disponible en: <http://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/viewFile/673/866> [citado el 22 de Noviembre del 2018].

Ilustración 22. Fuerza sobre chumaceras



Fuente: elaboración propia

Basado en lo anterior se puede aproximar que una sola chumacera sostendría la carga total del corte, es decir 1600N, valor que se usará para la validación.

Puesto que se eligieron en los extremos del eje diámetros de 40mm, se buscará una chumacera de 4 puntos de sujeción compatible. Para lo anterior se buscará una referencia comercial, por lo cual conviene tomar como primera referencia la marca referente en rodamientos y similares SKF. Así se encuentra como compatible la referencia FYJ 40 TF con las siguientes especificaciones correspondientes a su rodamiento interior YAR 208-2F.

Tabla 134. Características Chumacera SKF FYJ 40 TF con rodamiento YAR 208-2F

Calculation data			
Basic dynamic load rating	C	30.7	kN
Basic static load rating	C ₀	19	kN
Fatigue load limit	P _u	0.8	kN
Limiting speed		4800	r/min
(with shaft tolerance h6)			

Fuente: Rodamiento YAR 208-2F[En línea]. [Consultado 28 de octubre de 2018]. Disponible en <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/insert-bearings/insert-bearings/index.html?designation=YAR%20208-2F>

Para los cálculos se tomara como referencia las ecuaciones de carga vida de los rodamientos.

Para la elección se tiene en cuenta la ecuación básica de carga-vida de los rodamientos

$$F * L^{\frac{1}{\alpha}} = constante$$

$$a = 3 \text{ en rodamientos de bolas}$$

Donde F es la carga constante del rodamiento y L la vida del mismo
Luego de modificarse para poder usar las especificaciones típicas del fabricante la ecuación se convierte en

Ilustración 23. Ecuación de vida del rodamiento

$$C_{10}(L_R n_R 60)^{1/a} = F_D (L_D n_D 60)^{1/a}$$

clasificación de catálogo, lbf o kN
 vida nominal en horas
 velocidad nominal, rpm
 velocidad deseada, rpm
 vida deseada, horas
 carga radial deseada, lbf o kN

Despejando para C_{10} , se tiene

$$C_{10} = F_D \left(\frac{L_D n_D 60}{L_R n_R 60} \right)^{1/a} \quad (11-3)$$

Fuente: Shigley . Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed , Ecuacion 11.3

Donde,

$$C_{10} = \text{Carga dinamica}$$

También se tienen que saber las horas de trabajo típicas, en este caso se elegirán 14000 horas de servicio pues la maquina no estaría triturando ininterrumpidamente mientras se le adiciona material según la tabla 3

Tabla 145. Vida rodamiento recomendada según diferentes aplicaciones

Tabla 11-4	Tipo de aplicación	Vida, kh
Recomendaciones de vida de cojinetes para varias clases de maquina	Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan completamente	14-20
	Máquinas para servicio de 8 h, que se utilizan plenamente	20-30

Fuente: Shigley . Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed , fragmento Tabla 11-4

Y un factor de carga para las condiciones actuales se elige un factor de aplicación de carga $k_{ac} = 1.5 + 0.5$, ya que la máquina tiene impactos moderados y además está expuesta a un ambiente moderadamente contaminante, similar a los cojinetes con sellos deficientes

Tabla 156. Factor de carga según aplicación

Tabla 11-5 Factores de aplicación de carga	Tipo de aplicación	Factor de carga
	Aplicaciones con sellos deficientes en los cojinetes	1.2
	Maquinaria con impactos ligeros	1.2-1.5
	Maquinaria con impactos moderados	1.5-3.0

Fuente: Shigley . Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed , fragmento Tabla 11-5

Se procede a calcular la Carga dinámica básica necesaria,

$$C_{10} = F_D \left(\frac{\text{Vida revoluciones deseada}}{\text{Vida nominal del fabricante}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = F_D \left(\frac{L_D * n_D * 60}{L_R * n_R * 60} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \text{ donde,}$$

$$L_D * n_D * 60 = 14000 \text{ horas} * 500 \text{ rpm} * 60 \text{ min} = 4,2 * 10^8 \text{ revoluciones}$$

$$L_R * n_R * 60 = 10^6 \text{ revoluciones} : \text{ Para SKF su vida de referencia es } 10^6 \text{ horas}$$

$$F_D = F_{\text{corte}} * k_{ac} = 1600 \text{ N} * 2 = 3200 \text{ N}$$

$$\text{asi } \Rightarrow \text{ Carga Dinamica} = C_{10} = 3200 \text{ N} \left(\frac{4,2 * 10^8 \text{ rev}}{10^6 \text{ rev}} \right)^{\frac{1}{3}} = 3200 \text{ N} (420)^{\frac{1}{3}} =$$

$$23964 \text{ N} \approx 24 \text{ kN}$$

En ese orden la *Carga Dinamica del rodamiento* = $C_{\text{YAR 208-2F}} = 30.7 \text{ kN}$ es mayor a 24 kN , por lo cual hace valido el rodamiento YAR 208 – 2F que supera en un 30% la carga dinámica requerida.

Adicional a lo anterior se encuentra que el elemento que restringe el tamaño a un diámetro menor en el eje, es claramente el rodamiento ante las condiciones de operación, lo cual enseña valida las dimensiones de diámetro del eje tal como se había elegido, a pesar de que mecánicamente el eje no tenga esfuerzos mecánicos significativos.

4.5 SELECCIÓN DE TRANSMISIÓN, ESPECIFICACIONES DE CORREAS EN V

Para el sistema de transmisión se utilizarán bandas tipo V debido a que presentan menos ruido que las transmisiones con cadena, no requieren de lubricación y existe un aislamiento eléctrico debido a que no hay contacto de metal tanto en los equipos motrices como impulsados.

Se tomó como método de referencia el método de cálculo del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 9na Ed Sección 17.3¹⁶

Para empezar el primer cálculo se realiza la relación de transmisión,

$$i = \frac{V_{conductor}}{V_{conducido}} = \frac{1800rpm}{500rpm} = 3,6$$

Lo primero que se hace es calcular la potencia de diseño H_d , que es la que requiere el rodillo, como se muestra en la siguiente ecuación;

$$H_d = H_{nom} K_s n_d$$

Tabla 167. Factores de Servicio K_s para bandas en V

Factores de servicio sugeridos K_s para transmisiones de banda en V	Fuente de potencia		
	Maquinaria impulsada	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8	1.5 a 1.8

Fuente: Shigley. Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed, Tabla 17-19

Donde H_{nom} = potencia del rodillo
 K_s = factor de servicio
 n_d = factor de diseño

Donde $H_{nom} = 2000W = 2.7hp$,
 $n_d = 1$, valor usado en los ejemplos del texto

$K_s = 1.2$ segun la tabla , pues los impactos estan suavizados por el volante
 $H_d = 2.7hp * 1.2 * 1 = 3.24hp$

Luego se requiere calcular la potencia de la correa H_a con la siguiente ecuación

¹⁶ Fuente: Shigley . Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed

Ilustración 24. Ecuación de potencia de correa corregida

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab} \quad (17-17)$$

donde H_a = potencia permitida, por banda, tabla 17-12
 K_1 = factor de corrección del ángulo de cobertura, tabla 17-13
 K_2 = factor de corrección de longitud de la banda, tabla 17-14

Fuente: Shigley. Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9^{na} Ed, ecuación 17-17

Para lo cual necesitan determinar el tipo de correa que conviene usar y los factores K_1 y K_2 que se obtienen a continuación

4.5.1 Selección de transmisión con correas. Como se observa en la

Tabla 17 se tienen muchas referencias y potencias, en este caso se sabe que tenemos un requerimiento de potencia $H_a = 3.24 \text{ hp}$, por ende es necesario estimar el tipo de correa y la mínima polea posible del sistema, en este caso para tener dimensiones reducidas la selección se reduce a correas tipo A y B que tienen los más pequeños diámetros de polea admisibles, luego de esto se procede a un proceso iterativo, en este caso se hicieron las siguientes iteraciones,

- Polea menor 5", mayor 17.5", 2 correas => Dimensiones excesivas para el montaje.
- Polea menor 4.2", mayor 15", 3 correas => Dimensiones un poco menores, demasiadas correas.

- Polea menor 4.2” , mayor 15” , 2 correas => Dimensiones similares ,poleas más delgadas, menos correas y más económicas.

Tabla 178. Potencias nominales de bandas en V estándar

Potencias nominales de bandas en V estándar	Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min					
			1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	
A	2.6	3.0	0.47	0.62	0.53	0.15		
		3.4	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38	
		3.8	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12	
		4.2	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71	
		4.6	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19	
		5.0 y mayor	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58	
	B	4.2	4.6	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
			5.0	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
			5.4	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
			5.8	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
			6.2	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
7.0 y mayor	4.2	6.2	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45	
		6.6	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00	
		7.0 y mayor	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48	
			2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	

Fuente: Shigley. Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed, Tabla 17-12

La última iteración será la que se demuestre aquí:

Al hacer la selección de la polea menor se busca una que sea pequeña, pero que pueda manejar en este caso al menos la mitad de potencia de diseño $H_d = 3.24hp$, se elige una tipo A de 4.2”

$$V_{correa} = D_{polea} * \pi * rpm_{motor} = \frac{4.2''}{rev} * \pi * \frac{1800rev}{min} = \frac{28274''}{min} * \frac{1 pie}{12''} = 1979 \frac{pies}{min} \approx 2000 \frac{pies}{min}$$

Con este valor de la tabla se tiene que $H_{tab} \approx 1.74hp$

A su vez si tomamos la polea de 4.2" y la multiplicamos por la reducción $i = 3,5$ tenemos que la segunda polea debe medir 14.7" de diámetro. Luego se estimara de forma muy sencilla un valor aproximado para el largo de la correa ($C_{correa_{simple}}$) suponiendo que la polea pequeña queda separada de la grande el diámetro de la grande

$$C_{correa_{simple}} = \frac{1}{2} \text{Perimetro polea pequeña} + \frac{1}{2} \text{Perimetro polea grande} + 2 \text{ diametro polea grande}$$

$$C_{correa_{simple}} = \left(\frac{4.2'' * \pi}{2} \right) + \left(\frac{14.7'' * \pi}{2} \right) + 14.7'' * 2 = 60''$$

Nota: Lo anterior es una cuenta muy gruesa de la longitud de la correa, pero mucho más simple que la usada de manera típica y más fácil de volver a calcular en caso de haber hecho una selección inicial incorrecta de correa.

Cálculo de K_1

Tabla 189. Factor de corrección de transmisiones de banda

Factor de corrección del ángulo de contacto K_1 para transmisiones de banda plana VV* y en V	$\frac{D-d}{C}$	θ , grados	VV	K_1
	0.00	180	1.00	
	0.10	174.3	0.99	
	0.20	166.5	0.97	
	0.30	162.7	0.96	
	0.40	156.9	0.94	
	0.50	151.0	0.93	
	0.60	145.1	0.91	
	0.70	139.0	0.89	
	0.80	132.8	0.87	
	0.90	126.5	0.85	
	1.00	120.0	0.82	
	1.10	113.3	0.80	
	1.20	106.3	0.77	
	1.30	98.9	0.73	
	1.40	91.1	0.70	
	1.50	82.8	0.65	

*Un ajuste de curva de la columna VV en términos de θ es $K_1 = 0.143 543 + 0.007 46 8 \theta - 0.000 015 052 \theta^2$ en el intervalo de $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.

Fuente: Shigley. Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed, Tabla 17-19

Se calcula $\frac{D-d}{C} = \frac{14.7''-4.2''}{60''} = 0.175$ por lo cual según la

Tabla 18 $K_1 \approx 0.98$

Cálculo de K_2

Tabla 20. Factor de corrección de longitud de banda

Factor de corrección de longitud de banda K_2^*	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

*Multiplique la potencia nominal de la banda por este factor para conseguir la potencia corregida.

Fuente: Shigley. Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed, Tabla 17-14

Para una banda tipo A y una longitud de 60" se tiene que $K_2 = 1$

Cálculo de potencia permitida por banda H_a

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab} = 0.98 * 1 * 1.74hp = 1.7 h$$

Cálculo de cantidad de correas

Tabla 21. Calculo de número de correas

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a} \quad N_b = 1, 2, 3, \dots \quad (17-20)$$

Fuente: Shigley. Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed, Tabla 17-20

$$\text{Numero de bandas} = \frac{H_d}{H_a} = \frac{3.24hp}{1.7 hp} = 1.9 \Rightarrow 2, \text{ se redondea a 2 bandas}$$

La vida útil de las bandas tal como se indica en la primera parte de la sección del Shigley Sección 17.3 , las potencias nominales corresponden típicamente a una vida útil de 24000¹⁷ horas o 10⁸ pasadas de banda, por lo cual se toman las 24000 horas como la vida esperada de la correa, que equivalen a

¹⁷ Fuente: Shigley . Joseph Edward .Diseño en Ingeniería Mecánica, 9na Ed, Introduccion Seccion 17.3

$$\begin{aligned}
 Vida_correa &= 24000horas * \frac{1dia}{24horas} * \frac{1 semana}{5 dias laborales} * \frac{1año}{52 semanas} \\
 &= 3.84años \approx \mathbf{4años}
 \end{aligned}$$

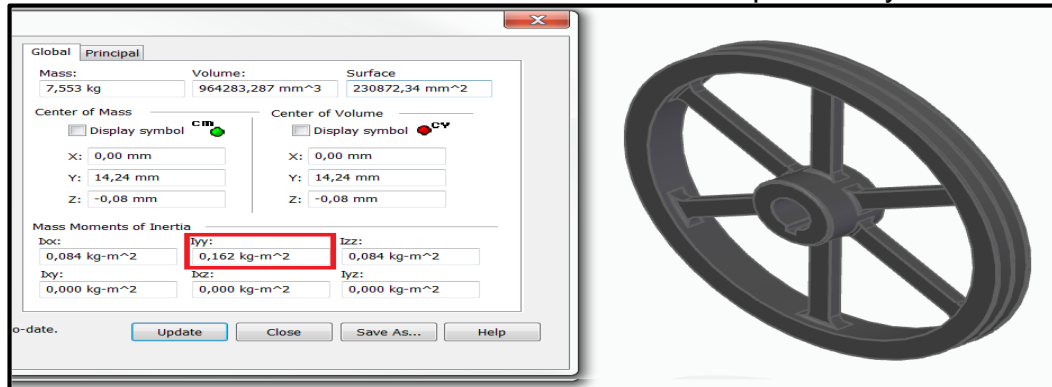
Finalmente estos son los valores de diseño calculados

$$\begin{aligned}
 Vida_{correas}: & 4 años \parallel Correa: doble En V , Tipo A \parallel D_{polea_{menor}} \\
 & = 4.2 \parallel D_{polea mayor}=15 \parallel Correa de 60" de largo
 \end{aligned}$$

El material para las poleas será de fundición gris debido a que posee una alta resistencia al desgaste y es de fácil maquinado.

