

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE UN MOLINO DE TRITURACIÓN PARA

ENVASES DESECHABLES PET

AUTOR:

Juan Francisco Mayorga Sosa

TUTOR:

Víctor Hugo Cabrera Moreta

Quito, diciembre del 2016

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.**

Yo, Juan Francisco Mayorga Sosa autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro. Además, declaro que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, diciembre 2016



Juan Francisco Mayorga Sosa

171656264-8

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Víctor Hugo Cabrera Moreta declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto de Titulación: Análisis y optimización de un molino de trituración para envases desechables PET realizado por Juan Francisco Mayorga Sosa, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como Trabajo Final de Titulación.

Quito, diciembre 2016



Víctor Hugo Cabrera Moreta

171486465-7

DEDICATORIA

A Dios, a la Virgen María, a Don Bosco por ser esenciales en este gran paso, por darme vida y fuerzas en los malos momentos que he tenido. Sin olvidar a mi mamá Cristina, a mi abuelita Tita, ya que han sido una ayuda única en todo este camino aún por recorrer. A mi hermano Eduardo, ya que sin su ayuda, con su silencio, en los malos momentos, no hubiese sido capaz de alzar la cabeza; y a mi otro hermano Julián (+) por haber sido mi gran empuje, dándome un ejemplo de lucha, perseverancia para lograr los objetivos que se debe de cumplir en la vida: ser honesto y leal.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana, a los catedráticos por haberme inculcado buenos valores y transmitido sus conocimientos, ya que con ellos seré una persona exitosa y ética, tanto humana como profesionalmente. Al ingeniero Víctor Cabrera por haberme guiado y compartido sus conocimientos e ideas para la elaboración y culminación de este proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
LOS DESECHOS PLÁSTICOS	2
1.1 El ambiente.....	2
1.1.1 Vectores contaminantes	2
1.2 Residuos sólidos.....	2
1.2.1 Gestión de los residuos sólidos urbanos en el DMQ.....	3
1.2.2 Generación de residuos sólidos urbanos	3
1.2.3 Barrido y recolección	3
1.2.4 Transferencia y transporte.....	4
1.2.5 Proceso de recuperación de recursos.....	4
1.2.6 Procesamiento de residuos sólidos.....	4
1.2.7 Reutilización	4
1.3 El reciclaje.....	5
1.3.1 Objetivo de reciclar	5
1.3.2 Reaprovechamiento de reciclaje	6
1.3.3 Ventajas de reciclaje	6
1.3.4 Vías de reciclaje	6
1.3.5 Valor futuro del reciclaje	6

1.4 Los plásticos.....	7
1.4.1 Los plásticos como materia de ingeniería	7
1.4.2 Obtención y fuentes.....	7
1.4.3 Clasificación.....	8
1.4.4 Reconocimiento e identificación.....	9
1.4.5 Comercialización.....	11
CAPÍTULO 2	12
ANÁLISIS, PARÁMETROS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	12
2.1 Análisis de necesidades de diseño.....	12
2.1.1 Ingreso del material.....	12
2.1.2 Complejidad en su construcción	12
2.1.3 Costo de fabricación.....	13
2.1.4 Funcionalidad del molino.....	13
2.1.5 Mantenimiento	13
2.1.6 Seguridad hacia el operario.....	13
2.1.7 Velocidad de producción.....	14
2.2 Planteamiento de alternativas.....	14
2.2.1 Alternativa I. Triturador con eje rotor de 2 aletas	14
2.2.2 Alternativa II. Triturador con 2 tornillos sin fin	15
2.2.3 Alternativa III. Triturador trapezoidal provista de cuchillas móviles	16

2.2.4 Elección de la alternativa de diseño	18
CAPÍTULO 3	19
DISEÑO DEL MOLINO TRITURADOR.....	19
3.1 Selección de materiales	20
3.2 Fundamentos de un elemento a diseñar	20
3.2.1 Diseño del eje bajo cargas estáticas	20
3.2.2 Coeficientes que modifican la resistencia a la fatiga	22
3.3 Cálculo de la potencia de accionamiento	24
3.3.1 Cálculo de la fuerza de corte	25
3.3.2 Cálculo de la aceleración angular	25
3.3.3 Cálculo de la velocidad tangencial.....	26
3.3.4 Cálculo de la velocidad de alimentación.....	27
3.3.5 Cálculo de la velocidad de corte	27
3.3.6 Cálculo del torque del eje secundario	28
3.3.7 Cálculo del Torque del eje motriz.....	28
3.3.8 Potencia de accionamiento.....	29
3.4 Selección de bandas y poleas	29
3.4.1 Selección del factor de servicio.....	30
3.4.2 Cálculo de la potencia de diseño.....	31
3.4.3 Selección de banda.....	31

3.4.4 Selección de poleas, distancia entre centros	31
3.4.5 Relación de ángulo entre polea y correa trapezoidal	32
3.4.6 Cálculo de la longitud de banda	32
3.4.7 Cálculo de factores de corrección	32
3.4.8 Cálculo de la potencia nominal por banda	33
3.4.9 Cálculo de la potencia corregida	33
3.4.10 Cálculo del número de bandas	33
3.5 Elección de chumaceras	34
3.6 Selección de pernos.....	34
3.6.1 Pernos de anclaje.....	34
3.6.2 Pernos de acero al carbono.....	35
3.7 Selección de chavetas.....	35
3.8 Selección de soldadura.....	35
3.8.1 Selección de tipo de electrodo.....	36
3.9 Cálculo de la cuchilla de corte	36
3.9.1 Cálculo de la cuchilla móvil.....	36
3.9.2 Análisis de elementos finitos de la cuchilla móvil.....	38
3.9.3 Cálculo de la cuchilla fija.....	40
3.10 Cálculo de la guía de molienda	41
3.10.1 Cálculo del volumen de la guía de molienda	41

3.10.2 Cálculo de la masa de la guía de molienda	42
3.10.3 Cálculo del peso de la guía de molienda	42
3.10.4 Cálculo del peso total de la guía de molienda.....	42
3.11 Cálculo del eje secundario	43
3.11.1 Cálculo del volumen del eje secundario.....	43
3.11.2 Cálculo de la masa del eje secundario.....	44
3.11.3 Cálculo del peso del eje secundario	44
3.11.4 Cálculo del peso total del eje secundario	44
3.12 Diseño del eje secundario.....	44
3.12.1 Cálculo de la fuerza centrífuga del eje secundario.....	45
3.12.2 Resistencia a la fatiga del eje secundario.....	47
3.12.3 Análisis de elementos finitos del eje secundario.....	49
3.13 Cálculo de la placa soporte de la cuchilla fija.....	50
3.13.1 Cálculo del volumen de la placa soporte de la cuchilla fija.....	51
3.13.2 Cálculo de la masa de la placa soporte de la cuchilla fija.....	51
3.13.3 Cálculo del peso de la placa soporte de la cuchilla fija.....	51
3.13.4 Cálculo del peso total de la placa soporte de la cuchilla fija	51
3.14 Cálculo de la placa porta ejes.....	52
3.14.1 Cálculo del volumen de la placa porta ejes	52
3.14.2 Cálculo de la masa de la placa porta ejes	53

3.14.3 Cálculo del peso de la placa porta ejes.....	53
3.14.4 Cálculo del peso total de la placa porta ejes	53
3.15 Diseño de la placa porta ejes.....	53
3.15.1 Análisis de elementos finitos de la placa porta ejes.....	55
3.16 Cálculo del disco de sujeción.....	56
3.16.1 Cálculo del volumen del disco de sujeción	57
3.16.2 Cálculo de la masa del disco de sujeción	57
3.16.3 Cálculo del peso del disco de sujeción.....	57
3.16.4 Cálculo del peso total del disco de sujeción.....	58
3.17 Cálculo del eje motriz	58
3.17.1 Cálculo del volumen del eje motriz	58
3.17.2 Cálculo de la masa del eje motriz	59
3.17.3 Cálculo del peso del eje motriz	59
3.17.4 Pesos que soporta el eje motriz	59
3.17.5 Cálculo de la fuerza centrífuga del eje motriz	60
3.18 Diseño del eje motriz	60
3.18.1 Resistencia a la fatiga del eje motriz.....	63
3.18.2 Análisis de elementos finitos del eje motriz	65
3.19 Diseño de la tolva de alimentación	67
3.20 Diseño de la tolva de descarga.....	68

3.21 Diseño del tamiz.....	68
3.22 Cálculo total de los pesos de la máquina	69
3.23 Diseño de la estructura	70
3.23.1 Análisis de elementos finitos de la estructura	71
CAPÍTULO 4	72
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COSTOS	72
4.1 Gráfica Peso vs. Tiempo, con una frecuencia de 18 Hz.....	72
4.2 Gráfica Peso vs. Tiempo, con una frecuencia de 29 Hz.....	73
4.3 Gráfica Peso vs. Tiempo, con una frecuencia de 35 Hz.....	73
4.4 Análisis de costos	74
4.4.1 Costos directos	74
4.4.2 Costos indirectos	78
4.4.3 Costos totales del molino triturador	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	81
LISTA DE REFERENCIAS	82

SIGLAS

DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
DMA	Dirección Metropolitana Administrativa
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
PET	Polietileno Tereftalato
HDPE	Polietileno de alta densidad
PVC	Cloruro de polivinilo
PBED	Polietileno de baja densidad
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Porcentaje de plásticos producidos Vs. Tiempo	5
2. Consumo total del barril de petróleo	8
3. Códigos recomendados por el Plastic Bottle Institute.....	9
4. Alternativa I	15
5. Alternativa II	16
6. Alternativa III.....	17
7. Fórmulas para el cálculo de bandas	30
8. Cargas presentes en la soldadura.....	36
9. Cuchilla móvil.....	36
10. Diagrama de Von Mises de la cuchilla móvil	38
11. Esquema de traslación de la cuchilla	39
12. Diagrama del factor de seguridad de la cuchilla	39
13. Cuchilla fija.....	40
14. Guía de molienda	41
15. Eje secundario	43
16. Momentos y reacciones del eje secundario.....	46
17. Diagrama de Von Mises del eje secundario.....	49
18. Esquema de traslación del eje secundario	49
19. Diagrama del factor de seguridad del eje secundario.....	50
20. Placa soporte de las cuchillas fijas	50
21. Placa porta ejes.....	52
22. Diagrama de Von Mises de la placa porta ejes	55

23.	Diagrama de traslación de la placa porta ejes	55
24.	Diagrama del factor de seguridad de la placa porta ejes.....	56
25.	Disco de sujeción entre placa y eje	56
26.	Eje motriz.....	58
27.	Momentos y reacciones del eje motriz.....	62
28.	Diagrama de Von Mises del eje motriz.....	66
29.	Diagrama de traslación del eje motriz.....	66
30.	Diagrama del factor de seguridad del eje motriz	67
31.	Tolva de alimentación del material	67
32.	Tolva de descarga del material.....	68
33.	Diseño del Tamiz	69
34.	Diagrama de desplazamiento de la estructura.....	71
35.	Diagrama del factor de seguridad de la estructura	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mercados proyectados de plástico en Europa	11
Tabla 2. Matriz de selección de alternativas	18
Tabla 3. Detalle de los pesos de los elementos que soporta la estructura	69
Tabla 4. Cantidad de grano molido utilizando una frecuencia de 18 Hz	72
Tabla 5. Cantidad de grano molido utilizando una frecuencia de 29 Hz	73
Tabla 6. Cantidad de grano molido utilizando una frecuencia de 35 Hz	73
Tabla 7. Descripción y costos de materiales a utilizar	74
Tabla 8. Detalle de los insumos empleados para el molino	75
Tabla 9. Detalle de cada proceso de los elementos que conforma el molino.....	77
Tabla 10. Costo total del molino triturador	79

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Macromoléculas: Son moléculas de una extensa dimensión y a la vez estas están formadas por cientos y miles de átomos a su alrededor, en este caso son sintéticas, creadas por el ser humano. (Definición ABC, 2007)

Pet: Es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo. Posee gran transparencia y brillo además de tener buenas propiedades mecánicas, buena resistencia química y es compatible en contactos con alimentos. (Cadena & Quiroz, 2000, p. 65)

Polietileno: Es un tipo de polímero, se utiliza en la fabricación de envases, bolsas, para recubrir cables, fibras textiles, entre otros. (Cadena & Quiroz, 2000, p. 62)

Polímero: Se definen como macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas que se repiten a lo largo de toda una cadena o cadenas. (Cadena & Quiroz, 2000, p. 9)

RESUMEN

Este proyecto tiene la finalidad de optimizar y construir un prototipo para triturar envases desechables PET, el cual mejorará la calidad de grano obtenido, estableciendo varios parámetros de velocidad. La variación de velocidad será establecida de forma manual por medio de un variador de velocidad y un potenciómetro. Este proyecto va a constar de los siguientes capítulos:

El capítulo uno, concierne a los desechos plásticos partiendo del ambiente el cual se debe cuidar de una manera de gestión de residuos para concientizar la gran importancia que tiene el reciclaje. Además se hablará de las características de los plásticos y sus aplicaciones para su comercialización.

El capítulo dos, define las necesidades de diseño para plantear un prototipo que satisfaga los requerimientos, partiendo de la selección de alternativas y seleccionar la máquina más idónea para su respectiva fabricación.

El capítulo tres, todo lo referente a los cálculos que fueron obtenidos analíticamente y por medio de catálogos y/o libros, respetando las normas de diseño. La fabricación del molino triturador consta de un eje motriz que genera movimiento por medio de una banda trapezoidal conectada a dos poleas y esta a su vez a toda la cámara de molienda, la cual tritura el plástico alimentado desde una forma vertical.

El capítulo cuatro, se basa en los resultados obtenidos por medio de la variación de velocidad y el análisis de los costos para la fabricación del molino triturador respectivamente.

Palabras claves: Análisis, diseño, PET, plásticos, potencia, accionamiento, reciclaje.

ABSTRACT

This project aims to optimize and build a machine to grind PET disposable packaging. This machine will improve the quality of the grains obtained by establishing several speed parameters to analyze them. The speed variation will be established easily and manually by a variable speed drive and a potentiometer. This project contains the following chapter.

Chapter 1 concerns about information about what is the procedure to recycle plastic waste that people spread in the environment and care in the form of recycling and raise awareness of its importance. It will discuss the characteristics of plastics and applications.

Chapter 2 defines the needs of design. It is important in this project because it can get a prototype that fulfills the requirements for establishing the most appropriate alternatives for the machine. All of this starting from the selection of alternatives.

Chapter 3 collects all the information on calculations that was obtained analytically. The information was collected from catalogs or books. Was got all this information respecting all the rules of design for the elaboration of a grinding mill.

Chapter 4 is based on the results gathered through the variation of speed and the analysis of costs for the manufacture of the grinding mill respectively.

Keywords: analysis, design, PET, plastic, power, drive, recycling.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo analizar y optimizar un molino de trituración para envases desechables PET con capacidad de 2 kg/h, la misma que tendrá como objetivos específicos realizar un análisis de la bibliografía acerca de la problemática del no reciclaje, realizar un estudio sobre la alternativa más viable para la elección y construcción del molino triturador de envases desechables PET, diseñar y construir un equipo que permita procesar el PET, obtener una mejora en su calidad, analizar la calidad de grano molido aplicando tres velocidades distantes por medio de un variador de velocidad y analizar los costos directos e indirectos para la fabricación del prototipo del molino triturador.

El ambiente ha sufrido varios cambios debido a la contaminación y mal uso de los residuos sólidos y en gran parte a la forma inapropiada que se le da al proceso de reciclaje.

La industria del plástico ayuda al desarrollo manufacturero, gracias a ésta materia prima se puede elaborar productos para el abastecimiento doméstico y así mismo para la misma industria, tales como recipientes, fibras textiles, partes automotrices entre otros.

Los desechos plásticos tienen su ciclo de vida, luego son arrojados y no son bien utilizados, ocasionando un daño al ambiente, ya que los envases desechables tardan entre cien y mil años en descomponerse. Los desechos plásticos pueden volver a un proceso de trituración y convertirse en una nueva materia prima para ser utilizada y así generar mayor fuente de trabajo, partiendo desde el reciclador, triturador hasta el expendedor.

CAPÍTULO 1

LOS DESECHOS PLÁSTICOS

1.1 El ambiente

El ambiente son sistemas físicos y biológicos que aparecen mediante la adaptación del hombre actual con su propio entorno. La gran importancia que tiene el ambiente referente al tema a tratar es de gran connotación, ya que solo depende de nosotros poder conservarlo.

El estado del hábitat con respecto al aire es caótico, ya que la contaminación aumenta, estando ubicado en segundo puesto el nivel industrial, después del sector de transferencia. (GEO Ecuador, 2008, pág. 14)

1.1.1 Vectores contaminantes

Todo lo mal utilizado puede generar problemas y más aún si son desechos sólidos, esto genera un problema de estudio y una afectación hacia el ambiente. Los vectores contaminantes del ambiente se los ha estructurado de una manera sistemática empezando desde el aire, agua, residuos y utilización de la energía. (Elias, 2009, pág. 4)

1.2 Residuos sólidos

Se considera como residuo sólido a toda clase de substancia, material que afecta al ser humano y a su entorno, un residuo viene a ser un desecho mal utilizado ya sea en su recolección o transporte.

Un residuo es un material que no aporta para el proceso de consumo, utilización, y producción. Sus peculiaridades no son aceptadas nuevamente porque ha perdido valor para quien lo generó. (Atlas ambiental, 2008, pág. 34)

1.2.1 Gestión de los residuos sólidos urbanos en el DMQ

La Dirección Metropolitana Ambiental participa como entidad directora y encargada en el manejo de todos los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en el DMQ. (Atlas ambiental, 2008, pág. 36)

La DMA conjuntamente con los generadores de residuos son los encargados de manejar los residuos y estos a su vez concientizar al nivel industrial en el ámbito de reducir el impacto ambiental bajo los parámetros permitidos.

1.2.2 Generación de residuos sólidos urbanos

La generación de RSU es un gran problema que afecta a la vida cotidiana del ser humano y más aún a su entorno, por lo que si no se manejan en forma adecuada puede ocasionar grandes problemas de salud y afectar principalmente a la población urbana y rural.

1.2.3 Barrido y recolección

Las actividades de barrido que se dan en el DMQ son de dos tipos las cuales son manual y mecánico. La primera se trata de la recolección en las aceras, lo que comprende los alrededores de las calles, para dicha acción se emplean herramientas cómodas para facilitar la misma y la segunda se emplean maquinarias para el barrido como por ejemplo las barredoras de cepillo.

La recolección de residuos sólidos se realiza por medio de camiones estos varían según las nociones preconcebidas, las cuales generan grandes costes y de mayor egreso de capital que la de recolección de basuras comúnmente. (Lund, 1996, pág. 14.9)

1.2.4 Transferencia y transporte

Los desechos son vertidos en botaderos especiales fuera de las zonas urbanas para evitar olores indeseables y facilitar la degradación de los mismos, brindando confiabilidad al operario y a su entorno. (Atlas ambiental, 2008, pág. 42)

El transporte de los desechos se realiza mediante camiones llamados bañeras los cuales tienen un límite de tonelaje a ser transportado y un límite de viajes, los cuales están asignados a sus respectivas zonas urbanas o periféricas.

1.2.5 Proceso de recuperación de recursos

La recuperación de recursos empieza desde la concientización que debe existir en el hogar, cómo separar un residuo o desecho del otro, para facilitar la degradación o trituración del mismo. Las industrias, cada vez más, emplean sistemas de separación de materiales reciclables no orgánicos. El grado y el tipo de material dependen, si este tiene lugar antes o después de la incineración. (Lund, 1996, pág. 1.11)

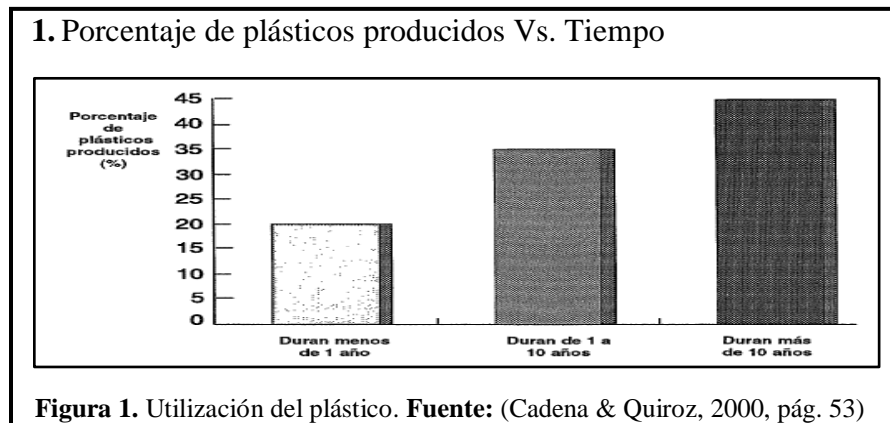
1.2.6 Procesamiento de residuos sólidos

Es un proceso que se aplica a los sólidos para la disminución de residuos, de manera que se simplifique el volumen en su mínima expresión, para conseguir este proceso es necesario que el sólido sea triturado y nuevamente utilizado como materia prima, partiendo de un bajo costo para la producción de nuevos productos.