En la polea mayor después de calcular su momento de inercia con el simulador de Solid Edge se obtiene un momento de inercia de masa $I_{polea mayor} = 0.162kg.m^2$, lo anterior hace que funcione como un segundo volante que reducirá aún más la variación de velocidad del rodillo y aumentara vida útil del motor y las correas. Este adicional será tomado como un factor de servicio del volante de inercia.

Ilustración 27. Calculo de momento de inercia de la polea mayor en hierro



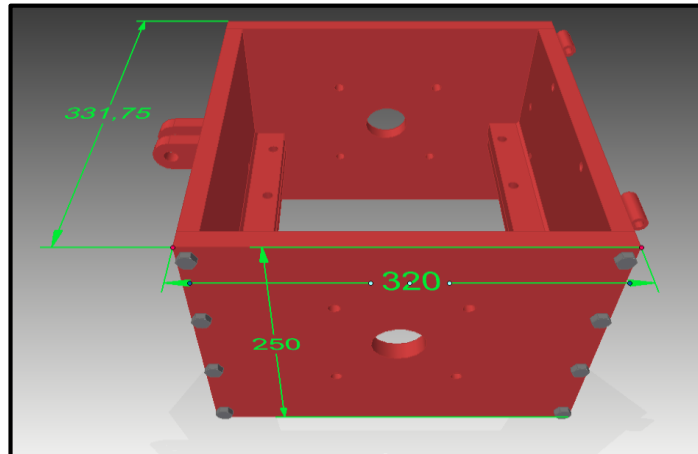
Fuente: elaboración propia

4.6 CARCASA.

La carcasa será ensamblada, para ser fácil de desarmar; estará compuesta por múltiples placas con agujeros roscados en sus costados. Los diseños de las placas son de un acero A36 y estas tendrán que asegurar que no existan sujeciones por

dentro debido a que puede generar un choque dentro de la cámara de corte, pudiendo ocasionar daños irreversibles en el funcionamiento de la misma, con una placa de espesor de 16 mm se puede roscar para usar la placa como sujeción.

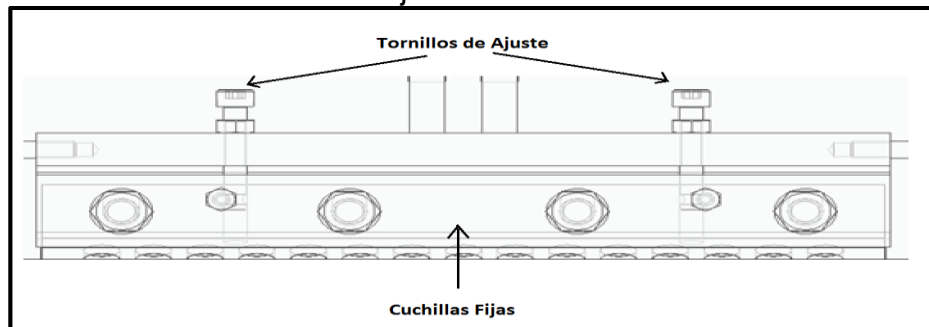
Ilustración 28. Diseño de carcasa de rodillo



Fuente: elaboración propia

Como se puede observar el diseño de la carcasa es muy simple ya que es en lo básico 4 tapas con roscados y agujeros tornillos. Los agujeros son roscados tipo M12 rosca fina. Respecto a la resistencia mecánica no es necesario hacer validaciones adicionales, ya que si el rodillo que maneja espesores similares en las láminas que lo componen (15.8mm), una estructura más grande y maciza será mucho más resistente, por lo cual se considera validado el diseño de la caja en cuanto propiedades mecánicas.

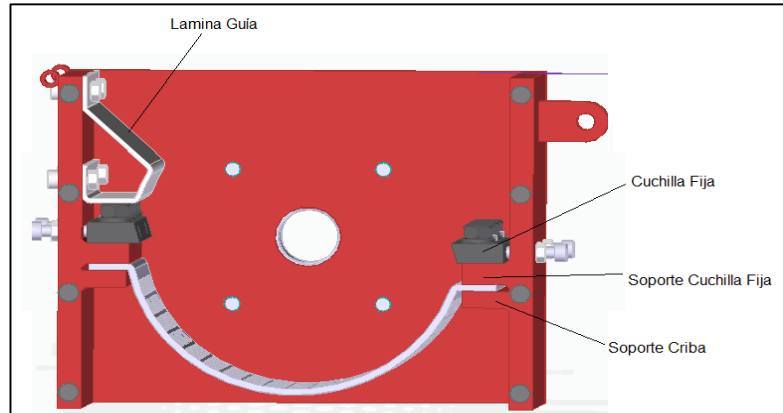
Ilustración 29. Sistema de ajuste de cuchillas



Fuente: elaboración propia

El sistema de ajuste de las cuchillas es muy sencillo, pues consiste en un par de tornillos externos que permiten el ajuste fino de la posición de la cuchilla y los tornillos internos que permiten la fijación de la cuchilla. Es importante notar que el sistema no permite una graduación mientras está funcionando la máquina, lo anterior por evitar colisiones directas entre las cuchillas,

Ilustración 30. Carcasa corte lateral

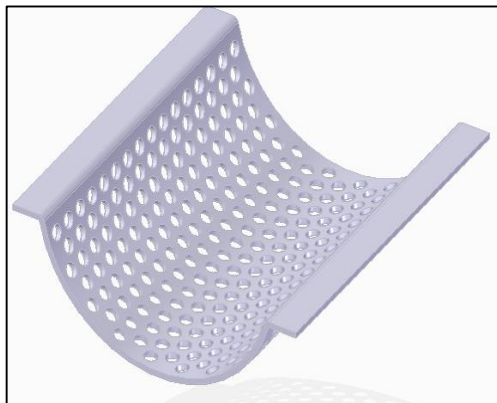


Fuente: elaboración propia

La carcasa cuenta también con una lámina la cual hará la función de guía para que la botella no entre en sentido contrario al giro del eje donde no podrá ser cortada con facilidad, como se muestra en la figura.

4.6.1 Criba: Este elemento es de vital importancia para la selección o clasificación del tamaño de grano para la reutilización en procesos, ya sea en botellas nuevamente o para otro tipo de aplicaciones, como se indicó anteriormente esta tendrá agujeros 12,5 mm, permitiendo así una constante alimentación del material. Sin embargo, es totalmente viable cambiarla por otra con diferente tamaño de ranura o incluso forma, para así poder obtener diferentes tamaños de trituración

Ilustración 31. Criba de filtrado

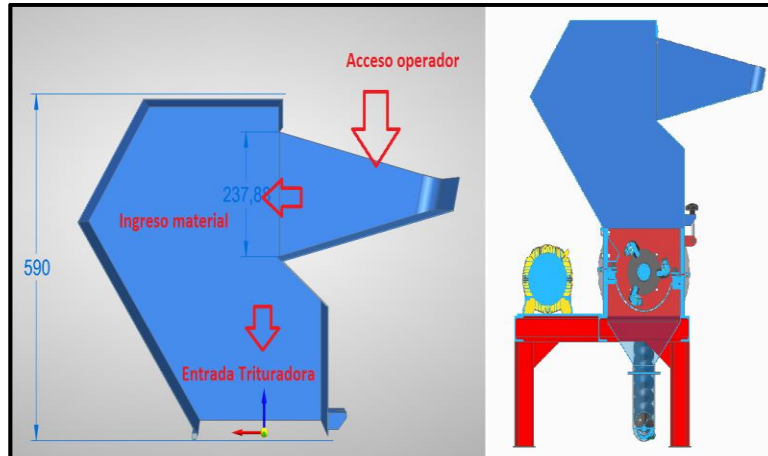


Fuente: elaboración propia

4.7 TOLVA

La tolva es un elemento fundamental para recoger el material y contenerlo en el molino hasta que sea procesado, adicional a lo anterior cumple una función de seguridad fundamental, está diseñado para evitar que puedan entrar las manos de un operario a su interior. En este caso se diseñó con una forma intrincada, que lo hace alto y a su vez tremendamente complicado alcanzar las cuchillas del molino en operación

Ilustración 252. Diseño de tolva de alimentación



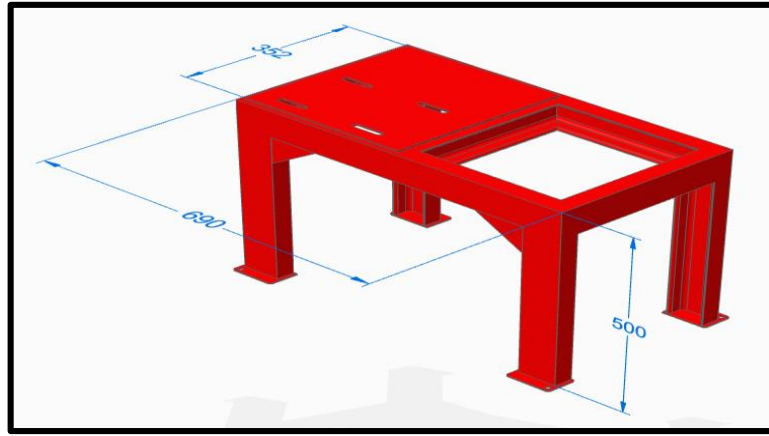
Fuente: elaboración propia

Bajo esa geometría mostrada se puede ver que para llegar a el rodillo de cuchillas se necesitaría montarse sobre la máquina para poder ingresarla totalidad del brazo y aun así no lo podría alcanzar.

4.8 ESTRUCTURA BASE

La estructura base se hace con perfil estructural de 3" más que suficiente para las necesidades ya que adiciona peso y es sumamente rígido, lo cual le da más solides a la estructura, adicionalmente por ser acero estructural A36 tiene como una de sus propiedades la fácil soldadura. Para el soporte del motor es una placa de 3/16" de espesor con las ranuras de tensión para fijar el motor

Ilustración 263. Estructura base



Fuente: Elaboración propia

4.9 SELECCIÓN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL

Luego de que el material es triturado llega al fondo de la máquina, lo cual requiere un elemento para recoger el material triturado, como solución simplificada puede ser un simple contenedor como una caja, sin embargo esto obliga a parar la máquina y a regar material mientras no está el contenedor. Por lo anterior se decide mejorar el diseño agregando un sistema de elevación de material que lo agregue a un contenedor de mayor volumen, como una caneca o a una mesa por ejemplo.

Como métodos de solución para material particulado se tiene dos típicos sistemas: Bandas transportadoras: son sistemas compuestos por un par de rodillos en cada extremo, una banda plana que los une, su respectiva estructura y un sistema motor. Como ventajas tienen que son muy silenciosas, de velocidad graduable, bajo mantenimiento y limpieza. En contra tiene que por ser un mecanismo de banda tiene que estar bien alineado, tener un sistema de tensión, también en este caso requieren cangilones para poder subir el material triturado.

Tornillo sin fin: Este sistema es muy utilizado para material segmentado o particulado, por ejemplo, en agricultura para mover granos. Como ventajas tienen su simplicidad de diseño, un único elemento móvil, dimensiones reducidas, fácil mantenimiento y construcción. Como desventajas tienen mayor desgaste si se usa con materiales abrasivos, limpieza no tan simple y fabricación del tornillo sin fin.

Tabla 19. Tabla comparativa sistema de elevación de material

	Tornillo sin fin	Banda transportadora
Dimensiones	Muy compacto	Compacto
Elementos móviles	Tornillo	Rodillos, banda y cangilones
Limpieza	Moderada	Fácil y rápida
Velocidad	Moderada	Moderada
Sistema Tensor	NO	SI
Peso	Bajo	Medio

Fuente: elaboración propia

Se realizó una tabla comparativa para elegir el mejor método, así se toma la decisión por el tornillo sin fin, enfocado en su bajo peso, número mínimo de partes móviles, no necesidad de calibraciones constantes o tensionado e igual capacidad de elevación que la banda


4.10. CÁLCULOS TORNILLO SIN FIN

El parámetro base para el diseño de un tornillo sin fin es el caudal de material que debe transportar y la altura a elevar, Para los cálculos se usara la guía de Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin¹⁸.

4.10.1 Definición del área del canalón: Este parámetro tiene que ser varias veces mayor al tamaño de partícula, para evitar que esta tenga que deformarse en el ducto y friccionar fuertemente con el mecanismo, cuando solo tiene que deslizarse, se considera que es prudente una aproximación de 5 veces, así se tiene que $D_{tornillo} = 5 * 12.5mm = 62.5mm$, que se redondea por encima a un tubo de 80mm que corresponde según la tabla a un tubo de 3” nominal

¹⁸ Hermegildo ,Rodríguez Galbarro, Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin [en línea]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html> [citado el 24 de noviembre del 2018]

Tabla 23. Tabla de espesores y diámetros típicos de tubería metálica



TUBERIA DE ACERO AL CARBONO
API 5L / ASTM A53 / A106
www.vemacero.com

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas In.	Milímetros mm.	(In.)	mm.	Pulgadas (In.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/ft	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	700	49	700	49
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	850	60	850	60
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	700	49	700	49
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	850	60	850	60
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	700	49	700	49
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	850	60	850	60
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	1200	84	1300	91
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	1800	127	1900	134
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	1200	84	1300	91
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	1800	127	1900	134
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	2300	162	2500	176
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	2500	176	2500	176
2-1/2	65	2.875	73	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	2500	176	2500	176
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	2500	176	2500	176
				0.375	9.52	-	160	-	-	2500	176	2500	176
				0.552	14.02	XXS	-	-	-	2500	176	2500	176
3	80	3.500	88.9	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	1290	91	1500	105
				0.156	3.96	-	-	5.57	8.29	1600	112	1870	131
				0.188	4.78	-	-	6.65	9.92	1930	136	2260	159
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	2220	156	2500	176
				0.250	6.35	-	-	8.68	12.93	2500	176	2500	176
				0.281	7.14	-	-	9.66	14.40	2500	176	2500	176
				0.300	7.62	XS	80	10.25	15.27	2500	176	2500	176

Fuente: Vemacero [En línea]. [Consultado 22 de Noviembre de 2018]. Disponible en: <https://www.vemacero.com/>

Tabla 204. Coeficiente de relleno del transportador según tipo de material.

Tipo de carga	Coeficiente de relleno, λ
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada y poco abrasiva	0,25
Ligera y poco abrasiva	0,32
Ligera y no abrasiva	0,4

Fuente. Hermegildo, Rodríguez Galbarro, Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin [en línea]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html> [citado el 24 de noviembre del 2018]

Definición del área del canalón

$$S = \lambda * \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{donde } \lambda: \text{al coeficiente de relleno}$$

$$S = 0.4 * \frac{\pi * (0.08)^2}{4} = 2 * 10^{-3} m^2$$

Determinación de la capacidad del sin fin

$$Q = 3600 \cdot s \cdot V \cdot \rho \cdot i$$

Donde:

Q es el flujo de material en $\frac{t}{h}$

S es el area de relleno

v es la velocidad del tornillo

ρ es la densidad del material en $\frac{t}{m^3}$

i es el coeficiente de disminucion de flujo segun inclinacion

Para calcular la densidad del material a falta de información puntual, se estima que la densidad del material triturado revisando los materiales triturados (crushed) vs los sólidos (solids) y se llega a que aproximadamente un material triturado tiene la mitad de densidad que el macizo

Tabla 21. Valores típicos de capacidad de tornillo en t/h.

TABLA Capacidad de transporte de un sin fin									
Ø del tornillo (mm)	160	200	250	315	400	500	630	800	
Paso de hélice (mm)	160	200	250	300	355	400	450	500	
Velocidad normal (r.p.m.)...	70	65	60	55	50	45	40	35	
Capacidad en horizontal al 100 % (m ³ /h)	14	26	45	78	130	217	342	525	

Fuente. Rodríguez Galbarro, Hermegildo, Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin [en línea]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html> [citado el 24 de noviembre del 2018]

Tabla 22. Coeficientes de inclinación de tornillos sin fin.

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
i	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente. Rodríguez Galbarro, Hermegildo, Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin [en línea]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html> [citado el 24 de noviembre del 2018]

Como referencia se tienen valores típicos de transporte de tornillos y los coeficientes de inclinación.

4.10.2 Cálculo de la capacidad del tornillo: La

Tabla 21 como referencia se puede estimar rápidamente la capacidad en metros cúbicos horizontales del tornillo de 80mm así.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad}_{80\text{mm}} &= \text{Capacidad}_{160\text{mm}} * \left(\frac{S_{160\text{mm}}}{S_{80\text{mm}}} \right) = C_{160} * \frac{\lambda * \frac{\pi * D_{80}^2}{4}}{\lambda * \frac{\pi * D_{160}^2}{4}} = \frac{D_{80}^2}{D_{160}^2} = \frac{80^2}{160^2} \\ &= C_{160} \frac{1}{4} = 14 \frac{m^2}{h} * \frac{1}{4} = 3.5 \frac{m^3}{h} \end{aligned}$$

Agregando el coeficiente de inclinación $i = .4$ *aprox para 30°* se tiene que $\text{Capacidad}_{80\text{mm}} = 3.5 \frac{m^3}{h} * .4 = 1.4 \frac{m^3}{h}$

Con estos valores aproximados solo falta saber la densidad del material triturado para saber si supera los requerimientos por hora de la trituradora

Tabla 23. Fragmento tabla densidades de materiales.

Material - powder, ore, solids, etc.	lbs/cu.ft	kg/cu.m.
Gypsum, solid	174	2787
Gypsum, broken	81	1290-1600
Gypsum, crushed	100	1602
Ice, solid	57	919
Ice, crushed	37	593
Slag, solid	132	2114
Slag, broken	110	1762
Slag, crushed , 1/4 inch	74	1185

Fuente: Density of Materials [Sitio web]. Resistencia de materiales. [consulta 10 junio 2019]. Disponible en: https://www.simetric.co.uk/si_materials.htm

Revisando los datos se hace una estimación de que la densidad de un material triturado

$$\begin{aligned} \rho_{\text{triturado}} &\approx 50\% * \rho_{\text{material}} = \frac{\rho_{\text{material}}}{2} \Rightarrow \rho_{\text{PET triturado}} = \frac{1.33 * \text{ton}}{2} \\ &= 660 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Así:

$$Q_h = \frac{\text{Numero botellas 2L}}{h} * \frac{\text{masa}}{\text{botella 2L}} = \frac{3600 * 62g}{h} = \frac{223kg}{h}$$

$$\text{Capacidad}_{requerida} \left(\frac{m^3}{h} \right) = \frac{m}{\rho_{PET \text{ triturado}}} = \frac{223 \frac{kg}{h}}{660 \frac{kg}{m^3}} = 0.33 \frac{m^3}{h}$$

Comparando la $\text{Capacidad}_{requerida} = 0.33 \frac{m^3}{h}$ y que $\text{Capacidad}_{80mm} = 1.4 \frac{m^3}{h}$ se concluye que el tornillo de 80mm es suficiente y es el que se selecciona, no se elige uno más pequeño por facilidad de fabricación y por la condición inicial de diámetro mínimo $D_{\text{tornillo}} = 5 * 12.5mm = 62.5mm$

4.10.3 Calculo de potencia del tornillo inclinado,

$$P_H(kW) = C_0 * \frac{Q * H}{367}$$

Donde

Q es el flujo de material en $\frac{t}{h}$

H altura de elevacion en m

c_0 el coeficiente de material transportado

Tabla 24. Coeficiente de resistencia del material.

Tipo de material	Valor de c_0
Harina, serrín, productos granulados	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

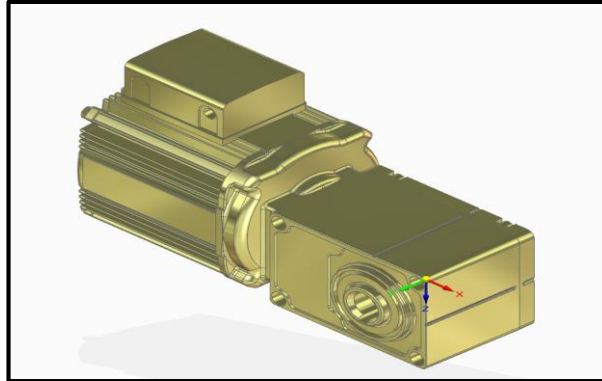
Fuente. Rodríguez Galbarro, Hermegildo, Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin [Sitio web]. Coeficientes de resistencia. [consulta 15 junio 2019] Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html> [citado el 24 de noviembre del 2018]

Se elige un $C_0 = 1.2$ ya que el aserrín sería lo mas parecido a las hojuelas de PET La longitud L se determina por el alto de una caneca típica 60cms

$$P_H(kW) = C_0 * \frac{Q * H}{367} = 1.2 * \frac{0.33 \frac{ton}{h} * 0.6m}{367} = 0.1 kW$$

4.10.3 Selección motor tornillo sin fin: Con este valor tan bajo de potencia requerida se puede elegir el moto reductor más pequeño con motor de inducción, en este caso es uno de 0.1kW con una reducción de $1800\text{rpm}/60\text{rpm} = 30/1$, como el Moto reductor Mitsubishi GM-SSYF-RH el cual será más que suficiente para la labor requerida.

Imagen 8. Moto reductor Mitsubishi GM-SSYF-RH 0.1kW 30/1 reducción



Fuente: Mitsubishi Electric [Sitio web].California: Motor reductores. [consulta 20 agosto 2019]. Disponible en: http://www.mitsubishielectric.com/fa/download/cad/drv/gear/gmssy/indoor_3p.html

Así las especificaciones de diseño son,

$D_{\text{tornillo}} = 70\text{mm}$: Se quita 1 cm para dar juego con el tubo

$D_{\text{canalon}} = 80\text{mm}$, espesor 4mm

: Diametro real tubería de 3" típica y 4mm para fácil soldadura

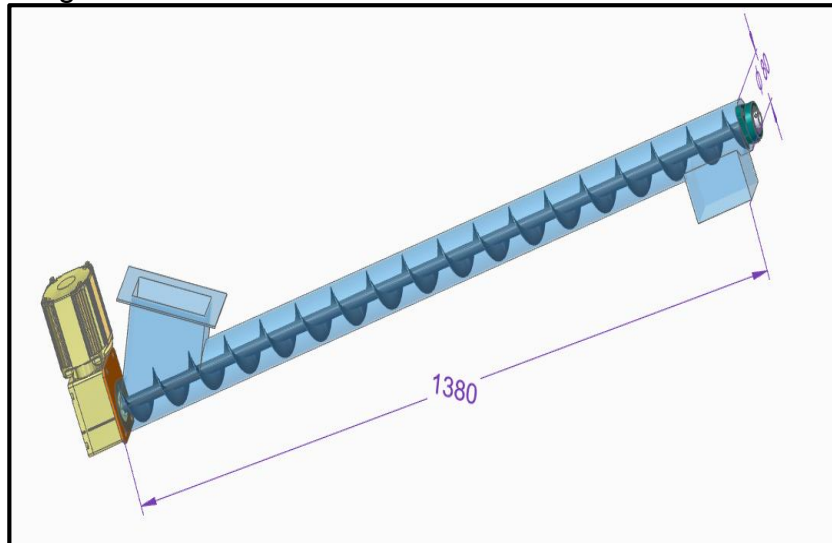
$H_{\text{canalon}} = 60\text{cms} \Rightarrow L_{\text{canalon}} = 1.2\text{m}$

: por la altura de la caneca estandar de 60cms

$P_{\text{motoreductor}} = 0.1\text{kW}$: minimo moreductor industrial disponible

4.11.5 Diseño de tornillo. Usando las dimensiones calculadas y los elementos elegidos se hace un diseño de tornillo de fin compuesto por una carcasa de tubería de 80mm (2.5" nominales), una chumacera para la salida del tornillo, una lámina de soporte para el motor reductor y toma y salida de chapa soldada de 4.7mm (3/16") de espesor

Imagen 9. Tornillo sin fin diseñado



Fuente: elaboración propia

4.11 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Debido a que las cuchillas estarán en todo momento haciendo fricción y por lo tanto generara un desgaste considerable, es decir, que si deseamos mantener la vida útil de las cuchillas es necesario instalar un sistema que no permita un sobrecalentamiento cuchillas

En este caso se seleccionara un equipo enfriador de agua o wáter chiller de la empresa eco chillers el cual genera agua helada y se utiliza constantemente en los procesos de fabricación del plástico, la ficha técnica se podrá observar en el anexo c teniendo como referencia una temperatura de entrada de 25 grados y una temperatura de salida de 15 grados.

4.12 ANCLAJE

Debido a que la máquina va estar en constante vibración es de gran importancia que esta se encuentre correctamente anclada al piso para ello se utilizara el software de HILTI en el cual introduciremos las reacciones y momentos que se generan para así obtener los anclajes en las 4 columnas de la estructura.

5. SIMULAR MEDIANTE MEF LA ESTRUCTURA

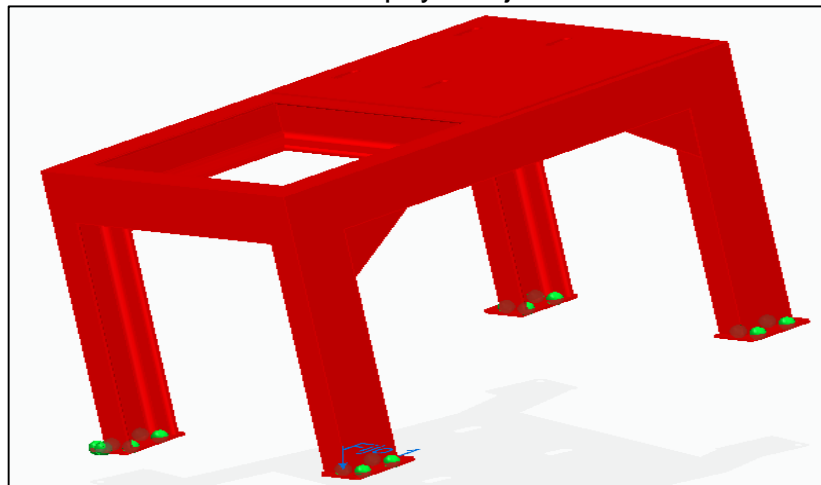
En el siguiente capítulo se dará a conocer la información que corresponde al análisis de elementos finitos para determinar que los desplazamientos y deformaciones de la estructura no afecten el equipo de forma crítica puesto que esto conllevaría un daño total en el mismo y su funcionamiento serio nulo, el software a utilizar para el análisis será Solid edge de la empresa Siemens.