1.2.7 Reutilización

Todos los desechos plásticos no son bien utilizados, simplemente se utiliza su contenido y se lo arroja sin saber que es de gran aprovechamiento como materia prima a nivel industrial.

En la figura 1 se puede ver que aproximadamente un 20% de los productos plásticos acaban como residuos. Un 35% de los plásticos son usados y un 45% no se convierten en residuos sino pasados los 10 años. (Cadena & Quiroz, 2000, pág. 53)



1.3 El reciclaje

El reciclaje es una estrategia de gestión de residuos sólidos para salvar guardar el ambiente. Un método para la gestión de residuos sólidos es igual de útil que el dispersado o la incineración. (Lund, 1996, pág. 1.2)

En la actualidad es la forma preferida en lo que se refiere al servicio de desechos sólidos, ya que es una manera de combatir el cambio climático y generar fuentes de trabajo y productos de menor costo.

1.3.1 Objetivo de reciclar

Aprovechar al máximo todo tipo de desechos y estos mismos ser tratados o procesados para generar una nueva materia prima. El reciclaje estará orientado hacia la organización y ejecución de manejo de desechos sólidos PET, para lo cual se deberá tener un plan de desarrollo y un método con fines domésticos o comerciales. (Lund, 1996, pág. 4.1)

1.3.2 Reaprovechamiento de reciclaje

La secuencia consiste por lo general en que los consumidores las devuelven a los establecimientos en donde adquirieron los envases. Ellos deberán clasificar los recipientes según el productor, es una manera muy cómoda de poder reciclar.

1.3.3 Ventajas de reciclaje

El reciclaje ayuda a disminuir la contaminación, destrucción del entorno, a preservar bosques, generar fuentes de trabajo, reducir el impacto ambiental y reducir el volumen de basura.

1.3.4 Vías de reciclaje

Existen varias alternativas de reciclado, pero están expuestas a varios tipos de materiales residuales muy sucios, con materiales mezclados compuestos o de composición demasiado específica. Todo esto resulta muy difícil al momento de reciclar mecánicamente. (Elias, 2009, pág. 1023)

El reciclado va acorde al tipo de proceso que reciben los residuos de producción, éstos nos dan una orientación de la manera más viable que se debe optar ante el reciclaje.

1.3.5 Valor futuro del reciclaje

El valor futuro del reciclaje es rentable a largo plazo mediante la conservación y gestión de recursos, debido a que facilitará la adquisición y elaboración de nuevos productos. En relación con la adquisición de productos vírgenes estos son más costosos que los reciclados, en los nuevos productos existe la inseguridad en torno al precio del petróleo, ya que resulta problemática la capacidad de vender componentes residuales reciclados sobre una base constante y creciente.

1.4 Los plásticos

Los plásticos hoy en día son uno de los materiales más utilizadas debido a su gran diversidad, versatilidad, impulso de investigaciones para la creación de nuevos materiales, etc. Pero estas mismas características los han llevado a ser un vector contaminante. (Cadena & Quiroz, 2000, pág. 1)

El nivel manufacturero se ha enfocado en la reutilización de material plástico, especialmente en los procesos de obtención los cuales no han sido aptos para su expendio. (Lund, 1996, pág. 14.1)

Los plásticos tienen algunas ventajas tales como: Cuidar y proteger los alimentos, mantener productos en buen estado por cierto tiempo, reducir el peso de empaques y observar su contenido.

1.4.1 Los plásticos como materia de ingeniería

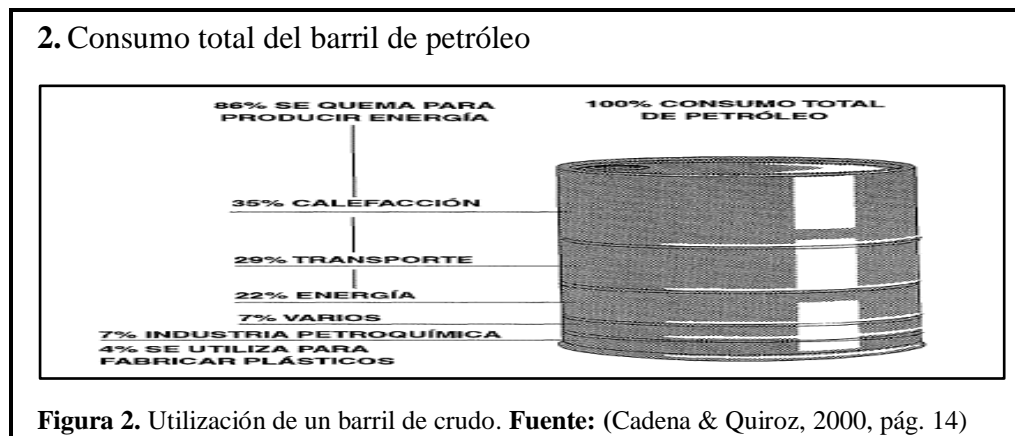
Los plásticos como materia prima de la ingeniería son de valiosa importancia para el desarrollo, esto ha dado cabida para poder construir: autos, aeroplanos, edificios, puentes, paracaídas, tubos, entre otros.

Los materiales poliméricos son los que han tenido mayor desarrollo por su gran diversidad de aplicaciones con relación a otros materiales tradicionales. En los últimos 40 años su volumen de producción ha crecido cien veces, han llegado ya a sobrepasar la producción de acero y su tendencia de crecimiento es sostenida. (Cadena & Quiroz, 2000, pág. 9)

1.4.2 Obtención y fuentes

La manufactura procede de diferentes orígenes como por ejemplo: las resinas de los árboles, petróleo, gas natural, carbón y sal común.

Como se muestra en la figura 2 se calcula que alrededor del 86% del petróleo se quema para producir energía. En cambio, sólo el 2 y el 4% se emplean en producción de plásticos. El petróleo es un recurso no renovable y debe ser aprovechado racional y técnicamente. Los materiales plásticos, en cambio, pueden llegar a una larga y nueva vida siempre y cuando cumplan con estándares de calidad. (Cadena & Quiroz, 2000, pág. 14)



1.4.3 Clasificación

Existe una infinidad de formas mediante las cuales se pueden clasificar los materiales poliméricos, los cuales son: según su origen, si son naturales o sintéticos y según sus propiedades se dividen en:

1.4.3.1 Termoplásticos

Se caracterizan por su estructura interna, la cual está compuesta por macromoléculas unidades por cadenas débiles las mismas que al someterlas a calor son moldeables y cuando se enfrían adoptan la forma a la cual fue dada. (Elias, 2009, pág. 1002)

Este tipo de plásticos sirven para el reciclaje debido a que a altas temperaturas este se disuelve.

1.4.3.2 Termoestables

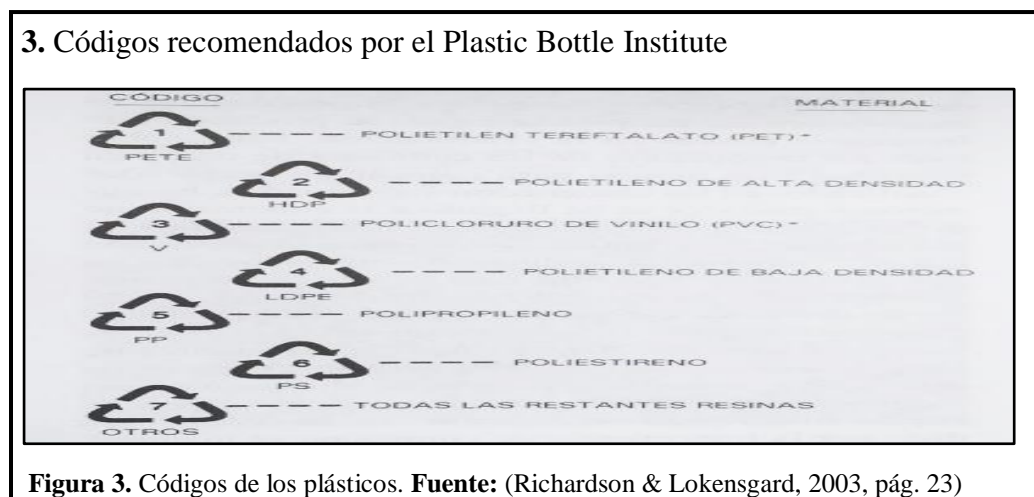
Son aquellos que están formados por moléculas entrelazadas, esto hace que este tipo de plástico muy resistente al calor y reactivos químicos. La resistencia mecánica es más elevada, de tal manera que este material no puede ser reciclado, ya que al ser sometido a altas temperaturas este material no se funde al contrario llega a su etapa de degradación. (Cadena & Quiroz, 2000, pág. 15)

1.4.3.3 Elastómeros termoestables

Son una mezcla de caucho y termoplástico, tiene el potencial de ser reciclables puesto que pueden ser moldeados y re utilizados como plásticos pero tiene características elásticas típicas de los cauchos que no son reciclables. (Cadena & Quiroz, 2000, pág. 16). Este material se caracteriza por tener gran elasticidad y resistencia, pero a temperatura ambiente son blandos están presentes en preservativos, adhesivos y llantas.

1.4.4 Reconocimiento e identificación

Cada tipo de plástico tiene su propia identificación como se muestra en la figura 3, hay siete tipos de plásticos con aplicaciones diferentes para su expendio.



1.4.4.1 Polietileno Tereftalato (PET)

Es un polímero termoplástico, se caracteriza por ser transparente, resistente y reciclable, lo cual ha permitido que este material sea empleado en la fabricación de botellas plásticas, fibras textiles y envases de comida precocinada. (Elias, 2009, pág. 1005)

1.4.4.2 Polietileno de alta densidad (HDPE)

Es el polímero más simple y más común del mundo. Se caracteriza por una buena resistencia al ataque químico y a la humedad, se utiliza en botellas de leche, zumo, detergentes y aceites. (Elias, 2009, pág. 1005)

1.4.4.3 Cloruro de polivinilo (PVC)

Es un polímero termoplástico que está compuesto de cloruro de sodio o sal común y petróleo. Se caracteriza por su resistencia al ataque químico, solar y calor. Sus aplicaciones son en las tuberías, cajas eléctricas y pavimentos. (Elias, 2009, pág. 1005)

1.4.4.4 Polietileno de baja densidad (PBED)

Este polímero es muy similar al PVC, con la diferencia que es menos denso y más flexible, tiene buena resistencia a la flexibilidad y una buena barrera a la humedad, facilidad en el procesado y sellado. Sus aplicaciones son para fundas de ropa, macetas, envoltorios para transporte. (Elias, 2009, pág. 1005)

1.4.4.5 Polipropileno (PP)

Es un termoplástico con alta estabilidad térmica de hasta 100° C, sus ventajas son dureza, resistencia y barrera a la humedad. Sus aplicaciones son carcasas de baterías de vehículos, señalización y contenedores de líquidos calientes. (Elias, 2009, pág. 1005)

1.4.4.6 Poliestireno (PS)

Es un termoplástico, existe de tipo rígido y extendido. Se caracteriza por su transparencia, propiedades de aislantes y facilidad de procesamiento. Tiene un punto de fusión bajo y frágil. Se aplica para interruptores eléctricos, aislantes térmicos, bandejas, vasos desechables y contenedores como cajas de CD. (Elias, 2009, pág. 1005)

1.4.4.7 Otros

Es utilizado para materiales diferentes a los ya mencionados o para mezclas complejas en los que los materiales no son preponderantes, se aplica donde no se requiera pureza del material reciclado. (Elias, 2009, pág. 1005)

1.4.5 Comercialización

Cuando los desechos plásticos han sido procesados y éstos presenten una mayor calidad, entonces pueden ser aptos para su fabricación por ende a su comercialización. (Lund, 1996, pág. 14.27). En la tabla 1 se muestra el gran potencial que tiene las botellas PET en el mercado Europeo frente a los otros tipos de plásticos. Se tiene una referencia de mercado para saber que el PET es la materia prima más utilizada.

Tabla 1. Mercados proyectados de plástico en Europa

Tipo genérico	Millones de kilos anuales (1995)
PET	285
PE-HD	240
PS	258
PVC	224
PP	408
No seleccionado (no definido)	181

Nota: kilos anuales que genera cada tipo de plástico. **Fuente:** (Lund, 1996, pág. 14.27)

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS, PARÁMETROS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1 Análisis de necesidades de diseño

Antes de diseñar el molino triturador de envases desechables PET es necesario analizar y conocer todos los materiales, los cuales estarán presentes en la construcción del mismo.

Se tendrá varias alternativas de diseño para su perfecta construcción y elección.

Se cumplirá todos los objetivos planteados, sin olvidar los siguientes criterios y necesidades: ingreso del material, complejidad en su construcción, costo de fabricación, funcionalidad del molino, mantenimiento, seguridad hacia el operario, velocidad de producción. Para poder definir la mejor alternativa de diseño y construcción se hará un análisis de cada parámetro con el fin de establecer su respectiva calificación.

2.1.1 Ingreso del material

El molino triturador tendrá un diseño innovador de tal forma que su alimentación deberá ser diferente a las ya empleadas, para que al momento de la trituración no exista exceso de material en la cámara de molienda y así obtener una adecuada trituración. Se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 un valor no apto y 10 un valor sugestivo.

2.1.2 Complejidad en su construcción

Se basa en la facilidad de construcción de la máquina, la cual dependerá de varias peculiaridades de diseño como por ejemplo la cámara de molienda y de materiales e instrumentos a emplearse en cada una de las alternativas de diseño ya planteadas. Se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 un valor muy complejo en su construcción y 10 un valor sencillo.

2.1.3 Costo de fabricación

Para conseguir un costo de fabricación acorde a la economía del país se debe de estudiar detenidamente cada elemento a ser construido y no tener desperdicio de material. Se incluirá algunos procesos tales como soldadura, torneado, fresado, tratamientos térmicos y la respectiva utilización de insumos. Se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 un valor costoso y 10 un valor económico.

2.1.4 Funcionalidad del molino

El molino triturador tendrá buena seguridad al momento de ser utilizado, empezando desde su alimentación hasta terminar con la obtención de grano que satisfaga las necesidades planteadas. Tratar de minimizar el ruido que ésta máquina origina en el proceso. Se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 un valor no satisfactorio y 10 un valor óptimo.

2.1.5 Mantenimiento

El molino triturador se caracterizará en la facilidad de montaje y desmontaje de todos los elementos que conforman la máquina para facilitar el mantenimiento de cada mecanismo. Los repuestos y accesorios deberán estar disponibles en el mercado. Se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 un valor complejo en mantenimiento y 10 un valor fácil.

2.1.6 Seguridad hacia el operario

El molino triturador se caracterizará por tener énfasis en la seguridad del operario, aislándole de todo riesgo. Todos los elementos que puedan causar un accidente serán totalmente cubiertos. Se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 un valor inseguro hacia el operario y 10 un valor seguro.

2.1.7 Velocidad de producción

La velocidad de trituración dependerá de la forma en que se diseñe la cámara de molienda, elección de revoluciones adecuadas y del número de cuchillas móviles y fijas. Se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 un valor muy lento y 10 un valor rápido.

2.2 Planteamiento de alternativas

Existen molinos los cuales son fabricados dependiendo la exigencia del cliente ya sea su diseño, funcionamiento o calidad de grano a ser obtenido. Para el diseño correcto del molino se plantearán varias alternativas, las cuales van a ser analizadas y se llegará a la determinación de una de ellas para su posterior construcción, sin olvidar que su diseño debe ser sencillo, eficiente y eficaz.

2.2.1 Alternativa I. Triturador con eje rotor de 2 aletas

2.2.1.1 Funcionamiento

La máquina tiene la función de triturar los envases desechables PET, los cuales van a ingresar por la tolva de alimentación, luego serán triturados por medio de las cuchillas fijas y móviles. Las cuchillas están dispuestas en dos aletas y sujetas con pernos respectivamente, dos cuchillas fijas se encuentran a cada extremo de la máquina igualmente sujeta con pernos, por último un tamiz que va a cumplir la función de sernidera y así se obtendrá el grano deseado.

2.2.1.2 Elementos principales

El molino tendrá: dos cuchillas móviles, dos cuchillas fijas, una sernidera con orificios de 10 mm, un motor monofásico, eje rotor provisto de dos aletas, tolva de alimentación, tolva de descarga y estructura soporte.

4. Alternativa I

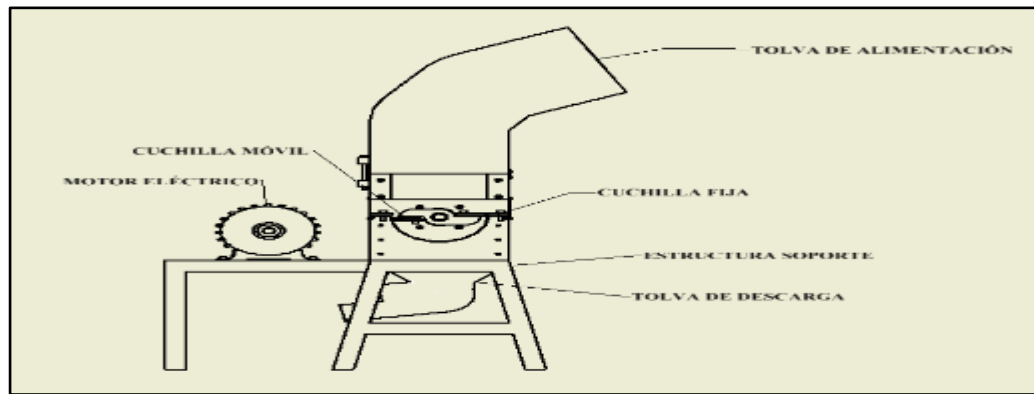


Figura 4. Molino triturador con cuchillas móviles y fijas. **Elaborado por:** Juan Mayorga (2016)

2.2.1.3 Ventajas

Las ventajas serán: bajo consumo de energía, facilidad de operación y seguro para el operario.

2.2.1.4 Desventajas

Las desventajas serán: grano demasiado grueso, costo elevado de las aletas y mantenimiento costoso.

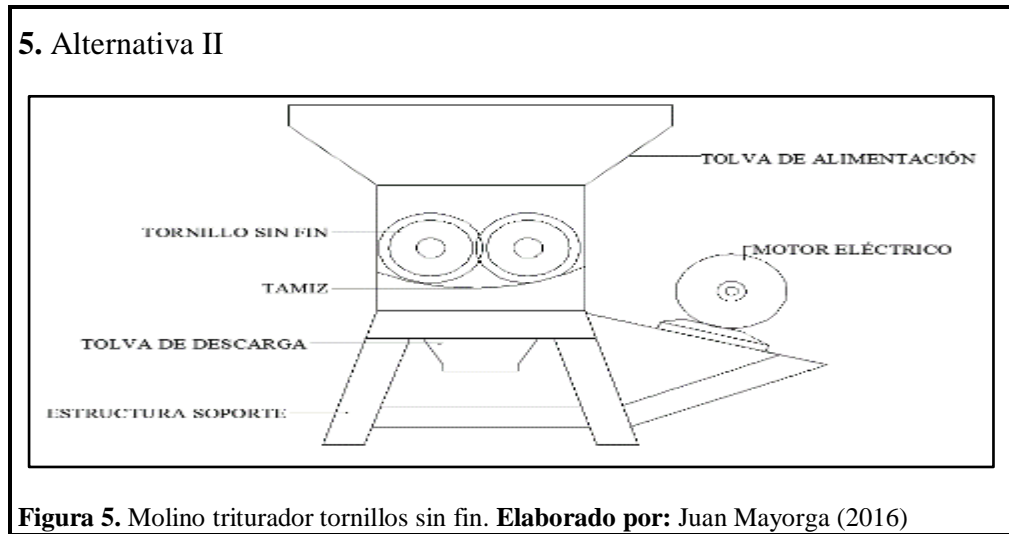
2.2.2 Alternativa II. Triturador con 2 tornillos sin fin

2.2.2.1 Funcionamiento

Este molino triturador tiene una cámara de molienda con dos tornillos sin fin los cuales van a hacer el proceso de trituración por medio del ingreso del material por la tolva de alimentación. El movimiento rotacional que generan los tornillos por medio de un motor trifásico para la trituración va a ocasionar la fractura del material y por ende la ruptura ocasionando así el grano.