5.1 ANÁLISIS DEL ELEMENTO MEDIANTE SOLID WORKS

Teniendo en cuenta las fuerzas que se ejercen en todo el sistema, las que presentan mayor criticidad son las aplicadas en la estructura de la máquina puesto que puede con llevar a una fractura total del sistema y podría poner en riesgo la vida del personal.

Lo primero que hay que tener en cuenta para el análisis son los apoyos a los cuales va a estar sujeta la estructura como se muestra en la siguiente ilustración.

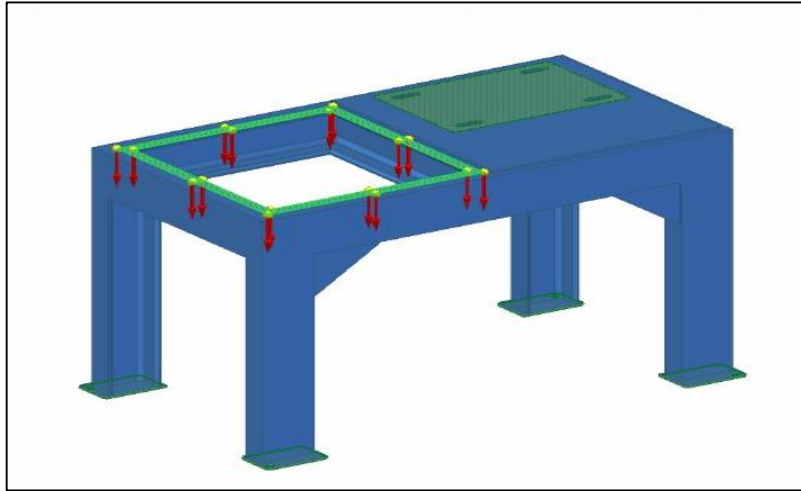
Ilustración 34. Estructura-Apoyos Fijos



Fuente: elaboración propia

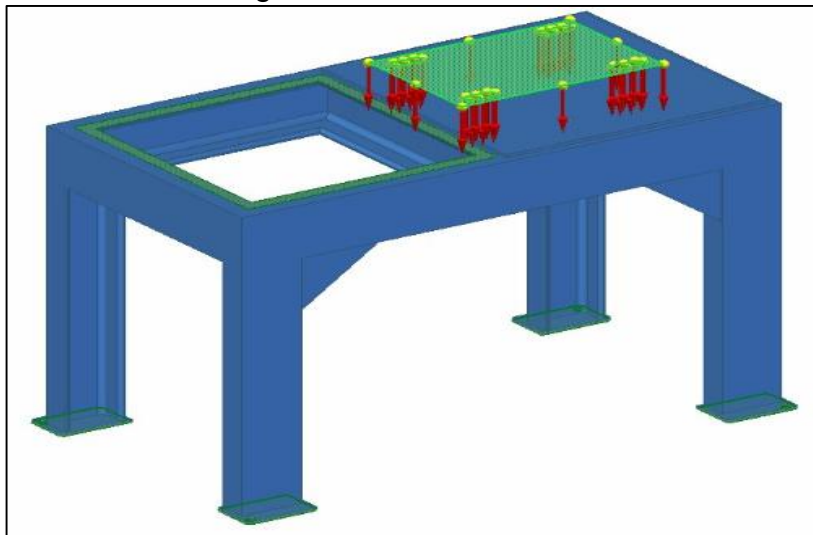
Luego se aplican las cargas que ocurren en dos secciones las cuales son: cámara de molienda que abarca todo el sistema de corte junto con la tolva de alimentación y la polea de mayor diámetro (1) y el motor principal (2) del sistema como se muestra a continuación.

Ilustración 35. Carga 1 Sección Cámara de Molienda



Fuente: elaboración propia

Ilustración 36. Carga 2 Sección del motor



Fuente: elaboración propia

La carga 1 y 2 hacen relación al peso de cada sección por la gravedad ejercida que según el software tiene un valor de 118,92 kgf y 24,98 kgf cuya equivalencia estará dada en Newton (N) como lo indica la siguiente ecuación.

Carga 1

$$118,92 \text{ kgf} * \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} = 1 166,21 \text{ N} = 1166 \text{ N}$$

Carga 2

$$24,98 \text{ kgf} * \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} = 245,053 \text{ N} = 245 \text{ N}$$

Para un correcto análisis se deben tener en cuenta las propiedades de la estructura, material y condiciones para la simulación como se muestra en la siguiente tabla.

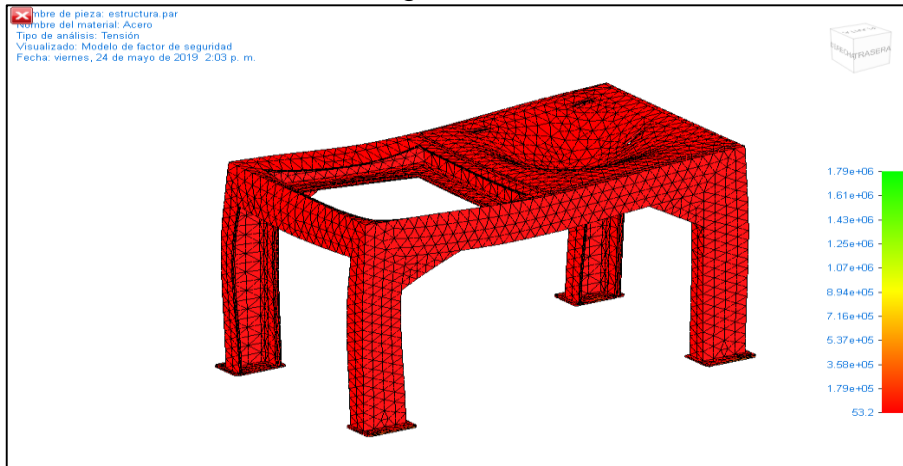
Tabla 29. Estructura- Propiedades Pieza, Material y Estudio

Propiedades de la Estructura	
Masa	28,12 Kgf
Peso	275,580 N
Volumen	0.004 m ³
Propiedades del Material	
Nombre del material	Acero estructural
Densidad de la masa	7833.000 kg/m ³
Módulo de Young	199947953000.000 Pa
Coefficiente de Poisson	0.290
Coefficiente de expansión térmica	0.000013 /C
Conductividad térmica	0.032 kW/m-C
Limite elástico	262,001 MPA
Resistencia a la rotura	358,527 MPA
Propiedades del Estudio	
Tipo de Malla	Malla Tetraédrica
N de elementos	18,466
N de nodos	37,331
Tipo de Solucionador	Nastran

Fuente: elaboración propia

Se realiza el análisis con las cargas ya establecidas y el software arroja un factor de seguridad F.S: 53, esto se traduce en una alta confiabilidad en la estructura. Como se ilustra en la siguiente ilustración.

Ilustración 37. Factor de seguridad



Fuente: elaboración propia

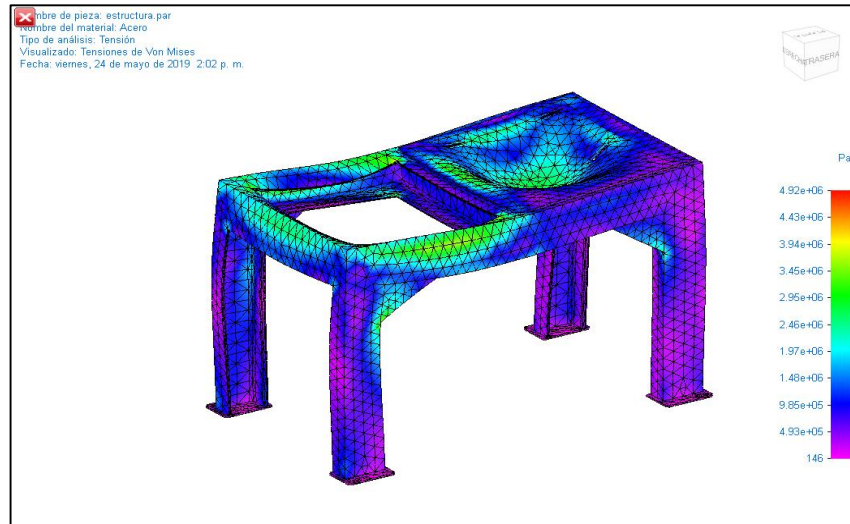
5.1.1 Análisis de tensión Von Mises resultante: El software arroja los siguientes resultados con las cargas y restricciones suministradas anteriormente como se muestra en la tabla.

Tabla 30. Resultados de Tensión Von Mises

Tipo	Extensión	Valor	X	Y	Z
Tensión de Von Mises	Mínima	1.465e+02 Pa	-22.00 mm	307.00 mm	-391.18 mm
	Máxima	4.924e+06 Pa	1.00 mm	-269.00 mm	-113.00 mm

Fuente: elaboración propia

Ilustración 38. Visualización de los resultados de tensión



Fuente: elaboración propia

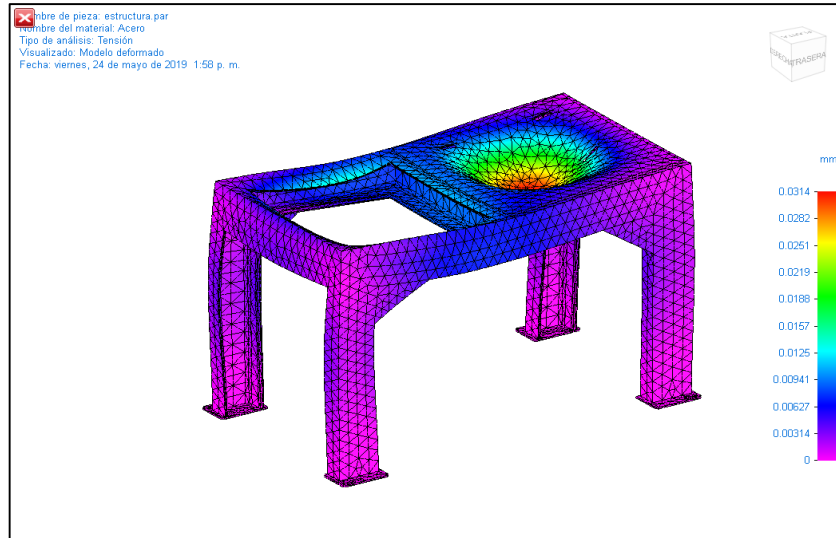
5.1.2 Análisis de desplazamiento resultante: El software arroja los siguientes resultados con las cargas y restricciones suministradas anteriormente como se muestra en la tabla.

Tabla 31. Resultados de Desplazamiento

Tipo	Extensión	Valor	X	Y	Z
Desplazamiento resultante	Mínima	0.00e+00 mm	-7.00 mm	342.00 mm	-391.18 mm
	Máxima	3.14e-02 mm	161.43 mm	165.71 mm	42.49 mm

Fuente: elaboración propia

Ilustración 39. Visualización de los resultados de desplazamiento



Fuente: elaboración propia

Del análisis anterior a la estructura se puede concluir que el elemento puede soportar cargas hasta de 1166 N obteniendo así un desplazamiento máximo de 0,0314 mm que es donde se encuentra el motor principal, a su vez presenta una tensión máxima de 4.92 MPA el cual se encuentra dentro del límite de elasticidad del material manteniéndose dentro del factor de seguridad.

6. MANUALES

Un correcto funcionamiento de la máquina depende totalmente de las indicaciones presentadas en los manuales de operación, mantenimiento y ensamble.

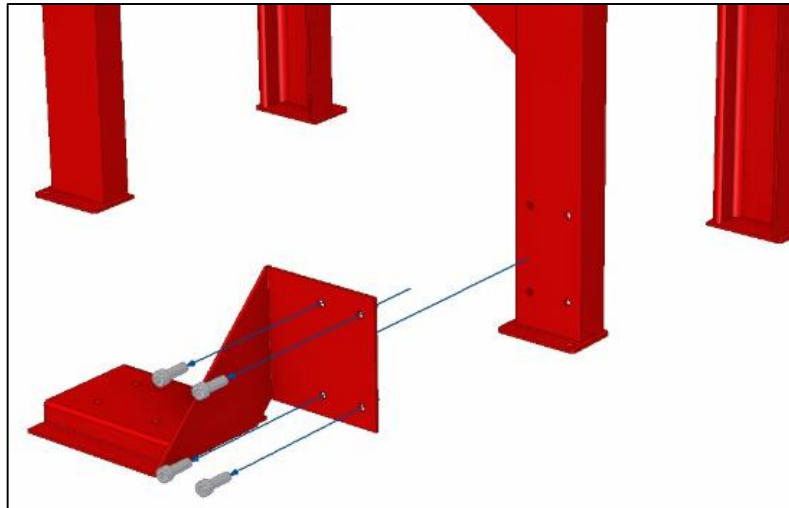
Se recomienda seguir paso a paso estos manuales para garantizar la vida útil del equipo para el cual fue diseñado y evitar accidentes que comprometan la vida del operario.

6.1 MANUAL DE ENSAMBLE

Con el fin de garantizar un buen funcionamiento del equipo se deberá realizar un correcto ensamble de cada componente como se muestra a continuación.

Inicialmente se fija la mesa del motor reductor por medio de 4 pernos junto a la estructura

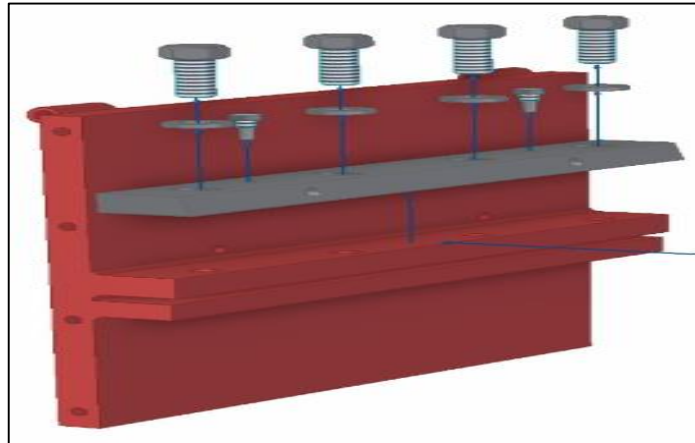
Ilustración 40. Mesa del motor reductor



Fuente: elaboración propia

En ambas placas laterales se fijarán las 2 cuchillas fijas y se aseguran por medio de tornillos.

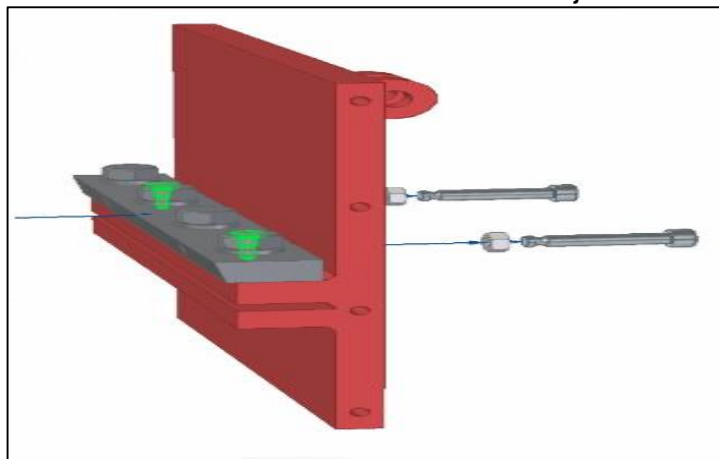
Ilustración 41. Cuchillas fijas



Fuente: elaboración propia

Se instala el sistema tensor de las cuchillas fijas para realizar la calibración de las mismas cuando se requiera.

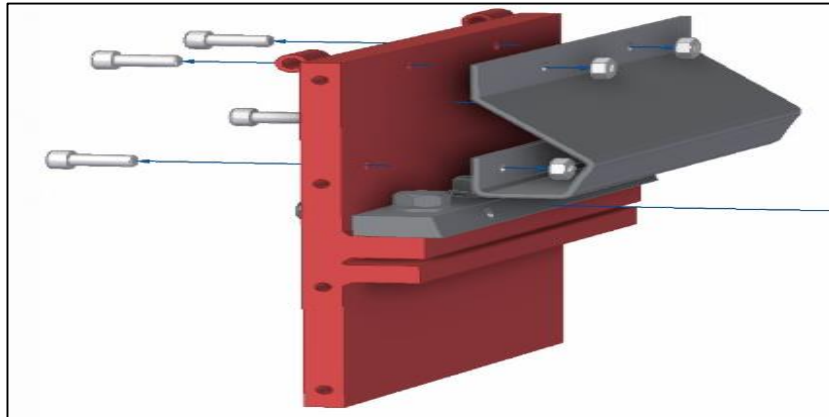
Ilustración 42. Sistema tensor cuchillas fijas



Fuente: elaboración propia

Seguido de esto se realizará la fijación de la bandeja que va a un lado de la placa lateral de las cuchillas fijas por medio de tornillos.

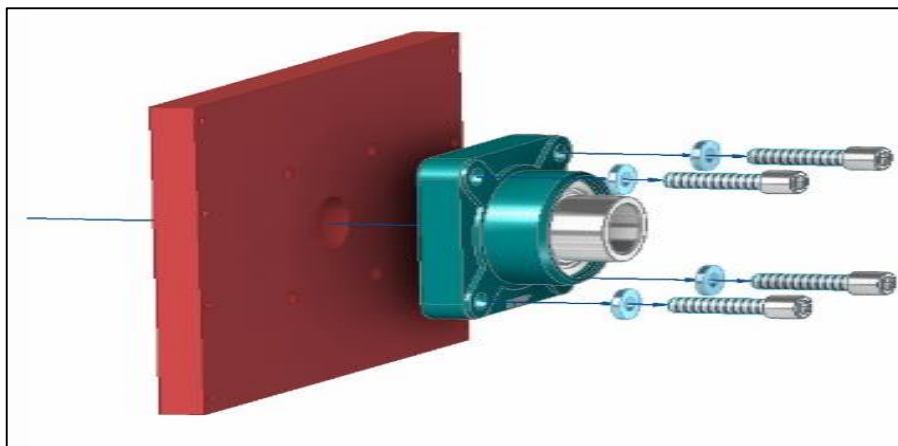
Ilustración 43. Bandeja Orientación



Fuente: elaboración propia

Se realizará la fijación de los flanches cuadrados o chumaceras en ambas placas opuestas a las que poseen las cuchillas fijas por medio de pernos.

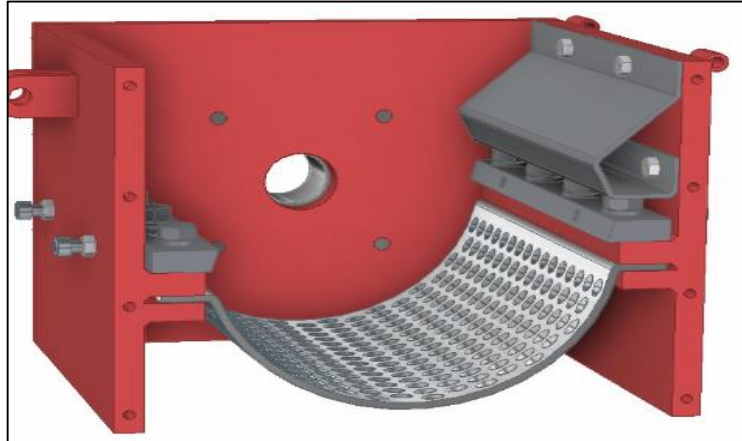
Ilustración 44. Flanches cuadrados



Fuente: elaboración propia

Luego de tener las placas laterales de las cuchillas fijas se agrega por medio de pernos una placa con flanche para poder ingresar la criba por un costado.

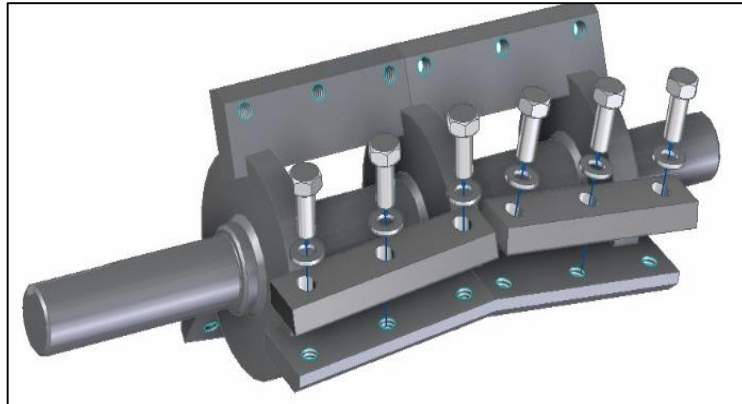
Ilustración 45. Montaje Criba



Fuente: elaboración propia

En el eje que soporta los discos porta-cuchillas se ajustaran las cuchillas móviles por medio de pernos con una sujeción óptima.

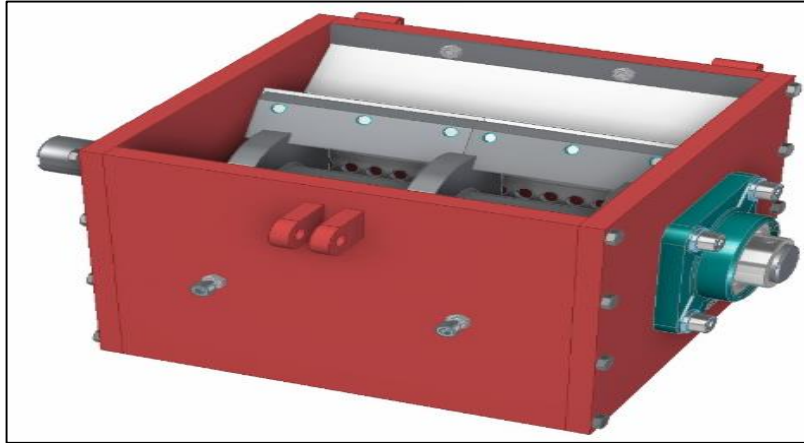
Ilustración 46. Sujeción de cuchillas móviles



Fuente: elaboración propia

Se colocan los separadores en el eje y luego se monta el sistema de cuchillas en la carcasa, se finaliza con la unión de la otra tapa lateral dando como resultado el subsistema de corte.

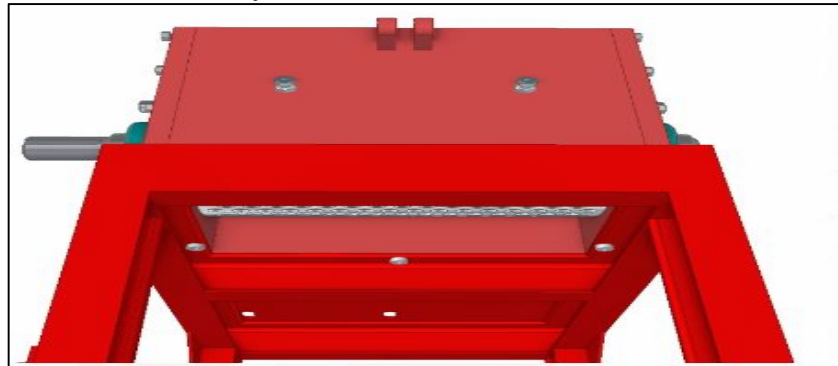
Ilustración 47. Unión Eje principal con la carcasa



Fuente: elaboración propia

A continuación, se fija la estructura a la carcasa por medio de los tornillos que se encuentran en la parte inferior de la mesa, teniendo en cuenta que el eje largo donde va la polea queda en el lado izquierdo.

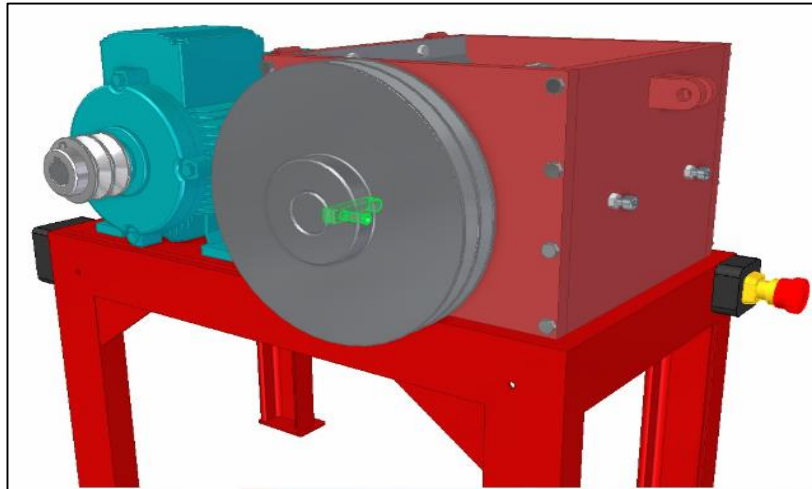
Ilustración 48. Sujeción estructura a la carcasa



Fuente: elaboración propia

Se realiza la instalación del motor y sus componentes eléctricos los cuales son el interruptor de parada de emergencia y on/off , así mismo se procede a instalar la polea que cuenta con su chaveta y prisionero con una perfecta alineación entre ellas.

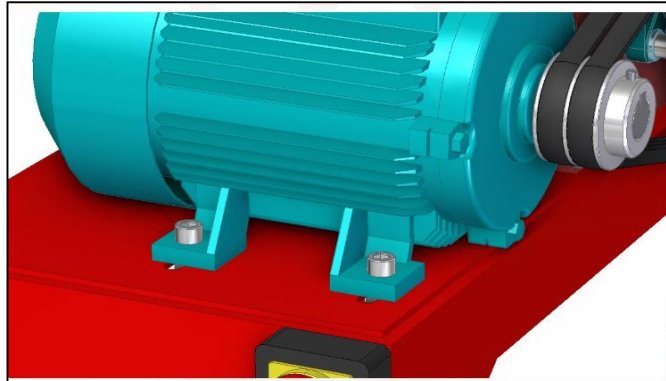
Ilustración 49. Alineación de poleas



Fuente: elaboración propia

Seguido de esto, se colocarán las correas seleccionadas y se tensionarán por medio de las correderas del motor.