2.2.2.2 Elementos principales

El molino tendrá: tolva de alimentación, tolva de descarga, motor eléctrico bifásico, tamiz con orificios de 10 mm, dos tornillos sin fin y estructura soporte.



2.2.2.3 Ventajas

Las ventajas serán: facilidad de operación, bajo consumo de energía, mantenimiento fácil y ocupa menor espacio.

2.2.2.4 Desventajas

Las desventajas serán: proceso lento en la trituración, aglomeración de material, construcción compleja y corta vida del ángulo de corte del tornillo.

2.2.3 Alternativa III. Triturador trapezoidal provista de cuchillas móviles

2.2.3.1 Funcionamiento

Es un modelo innovador de cámara de trituración consta de un eje rotor, el cual está provisto de un trapecio y están dispuestos tres ejes secundarios los cuales en ellos estarán apernadas las cuchillas que generarán el corte del material y dos cuchillas fijas que estarán

situadas en la placa porta cuchillas. El movimiento del eje rotor es mediante un motor trifásico, el material será ingresado por la tolva de alimentación, luego de ser triturado será recogido en la tolva de descarga con una calidad de grano el cual cumpla los objetivos planteados.

2.2.3.2 Elementos principales

Los elementos principales serán: tolva de alimentación, tolva de descarga, motor eléctrico monofásico, tamiz con orificios de 5mm, eje rotor en forma de triángulo, tres ejes secundarios y dos cuchillas fijas.

6. Alternativa III

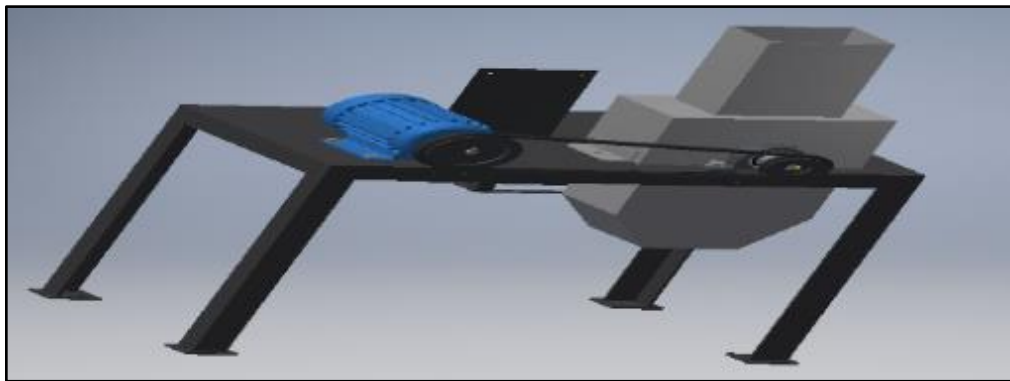


Figura 6. Molino con eje rotor en forma trapezoidal. **Elaborado por:** Juan Mayorga (2016)

2.2.3.3 Ventajas

Las ventajas serán: facilidad de mantenimiento, facilidad al ser trasladada, bajo consumo de energía, facilidad de operación, seguro para el operario y calidad de grano obtenido.

2.2.3.4 Desventajas

Las desventajas serán: construcción demorosa y afilado de sus cuchillas.

2.2.4 Elección de la alternativa de diseño

Para obtener una elección idónea del molino, se utilizará el método cuantitativo, el cual tendrá por prioridad las escalas numéricas para valorar todas las alternativas de diseño ya mencionadas. Se sumará cada uno de los puntajes conseguidos y se optará por la que obtenga mayor calificación.

Tabla 2. Matriz de selección de alternativas

NECESIDADES	ALTERNATIVAS		
	1	2	3
Alimentación	7	7	7
Complejidad en su construcción	7	7	7
Costo de fabricación	6	6	6
Funcionalidad del molino	7	7	8
Mantenimiento	6	6	7
Seguridad hacia el operario	9	9	9
Velocidad de producción	8	7	9
Valoración global / 70	50	49	53

Nota: Parámetros de diseño del molino. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

Dado los resultados obtenidos en la matriz de selección, se establecerá que la mejor alternativa para el diseño del molino de trituración para envases desechables PET es la alternativa 3. Ésta máquina cumple con el mayor puntaje de parámetros presentados, los cuales serán plasmados al momento de diseñar el molino triturador.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL MOLINO TRITURADOR

Seleccionada la mejor alternativa se empezará con el diseño, cálculos y selección de elementos ya sean estos de fijación o no, en donde sean convenientes aplicarlos en el molino de trituración.

Se determinará las dimensiones adecuadas para elaborar un prototipo que satisfaga los objetivos planteados.

La postura del operario debe ser un factor preponderante al momento de realizar la operación así como la alimentación de los envases desechables PET. El propósito para la construcción de esta máquina es reducir el esfuerzo del operario y así mismo se pueda realizar un mantenimiento fácil y adecuado.

El molino tendrá un lugar determinado dentro del taller de trabajo, motivo por el cual se tratará de minimizar el ruido. Su accionamiento será por medio de un motor eléctrico trifásico de forma manual para poder controlar las velocidades por medio de un variador de velocidad y/o potenciómetro.

La utilización del sistema de movimiento o fuerza que genera del motor hacia el eje motriz será por medio de una correa trapezoidal tipo V, ésta será situada en las poleas que conectan a sus respectivos ejes.

Para los cálculos y diseños de los ejes, placas y cuchillas se delimitará hacer con materiales que cumplan con sus respectivas especificaciones para no tener problemas al momento del ensamblaje y operación.

3.1 Selección de materiales

Se seleccionará un acero AISI 1045 para el eje motriz y ejes secundarios, según (BOHLER, 2007, pág. 71) el límite elástico para aceros de hasta 100mm de diámetro es de $240 \frac{N}{mm^2}$ y la resistencia a la flexión es de 650 a $750 \frac{N}{mm^2}$. Este acero es de carbono de alta calidad, tiene una buena resistencia mecánica.

El acero AISI 1018 para la placa porta ejes, guías, soporte de cuchillas fijas, guías de molienda, soportes y discos de sujeción, según (BOHLER, 2007, pág. 71) el límite elástico de este acero es de $235 \frac{N}{mm^2}$ y la resistencia a la flexión es de 410 a $520 \frac{N}{mm^2}$.

El acero AISI 1010 para la estructura y tolvas, ya que tiene un esfuerzo de fluencia de 250Mpa y es utilizado para estas aplicaciones.

Las cuchillas serán de acero AISI D2, según (BOHLER, 2007, pág. 20) este acero es idóneo para trabajar con plásticos donde se requiere una alta resistencia al desgaste. Las cuchillas recibirán un tratamiento térmico de temple para elevar la dureza del material.

3.2 Fundamentos de un elemento a diseñar

El elemento a diseñar fallará, deteriorará o sufrirá una ruptura ya sea total o parcial debido al exceso de carga al cual está sometido y éste nunca deberá exceder el límite de tensión máxima del material a usar. (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 4)

3.2.1 Diseño del eje bajo cargas estáticas

Los ejes que serán utilizados tendrán cargas estáticas, ya que sus fuerzas actuarán en forma vertical al elemento, es conveniente analizar el esfuerzo a flexión y torsión para determinar los valores de dichos esfuerzos y así diseñar un eje seguro para su empleo.

El esfuerzo en un eje sólido según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 355) con sección transversal redonda es:

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

Ec. 3-1

El esfuerzo de torsión en un eje sólido según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 355) con sección transversal redonda es:

$$\tau = \frac{16 T}{\pi d^3}$$

Ec. 3-2

El esfuerzo equivalente según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 356) es:

$$[\sigma]_{eq} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

Ec. 3-3

$$[\sigma] = \frac{S_y}{F_s}$$

Ec. 3-4

En que:

σ : Energía de sección transversal redonda

τ : Energía de torsión transversal redonda

T: Torque producido por el eje

Sy: Límite elástico

M: Fuerza producida por una distancia

Fs: Factor de seguridad de acuerdo a la aplicación

3.2.2 Coeficientes que modifican la resistencia a la fatiga

Según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 279) el diseño a fatiga sirve para conocer los factores que involucran a un elemento, tales como fisuras o grietas no visibles a causa del uso del material, por lo que se analizarán los siguientes coeficientes:

$$[\sigma] = \frac{Se}{F_s}$$

Ec. 3-5

Donde:

Se: Coeficiente crítico de una parte de la máquina

$$Se = Se' * Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * kf$$

Ec. 3-6

Donde:

- Ka: Coeficiente del estado superficial (anexo 1)

$$Ka = aSut^b$$

Ec. 3-7

- Kb: Coeficiente de variación del tamaño (anexo 2)
- Kc: Coeficiente de variación de la carga:

$$K_c = 0.923 \text{ axial}$$

Ec. 3-8

- K_d : Coeficiente de variación de temperatura (anexo 3)

$$K_d = \frac{ST}{SRT}$$

Ec. 3-9

Donde:

ST: Elasticidad al clima de trabajo

SRT: Elasticidad al clima del entorno

- K_e : Coeficiente de seguridad

$$K_e = \frac{1}{K_f}$$

Ec. 3-10

- K_f : Coeficiente de variación de efectos varios

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1)$$

Ec. 3-11

Donde:

q: Coeficiente de sensibilidad a la muesca

K_t : Coeficiente de congregación de energía

En el anexo 4 se puede apreciar los valores de sensibilidad a la muesca respectivamente con su radio.

En el anexo 5 se muestra el factor de concentración de esfuerzo “Kt” con las relaciones respectivas.

3.2.2.1 Cálculo del número de ciclos

Según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 277) el número de ciclos sirve para tener una referencia sobre el tiempo de uso que tendrá el material para que éste sufra una fisura.

$$N = \left(\frac{\sigma}{a}\right)^{\frac{1}{n}}$$

Ec.3-12

$$n = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{f * Sut}{Se}\right)$$

Ec.3-13

$$a = \left(\frac{f * Sut}{Se}\right)^2$$

Ec.3-14

3.3 Cálculo de la potencia de accionamiento

Los envases desechables PET tienen un espesor de 3 mm para su respectiva fabricación, por lo que requieren una energía necesaria para originar una fractura y ruptura total del mismo. (Luna Puente, Moreno Villanueva, & Ledesma Jaime, 2009, pág. 4).

Para originar una fuerza necesaria de corte para el PET se ha elaborado un estudio de resistencia al impacto Izod, el mismo que va de 13-35 ($\frac{J}{m}$) como se muestra en el anexo 6.

Las unidades que se trabaja son en $\frac{\text{KJ}}{\text{m}^2}$. Se escogerá el promedio del valor del impacto Izod que es de $24 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2}$.

3.3.1 Cálculo de la fuerza de corte

Es la fuerza necesaria para fracturar al PET, sirve para determinar la dureza de la botella a la cual está será triturada.

$$F_c = \text{Izod} * e_c \quad (\text{Luna Puente, Moreno Villanueva, \& Ledesma Jaime, 2009, pág. 4})$$

Donde:

F_c = Fuerza de corte máxima

Izod = Valor de resistencia al impacto ($\frac{\text{KJ}}{\text{m}^2}$)

e_c = Espesor máximo a cortar (m)

$$F_c = \frac{24000 \text{ N} * \text{m}}{\text{m}^2} * 0.003 \text{ m}$$

$$F_c = 72 \text{ N}$$

3.3.2 Cálculo de la aceleración angular

Para obtener una buena trituración es conveniente trabajar entre los rangos de 700 a 3000 RPM aunque todo depende de la calidad del material a procesar. (Retsch, pág. 6). Se empleará 1500 RPM que es igual a $157.1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, motivo por el cual se tomará de referencia dicho valor para obtener la aceleración angular. Según (Larburu Arrizabalaga, 2008, pág. 117) la velocidad angular es igual a:

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2 \alpha (\theta - \theta_0)$$

En esta fórmula se deprecian los valores de ω_0^2 y θ_0 que son velocidad angular de partida y dirección de partida respectivamente, ya que son igual a cero "0". Despejando la aceleración angular de dicha fórmula se obtendrá:

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2 * 2\pi}$$

$$\alpha = \frac{157.1^2}{2 * 2 \pi}$$

$$\alpha = 1965 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

3.3.3 Cálculo de la velocidad tangencial

Cuando las cuchillas móviles están girando, éstas chocan contra las cuchillas fijas para así fisurar, y, posteriormente triturar al plástico. Todo este proceso genera una velocidad tangencial la cual se expresa:

$$V_t = W * R \quad (\text{Burbano de Ercilla, Burbano García, \& Gracia Muñoz, pág. 81})$$

Donde:

V_t: Velocidad tangencial

W: Velocidad angular

R: Radio de giro

$$V_t = 157.1 * 0.18$$

$$V_t = 28.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.3.4 Cálculo de la velocidad de alimentación

Es la velocidad a la cual el PET ingresa a la tolva de alimentación y sirve para tener una referencia para obtener la velocidad de corte.

$$V_{alm} = \frac{q}{\rho * A_{alm}}$$

Donde:

V_{alm} : Velocidad de alimentación

q : Cantidad de plástico a triturar

ρ : Densidad del PET = $1380 \frac{Kg}{m^3}$

A_{alm} : Área de alimentación del molino = $0.0234m^2$

$$V_{alm} = \frac{2}{1380 * 0.0234}$$

$$V_{alm} = 0.062 \frac{m}{s}$$

3.3.5 Cálculo de la velocidad de corte

La velocidad de corte es aquella que determina a qué velocidad se está triturando el PET en el prototipo.

$$V_c = \sqrt{V_{alm}^2 + V_t^2}$$

Donde:

V_c : Velocidad de corte

V_{alm} : Velocidad de alimentación

Vt: Velocidad tangencial

$$V_c = \sqrt{(0.062)^2 + 28.3^2}$$

$$V_c = 28.3 \frac{m}{s}$$

3.3.6 Cálculo del torque del eje secundario

El torque facilitará tener una fuerza que actúe con otro cuerpo relacionado con su distancia y ésta a su vez produzca una fuerza contraria al eje que origina el movimiento. Esto facilitará la obtención de la potencia de accionamiento.

$$T = F_c * d$$

d: Distancia entre la punta de la cuchilla y el centro del eje secundario

$$T = 72 * 0.025$$

$$T = 1.8 \text{ Nm}$$

3.3.7 Cálculo del Torque del eje motriz

$$T = F_c * d$$

Donde:

T: Torque

Fc: Fuerza de corte

d: Distancia entre las puntas de las cuchillas y el centro del eje motriz

$$T = 72 * 0.18$$

$$T = 12.96 \text{ Nm}$$

3.3.8 Potencia de accionamiento

Según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 916) es aquella fuerza a la cual la máquina va a trabajar para originar el movimiento a toda la cámara de molienda.

$$P = T * W$$

Donde:

P: Fuerza de accionamiento

T: Torque del eje secundario + torque del motriz

W: Velocidad angular

$$P = (1.8 + 12.96) * 157.1$$

$$P = 2318.8 \text{ W} = 3.11 \text{ Hp}$$

La potencia obtenida fue de 3.11 Hp, motivo por el cual se seleccionará un motor de 3 Hp para un buen desempeño del molino. En el anexo 7 se mostrará el motor idóneo según los cálculos obtenidos.

3.4 Selección de bandas y poleas

Encontrada la potencia de accionamiento se deberá seleccionar la correa idónea para realizar el movimiento y los cálculos pertinentes según (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 860), son: distancia entre centros y así mismo el diámetro de las poleas conductoras y conducidas. Para la utilización de poleas ranuradas se debe emplear bandas de tipo en V como se aprecia en el anexo 8.

En la figura 7 se puede observar todos los cálculos que se deben emplear para el cálculo de transmisión de potencia de las bandas.

7. Fórmulas para el cálculo de bandas

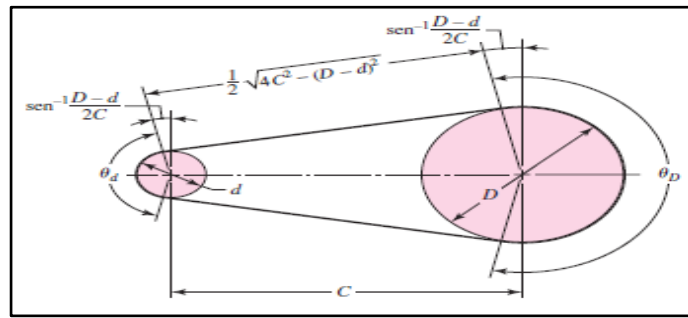


Figura 7. Cálculo de correas. **Fuente:** (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 861)

$$\theta_d = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \frac{D - d}{2c}$$

Ec. 3-15

$$\theta_D = \pi + 2 * \text{sen}^{-1} \frac{d - D}{2c}$$

Ec. 3-16

$$L = \sqrt{4c^2 + (D - d)^2} + \frac{1}{2} (D\theta_D + d\theta_d)$$

Ec. 3-17

3.4.1 Selección del factor de servicio

Para poder determinar el valor del factor de servicio se deberá seleccionar a qué máquina está destinado, en este caso a una trituradora. Se recomienda utilizar un torque alto sobre un 175% del par nominal intermedio que es de 1.5, para no tener ningún inconveniente al momento de realizar el movimiento. En el anexo 9 se aprecia el factor de servicio para una trituradora.

3.4.2 Cálculo de la potencia de diseño

La potencia de diseño hace referencia al momento de sobredimensionar el motor y así emplearlo de una manera confiable, también se utilizará para la selección de la banda.

$$H_{pd} = H_{pa} * F_s \quad (\text{CARLISLE, pág. 18})$$

Donde:

H_{pd} : Potencia de diseño

H_{pa} : Potencia de accionamiento

F_s : Factor de servicio

$$H_{pd} = 3 * 1.5$$

$$H_{pd} = 4.5 \text{ Hp}$$

3.4.3 Selección de banda

Con el cálculo obtenido de 4.5 Hp de potencia de diseño y los 1500 RPM, según el anexo 10 se elegirá la banda idónea para nuestro molino triturador, la cual es 3VX 530.

3.4.4 Selección de poleas, distancia entre centros

Ya escogida la correa trapezoidal 3VX 530 se verificará los valores en el anexo 11, se determinará los valores de cada polea y distancia entre centros de ejes los cuales son: la polea conducida: 3.50 pulgadas, Polea conductora: 5.50 pulgadas y distancia entre ejes: 17 pulgadas ya que son los datos que se obtienen con las revoluciones ya establecidas que son 1500 RPM. Según el anexo 12 el material que se debe emplear para las poleas es de hierro fundido.

3.4.5 Relación de ángulo entre polea y correa trapezoidal

La relación de contacto entre estos dos elementos servirá para determinar si el diseño y elección de poleas son las correctas para un buen funcionamiento.

Según la ecuación 3-15 se determinará:

$$\theta_d = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \frac{139.7 - 88.9}{2 * 431.8}$$

$$\theta_d = 172.5^\circ$$

Por lo tanto, el ángulo de agarre está dentro del parámetro permitido, lo que indica que está bien el diseño, ya que es inferior a 180° y mayor a 159° .

3.4.6 Cálculo de la longitud de banda

Al usar la ecuación 3-17 se tendrá:

$$L = \sqrt{4 * (431.8)^2 + (139.7 - 88.9)^2} + \frac{1}{2} ((142.22 * 3.25) + (91.44 * 3.03))$$

$$L = 1235 \text{ mm}$$

La correa trapezoidal disponible en el mercado es de 1270 mm de perímetro de longitud.

3.4.7 Cálculo de factores de corrección

Una vez obtenido el valor del ángulo de contacto entre polea y bandas que es igual a 172.5° se procederá a establecer los valores de factores de corrección los cuales se pueden apreciar en el anexo 13 y 14.

Por lo tanto, el valor del factor de corrección por ángulo de contacto es: $C_\theta = 0.98$ y el valor del factor de corrección por longitud es: $C_L = 0.965$

3.4.8 Cálculo de la potencia nominal por banda

Establecido el diámetro de la polea conducida que es igual a 3.50 pulgadas, se seleccionará la potencia nominal, la cual se podrá apreciar en el anexo 15. Se optará una potencia nominal por banda de 2.5 Hp a 1500 RPM, adicionalmente la potencia seleccionada con anterioridad del motor fue de 4.5 Hp, con esto nos da un total de potencia nominal por banda de 7Hp, éste valor fue obtenido sumando la potencia nominal por banda y la potencia de diseño.

3.4.9 Cálculo de la potencia corregida

La potencia corregida sirve para establecer una nueva potencia nominal por banda, la cual facilitará la obtención del número exacto de bandas a utilizar.

$$P_c = C_{\theta} * C_L * P_n \quad (\text{Mott, 2006, pág. 279})$$

Donde:

P_c : Potencia corregida

C_{θ} : Factor de corrección por ángulo de contacto

C_L : Factor de corrección por longitud

P_n : Potencia nominal por banda

$$P_c = 0.98 * 0.965 * 7$$

$$P_c = 6.62 \text{Hp}$$

3.4.10 Cálculo del número de bandas

$$Z = \frac{H_{pd}}{P_c} \quad (\text{Mott, 2006, pág. 279})$$

Donde:

Z: Número de bandas

Hpd: Potencia de diseño

Pc: Potencia corregida

$$Z = \frac{4.5}{6.62}$$

$$Z = 0.68$$

Por lo tanto, se utilizará una correa trapezoidal.

3.5 Elección de chumaceras

El rodamiento tiene y requiere una vida útil distinta según (Juvinal & Marshek, 2012, pág. 604), ya que cada uno se encuentra expuesto a varias cargas ya sean radiales o angulares según como lo determine el fabricante. En el anexo 16 se seleccionará el tipo de rodamiento conforme al diámetro del eje motriz calculado.

3.6 Selección de pernos

Los pernos son de gran ayuda al momento de la sujeción entre dos o más elementos, con la ayuda de un catálogo se podrá determinar qué clase de pernos son más convenientes al momento de realizar un ajuste y también para que tipo de trabajos o esfuerzos son empleados.

3.6.1 Pernos de anclaje

Son utilizados para fijar algún elemento hacia el concreto por medio de un gancho o vástago del perno. Se seleccionará el anclaje tipo cuña, estos pernos son elaborados con

baja cantidad de carbono recubierto, el anclaje es reconocido por torsión y finalmente roscado. En el anexo 17 se muestra los tipos de pernos de anclaje tipo cuña

3.6.2 Pernos de acero al carbono

Esta clase de pernos serán empleados en la máquina, donde sea necesario un acople y/o para sujetar el motor, chumaceras, cuchillas, placas etc. En el anexo 18 se muestra las características de los pernos de acero al carbono y el valor de carga pueden trabajar.

3.7 Selección de chavetas

Las chavetas serán seleccionadas de acuerdo al diámetro del eje en donde van a ir acopladas, las cuales sirven como sujeción entre elementos. En el anexo 19 se muestra todas las especificaciones de la chaveta.

3.8 Selección de soldadura

Se trabajará con un tipo de soldadura junta a tope, ya que las piezas a soldar estarán dispuestas entre sí en un mismo plano y con la soldadura junta en T para piezas perpendiculares, especialmente en la estructura.

$$\sigma = \frac{F}{hl} \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2008, pág. 460})$$

Donde:

F: Carga de tensión.

h: Garganta de la soldadura.

l: Longitud soldada.

En la figura 8 se estima los elementos en un cordón de soldadura.

8. Cargas presentes en la soldadura

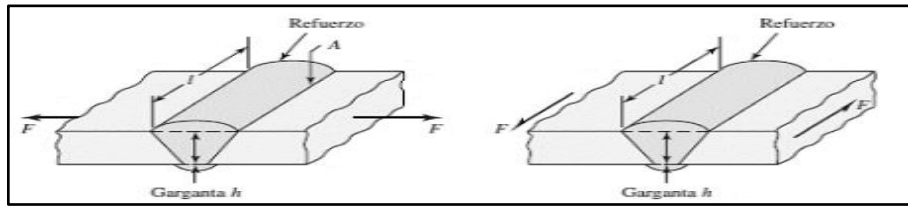


Figura 8. Cargas en la soldadura. **Fuente:** (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 460)

3.8.1 Selección de tipo de electrodo

El electrodo que se utilizará será el 6011, ya que posee un revestimiento celulítico de alta penetración, el cual está diseñado para utilizar en todas las aplicaciones donde se encuentre presente el acero dulce.

3.9 Cálculo de la cuchilla de corte

La cuchilla va a ser la encargada de originar la fractura y corte del material PET, por lo que su material debe ser de acero ledeburítico de alta estabilidad dimensional el cual es idóneo para trabajar en plásticos. En este diseño se presenta dos tipos de cuchillas, la cuchilla móvil y fija.

3.9.1 Cálculo de la cuchilla móvil

La cuchilla móvil tendrá un ángulo de corte de quince grados a lo largo de toda la cara que hará contacto con el PET para facilitar la trituración, como se muestra en la figura 9, la cuchilla tendrá dos agujeros para la sujeción de la misma con el eje secundario.

9. Cuchilla móvil

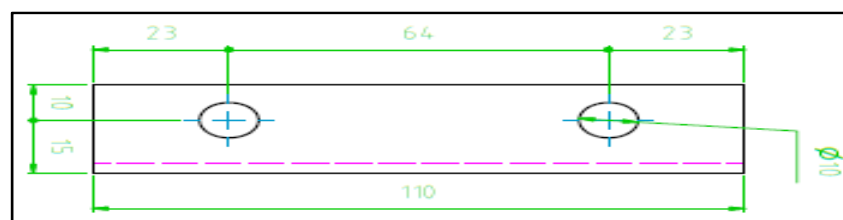


Figura 9. Geometría de la cuchilla móvil. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

3.9.1.1 Cálculo del volumen de la cuchilla móvil

$$V = (A * L) - (2 * \pi * r^2 * h) - (b * \frac{h}{2} * L)$$

Donde:

$A = b * h$: Área de la cuchilla

$2 * \pi * r^2 * h$: Área de los dos agujeros

$b * \frac{h}{2} * L$: Área de la arista de corte

Por lo tanto el volumen de la cuchilla es igual a:

$$V = (250 * 110) - (2 * \pi * 5^2 * 10) - (2.68 * \frac{10}{2} * 110)$$

$$V = 2.44 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

3.9.1.2 Cálculo de la masa de la cuchilla móvil

$$m = \rho * V$$

$$m = 7695 * 2.44 * 10^{-5}$$

$$m = 0.188 \text{ Kg}$$

3.9.1.3 Cálculo del peso de la cuchilla móvil

$$W_{cm} = m * g$$

$$W_{cm} = 0.188 * 9.81$$

$$W_{cm} = 1.84 \text{ N}$$

3.9.1.4 Cálculo del peso total de la cuchilla móvil

El peso total de la cuchilla móvil será multiplicado por 3, siendo éste el número de cuchillas presentes en la cámara de molienda.

$$W_{\tau\text{cm}} = (W_{\text{cm}}) * 3$$

Donde:

$W_{\tau\text{cm}}$: Peso total de las cuchillas móviles

W_{cm} : Peso de la cuchilla móvil

$$W_{\tau\text{cm}} = (1.84) * 3$$

$$W_{\tau\text{cm}} = 5.52\text{N}$$

3.9.2 Análisis de elementos finitos de la cuchilla móvil

Es fundamental la elección correcta del material y diseño de las cuchillas, ya que son las encargadas de triturar el plástico, es por ello que se utilizará un programa para sus respectivos análisis (inventor). En este caso se realizará un análisis y se determinará la tensión Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad, sobre la cara que está en contacto con el material a triturar el cual tiene una fuerza de corte de 72N.

3.9.2.1 Tensión Von Mises

10. Diagrama de Von Mises de la cuchilla móvil

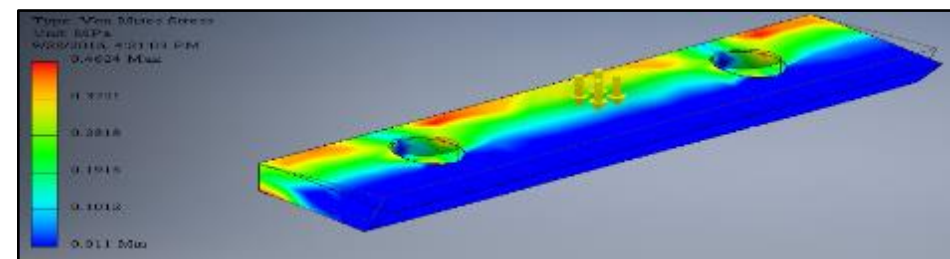
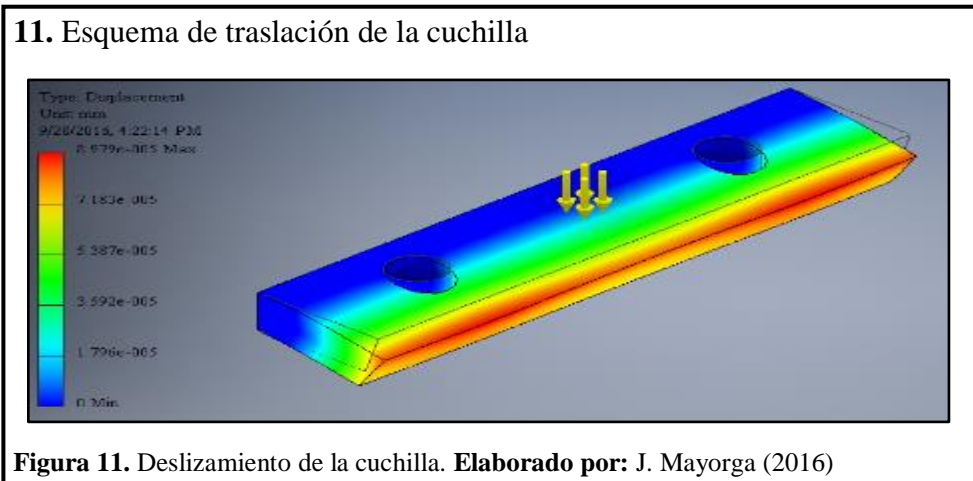


Figura 10. Esfuerzo de Von Mises en la cuchilla. Elaborado por: J. Mayorga (2016)

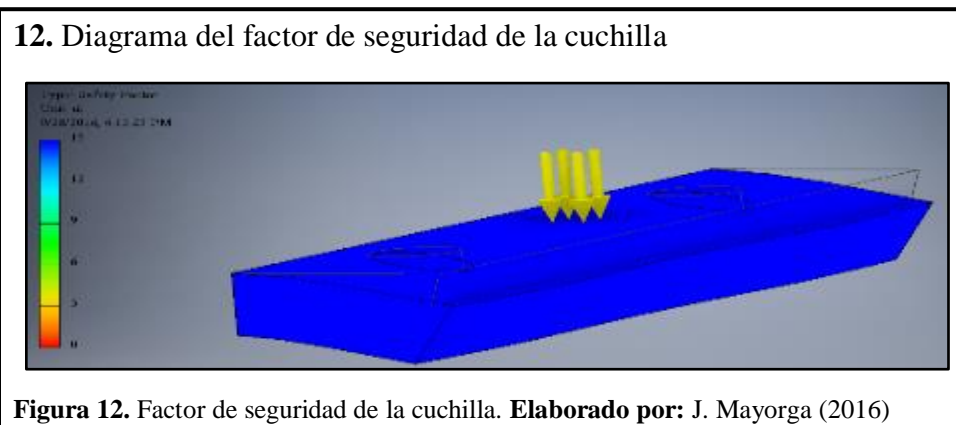
En la figura 10 se observa que el esfuerzo mayor que soporta la cuchilla es de 0.4624 MPa, de manera que su esfuerzo es inferior al límite elástico, no existirá algún desequilibrio de consideración.

3.9.2.2 Desplazamiento



En la figura 11 se muestra que el desplazamiento de la cuchilla es de 0.000089 mm al momento que ésta choca con el material a triturar, dicho valor es mínimo pero implica que en algún momento se desgastará el filo de corte.

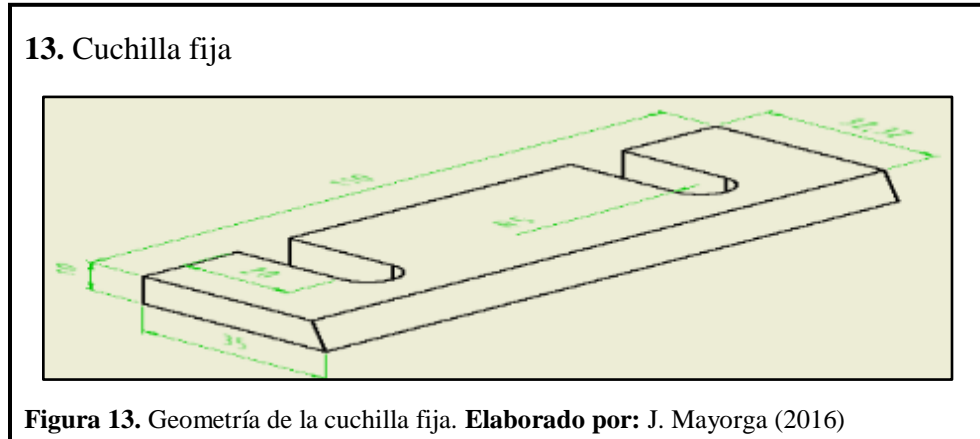
3.9.2.3 Factor de seguridad



En la figura 12 se muestra el factor de seguridad de la cuchilla que es de 15, esto indica que se está trabajando correctamente.

3.9.3 Cálculo de la cuchilla fija

La cuchilla fija es la encargada de fisurar al material, tiene dos ojos chinos los cuales permitirán el desplazamiento de la misma para disminuir la distancia entre cuchilla fija y móvil.



3.9.3.1 Cálculo del volumen de la cuchilla fija

$$V = (A * L) - (2 * \pi * \frac{r^2}{2} * L * h) - (b * \frac{h}{2} * L)$$

$$V = (350 * 110) - (2 * \pi * \frac{5^2}{2} * 20 * 10) - (2.68 * \frac{10}{2} * 110)$$

$$V = 2.13 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

3.9.3.2 Cálculo de la masa de la cuchilla fija

$$m = \rho * V$$

$$m = 7695 * 2.13 * 10^{-5}$$

$$m = 0.164 \text{ Kg}$$

3.9.3.3 Cálculo del peso de la cuchilla fija

$$W_{cf} = m * g$$

$$W_{cf} = 0.164 * 9.81$$

$$W_{cf} = 1.61N$$

3.9.3.4 Cálculo del peso total de la cuchilla Fija

El peso total de la cuchilla fija será multiplicado por 2, siendo éste el número de cuchillas presentes en la cama de molienda.

$$W_{\tau cf} = (W_{cf}) * 2$$

Donde:

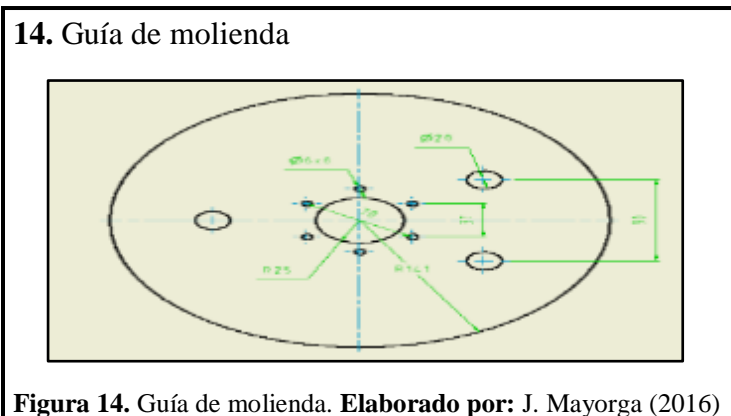
W_{cf}: Peso de la cuchilla fija

$$W_{\tau cf} = (1.61) * 2$$

$$W_{\tau cf} = 3.22N$$

3.10 Cálculo de la guía de molienda

Este disco está diseñado con el fin de no dejar desperdicios de material, por lo que todo el plástico ingresado será triturado.



3.10.1 Cálculo del volumen de la guía de molienda

$$V = (AD * L) - (Ai * L) - (3 * Ad * L) - (6 * Af * L)$$

Donde:

AD: Área del diámetro mayor

$A_i = \pi * r^2$: Área del diámetro intermedio

$A_d = \pi * r^2$: Área del diámetro menor

$A_f = \pi * r^2$: Área del diámetro faltante

$$V = (62458 * 2) - (1963.49 * 2) - (3 * 314.16 * 2) - (6 * 28.27 * 2)$$

$$V = 1.18 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

3.10.2 Cálculo de la masa de la guía de molienda

$$m = \rho * V$$

$$m = 7870 * 1.18 * 10^{-4}$$

$$m = 0.935 \text{ Kg}$$

3.10.3 Cálculo del peso de la guía de molienda

$$W = m * g$$

$$W = 0.93 * 9.81$$

$$W = 9.2 \text{ N}$$

3.10.4 Cálculo del peso total de la guía de molienda

El peso total de la guía de molienda será multiplicado por 2, siendo éste el número de guías presentes.

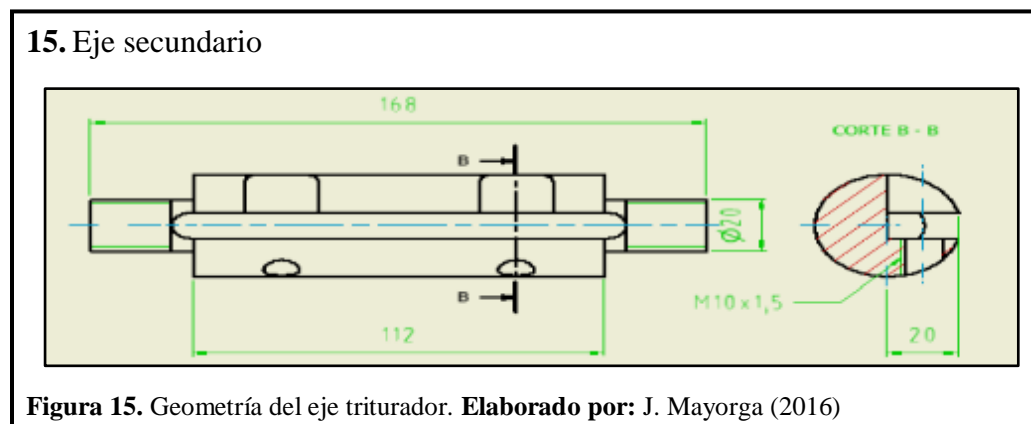
$$W_{gm} = (W) * 2$$

$$W_{gm} = (9.2) * 2$$

$$W_{gm} = 18.4N$$

3.11 Cálculo del eje secundario

El eje que va a realizar la trituración tiene una geometría como se muestra en la figura 15, ya que es donde van a reposar las cuchillas respectivamente para poder ocasionar la ruptura al PET.



3.11.1 Cálculo del volumen del eje secundario

$$V_{es} = V_1 + 2 V_2 - V_3 - V_4 - V_5$$

Donde:

V_{es} : Volumen total del eje secundario

$$V_{1,2,3} = \pi * r^2 * L$$

$$V_4 = \frac{\pi * r^2}{2} * L * h$$

$$V_5 = b * h * L$$

Por lo tanto el volumen del eje secundario es igual a:

$$V_{es} = (\pi * 20^2 * 112) + (2 * \pi * 10^2 * 28) - (2 * \pi * 5^2 * 15) \\ - \left(\frac{\pi * 10^2}{2} * 9.5 * 15 \right) - (112 * 12 * 20)$$

$$V_{es} = 1.06 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

3.11.2 Cálculo de la masa del eje secundario

$$m = \rho * V$$

$$m = 7870 * 1.06 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m = 0.834 \text{ Kg}$$

3.11.3 Cálculo del peso del eje secundario

$$W = m * g$$

$$W = 0.834 * 9.81$$

$$W = 8.18 \text{ N}$$

3.11.4 Cálculo del peso total del eje secundario

El peso total del eje secundario será multiplicado por 3 por el número de ejes secundarios presentes.

$$W_{res} = (8.18) * 3$$

$$W_{res} = 24.54 \text{ N}$$

3.12 Diseño del eje secundario

El eje secundario está dispuesto a varios esfuerzos tales como: flexión, torsión y corte, debido al golpe que se origina contra el plástico a triturar.

El diseño del eje empieza desde el análisis que soporta la fuerza centrífuga, el cual causa el giro del mismo e incluso de las cuchillas y sus pesos proporcionalmente. Todo esto se origina cuando las cuchillas se encuentran en una disposición de 270° y 180°, ya que ahí es donde ocurrirá la fractura y corte total del material a triturar.

3.12.1 Cálculo de la fuerza centrífuga del eje secundario

Según (Larburu Arrizabalaga, 2008, pág. 113) La fuerza centrífuga se determinará con el radio de giro (Rg) que proporciona la cuchilla de corte, la cual es 0.025 m, distancia de la periferia de la misma hacia el centro del agujero que soporta el eje secundario.

$$F_{cf} = m * W^2 * Rg$$

Ec. 3.18

Donde:

m: Masa de los elementos que soporta el eje secundario

W: Velocidad angular

$$F_{cf} = 0.19 * 157.1^2 * 0.025$$

$$F_{cf} = 117.24N$$

A esta fuerza se deberá añadir el peso de la cuchilla móvil, estará situada en el eje secundario.