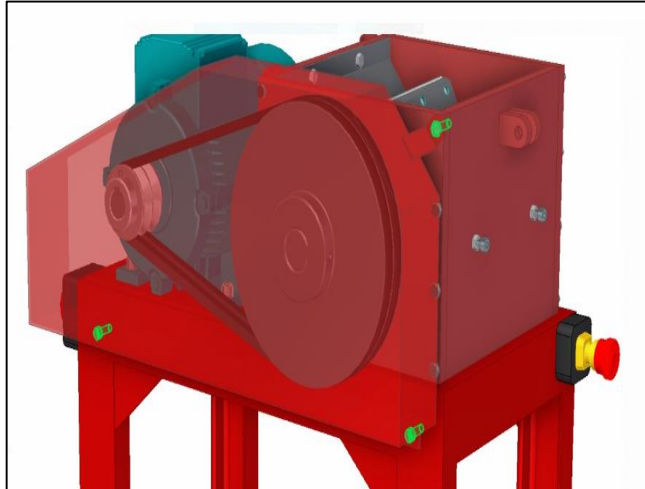
Ilustración 50. Instalación y Tensión de correas



Fuente. elaboración propia

Se fijará el guarda correas por medio de tres pernos, el cual permitirá proteger el sistema de transmisión del ambiente.

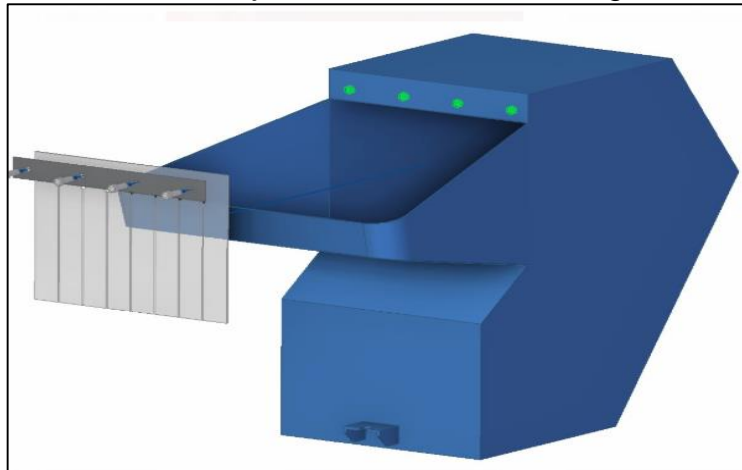
Ilustración 51. Instalación del guarda correas



Fuente: elaboración propia

Se fija la cortina de seguridad por medio de los tornillos a la platina que cuenta con las tuercas que están soldadas dentro del cajón.

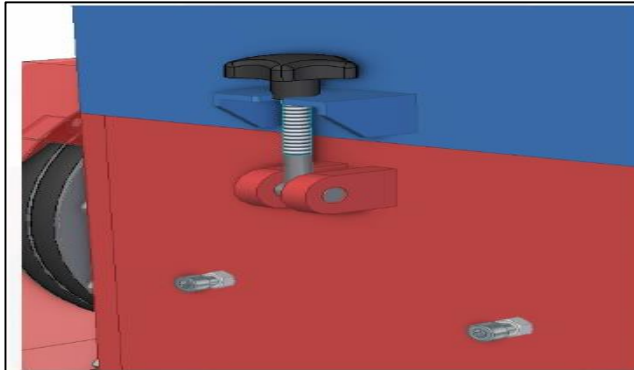
Ilustración 52. Sujeción de la cortina de seguridad



Fuente: elaboración propia

Se ensambla la tolva de alimentación junto al sistema de corte por medio de la guía de la bisagra y a continuación se asegura con el tornillo de seguridad.

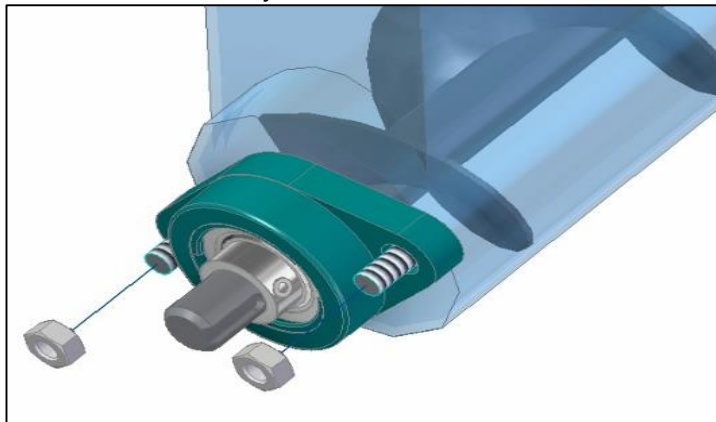
Ilustración 53. Fijación por medio de tornillo seguridad



Fuente: elaboración propia

Se instala el tubo al sin fin correspondiente y se fijan los rodamientos

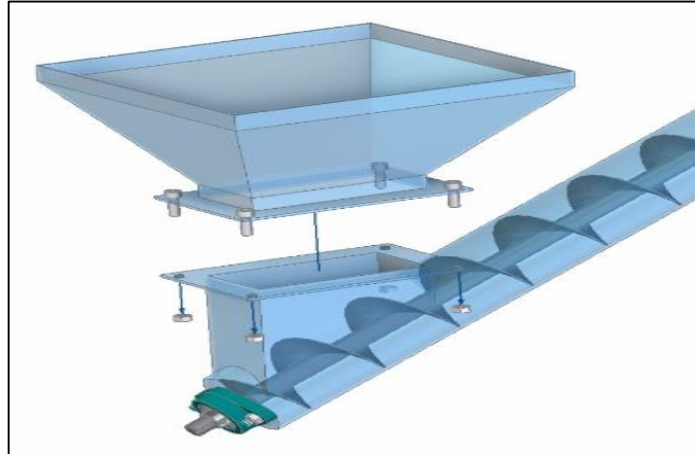
Ilustración 54. Sujeción de rodamientos al sin fin



Fuente: elaboración propia

Se instala la tolva de salida junto al tornillo sin fin por medio de pernos

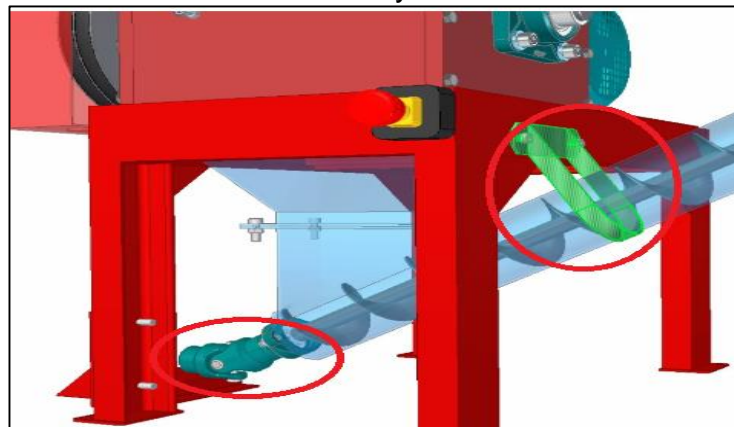
Ilustración 55. Sujeción tolva salida al sin fin



Fuente: elaboración propia

Por último, se realizará la instalación del cardan y la abrazadera al sin fin y, adjuntando el recipiente donde se depositará el material.

Ilustración 56. Abrazadera y cardan



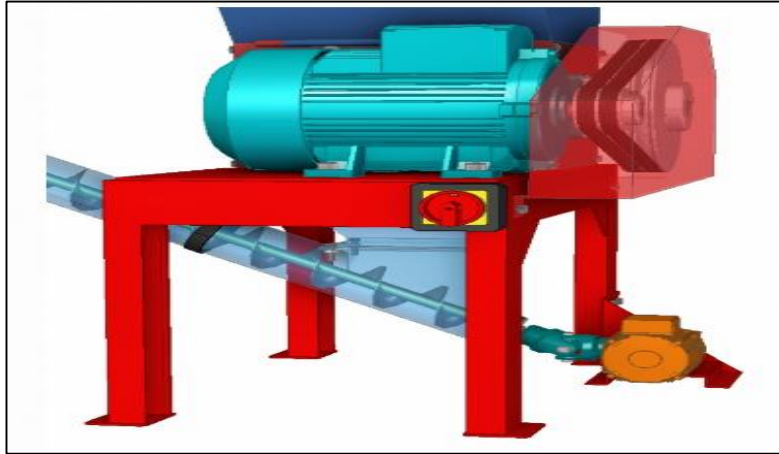
Fuente: elaboración Propia

6.2 MANUAL DE OPERACIÓN

Con el fin de obtener un buen funcionamiento de la máquina es necesario seguir los pasos que se describen a continuación, esto garantizará que el equipo cumpla su función sin ningún tipo de inconveniente, antes de poner en marcha el equipo se deberá realizar una inspección visual con el fin de encontrar algún fallo a tiempo.

Inicialmente se energizarán los motores esto con el fin de poner en funcionamiento el sistema de corte y el tornillo sin fin con el interruptor que se encuentra en la parte de atrás como se muestra en la figura.

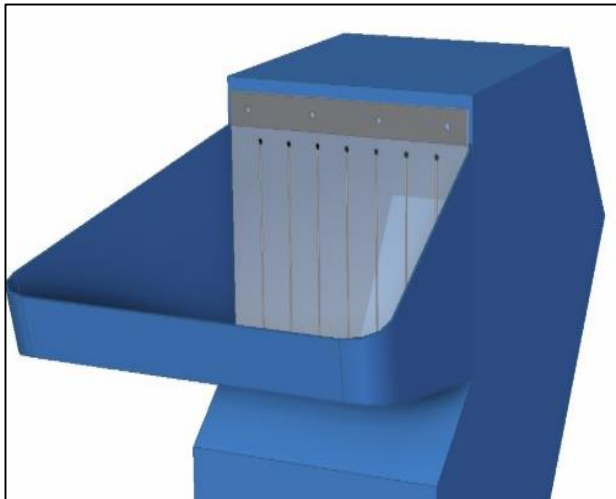
Ilustración 57. Interruptor de on/off



Fuente: elaboración propia

La tolva de alimentación cuenta con una cortina para que el material no pueda afectar la integridad del operario y así mismo la producción no se vea afectada como se muestra en la figura.

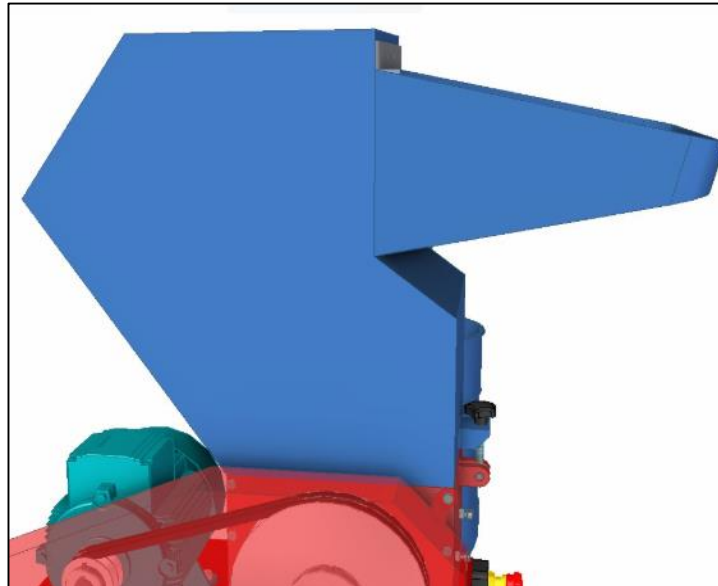
Ilustración 58. Tolva de alimentación



Fuente: elaboración propia

De igual manera el diseño de la tolva también cuenta con unas dimensiones las cuales van a permitir que el operario no ingrese sus extremidades al fondo y pueda ocurrir un accidente como se muestra en la figura.

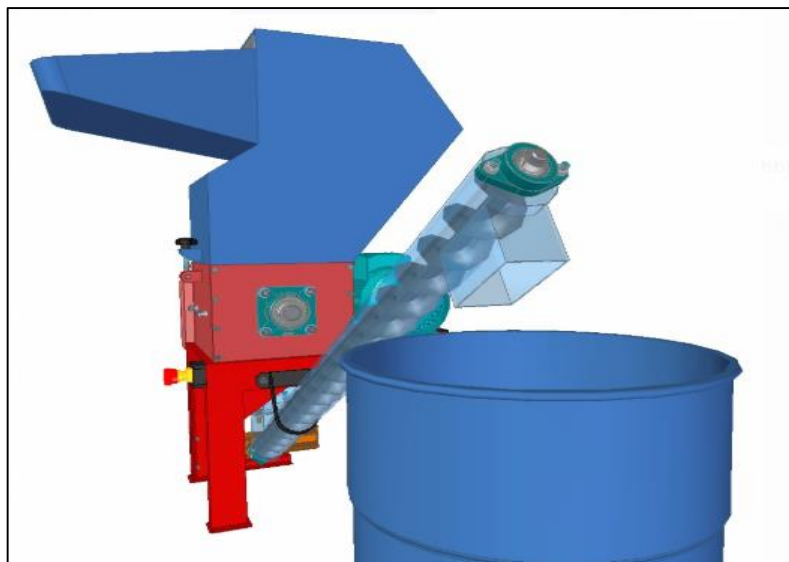
Ilustración 59. Tolva alimentación vista lateral



Fuente: elaboración propia

Cabe resaltar que para la descarga del material molido es necesario cerciorarse que esta se encuentre libre y con espacio suficiente para evitar atascamientos y que estos a su vez produzcan fallas o se vea afectada la productividad.

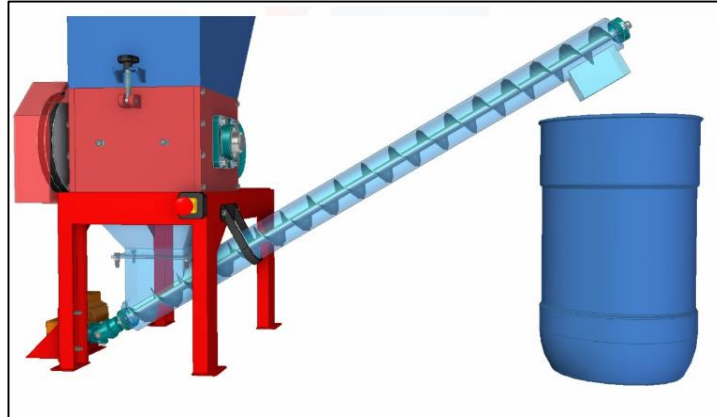
Ilustración 60. Almacenamiento del material



Fuente: elaboración propia

Al final de la operación del equipo permita que el tornillo descargue todo el material y no quede nada dentro del molino.