La fuerza a 270° y 180° en su componente “Y”:

$$F_Y = F_{CF} + Wcm$$

$$F_Y = 117.24 + 1.84$$

$$F_Y = 119.08\text{N}$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$119.08 * 0.084 * 0.112 = R_B * 0.168$$

$$R_B = 6.668\text{ N}$$

$$R_A = R_B = 6.668\text{N}$$

$$M_{MAX} = 6.668 * 0.056$$

$$M_{MAX} = 0.37\text{ Nm}$$

16. Momentos y reacciones del eje secundario

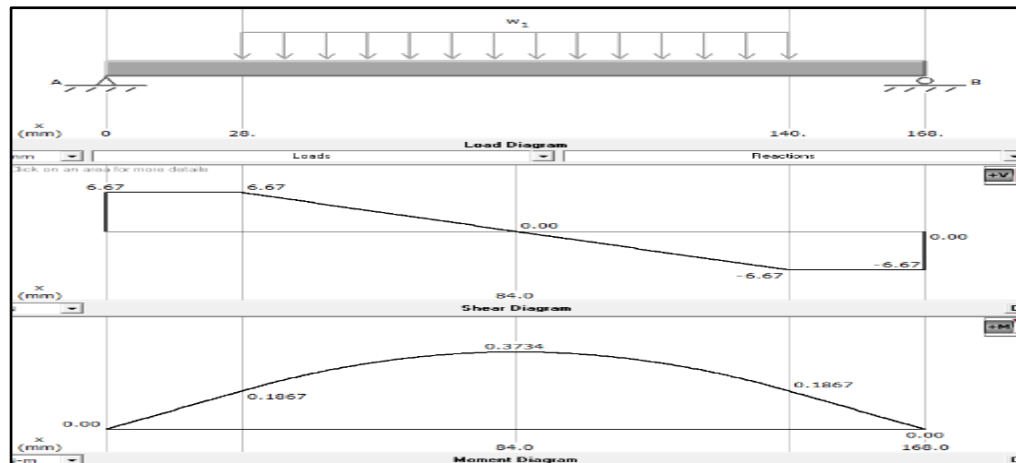


Figura 16. Momentos y reacciones obtenidos. **Elaborado por:** Juan Mayorga (2016)

Al usar Ec. 3-1 se tendrá:

$$\sigma = \frac{32 * 0.37}{\pi * 40^3}$$

$$\sigma = 0.0589\text{N/mm}^2$$

Al usar Ec. 3-2 se tendrá:

$$\tau_Y = \frac{16 * 1.8}{\pi * 40^3}$$

$$\tau_Y = 0.143 \text{ N/mm}^2$$

Al usar Ec. 3-3 se tendrá:

$$[\sigma]_{eq} = \sqrt{(0.0589)^2 + 3 * (0.143)^2} \leq [\sigma]$$

$$[\sigma]_{eq} = 0.254 \text{ N/mm}^2$$

Al usar Ec. 3-4 se tendrá:

Se utilizará el factor de seguridad = 1.5

$$[\sigma] = \frac{235}{1.5}$$

$$[\sigma] = 156.66 \text{ N/mm}^2$$

Por lo tanto, el esfuerzo equivalente es menor al esfuerzo de fluencia, el cual es 340 N/mm^2 , de manera que está dentro de los parámetros de fabricación.

3.12.2 Resistencia a la fatiga del eje secundario

Al usar Ec. 3-6 se tendrá:

$$S_e = S_e' * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f$$

$$S_e' = 0.504 S_{ut}$$

$$S_{ut} = 700 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 352.8 \text{ MPa}$$

Al usar Ec. 3-7 y el anexo 1 se tendrá:

$$K_a = aS_{ut}^b$$

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$K_a = 4.51 * 700^{-0.265}$$

$$K_a = 0.79$$

En base al anexo 2 se tendrá:

$$K_b = \left(\frac{50}{7.62}\right)^{-0.107} \quad \text{Cuando } 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

$$K_b = 0.82$$

Según la Ec. 3-8 se tiene que K_c es:

$$K_c = 0.923 \quad \text{Carga axial } S_{ut} \leq 1.520 \text{ MPa}$$

Al usar Ec. 3-9 y el anexo 3 se tendrá:

$$K_d = 1 \quad \text{Factor a temperatura ambiente}$$

Según la Ec. 3-11, el anexo 4 y 5 se tendrá:

$$K_f = 1 + 0.8 * (1.4 - 1)$$

$$K_f = 1.32$$

Los diámetros utilizados son de 40 y 20mm para realizar los cálculos de factores diversos.

Según la Ec. 3-10 se tendrá:

$$K_e = 0.76$$

Por lo tanto se tendrá:

$$Se = 352.8 * 0.79 * 0.82 * 0.923 * 1 * 1.32 * 0.76$$

$$Se = 211.62 \text{ MPa}$$

3.12.3 Análisis de elementos finitos del eje secundario

En este caso se realizará un análisis y se determinará la tensión Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad, sobre la cara en la que va acoplada la cuchilla, la cual está sometida a una fuerza de 53214.28 Pa.

3.12.3.1 Tensión Von Mises

17. Diagrama de Von Mises del eje secundario

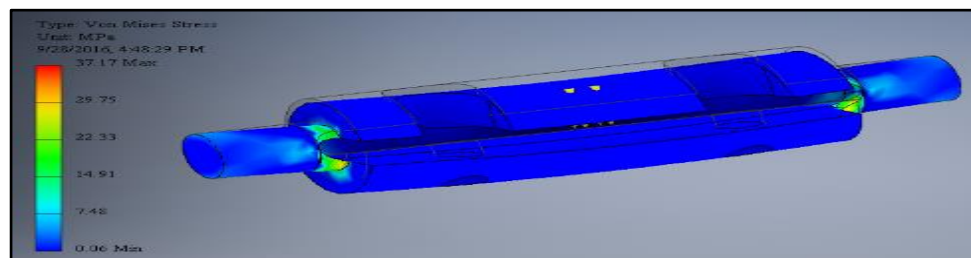


Figura 17. Esfuerzo del eje secundario. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

El esfuerzo que soporta el eje es de 37.17 MPa, de manera que dicho valor es inferior al límite elástico y no existirá alguna imperfección de consideración.

3.12.3.2 Desplazamiento

18. Esquema de traslación del eje secundario

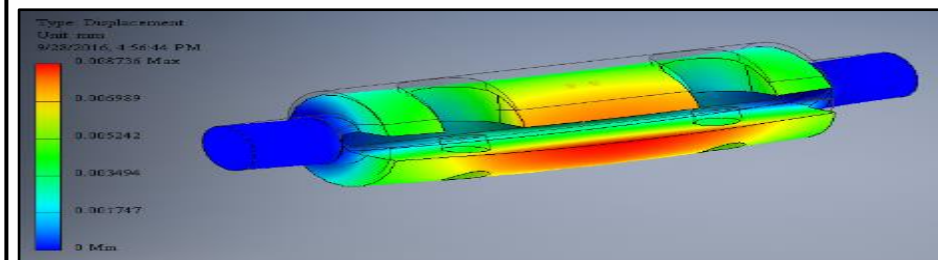


Figura 18. Desplazamiento del eje secundario. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

En la figura 18 se muestra que el desplazamiento del eje es de 0.008736 mm, al momento que ésta llega a triturar al material, dicho valor es mínimo y tendrá una deformación no constante.

3.12.3.3 Factor de seguridad

19. Diagrama del factor de seguridad del eje secundario

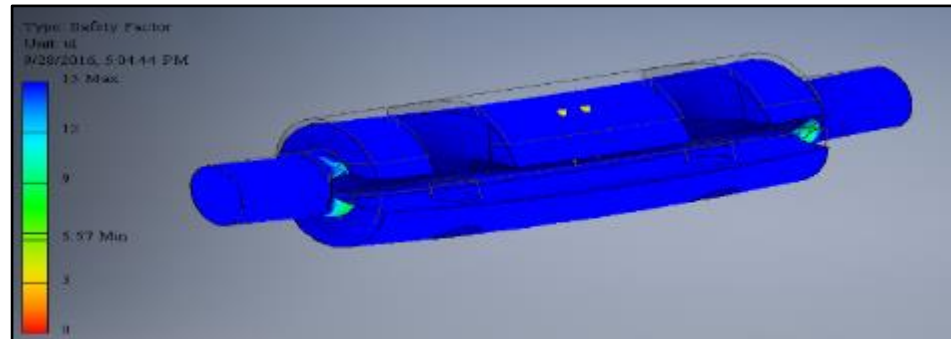


Figura 19. Factor de seguridad del eje secundario. Elaborado por: J. Mayorga (2016)

En la figura 19 se muestra el factor de seguridad mínimo del eje que es de 5.57, lo cual indica que se está trabajando correctamente y no sufrirá ninguna falla.

3.13 Cálculo de la placa soporte de la cuchilla fija

El soporte es aquel donde van a ir sujetas las cuchillas fijas, las cuales estarán ubicadas a la mitad de la altura del eje motriz, para poder hacer una perfecta trituración cuando la cámara de molienda gire.

20. Placa soporte de las cuchillas fijas

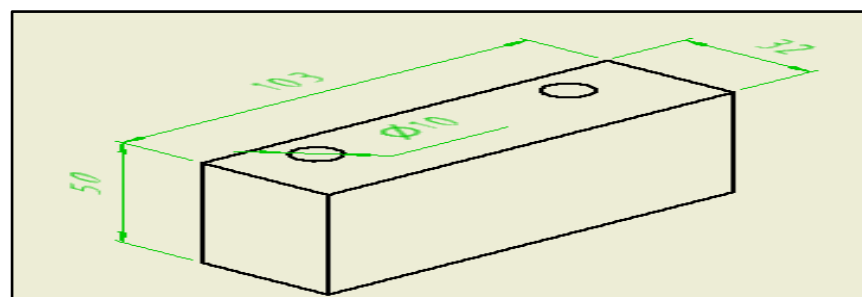


Figura 20. Geometría de la placa soporte. Elaborado por: J. Mayorga (2016)

3.13.1 Cálculo del volumen de la placa soporte de la cuchilla fija

$$V = (A * L) - (2 * \pi * r^2 * h)$$

Donde:

$$A = b * h : \text{Área de la placa}$$

Por lo tanto el volumen de la placa es igual a:

$$V = (5150 * 32) - (2 * \pi * 5^2 * 23)$$

$$V = 1.57 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

3.13.2 Cálculo de la masa de la placa soporte de la cuchilla fija

$$m = \rho * V$$

$$m = 7870 * 1.57 * 10^{-4}$$

$$m = 1.236 \text{ Kg}$$

3.13.3 Cálculo del peso de la placa soporte de la cuchilla fija

$$W_s = m * g$$

$$W_s = 1.236 * 9.81$$

$$W_s = 12.12 \text{ N}$$

3.13.4 Cálculo del peso total de la placa soporte de la cuchilla fija

El peso total del soporte será multiplicado por 2, siendo éste el número de placas presentes.

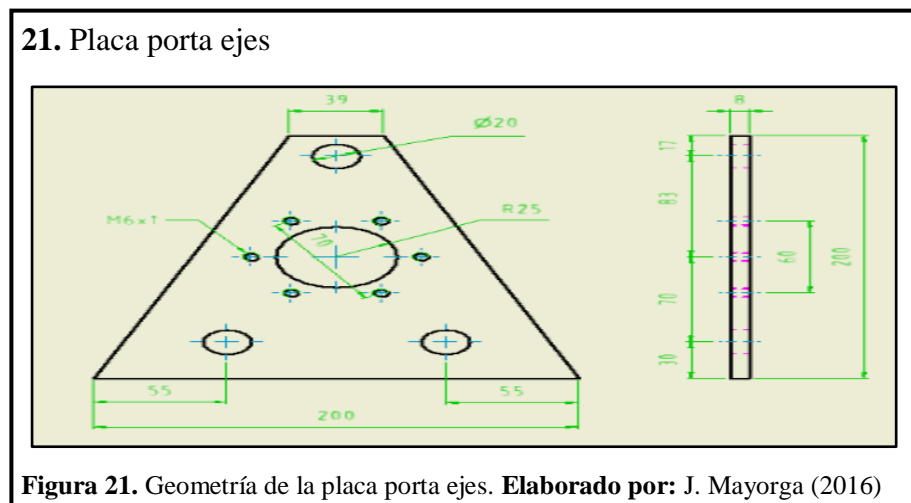
$$W_{\text{TS}} = (W_s) * 2$$

$$W_{\text{TS}} = (12.12) * 2$$

$$W_{\tau S} = 24.24N$$

3.14 Cálculo de la placa porta ejes

La placa que va a soportar los ejes tiene la forma de un trapecio con sus respectivas perforaciones. Esta placa permitirá tener un giro rotacional simétrico en toda la cámara de molienda para poder realizar una trituración deseada, la misma que realizará los cálculos correspondientes para determinar el volumen, masa y el peso.



3.14.1 Cálculo del volumen de la placa porta ejes

$$V = \frac{B + b}{2} * h * L - (VAD) - (3 * VAd) - (Vp)$$

Donde:

$$VAD = \pi * r^2 : \text{Volumen del diámetro mayor}$$

$$VAd = \pi * r^2 : \text{Volumen de diámetro menor}$$

$$Vp = 6 * \pi * r^2 * 8 : \text{Volumen de los agujeros pequeños}$$

Por lo tanto, el volumen de la placa porta ejes es igual a:

$$V = \frac{200 + 39}{2} * 200 * 8 - (\pi * 25^2 * 8) - (3 * \pi * 20^2 * 8) - (6 * \pi * 3^2 * 8)$$

$$V = 1.44 * 10^{-4} m^3$$

3.14.2 Cálculo de la masa de la placa porta ejes

$$m = \rho * V$$

$$m = 7870 * 1.44 * 10^{-4} m^3$$

$$m = 1.13 \text{Kg}$$

3.14.3 Cálculo del peso de la placa porta ejes

$$W_{pe} = m * g$$

$$W_{pe} = 1.13 * 9.81$$

$$W_{pe} = 11.11 \text{N}$$

3.14.4 Cálculo del peso total de la placa porta ejes

El peso total de la placa porta ejes será multiplicado por el número de placas presentes en la cama de molienda que son dos.

$$W_{\tau pe} = (W_{pe}) * 2$$

$$W_{\tau pe} = (11.11) * 2$$

$$W_{\tau pe} = 22.22 \text{N}$$

3.15 Diseño de la placa porta ejes

Es necesario saber con qué factor de seguridad se va a trabajar, ya que de esto depende un grado de confiabilidad al momento de diseñar un elemento.

$$n = \frac{S_y}{2\tau} \quad (\text{Budynas \& Nisbett, 2008, p\u00e1g. 18})$$

Ec. 3-19

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A} \quad (\text{Mott, 2006, p\u00e1g. 92})$$

Ec. 3-20

Al igualar las dos ecuaciones 3-19 y 3-20 se tiene:

$$\frac{S_y}{2n} = \frac{F_{cf}}{A}$$

Donde:

$$A = e * d$$

e: Espesor de la placa (mm)

d: Distancia de la periferia de la placa hacia la periferia del agujero del eje de corte

El valor de la fuerza centr\u00edfuga ser\u00e1 igual a la sumatoria de las fuerzas centr\u00edfugas del eje secundario y eje motriz.

$$e = \frac{2 * F_{cf} * n}{S_y * d}$$

$$e = \frac{2 * 36345.61 * 1}{235 * 36}$$

$$e = 8.3 \text{ mm}$$

Se utilizar\u00e1 una placa de espesor de 8 mm la cual se encuentra en el mercado.

3.15.1 Análisis de elementos finitos de la placa porta ejes

Se realizará un análisis y se determinará la tensión Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad, sobre las caras en las que van a ir los ejes, los cuales tendrán una fuerza de 0.532MPa. Los agujeros donde serán acoplados los ejes secundarios tendrán una fuerza de 0.0185MPa donde irá acoplado el eje motriz. Todas estas cargas son distribuidas.

3.15.1.1 Tensión Von Mises

22. Diagrama de Von Mises de la placa porta ejes

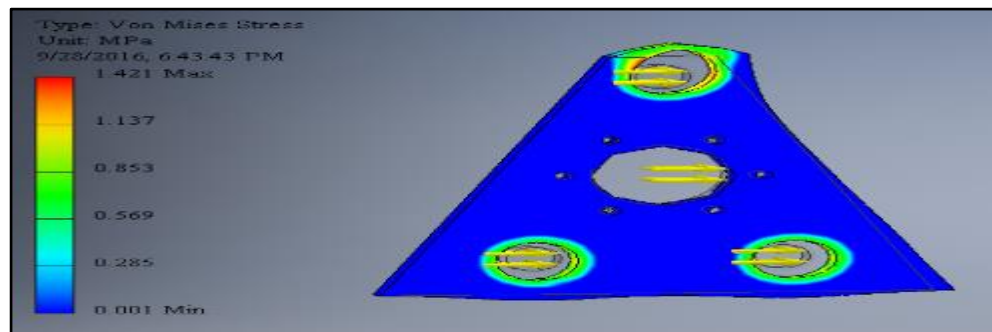


Figura 22. Esfuerzo de Von Mises de la placa porta ejes. Elaborado por: J. Mayorga (2016)

En la figura 22 se observa que el esfuerzo mayor que soporta la placa porta ejes es de 1.421MPa, de manera que su esfuerzo es inferior al límite elástico y no existirá alguna imperfección de consideración.

3.15.1.2 Desplazamiento

23. Diagrama de traslación de la placa porta ejes

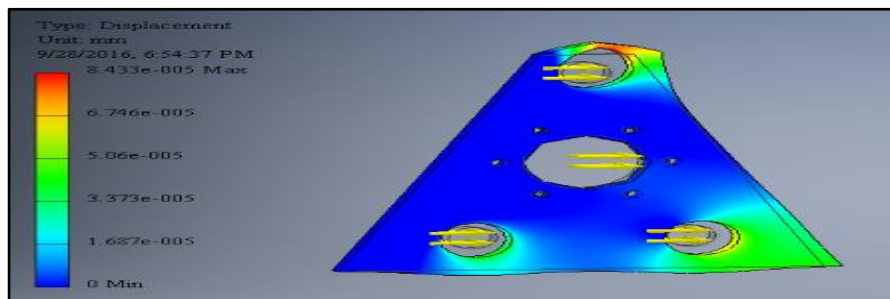


Figura 23. Desplazamiento de la placa porta ejes. Elaborado por: J. Mayorga (2016)

En la figura 23 se muestra que el desplazamiento de la placa porta ejes es de 0.000084 mm al momento que está girando para triturar el material. Existe una deformación de 0.0001mm al momento que se tritura en la parte donde está presente un solo eje, por lo tanto tendrá una deformación no constante.

3.15.1.3 Factor de seguridad

24. Diagrama del factor de seguridad de la placa porta ejes

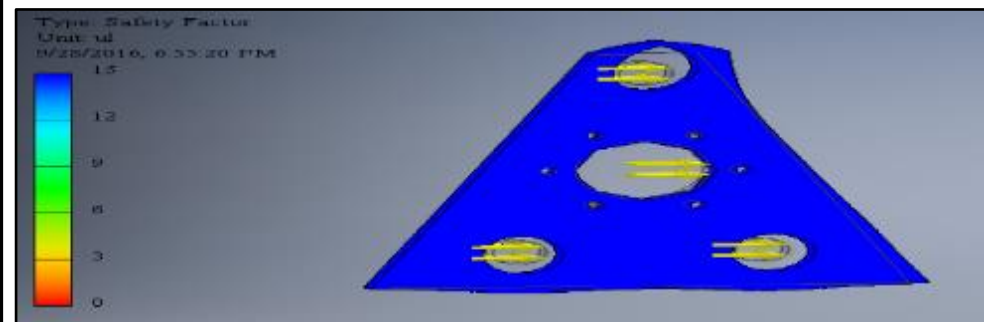


Figura 24. Factor de seguridad de la placa porta ejes. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

En la figura 24 se muestra el factor de seguridad máximo de la placa porta ejes que es de 15, lo cual indica que se está trabajando correctamente y no sufre ninguna falla.

3.16 Cálculo del disco de sujeción

Este disco está diseñado para unir la placa con el eje motriz y así tener un movimiento uniforme y seguro entre dichos elementos.

25. Disco de sujeción entre placa y eje

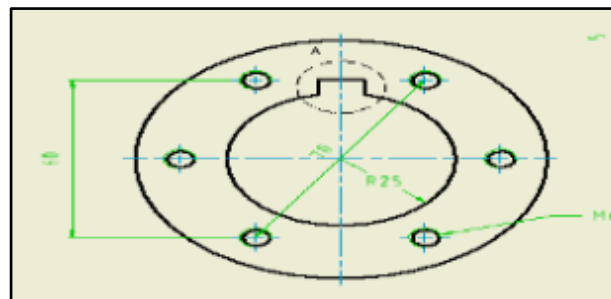


Figura 25. Disco de eje. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

3.16.1 Cálculo del volumen del disco de sujeción

$$V = (AD * L) - (Ai * L) - (6 * Ad * L)$$

Donde:

AD: Área del diámetro mayor

$Ai = \pi * r^2$: Área del diámetro intermedio

$Ad = \pi * r^2$: Área del diámetro menor

Por lo tanto el volumen del disco de sujeción es igual a:

$$V = (6361.75 * 8) - (1963.49 * 8) - (6 * 28.27 * 8)$$

$$V = 3.93 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

3.16.2 Cálculo de la masa del disco de sujeción

$$m = \rho * V$$

$$m = 7870 * 3.93 * 10^{-5}$$

$$m = 0.31 \text{ Kg}$$

3.16.3 Cálculo del peso del disco de sujeción

$$W = m * g$$

$$W = 0.31 * 9.81$$

$$W = 3.05 \text{ N}$$

3.16.4 Cálculo del peso total del disco de sujeción

El peso total del disco de sujeción será multiplicado por 2 por el número de discos presentes.

$$W_{ds} = (W) * 2$$

Donde:

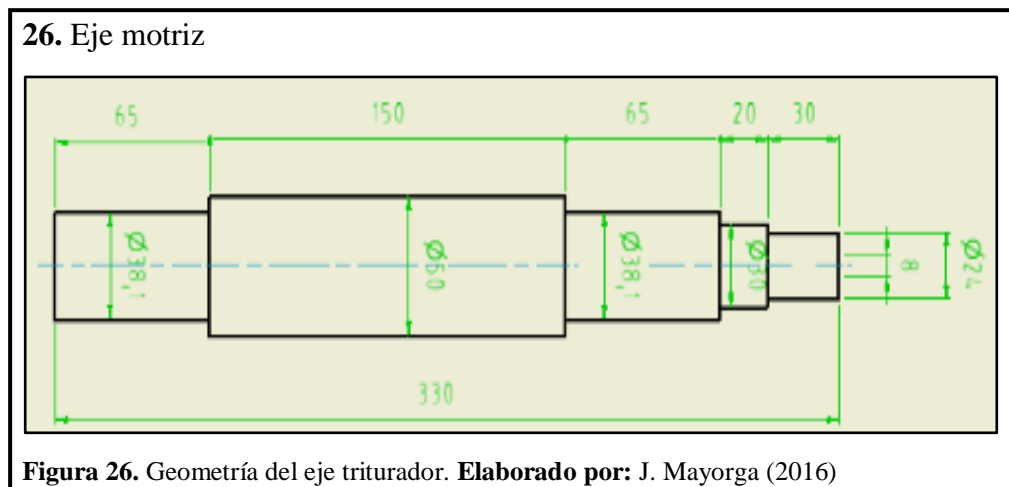
W_{ds} : Peso total de los discos de sujeción

$$W_{ds} = (3.05) * 2$$

$$W_{ds} = 6.1N$$

3.17 Cálculo del eje motriz

Es aquel que va a realizar el movimiento de toda la cámara de molienda. Tiene un diseño en forma de escaleras para facilitar el acople de la placa porta ejes y también de las chumaceras. Éste eje va a soportar todo el peso de las piezas que compone dicha cámara.



3.17.1 Cálculo del volumen del eje motriz

$$V = AD * L + (2 * Ai * L) + (Ad * L) + Ap * L$$

Donde:

AD: Área del diámetro mayor

$A_i = \pi * r^2$: Área del diámetro intermedio

$A_d = \pi * r^2$: Área del diámetro menor

$A_p = \pi * r^2$: Área del diámetro pequeño

Por lo tanto, el volumen del semicírculo es igual a:

$$V = 1963.5 * 150 + (2 * 1140.1 * 65) + (706.9 * 20) + (452.4 * 30)$$

$$V = 4.70 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

3.17.2 Cálculo de la masa del eje motriz

$$m = \rho * V$$

$$m = 7870 * 4.70 * 10^{-4}$$

$$m = 3.7 \text{ Kg}$$

3.17.3 Cálculo del peso del eje motriz

$$W_{em} = m * g$$

$$W_{em} = 3.7 * 9.81$$

$$W_{em} = 36.3 \text{ N}$$

3.17.4 Pesos que soporta el eje motriz

Una vez obtenido el peso total de cada uno de los elementos que soporta el eje motriz se procederá a hacer la sumatoria de todos los pesos para saber cuál es el peso real que soporta el mismo.

$$W_t = W_{es} + W_{pe} + W_{cc} + W_{ds}$$

Donde:

Peso total de los ejes secundarios (W_{es}), peso total de las placas porta ejes (W_{pe}), peso total de las cuchillas móviles (W_{cm}), peso total de los discos de sujeción (W_{ds}), peso total de las guías de molienda (W_{gm}) y pesos varios (W_v).

$$W_t = 24.54N + 22.22N + 3.22N + 6.1N + 18.4N + 5.52N$$

$$W_t = 80N$$

3.17.5 Cálculo de la fuerza centrífuga del eje motriz

La fuerza centrífuga se determinará con el radio de giro que proporciona la cuchilla de corte la cual es 0.18 m, distancia de la periferia de la misma hacia el centro del agujero que soporta el eje motriz.

Al usar la Ec. 3-18 se tendrá:

$$F_{cf} = 8.155 * 157.1^2 * 0.18$$

$$F_{cf} = 36228.82 N$$

3.18 Diseño del eje motriz

Es importante identificar todos los elementos que va a soportar el eje motriz, por lo que es necesario recordar cada uno de los pesos de los componentes de la cámara de molienda. Conocer la fuerza centrífuga y el giro que va a producir la cámara al momento de estar en accionamiento, ya que la situación más crítica será cuando las cuchillas estén en posición de 270° y 180°, por lo que hace contacto las cuchillas móviles y fijas con el material a ser triturado.

La fuerza a 270° y 180° en su componente "Y":

$$F_Y = F_{CF} + W_t$$

Donde:

F_{CF} : Fuerza centrífuga

W_t : Peso total que soporta el eje motriz

$$F_Y = 36228.37 + 80$$

$$F_Y = 36308.37 \text{ N}$$

A esta fuerza se deberá añadir el peso de la polea la cual será ubicada en el eje según la necesidad y así calcular las reacciones.

$P_3 = 6.8 \text{ N}$: Peso de la polea

$P_1 = P_2 = 18154.2$: Fuerza total, se distribuye en dos partes.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$18154.2 * 80 + 18154.2 * 200 + 6.8 * 315 = R_B * 280$$

$$R_B = 18161.85 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$18154.2 + 18154.2 + 6.8 - 18161.85 - R_A = 0$$

$$R_A = 18153.35 \text{ N}$$

$$M_{MAX} = 18161.85 * 80$$

$$M_{MAX} = 1.45 \text{ MNmm}$$

27. Momentos y reacciones del eje motriz

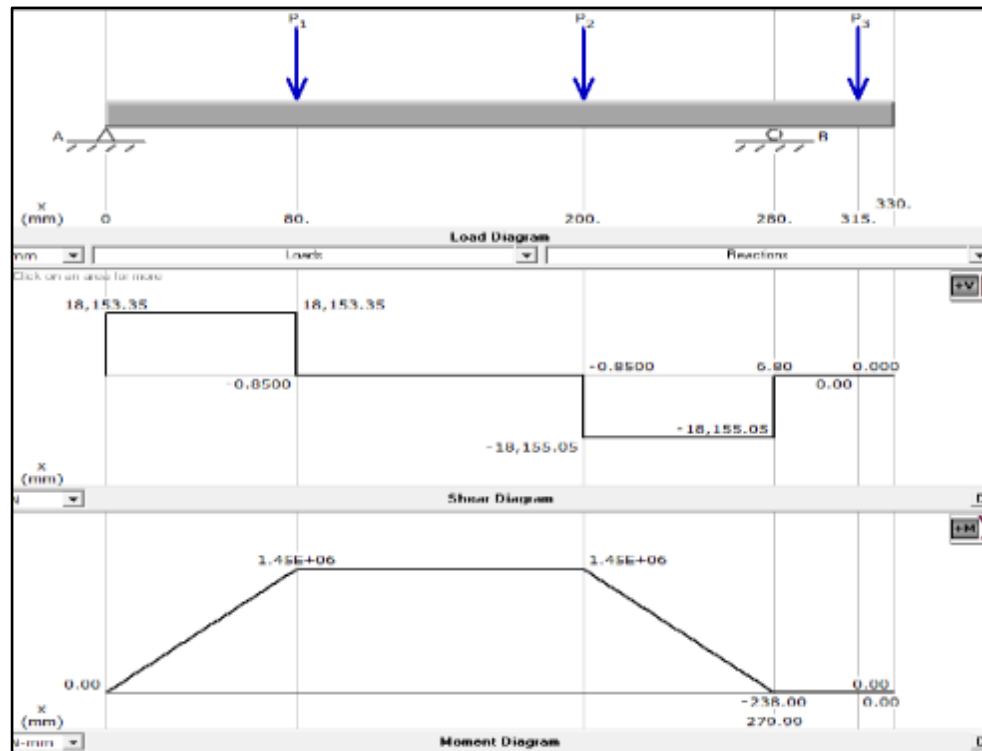


Figura 27. Momentos y reacciones del eje motriz. Elaborado por: Juan Mayorga (2016)

Al usar Ec. 3-1 se tendrá:

$$\sigma = \frac{32 * 2150000}{\pi * d^3}$$

Al usar Ec. 3-2 se tendrá:

$$\tau_Y = \frac{16 * 1296}{\pi * d^3}$$

Al usar Ec. 3-4 se tendrá:

Se utilizará el Factor de seguridad = 1.5

$$[\sigma] = \frac{340}{1.5}$$

$$[\sigma] = 226.66 \text{ N/mm}^2$$

Al usar Ec. 3-3, se despeja “d” y se tendrá:

$$204.82 = \sqrt{\left(\frac{32 * 2150000}{\pi * d^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{16 * 1296}{\pi * d^3}\right)^2}$$

$$d = 47.5 \text{ mm}$$

Se seleccionará un eje con diámetro de 50 mm con el cual se trabajará en el diseño del eje motriz.

3.18.1 Resistencia a la fatiga del eje motriz

Al usar Ec. 3-6 se tendrá:

$$S_e = S_e' * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f$$

$$S_e' = 0.504 S_{ut}$$

$$S_{ut} = 700 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 352.8 \text{ MPa}$$

Al usar Ec. 3-7 y el anexo 1 se tendrá:

$$K_a = a S_{ut}^b$$

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$K_a = 4.51 * 700^{-0.265}$$

$$K_a = 0.79$$

En base al anexo 2 se tendrá:

$$K_b = \left(\frac{50}{7.62}\right)^{-0.107} \quad \text{Cuando } 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

$$K_b = 0.82$$

Según la Ec. 3-8 se tiene que K_c es:

$$K_c = 0.923 \quad \text{Carga axial}$$

Al usar Ec. 3-9 y el anexo 3 se tendrá:

$$K_d = 1 \quad \text{Factor a temperatura ambiente}$$

Según la Ec. 3-11, el anexo 4 y 5 se tendrá:

$$K_f = 1 + 0.8 * (1.7 - 1)$$

$$K_f = 1.56$$

Los diámetros utilizados son de 50mm y 38mm para realizar los cálculos de factores diversos.

Según la Ec. 3-10 se tendrá:

$$K_e = 0.64$$

Por lo tanto se tendrá:

$$S_e = 352.8 * 0.86 * 0.82 * 0.923 * 1 * 1.56 * 0.64$$

$$S_e = 229.26 \text{ MPa}$$

- Cálculo del número de ciclos:

Al usar Ec. 3-13 se tendrá:

Se utilizará: $f = 0.9$ el cual es el valor máximo.

$$n = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{0.9 * 700}{229.26}\right)$$

$$n = -0.146$$

Al usar Ec. 3-14 se tendrá:

$$a = \left(\frac{0.9 * 700}{229.26}\right)^2$$

$$a = 7.55$$

Al usar Ec. 3-12 se tendrá:

$$N = \left(\frac{204.82}{7.55}\right)^{\frac{1}{-0.149}}$$

$$N = 2.48 * 10^{10} \text{ ciclos}$$

Lo que indica que sufrirá una ruptura luego de $2.48 * 10^{10}$ ciclos.

3.18.2 Análisis de elementos finitos del eje motriz

En este caso se realizará un análisis y se determinará la tensión Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad, sobre el eje motriz en donde se localizan todas las fuerzas presentes de la cámara de molienda.

3.18.2.1 Tensión Von Mises

28. Diagrama de Von Mises del eje motriz

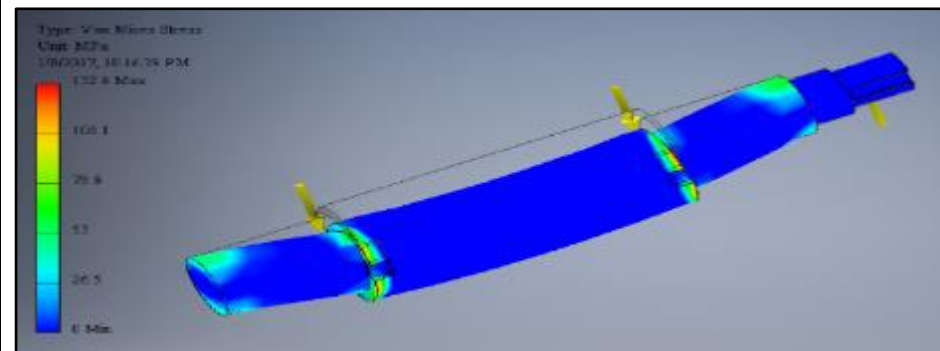


Figura 28. Esfuerzo de Von Mises del eje motriz. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

El esfuerzo mayor que soporta el eje motriz es de 132.6 MPa y las fuerzas aplicadas en el eje son puntuales, de manera que su esfuerzo es inferior al límite elástico y no existirá alguna imperfección de consideración.

3.18.2.2 Desplazamiento

29. Diagrama de traslación del eje motriz

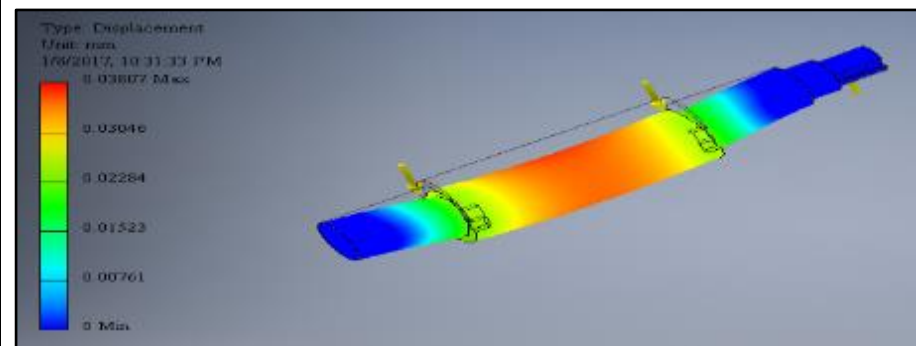


Figura 29. Desplazamiento del eje motriz. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

En este análisis se muestra que el desplazamiento del eje motriz es 0.038mm, dicho desplazamiento, en la mayoría, es en la parte neutral del mismo. El valor es mínimo y tendrá una deformación no constante.

3.18.2.3 Factor de seguridad

30. Diagrama del factor de seguridad del eje motriz

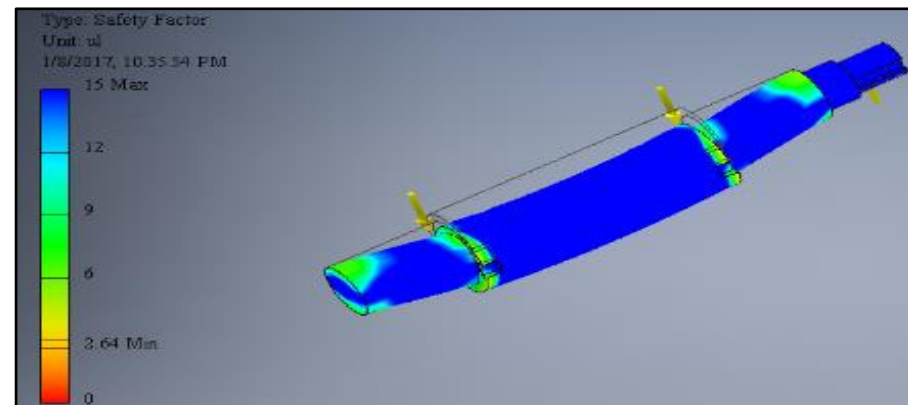


Figura 30. Factor de seguridad del eje motriz. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

En la figura 30 se muestra el factor de seguridad mínimo del eje que es de 2.64, lo cual indica que se está trabajando correctamente y no sufre inestabilidad.

3.19 Diseño de la tolva de alimentación

La tolva de alimentación es de material AISI 1010 con espesor de 3mm, se diseñó con el fin de poder ingresar envases desechables de hasta 130mm de diámetro con una altura de caída de 300mm con el fin de ingresar botellas PET y que sean trituradas sin necesidad de tener un exceso de material.

31. Tolva de alimentación del material

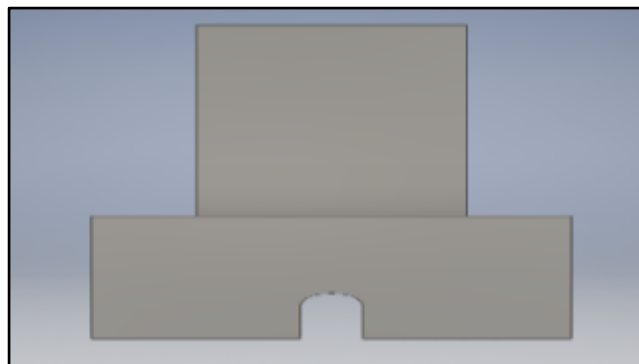


Figura 31. Tolva de entrada **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

Como se observa en la figura 31, la tolva de alimentación cubrirá toda la cámara de molienda para no tener ningún accidente y así el material no saldrá dispersado al momento de la trituración.

3.20 Diseño de la tolva de descarga

La tolva de descarga es de material AISI 1010 con espesor de 2mm, es por donde saldrá el PET ya triturado y éste saldrá en forma de grano.

32. Tolva de descarga del material

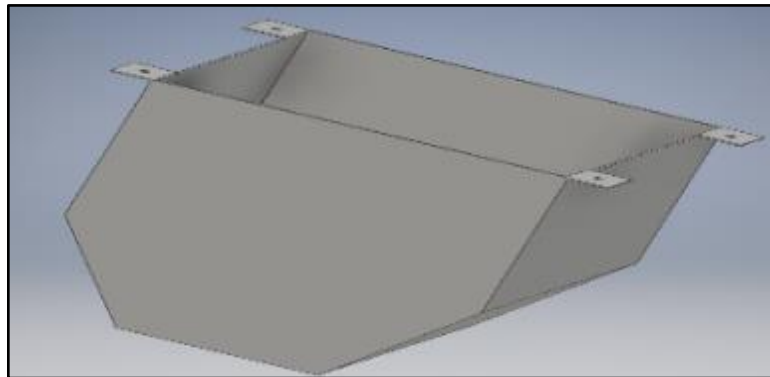


Figura 32. Tolva de salida del material. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

La tolva será ubicada a la altura de la cámara de molienda en la parte inferior de la estructura. Tendrá una caída de 45 grados para que el material a recoger salga con mayor facilidad sin necesidad que se quede en la tolva de descarga, como se observa en la figura 32 el material a obtener no tendrá ningún esparcimiento por la geometría de la tolva.

3.21 Diseño del tamiz

La función principal del tamiz es cernir al PET y cuando éste tenga el diámetro de 5mm o menor, el material saldrá por la sernidera. El espesor del tamiz será de 3mm y de material AISI 304. El tamiz será situado con una separación de 2mm a las cuchillas para no tener ningún rose entre estos dos.