Ilustración 61. Tornillo sin residuos pet



Fuente: elaboración propia

Advertencias

- La máquina solamente deberá ser operada por el personal autorizado.
- Antes del funcionamiento del equipo es necesario que el operario porte los implementos de seguridad tales como lo son: gafas de seguridad, botas de seguridad, guantes de carnaza, tapa oídos.
- No introducir ningún otro material distinto para el cual fue diseñado el equipo
- En caso de realizar el mantenimiento al equipo se deberá comprobar que no haya paso de corriente eléctrica

6.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para garantizar que el equipo cumpla correctamente con la función de cortar el PET, es de vital importancia realizar un mantenimiento adecuado de cada componente, puesto que la falla de alguno de ellos podría comprometer todo el sistema. Principalmente se tiene que las cuchillas permiten el cizallamiento del material por lo cual se debe realizar un correcto mantenimiento del mismo, inicialmente se deberá liberar el pasador de seguridad que se muestra en la siguiente figura.

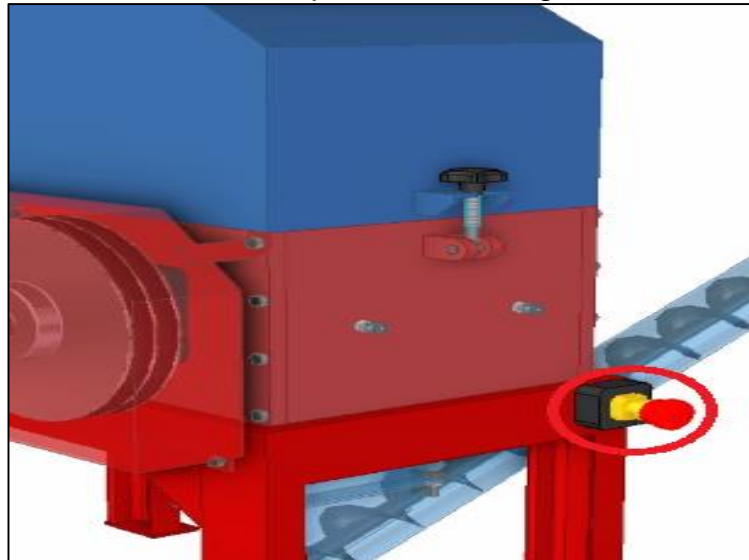
Ilustración 62. Pasador de seguridad



Fuente: elaboración propia

Es importante que para realizar el mantenimiento se deba accionar el interruptor de parada de emergencia para proteger la integridad de la persona encargada de esta labor.

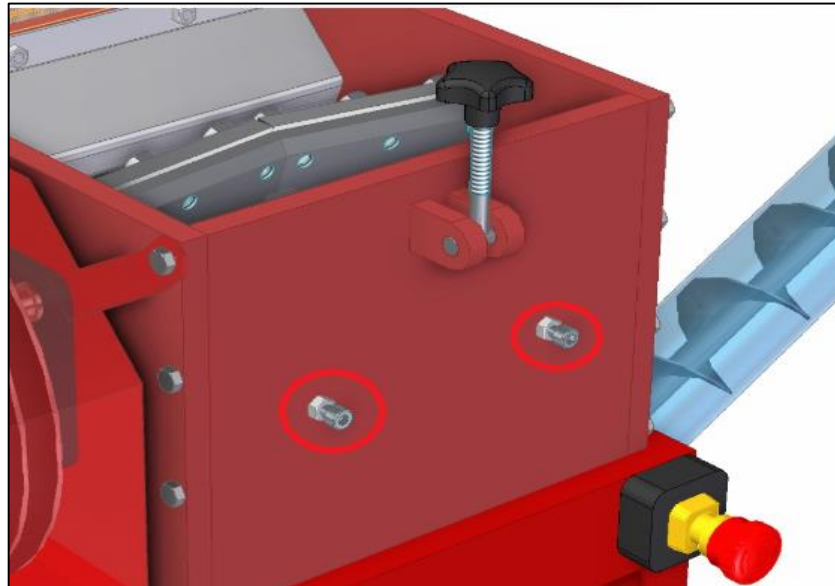
Ilustración 63. Botón parado de emergencia



Fuente: elaboración propia

Posteriormente se hará la revisión, ajuste y calibración de las cuchillas que estén con una tolerancia correcta para permitir el cizallamiento de manera correcta y efectiva y que estas no se encuentren con corrosión o alguna otra imperfección que afecte su funcionamiento, para la calibración de las cuchillas se deberán usar los tornillos para la cuchilla fija que se muestra en la siguiente figura.

Ilustración 64. Tornillos de calibración para cuchilla fija



Fuente: elaboración propia

Con el fin de tener una ruta específica para el mantenimiento preventivo de la máquina el siguiente cuadro relaciona los subsistemas, la actividad a realizar y la periodicidad para mantener una disponibilidad alta en la producción.

6.3.1 Actividades de mantenimiento: Estas permitirán que el equipo posea una alta confiabilidad y que la disponibilidad de la misma solo se vea afectada por los paros programados para su mantenimiento preventivo y sustitución de algún componente y no por paros repentinos que afecten la producción y que resulten elevando los costos de reparación, en el siguiente cuadro se realiza la programación de las actividades.

Tabla 32. Actividades de mantenimiento

Subsistema	Actividad	Periodicidad			
		Diar io	Sema nal	Quince nal	Mens ual
Estructura	Inspección visual				
	Revisión tornillería anclaje				
	Revisión desgaste				
	Revisión de juntas de soldadura y corrosión				
Sistema de transmisión	Revisión del protector				
	Niveles óptimos de lubricante				
	Ajuste de la tensión de las bandas				
	Ajuste de alineamiento de las poleas				
	Revisión de correas				
Sistema de corte	Revisión de rodamientos				
	Calibración de cuchillas				
	Limpieza dentro de la carcaza				
	Cambio de criba				
	Ajuste de tornillería				
Tornillo sin fin	Revisión del servo-motor				
	Vibraciones				
	Lubricación				
	Revisión de eficiencia				

Fuente: elaboración propia

Luego de que el operario realice las actividades de mantenimiento y encuentre alguna anomalía lo más pertinente sería coordinar con el personal de mantenimiento de la planta un paro programado para así poder mitigar los daños críticos que se puedan presentar en la máquina.

7. IMPACTO AMBIENTAL

Teniendo en cuenta que cada vez aumenta la problemática ambiental en el mundo, se realizará un análisis ambiental el cual tendrá en cuenta varios aspectos en la fabricación y operación de la máquina.

Puesto que cualquier acción que se genere dentro de la instalación y operación del equipo produce un fenómeno el cual traerá repercusiones al medio ambiente y teniendo presente que el proyecto impulsa la reutilización de plástico es importante generar resultados que permitan un impacto positivo.

En el siguiente cuadro se muestran diversos impactos a nivel ambiental, a nivel social y económico, basado en la matriz de Leopold, esto con el fin de abarcar un impacto integral de proyecto en mención.

Tabla 33. Impacto ambiental

Riesgos		Generación de ruido	Generación de residuos sólidos	Generación de gases	Generación de reciclaje	Promedios positivos	Promedios negativos	Impacto por proceso	Impacto por componente	Impacto total de proyecto
Fabricación	Economico	-2/2	-3/4	-3/8	8/10	1	3	40	48	200
	Social-Humano	-4/9	-3/4	-4/9	9/10	1	3	6		
	Ambiental	-2/2	-3/8	-5/10	8/10	1	3	2		
Operación	Economico	-2/2	-2/2	-2/2	10/10	1	3	88	152	
	Social-Humano	-4/9	-2/2	-2/2	8/10	1	3	36		
	Ambiental	-2/2	-3/8	-3/8	8/10	1	3	28		
Promedios positivo		0	0	0	6	6				
Promedios negativos		6	6	6	0		18			
Promedios aritméticos		-88	-80	-142	510			200		

Fuente: elaboración propia

De la anterior imagen y del concepto principal de la matriz referenciada, se infiere que, aunque el proyecto tiene factores negativos de alta magnitud también tiene un factor de alta magnitud y al tiempo, de alta importancia en el objetivo principal de la máquina, lo que hace que la relación costo/beneficio justifique los factores negativos en función del factor positivo que es el que tiene mayor importancia y materialidad en el proyecto a desarrollar.

7.1 MATRIZ DE IMPORTANCIA

A continuación, se desarrollará una matriz de importancia, la cual está enfocada netamente al impacto ambiental que tiene el proyecto, para lo cual se tomó como base la matriz de Leopold modificada y adaptada a las necesidades del proyecto en mención.

Tabla 34. Matriz de importancia

COMPONENTE	ASPECTO	IMPACTO	ATRIBUTO	CLASIFICACIÓN	VALORACIÓN
Atmosfera	Calidad del aire	Cambio en concentración de gases	IN		5
		Aumento en la presión sonora	NA	Negativo	-5
Ecosistemas	Flora/fauna	Aprovechamiento de la diversidad de ecosistemas	SI	Sinergico	2
		Evitar la deforestación en los ecosistemas	AC	Acumulativo	4
Dimensión demografica	Calidad de vida	Generación de nuevos empleos	EX	Extenso	4
		Calidad de espacios públicos	PR	Media	2
Dimensión economica	Procesos productivos y sus ingresos	Ingresos para la economía	DU	Permanente	4
		Cambio en la oferta y demanda			
Dimensi3 cultural	Cambios culturales	Cambio en los comportamientos socio-culturales	RV	Mitigable	4
	Importancia = + (3IN+2EX+DU+RV+SI+AC+PR)				39

Fuente: elaboración propia

7.1.1 Rangos del impacto: Hace referencia a los intervalos dentro de los cuales va a estar el equipo ya sean positivos o negativos

7.1.1.1 Impacto negativo

Tabla 35 Impacto Negativo

Importancia	Valor absoluto de la importancia	Color
Irrelevante	<20	Verde claro
Bajo	21-45	Amarillo
Moderado	46-70	Naranja
Critico	71-92	Rojo

Fuente: elaboración propia

7.1.1.2 Impacto positivo

Tabla 36 Impacto positivo

Importancia	Valor absoluto de la importancia	Color
Positivo	<45	Verde brillante
Positivo importante	46-92	Verde oscuro

Fuente: elaboración propia

Después de realizar la adaptación de la matriz en mención, se confirma una vez más que el impacto ambiental que tiene el proyecto es positivo y consecuente a los objetivos para los cuales la maquina fue diseñado.

De lo anterior se concluyó que, aunque hay aspectos ambientales a mejorar para que el proyecto sea positivamente importante, el mismo por sus características se hace sostenible y positivamente impactante para el desarrollo social, económico, ambiental y cultural en la sociedad actual y con mira hacia un futuro innovador donde se mejoren y materialicen los objetivos en pro del medio ambiente

El polvillo que se genera por la trituración del material puede afectar de manera grave al operario y personas que se encuentren cerca la equipo para ello cabe resaltar que es importante darle un manejo adecuado a este realizando limpieza a las cuchillas de manera frecuente y utilizar mascararas de respiración que no permitan la entrada de este al organismo

8. EVALUACIÓN FINANCIERA

En este capítulo se realizará la evaluación correspondiente a los ingresos, gastos y costos en lo que se incurrirá en la elaboración y puesta en marcha del proyecto, y de esta forma establecer la viabilidad del proyecto en mención.

Para esta evaluación se tendrán en cuenta factores tales como; costos de ingeniería de proyecto, costos de materiales, costos de fabricación.

8.1 COSTOS DE INGENIERÍA

Los costos de ingeniería corresponden a los egresos en lo que se incurrió para la investigación, desarrollo del proyecto, para su alistamiento y posterior puesta en marcha.

8.1.1 Costos de talento humano: Estos costos corresponden a las diferentes actividades de investigación y diseño que invirtió el autor para el desarrollo del proyecto.

Tabla 37 Talento humano

Item	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Fuente financiadora
Talento humano					
Proyectista	H.H	560	\$ 10.000	\$ 5.600.000	Proyectista
Orientador	H.H	40	\$ 15.000	\$ 600.000	U. America
Total talento humano					\$ 6.200.000

Fuente: elaboración propia

8.1.2 Costos de equipo y software: Estos costos hacer referencia a los equipos y programas usados en el desarrollo intangible el proyecto

Tabla 38 Equipo y software

Item	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Fuente financiadora
Equipo y software					
Uso licencia solid edge	H.M	560	\$ 4.107	\$2.300.000	U. America
Uso licencia NX	H.M	150	\$ 6.667	\$1.000.000	U. America
Memoria USB 32 GB	Unidad	1	\$ 45.000	\$ 45.000	Proyectista
Computador portatil	Unidad	1	\$3.200.000	\$3.200.000	Proyectista
Total equipo software					\$ 6.545.000

Fuente: elaboración propia

8.1.3 Gastos fungibles: Estos gastos hacen referencia a los materiales usados para la presentación y elaboración del proyecto.