33. Diseño del Tamiz

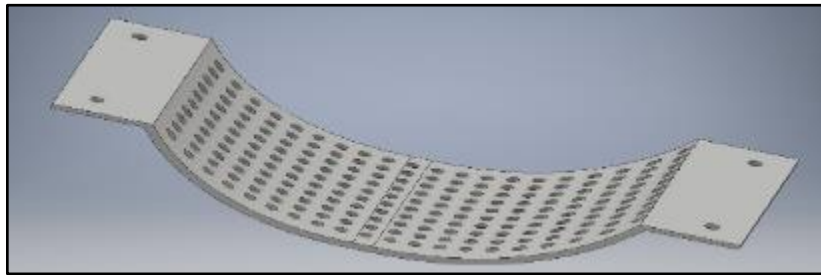


Figura 33. Sernidera del grano molido. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

Como se observa en la figura 33 el tamiz tiene varios orificios dispuestos entre sí, con un diámetro de 5mm lo que hace que los trozos de mayor diámetro no puedan salir por el mismo y sean triturados para obtener el grano deseado, cabe mencionar que el espesor del tamiz es de 3mm.

3.22 Cálculo total de los pesos de la máquina

Tabla 3. Detalle de los pesos de los elementos que soporta la estructura

Detalle	# Elementos	Peso total (N)
Cuchilla móvil	3	5.52
Cuchilla fija	2	3.22
Eje secundario	3	24.54
Guía de molienda	2	18.4
Eje motriz	1	36.3
Disco de sujeción	2	6.1
Placa porta ejes	2	22.22
Motor	1	235.44
Placa soporte	2	24.24
Chumacera	2	15.68
Polea Conductora	1	8.8
Polea conducida	1	6.8
Tolva de alimentación	1	94.86
Tolva de descarga	1	11.8
Variador	1	19.62
Varios	1	9.8
Tamiz	1	1.61
TOTAL	27	544.95

Nota: Detalle de los elementos del molino. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

3.23 Diseño de la estructura

La estructura soportará un peso total de 544.95N, para soportar dicho peso se seleccionará un perfil angular de 50x50x6mm, el cual se encuentra en el mercado. El peso de todos los elementos es de forma vertical, motivo por el cual se calculará la compresión debido a sus cargas.

Al usar Ec. 3-4 se tendrá:

$$[\sigma] = \frac{S_y}{F_s}$$

$$[\sigma] = \frac{250}{1.5}$$

$$[\sigma] = 166.66\text{MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

F: Fuerza que soporta la estructura

A= 564mm² : Área del perfil

$$\sigma = \frac{544.95}{564}$$

$$\sigma = 0.966\text{MPa}$$

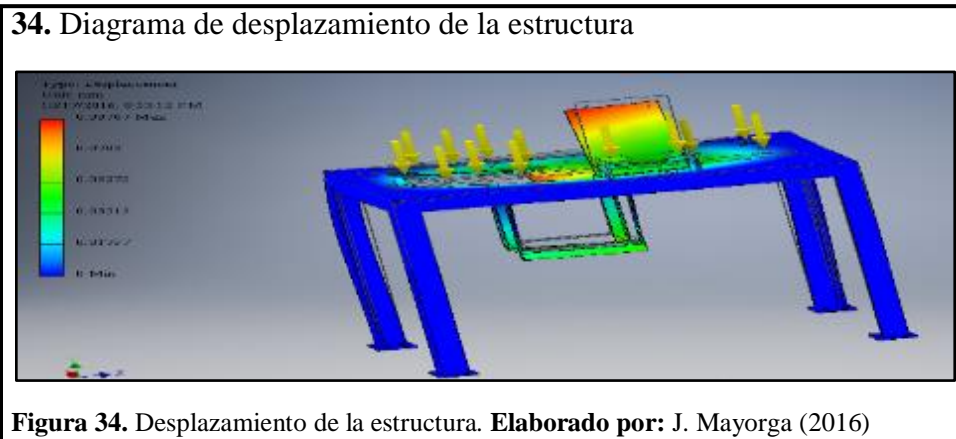
La estructura no presentará deformación si: $\sigma \leq [\sigma]$

Por lo tanto, el perfil seleccionado no tendrá ninguna falla al momento de soportar todas las cargas, ya que: 0.966MPa \leq 166.66MPa .

3.23.1 Análisis de elementos finitos de la estructura

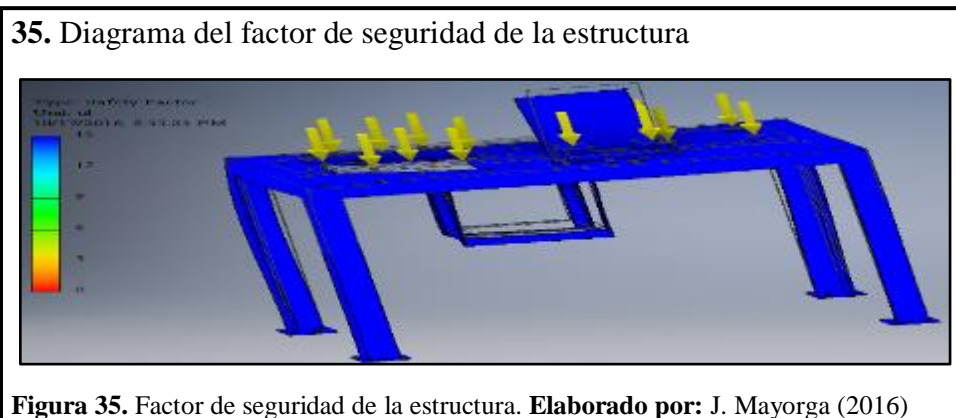
Se realizará un análisis de toda la estructura y se determinará el desplazamiento y factor de seguridad. Las fuerzas que ésta soporta se detallan en la Tabla 3-1.

3.23.1.1 Desplazamiento



En la figura 34 se aprecia el desplazamiento de la estructura el cual es 0.08mm, el cual no es constante, ya que sus pesos están distribuidos por toda la mesa de la estructura.

3.23.1.2 Factor de seguridad



En la figura 35 se aprecia que luego del diseño realizado de la estructura, ésta no presenta ninguna falla en general. El grado de seguridad es 15, lo cual implica que se trabajará de forma confiable.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COSTOS

Los resultados se podrán analizar en las siguientes gráficas. En el eje de abscisas está la cantidad de grano obtenido (gramos) y en el eje de las ordenadas, el tiempo (segundos).

Se trabajará con las velocidades de 810 Rpm o 18 Hz, 1305 Rpm o 29 Hz y en 1500 Rpm o 35 Hz. El motor tiene su máxima potencia de 1720 Rpm que viene a ser 38 Hz en este molino, pero con el variador y la relación de transmisión de poleas que es de 1.57 éste podrá alcanzar 2700 Rpm o 60 Hz.

4.1 Gráfica Peso vs. Tiempo, con una frecuencia de 18 Hz

Tabla 4. Cantidad de grano molido utilizando una frecuencia de 18 Hz

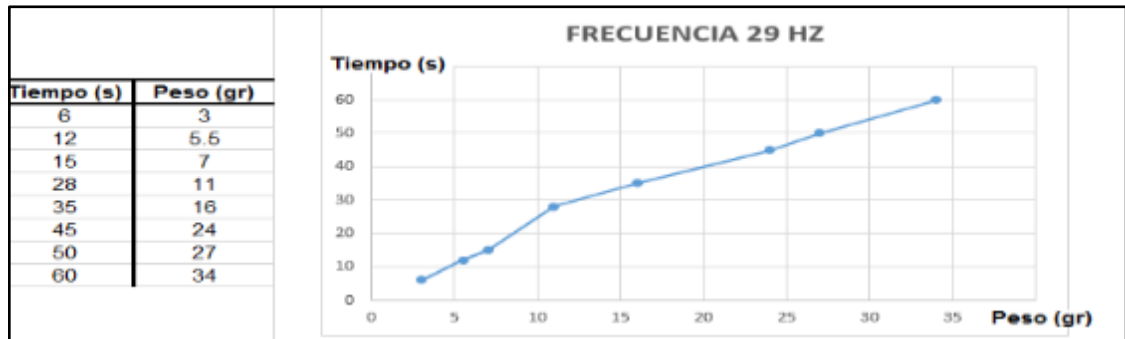


Nota: Cantidad de grano molido utilizando 18 Hz. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

En la tabla 4 se observa que la cantidad de grano molido obtenido en 60 segundos no satisface los requerimientos, cabe recordar que se está empleando 810 Rpm en este análisis.

4.2 Gráfica Peso vs. Tiempo, con una frecuencia de 29 Hz

Tabla 5. Cantidad de grano molido utilizando una frecuencia de 29 Hz

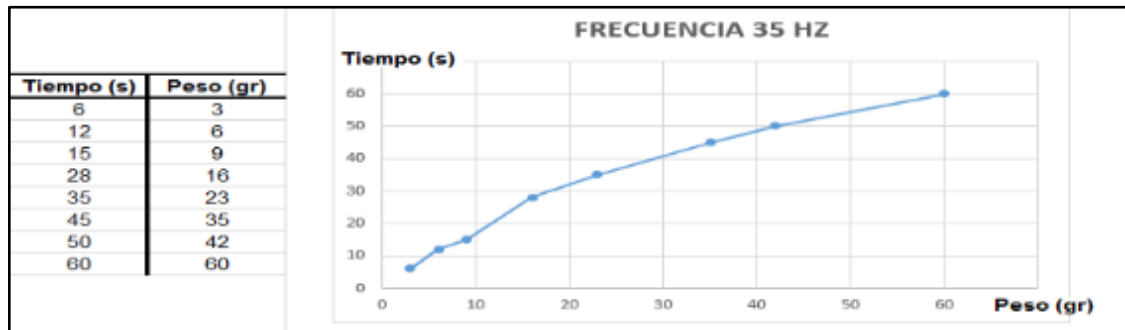


Nota: Cantidad de grano molido utilizando 29 Hz. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

En la Tabla 5 se observa que el grano molido obtenido en 1 minuto es de 34 gramos lo que implica que el aumento de grano es constante, pero para cumplir con el objetivo de 2kg/h será necesario aumentar la frecuencia.

4.3 Gráfica Peso vs. Tiempo, con una frecuencia de 35 Hz

Tabla 6. Cantidad de grano molido utilizando una frecuencia de 35 Hz



Nota: Cantidad de grano molido utilizando 35 Hz. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

En la Tabla 6 se observa que cada 60 segundos el prototipo producirá 60 gramos de grano molido PET de buena calidad, cabe mencionar que al empezar la trituración disminuye la obtención de grano, ya que el pico de la botella es de mayor grosor por ende su obtención demora 6 segundos.

4.4 Análisis de costos

En este análisis se detallará todo lo concerniente a los gastos que se originaron para el análisis y optimización del molino triturador de envases desechables PET. Este capítulo se dividirá en dos tipos de costos, los costos directos y los costos indirectos.

4.4.1 Costos directos

Los costos directos tratan sobre la materia prima, los insumos empleados para la construcción, funcionamiento y mano de obra, en ella estarán los tiempos máquina para un mejor detalle de cada operación.

4.4.1.1 Materia prima

Estos materiales serán comprados con un sobredimensionamiento para la fabricación del molino triturador y estos serán maquinados para llegar al elemento o pieza deseada. En la Tabla 7 se detallarán los materiales utilizados para la fabricación del molino de trituración para envases desechables PET.

Tabla 7. Descripción y costos de materiales a utilizar

COSTO DE MATERIALES				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	COSTO
1	Acero 1018 plancha 200 x 200 x 8	2	6.65	13.30
2	Acero 1045 ϕ 60 x 340	1	17.23	17.23
3	Acero 1045 ϕ 45 x 180	3	5.46	16.38
4	Ángulo de 50x50x6 de 6m	1	26.77	26.77
5	Acero K110 600 x 40 x 10	1	48.58	48.58
6	Ángulo de 1 x 1/8 de 1m	2	6.45	12.90
7	Plancha de acero 500 x 885 x 6	1	22.09	22.09
8	Plancha de acero 105 x 45 x 50	2	2.19	4.38
9	Acero 1018 ϕ 106 x 10	2	1.50	3.00
10	Tubo conduit 1/2 " x 3m	1	3.00	3.00
11	Riel din 35 mm x 3m	1	2.47	2.47
12	Plancha de acero 200 x 515 x 3	2	2.6	5.20

13	Plancha de acero 330 x 182 x 3	1	1.54	1.54
14	Plancha de acero 310 x 300 x 3	2	2.35	4.70
15	Plancha de acero 283 x 283 x 2	2	1.5	3.00
16	Plancha de acero 305 x 170 x 3	1	0.87	0.87
17	Plancha de acero 220 x 170 x 6	1	2.63	2.63
18	Plancha de acero 200 x 282 x 3	1	7.01	7.01
19	Plancha de acero 185 x 350 x 2	2	1.45	2.9
20	Plancha de acero 50 x 750 x 3	2	1.26	2.52
21	Plancha de acero 160 x 620 x 3	1	3.33	3.33
22	Plancha de acero 330 x 285 x 2	2	1.85	3.7
SUBTOTAL				207.5
IVA 14%				29.05
TOTAL				236.56

Nota: Materia prima, dimensiones brutas y costos. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

4.4.1.2 Insumos

Los insumos son todos los accesorios y elementos que fueron empleados en el molino, los cuales sirvieron para unir o hacer que funcione el mismo. En la Tabla 8 se detallarán cada insumo que fue empleado

Tabla 8. Detalle de los insumos empleados para el molino

COSTO DE INSUMOS				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	COSTO
1	Start-stop	1	2.80	2.80
2	Luz piloto verde	1	1.15	1.55
3	Luz piloto roja	1	1.15	1.55
4	Alambre #18 - 5m	1	0.98	0.98
5	Guarda motor	1	27.41	27.41
6	Correa amarre 10 cm 4"	100	0.01	1.30
7	Cofre metálico 20 x 20 x 15	1	8.25	8.25
8	Cable 3 x 20AMP codelca	1	1.32	1.32
9	Enchufe de 50A	1	9.59	9.59
10	Perno hex ac. unc 1/2 x 2"	4	0.41	1.65
11	Tuerca ac. unc negra 1/2"	4	0.07	0.28
12	Arandela presion SAE 1/2"	4	0.05	0.18

13	Arandela plana SAE 1/2"	4	0.04	0.14
14	Perno hex ac. unc 3/8 x 1"	4	0.14	0.56
15	Tuerca ac. unc negra 3/8"	4	0.05	0.18
16	Arandela plana SAE uss 3/8"	4	0.03	0.11
17	Arandela presion SAE 3/8"	4	0.03	0.11
18	Perno hex 6 x 1.00 x 25	12	0.04	0.42
19	Tuerca 6 x 1.00	12	0.02	0.21
20	Arandela plana SAE 1/4"	12	0.02	0.21
21	Tuerca 20 x 2.5	8	0.30	2.40
22	Perno prisionero ac.8 x 16	4	0.10	0.40
23	Perno allen ac.10 x 1.50 x 25	10	0.19	1.93
24	Perno hex 16 x 2.00 x 100	1	0.82	0.82
25	Tuerca negra 16 x 2.00	1	0.20	0.20
26	Banda trapezoidal de 50 "	1	3.37	3.37
27	Luz piloto amarilla	1	2.00	2.00
28	Chumacera KDF de piso 1 1/2"	2	15.58	31.16
29	Conector conduit 1/2"	2	0.39	0.78
30	Perno allen M6 x 10	10	0.04	0.44
31	Selector 3 posiciones	1	20.87	20.87
32	Breaker p/riel	1	10.90	10.90
33	Variador de velcodidad de 3HP	1	309.60	309.60
34	Polea hierro fundido 3 1/2 "	1	13.81	13.81
35	Polea hierro fundido 5 1/2 "	1	23.84	23.84
36	Motor WEG 3HP	1	186.20	186.20
37	Cable concentrico 3 x 10	3	2.55	7.65
38	Cable concentrico 3 x 12	1	1.62	1.62
SUBTOTAL				676.89
IVA 14%				94.75
TOTAL				771.54

Nota: Insumos empleados en el molino triturador. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

4.4.1.3 Mano de obra

Mano de obra es aquel valor en el cual fue empleado tiempo para la fabricación de cada pieza, accesorio o elemento que estarán presentes para el funcionamiento del molino. En la Tabla 9 se detalla cada elemento y el respectivo proceso que debió cumplir cada pieza.

Tabla 9. Detalle de cada proceso de los elementos que conforma el molino

MANO DE OBRA					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PROCESO	VALOR HORA (\$)	TIEMPO PROCESO (HORAS)	COSTO
1	Cuchilla móvil (3)	Corte	5	1	5
		Fresado	15	2.25	33.75
		Templado	1.88	1	1.88
2	Cuchilla Fija (2)	Corte	5	1	5
		Fresado	15	3	45
		Templado	1.88	1	1.88
3	Eje secundario (3)	Torneado	12	1.5	18
		Fresado	15	1.7	25.5
		Roscado	12	0.5	6
4	Eje motriz	Torneado	12	1.7	20.4
		Fresado	15	0.4	6
		Soldadura SMAW	14	0.26	3.6
5	Guías de molienda (2)	Corte plasma	10	0.2	2
		Taladrado	10	0.7	7
6	Discos de sujeción (2)	Corte plasma	10	0.2	2
		Taladrado	10	0.7	7
7	Estructura	Corte plasma	10	2.32	23.25
		Esmerilado	12	3	36
		Taladrado	10	2	20
		Soldadura SMAW	14	3	32
8	Placa soporte cuchillas fijas (2)	Corte plasma	10	0.3	3
		Fresado	10	0.46	4.60
		Roscado	12	0.2	2.4
9	Placa porta ejes (2)	Corte plasma	10	0.8	8
		Taladrado	10	1	10
10	Potección de poleas	Corte	10	0.3	3
		Esmerilado	12	0.3	3.6
		Soldadura SMAW	14	0.5	7
11	Tolva de alimentación	Corte plasma	10	1.5	15
		Soldadura SMAW	14	2	28
		Esmerilado	12	1	12
12	Tolva de descarga	Corte plasma	10	0.5	5
		Soldadura SMAW	14	1	14
		Esmerilado	12	0.5	6

13	Tamiz	Corte	10	0.5	5
		Taladrado	10	0.5	5
		Rolado	9	1	9
14	Ensamble	Esmerilado	12	1	12
		Pintura	10	2.5	25
				TOTAL	760

Nota: Mano de obra empleada en los elementos. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

4.4.2 Costos indirectos

Estos costos corresponden a errores que pasan al momento de la ejecución de un proceso por el operario, lo que implica que se dividen en costos adicionales y costos de diseño.

4.4.2.1 Costos adicionales

Los costos adicionales son los costos que se generan al momento que se cometió un error en el proceso de fabricación de algún elemento, también de actividades no provistas que pueden ser transporte. Este valor corresponde al 10% del total de los costos directos.

4.4.2.2 Costos de diseño

Es aquel costo que se origina por el tiempo empleado en la investigación hacia el proyecto realizado, en los cálculos desarrollados y el tiempo empleado para la elaboración de planos de los componentes del molino. Todo esto implica un valor del 30% del valor total de los costos directos.

4.4.3 Costos totales del molino triturador

El costo total es todo el dinero invertido en la fabricación del molino triturador de envases desechables PET, los cuales ya fueron detallados y se los puede apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10. Costo total del molino triturador

COSTOS DIRECTOS	
ESPECIFICACIÓN	COSTO
Materia prima	236.56
Insumos	771.54
Mano de obra	760
Total	1768.10
COSTOS INDIRECTOS	
Costo adicional	176.81
Costo de diseño	530.43
Total	707.24
Costo total del molino triturador	\$ 2475.34

Nota: Especificación de los costos del molino. **Elaborado por:** J. Mayorga (2016)

CONCLUSIONES

- Se reduce procesos de trituración, ya que la velocidad de 1.500 Rpm es la adecuada para fines propios de utilización del PET.
- Para lograr una trituración adecuada es conveniente dejar un espacio de 2mm entre cuchillas móviles, fijas y tamiz para que el grano sea de buena calidad.
- El envase desechable, especialmente, el pico de la botella es triturado instantáneamente cuando ésta hace contacto con las cuchillas, lo que quiere decir que el diseño y fuerza de impacto de 72N es el ideal para la trituración.
- Con la frecuencia de 35 Hz se obtiene 60 gramos de PET en 60 segundos, esto quiere decir que la velocidad de 1500 Rpm cumple con el objetivo de 2 kg/h.
- El molino triturador genera 87decibeles, motivo por el cual se debe usar orejeras al momento de su utilización.

RECOMENDACIONES

- No arrojar los desechos plásticos y depositarlos en lugares de recolección adecuada para disminuir el impacto ambiental.
- La placa porta ejes debe tener una forma circular para disminuir el proceso de construcción y que no exista esparcimiento de material por su geometría.
- Se recomienda que la tolva de alimentación tenga más abertura para un mayor ingreso del PET.
- Apernar todas las uniones de los elementos que conforman el molino para facilitar el desmontaje del mismo.
- Aumentar el tamaño de la cámara de molienda para una mayor trituración del PET.
- Es recomendable soldar los ejes secundarios con la placa porta ejes para que no exista algún fleje cuando exista la trituración.
- Manejar el molino triturador con protección adecuada y con uso de conocimiento sobre su funcionamiento para que no exista algún accidente.
- Colocar protecciones para el sistema de transmisión de bandas.