Tabla 39 Gastos fungibles

Item	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Fuente financiadora
Fungibles					
Papel	Resma	4	\$ 9.800	\$ 39.200	Proyectista
Impresiones	Unidad	2000	\$ 100	\$ 200.000	Proyectista
Fotocopias	Unidad	100	\$ 40	\$ 4.000	Proyectista
Ploter	Unidad	5	\$ 2.500	\$ 12.500	Proyectista
Total fungibles					\$ 255.700

Fuente: elaboración propia

8.1.4 Total gastos ingeniería: El total de los gastos de ingeniería se origina de la suma de los anteriores ítems, y a la cual se le adicionara un 6% de gastos de imprevistos, en aras de que, si surge algo nuevo, se tenga cubierto.

Tabla 40. Gastos ingeniería

Talento humano	\$ 6.200.000
Equipo software	\$ 6.545.000
Fungibles	\$ 255.700
TOTAL	\$ 13.000.700
Imprevistos	\$ 780.042
GRAN TOTAL	\$ 13.780.742

Fuente: elaboración propia

8.2 COSTOS DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLE

Estos costos hacen referencia a los egresos en los que se tuvo que incurrir para la elaboración, ensamble, y compra de cada uno de los materiales necesarios para la fabricación del proyecto.

8.2.1 Costos de fabricación: Son los costos de cada uno de los materiales necesarios para la elaboración del proyecto y posterior puesta en marcha.

Tabla 41 Costos de fabricación

Item	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Tornilleria general	92	\$650	\$60,000
Soporte mesa motor	1	\$30,000	\$30,000
Mesa motor reductor	1	\$20,000	\$20,000
Estructura	1	\$250,000	\$250,000
Bandeja de cajon	1	\$15,000	\$15,000
Criba	1	\$180,000	\$180,000
Cuchilla Fija	2	\$110,000	\$220,000
Rodamiento FYK 40 Tf	2	\$35,000	\$70,000
Placa	4	\$120,000	\$480,000
Cuña eje	1	\$5,000	\$5,000
Polea eje	1	\$160,000	\$160,000
Cuchilla Movil	6	\$60,000	\$360,000
Eje aspás	1	\$350,000	\$350,000
Interruptor on/off	1	\$60,000	\$60,000
Emergencia	1	\$50,000	\$50,000
Cuña Motor	1	\$5,000	\$5,000
Guarda correa	1	\$150,000	\$150,000
Correa	2	\$15,000	\$30,000
Polea motor	1	\$35,000	\$35,000
Motor Siemens 3 HP	1	\$850,000	\$850,000
Perilla 10 mm	1	\$15,000	\$15,000
Pasador tolva	1	\$20,000	\$20,000
Cortina	1	\$10,000	\$10,000
Tolva carga	1	\$180,000	\$180,000
Eje helice libre	1	\$15,000	\$15,000
U soporte sin fin	1	\$15,000	\$15,000
Motor reductor	1	\$450,000	\$450,000
Cardan	1	\$40,000	\$40,000
Rodamiento FYBT 17			
TF	2	\$35,000	\$70,000
Eje helice motor	1	\$15,000	\$15,000
sin fin helice 80	1	\$120,000	\$120,000
tubo sin fin	1	\$150,000	\$150,000
Tolva de salida	1	\$40,000	\$40,000
Water chiller	1	\$3,000,000	\$3,000,000
Total			\$7,520,000

Fuente: elaboración propia

A continuación se realizara una comparación con otros fabricantes para determinar qué tan competitiva pueda ser la máquina en Colombia a nivel económico, estas tendrán las misma cantidad de producción de 20 kg/

Ilustración Comparativa A



Máquina trituradora de plástico/reciclar de botella de plástico trituradora

FOB Referencia Precio: [Consiga El Último Precio](#)

US\$ 900,00 - US\$ 3.000,00 / Set | 1 Set/s (Pedido mínimo)

Número de Mod.: SJ-25 SJ-45 SJ-65 SJ-75 SJ-90

Lead Time:

Cantidad(Set/s)	1 - 10	>10
Hora del Est.(días)	25	Negociable

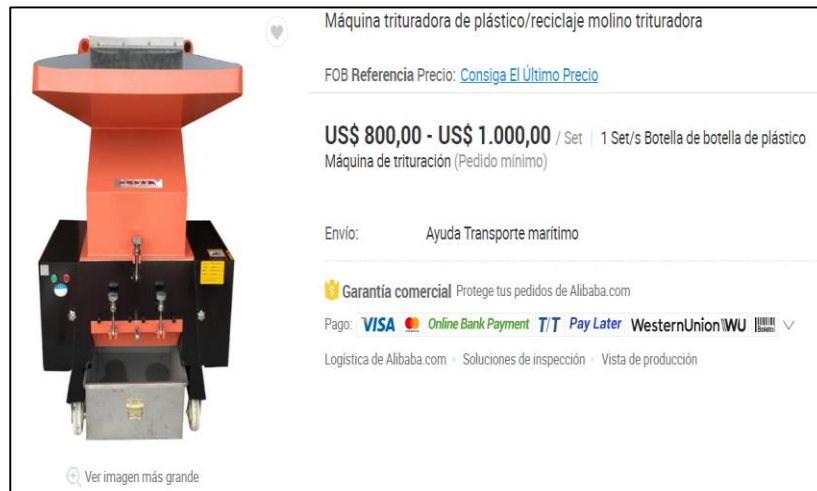
Garantía comercial Protege tus pedidos de Alibaba.com

Pago: [VISA](#) [Online Bank Payment](#) [T/T](#) [Pay Later](#) [Western Union](#) [WU](#) [iDeal](#) [Alipay](#)

Logística de Alibaba.com - Soluciones de inspección - Vista de producción

Fuente: ALIBABA. [Sitio web]. China: Máquina trituradora de pet [consulta 30 junio 2019]. Disponible en <https://spanish.alibaba.com/product-detail/plastic-crusher-machine-recycle-grinder-plastic-bottle-crusher-62050226797.html?spm=a2700.8699010.normalList.1.56e06545wFd5gn&s=p>

Ilustración Comparativa B



Máquina trituradora de plástico/reciclaje molino trituradora

FOB Referencia Precio: [Consiga El Último Precio](#)

US\$ 800,00 - US\$ 1.000,00 / Set | 1 Set/s Botella de botella de plástico Máquina de trituración (Pedido mínimo)

Envío: Ayuda Transporte marítimo

Garantía comercial Protege tus pedidos de Alibaba.com

Pago: [VISA](#) [Online Bank Payment](#) [T/T](#) [Pay Later](#) [Western Union](#) [WU](#) [iDeal](#) [Alipay](#)

Logística de Alibaba.com - Soluciones de inspección - Vista de producción

[Ver imagen más grande](#)

Fuente: ALIBABA. [Sitio web]. China: Máquina trituradora de pet [consulta 30 junio 2019]. Disponible en https://spanish.alibaba.com/product-detail/plastic-crusher-machine-plastic-shredder-recycle-grinder-crusher-60710007317.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikeexp.5.250c230alcePJb

Se puede concluir que respecto a la comparativa A , nuestra máquina podría ser la mas rentable sin embargo respecto a la comparativa B sería el caso contrario, sin embargo no se están contando los gastos de importación.

8.2.2 Costos de ensamble: Son los costos en lo que se incurre para el alistamiento y están asociados a la unión de todos los materiales anteriormente descritos y mencionados.

Tabla 42 Costos de ensamble

Item	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Ensamble	1	\$ 80.000	\$ 80.000
Pintura	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Montaje	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Total			\$ 280.000

Fuente: elaboración propia

8.3 COSTOS TOTALES

El costo total acarrea los costos de ingeniería, de fabricación y de ensamble anteriormente descritos.

A continuación, se relacionará en costo total de la inversión en este proyecto

Tabla 43 Costos totales

Costos de ingeniería	\$ 13.780.742
Costos de fabricación	\$ 4.778.000
Costos de ensamble	\$ 280.000
TOTAL	\$ 18.838.742

Fuente: elaboración propia

Acorde a los costos asociados al proyecto, este tiene un costo de \$18.838.742.

8.4 EVALUACIÓN FINANCIERA

Respecto a la evaluación financiera se realizará una viabilidad estimada bajo la modalidad de Valor presente Neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR), métodos que nos arrojarán una rentabilidad estimada del proyecto, para lo cual haremos un estimado flujo de caja por 4 años siguientes a la puesta en marcha del proyecto, y tomando la inflación para el año 2019 que es del 3.3% para aumento en las ventas y sus precios.

Teniendo en cuenta que la maquina tiene una capacidad de maquila de 160 kg diarios, y que se maneja con un solo operario, adicionalmente con una materia prima obtenida de los recicladores, y con unos gastos operacionales tales como servicios públicos y un arriendo, se procedió a realizar el siguiente flujo de caja para posteriormente hallar la rentabilidad bajo las dos modalidades anteriormente mencionadas.

Tabla 44 Evaluación financiera

	0	1	2	3	4
Ingresos		3,30%	3,30%	3,30%	3,30%
Precio de venta		\$ 3.000	3099	3201	3307
Unidades	0	57600	57600	57600	57600
Total ventas	\$ -	\$ 172.800.000	\$ 178.502.400	\$ 184.392.979	\$ 190.477.948
Costos y gastos					
Inversion inicial	\$ 18.838.742	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Materia prima	\$ 57.600.000	\$ 57.600.000	\$ 57.600.000	\$ 57.600.000	\$ 57.600.000
Mano de obra	\$ 9.500.000	\$ 9.500.000	\$ 9.500.000	\$ 9.500.000	\$ 9.500.000
Gastos operacionales	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Total costos y gastos	\$ 87.938.742	\$ 69.100.000	\$ 69.100.000	\$ 69.100.000	\$ 69.100.000
Flujo de caja	-\$ 87.938.742	\$ 103.700.000	\$ 109.402.400	\$ 115.292.979	\$ 121.377.948

Fuente: elaboración propia

8.4.1 Cálculo del VPN: Este cálculo se realiza teniendo en cuenta la siguiente formula;

$$VPN = -I + \frac{X_1}{(1-i)^1} + \frac{X_1}{(1-i)^2} + \dots + \frac{X_n}{(1-i)^n}$$

En la cual: I equivale a la inversion en el año 0, X_n equivale al flujo de caja en el año 0 y por ultimo equivale a la tasa minima que se espera del proyecto, siguiendo esta formulua, se espera una tasa del 20% como tasa de recuperacion u oportunidad.

El Valor presente neto (VPN) que nos arrojó dicho calculo fue de VPN= \$199.707.177 , valor que expresa la utilidad de la máquina trituradora de PET en los 4 años siguientes a su puesta en marcha, al ser un valor mayor a 0 se podría inferir que el proyecto es viable financieramente.

8.4.2 Cálculo de la TIR: Para el cálculo de la tasa interna de retorno, inicialmente se estipulo que se tenía un 20% como tasa de recuperación, siguiendo este análisis y la formula de la TIR e igualando la inversión a 0, nos arrojó que la tasa interna de retorno es la siguiente:

$$0 = -I + \frac{X_1}{(1-TIR)^1} + \frac{X_2}{(1-TIR)^2} + \dots + \frac{X_n}{(1-TIR)^n}$$

TIR= 116,77%, tasa que expresa un valor mayor al que se habia previsto inicialmente, de tal forma se puede concluir la viabilidad del proyecto, puesto que tanto en la tasa de recuperacion y en los flujos de caja expresados en la utilidad arrojada en el VPN son mayores a los esperados.

9. CONCLUSIONES

- Se determinó la situación actual del proceso de triturado del plástico en una planta de reciclaje convencional.
- Se lograron identificar los parámetros y requerimientos de las PYMES, y en base en estos poder diseñar la máquina.
- Se evaluaron diferentes alternativas para el subsistema de corte y así mismo seleccionar la más adecuada para el diseño.
- Se realizaron los cálculos correspondientes para así mismo garantizar un correcto funcionamiento del equipo.
- Se realizó el análisis de elementos finitos en la estructura para corroborar que la máquina no presentara deformación ó desplazamiento que pudiera afectar la máquina
- Se elaboraron los planos de ubicación, fabricación, ensamble y montaje para indicar el procedimiento a la hora de querer construir la máquina
- Se elaboraron los manuales correspondientes para el funcionamiento y el sostenimiento del equipo,
- El impacto ambiental permitió establecer los aspectos positivos y negativos a la hora de fabricar la máquina, y de igual manera se tuvo en cuenta el beneficio de esta en la sociedad, respecto a la reutilización de las botellas PET
- Se realizó la evaluación financiera que determino la viabilidad del proyecto, la cual arrojó un resultado positivo, recalcando la viabilidad del mismo

10. RECOMENDACIONES

- Diseñar un sistema de automatización que permita la detección de otro material diferente al PET cuando este ingrese al equipo
- Optimizar el proceso de separación de los componentes de la botella que son; tapa, etiqueta y botella
- Mejorar el ingreso del material al equipo por medio de algún sistema transportador para evitar de un operario.
- Proponer un sistema adecuado para el manejo del polvillo que se genera en la cámara de corte

BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro Muñoz, Guillermo Sanunga. Diseño, Construcción e Implementación de un Molino Triturador
- ALVARES , ALDO , Determinación de esfuerzos residuales generados por la soldadura GMAW en placas de acero 1018ed
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION.compendio de normas para trabajos escritos NTC 1486-6166 bogota D.C. El instituto 2018. ISBN 9789588585673 153 p
- Galbarro, Hermegildo, Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin
- Mario. Estampado en Frio de la Chapa. Novena Edicion.Editorial Dossat
- Richard G. Budynas .J. Keith Nisbeth. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.Octava Edición, México D.F. McGraw-Hill
- Robert H. Perry Manual del Ingeniero Mecánico. Sexta Edición. México D.F.Mc Graw-Hill
- Robert L Mott, P. E, Diseño de elementos de máquinas, Cuarta Edición
- Rodríguez Galbarro, Hermegildo, Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin UPTC,Colombia , Diseño y cálculo de volantes