LISTA DE REFERENCIAS

- Atlas ambiental*. (2008). Distrito Metropolitano de Quito: Direccion Metropolitana Ambiental.
- BOHLER. (2007). *Manual de aceros*. Quito.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico : McGraw-Hill.
- Burbano de Ercilla, S., Burbano García, E., & Gracia Muñoz, C. (s.f.). *Física general* (Vol. 32). Madrid: Tébar. Recuperado el 18 de Mayo de 2016
- Cadena, F., & Quiroz, F. (2000). *Manual de reciclaje de plásticos*. Quito: Corporacion oikos.
- CARLISLE. (s.f.). *Power transmission Products Inc*. Recuperado el 31 de Mayo de 2016, de Industrial V-Belts Drives Design Guide: http://www.c-rproducts.com/downloads/pdfs/Industrial_vbelt_drives_design%20_guide.pdf
- Definición ABC*. (2007). Recuperado el 12 de Septiembre de 2016, de <http://www.definicionabc.com/ciencia/macromolecula.php>
- Elias, X. (2009). *Reciclaje de residuos sólidos* (2 ed.). España: Díaz de Santos.
- GEO Ecuador* (1 ed.). (2008). Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador.
- Goodfellow*. (1 de Abril de 2016). Recuperado el 5 de Mayo de 2016, de http://www.goodfellow.com/catalogue/GFCat2C.php?ewd_token=V585gvo7jZFIoLepFFfeIcySWAKb4C&n=68t4c9T8pnxthF2xMmAXRkjPkAIaRH&ewd_urlNo=GFCat26&type=30&prop=3

Juinall, R., & Marshek, K. (2012). *Fundamentos de diseño de componentes de máquina* (Quinta ed.). Estados Unidos: Jhon Wiley & Sons.

La casa del perno. (2015). *La casa del perno*. Obtenido de http://www.casadelperno.com/AyudaTecnica_Anclajes.html

Larburu Arrizabalaga, N. (2008). *Máquina Prontuario*. Madrid: Paraninfo.

Luna Puente, R., Moreno Villanueva, E., & Ledesma Jaime, R. (2009). *Scribd*. (U. T. Metropolitana, Productor) Recuperado el 3 de mayo de 2016, de <https://es.scribd.com/doc/51606605/DISENO-DE-MAQUINA-RECICLADORA-DE-PET>

Lund, H. F. (1996). *Manual McGRAW-HILL de reciclaje* (Vol. I). Madrid, España: McGraw-Hill / Interamericana de España.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (cuarta ed.). México: Pearson educación.

Retsch. (s.f.). Recuperado el 18 de Mayo de 2016, de http://www.marketizer.com/archivos_empresa/0bcb40fda3e9488111c33b40c0bcf1f0.pdf

Richardson, & Lokensgard. (2003). *Industria del plástico*. Madrid, España: Paraninfo.

WEG. (Abril de 2014). *Motor eléctrico trifásico*. Recuperado el 19 de Mayo de 2016, de <http://ecatalog.weg.net>

**INSTRUCTIVO DE
MANTENIMIENTO Y
OPERACIÓN**

Componentes eléctricos

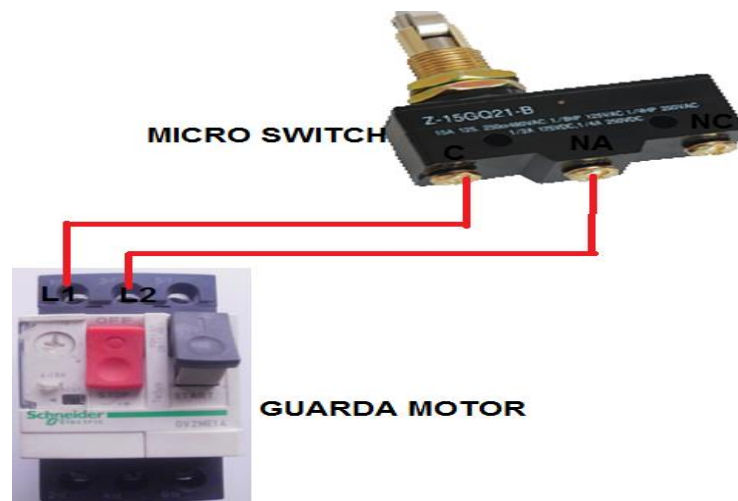
- Motor trifásico de 3Hp de potencia: originará el movimiento por medio de poleas a toda la cámara de molienda.
- Variador de frecuencia Power Flex 70: permitirá el control de frecuencia del motor hacia la cámara de molienda, tiene un grado de protección IP 55, lo que implica que el variador está protegido contra el polvo y salpicaduras de agua.
- Tablero de control: donde están los elementos de mando del molino; constará de:
 - a) Pulsador de encendido: permite energizar todo el sistema eléctrico del molino y es de color verde
 - b) Pulsador de apagado: corta el paso de energía del variador hacia el motor y es de color rojo.
 - c) Selector de tres posiciones: permite la selección de dos frecuencias que son de 18 y 29Hz.
 - d) Potenciómetro de 10 Amperios: permite graduar la frecuencia de 0 a 60 Hz.
 - e) Luces piloto: indican que el sistema está energizado (color verde), el motor está desconectado (color rojo) y el sistema eléctrico presenta un falla (color naranja).
 - f) Breaker de 32 Amperios: controla el paso de energía desde la fuente eléctrica hasta el variador.
 - g) Guarda motor de 10 Amperios: controla y protege el paso de energía del variador hacia el motor.
 - h) Micro switch 15 Amperios: es un sensor que permitirá tener una mayor seguridad al momento que se inicie la molienda, en el caso que no esté sujeta

la tolva de alimentación y ésta sea abierta, automáticamente se desconectará el motor eléctrico.



Conexión del micro switch

- El lado común (C) del micro switch, será conectado a la línea uno (L1) del guarda motor para que se encuentre energizado.
- El lado de normalmente abierto (NA) del micro switch, será conectado a la línea dos (L2) del guarda motor, cuando se abra la tolva de alimentación éste deje de estar pulsado y desactive el paso de corriente al motor para que deje de funcionar.



Condiciones de operación

- Antes de iniciar la trituración

Asegurarse que la máquina se encuentre anclada al piso para que no existan vibraciones. Verificar que esté conectado todo el sistema eléctrico y los cables del micro switch (sensor) estén conectados al guarda motor, ya que éste hace la función de detener el paso de corriente al motor al momento que se abra la tolva de alimentación, no olvidar que se debe presionar la botonera ON para el funcionamiento del molino. El potenciómetro debe estar en cero para evitar una velocidad no deseada, ya que está programado para trabajar con tres tipos de frecuencias de las cuales, dos se podrán variar con el selector y la tercera se podrá variar la velocidad con el potenciómetro.



Verificar que estén bien sujetas las cuchillas fijas y móviles, ya que de estas dos depende el éxito de la trituración. Se recomienda ajustar las tuercas que sujetan a los ejes secundarios, ya que con el trabajo pueden llegar a aflojarse.

- Sujeción correcta de la tolva de alimentación

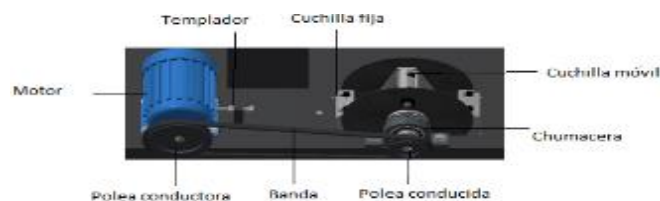
En un extremo está sujeta a la estructura por medio de bisagras, las cuales permiten el despliegue de la misma para poder realizar algún ajuste de la cámara de molienda, en el otro extremo tiene un seguro el cual permite que al momento de la molienda éste no tenga un juego a causa de la vibración y tiene un sensor que no permite el paso de corriente en el caso que no esté ajustado el seguro, por lo que el molino no funcionará si no está bien sujeto.

- Alimentación del PET

Alimentar la tolva con botellas desechables PET después de que este en marcha el motor, ya que por ser un prototipo su tolva solo permite el ingreso paulatino del material, se verá conveniente el cierre de la tolva cuando ya el producto deseado satisfaga las necesidades requeridas y consecuentemente seguir alimentando la tolva.

- Mantenimiento

- a. El mantenimiento se lo debe hacer de forma mensual y con la máquina apagada, especialmente desconectada de la fuente eléctrica.
- b. Realizar una inspección de todas las uniones apernadas.
- c. Verificar que las cuchillas móviles y fijas permanezcan intactas sus filos de corte.
- d. Observar que la banda trapezoidal esté en perfecto estado, especialmente bien templada.
- e. Abrir el cajetín eléctrico y fijarse en los alambres que no estén pelados o próximos a desoldarse.
- f. Limpiar todos los elementos de la cámara de molienda con una brocha.
- g. Limpiar el tamiz para que exista una fluidez en la salida del grano molido.
- h. Asegurarse que las poleas estén bien sujetas con sus respectivas chavetas y prisioneros.
- i. Ajustar las chumaceras y templador.



ANEXOS

Anexo 1 Factores de “a” y “b” para acabados superficiales

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 280)

Anexo 2 Parámetros de diseño según su tamaño “Kb”

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

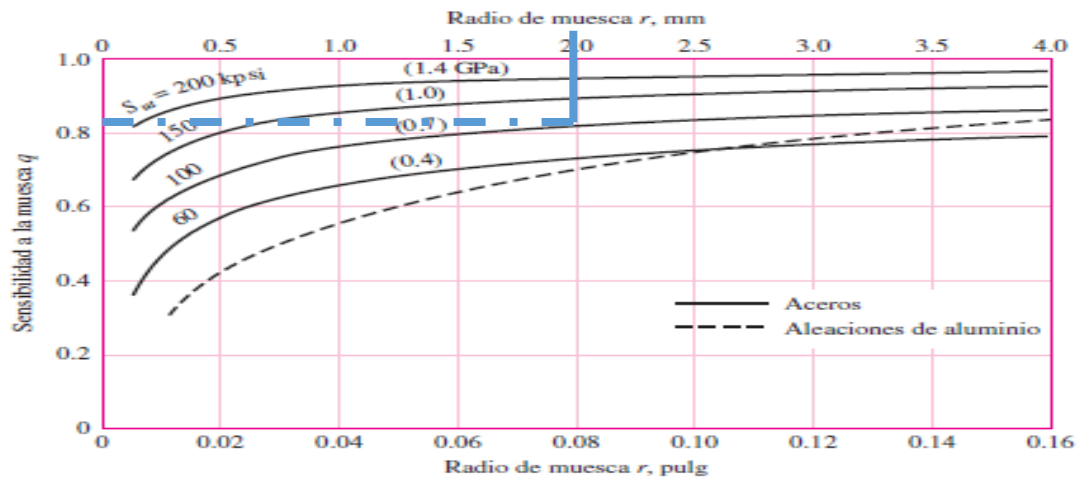
Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 280)

Anexo 3 Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

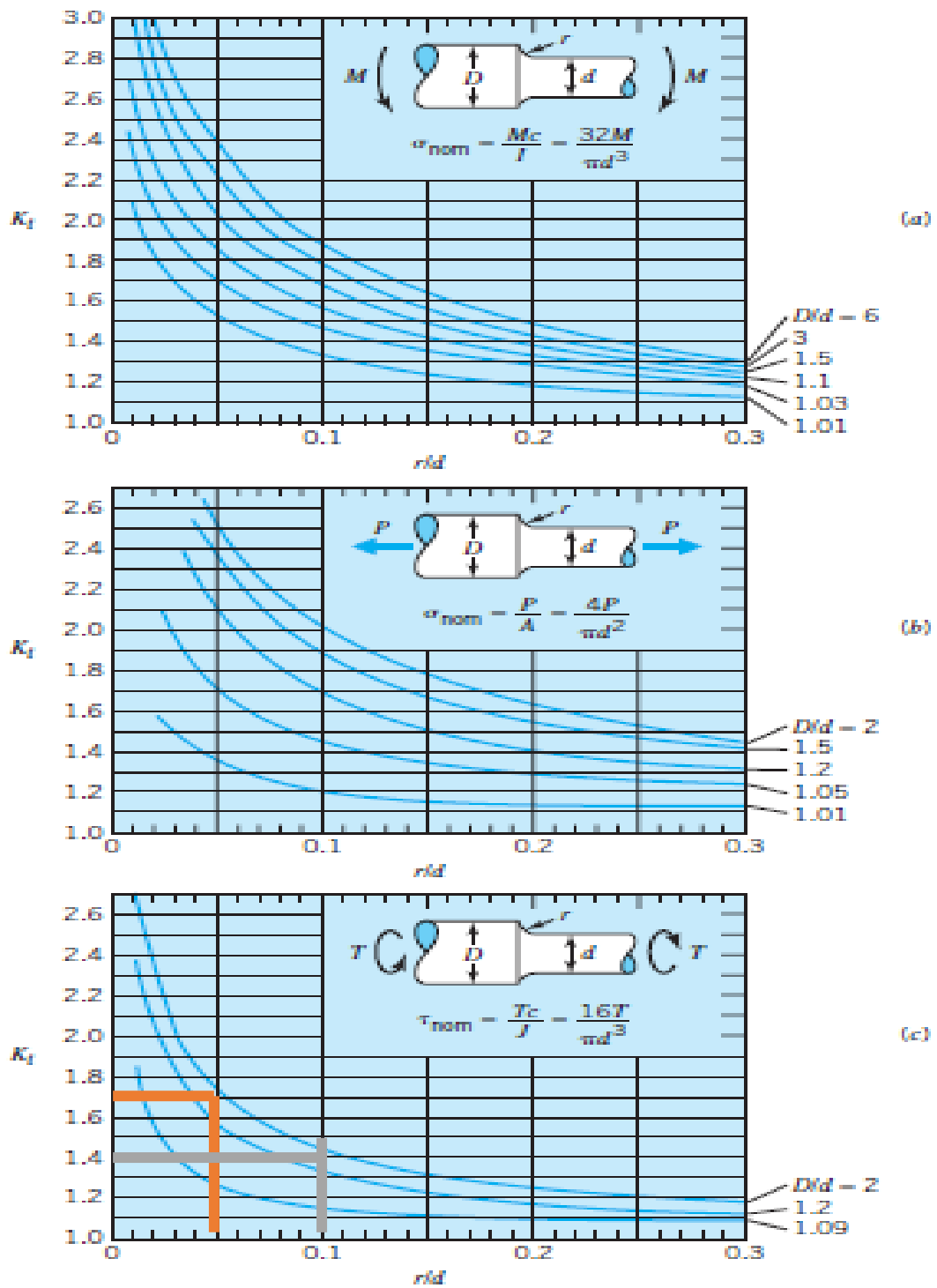
Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 283)

Anexo 4 Sensibilidad a la muesca que con respecto a su radio



Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 287)

Anexo 5 Factores de concentración de esfuerzos



Fuente: (Juvinall & Marshek, 2012, pág. 163)

Anexo 6 Polímero propiedades mecánicas



Goodfellow Corporation 125 Hookstown Grade Road, Coraopolis, PA 15108-9302, USA
 Telephone 1-800-821-2870 : Fax 1-800-283-2020

Polímero - Propiedades Mecánicas												
	Alargamiento a la Ruptura %	Coefficient de Fricción	Dureza - Rockwell	Módulo de Compresión GPa	Módulo de Tracción GPa	Porcentaje de Compresión tras 175C %	Ratión de Poisson	Resistencia a la Abrasión - D1034 mg/1000 ciclos	Resistencia a la Compresión MPa	Resistencia a la Tracción MPa	Resistencia al Desgaste N mm	Resistencia al Impacto Izod, J m
Poliésterato de Butileno - Reforzado con 30% Fibra de Vidrio PBT - 30% GFR	2	-	M83	-	12	-	-	-	-	185	-	70
Poliésterato de Etileno Polyester, PET, PETP	2-4	0,2-0,4	M84-101	2-4	2-4	0,37-0,44 (normal)	0,37-0,44 (normal)	10-40	80 para fibras bajas 190-260	13-35	-	160
Polieterafluoretileno PTFE	400	0,05-0,2	D50-55 - Shore	-	0,3-0,8	-	0,45	-	-	10-40	-	144
Polieterafluoretileno relleno con Vidrio PTFE 25% GF	100-300	0,05-0,10	D60-70 - Shore	-	1,7	-	-	-	-	7-20	-	69,4
Poliuretano PU	-	-	-	-	-	-	-	69	-	-	-	-
Poly L lactic acid - Biopolymer PLLA	2,4	-	-	-	3,6	-	-	-	70	-	-	-
Poliámidas - Nylon 6 - Reforzado 30% Fibra de vidrio PA 6 30% GFR	2,5	0,45-0,52	E70	-	8,5	-	-	-	140	-	-	800-1500
Poliámidas - Nylon 12 - Reforzado 30% fibra de vidrio - 30% GFR PA 12 - 30% GFR	8	-	R110	-	6	-	-	-	110	105	-	234
Poliámidas - Nylon 4, 6 PA 4,6	-	-	M82	-	3,1-3,3	-	-	-	-	55-100	-	80
Poliámidas - Nylon 6, 10 PA 6, 10	10-70	-	-	-	2,2	-	-	-	-	63-68	-	-
Poli carbonato - 30% fibras de vidrio PC - 30% GFR	3	-	-	-	5,8	-	-	-	-	70	-	-
Polieterketona PEK	20	-	-	-	3,7	-	-	-	140	115	-	5,0
Poliácido láctico - Biopolymer PLA	6	-	-	-	3,5	-	-	-	-	53	-	16
Polióximetileno Homopolímero 20% PTFE Filled POM H 20% PTFE	10	-	-	-	2,8	-	-	-	-	50	-	3000

Todos los datos técnicos e informaciones sirven para su orientación únicamente. A pesar de todos nuestros esfuerzos para asegurar que toda la información es correcta, no podemos garantizar su perfección ni su precisión. 1 de abril de 2016

Fuente: (Goodfellow, 2016, pág. 17)

Anexo 7 Catalogo para la selección de motor



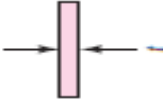
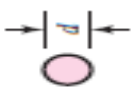
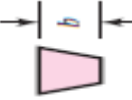
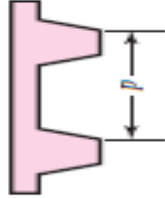
www.weg.net

W22 - IE2 High Efficiency - 60 Hz

Potencia kW	HP	Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor tribuido (A)	Par con rotor tribuido (kgfm)	Par máximo TMTs	Momento de inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor tribuido (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido (dB(A))	FPM	220V				Corriente nominal (A)		
								Caliente	Frio				Rendimiento		Factor de potencia				
0.12	0.16	63	0.068	4.6	2.5	3.1	0.0004	3'	81	6.2	48	1715	50.0	59.0	61.0	0.44	0.55	0.64	0.307
0.18	0.25	63	0.103	4.7	2.4	2.9	0.0006	30	66	7.2	48	1705	57.0	64.0	67.0	0.47	0.58	0.68	1.04
0.25	0.33	63	0.143	5.0	2.6	3	0.0007	35	55	8.2	47	1705	62.0	68.0	70.0	0.47	0.60	0.69	1.36
0.37	0.5	71	0.215	4.6	2.4	2.5	0.0007	35	77	8.0	47	1680	68.0	71.0	72.0	0.50	0.63	0.72	1.87
0.55	0.75	71	0.319	5.1	2.9	2.9	0.0008	31	68	11.5	47	1680	71.0	74.5	75.0	0.50	0.63	0.72	2.67
0.75	1	80	0.423	7.3	3	3.2	0.0029	16	35	13.5	48	1725	79.0	82.0	82.6	0.61	0.72	0.80	2.98
1.1	1.5	90S	0.612	7.5	2.2	3	0.0049	16	35	18.5	51	1750	81.0	83.5	84.0	0.57	0.70	0.78	4.40
1.5	2	90S	0.835	7.1	2.2	3	0.0049	11	24	18.5	51	1750	81.0	83.5	84.2	0.57	0.70	0.78	6.00
2.2	3	100L	1.22	7.4	2.6	3.1	0.0077	11	24	25.0	51	1750	86.0	87.5	88.2	0.61	0.74	0.81	8.12
3	4	100L	1.70	6.7	2.8	3	0.0096	16	35	33.0	54	1720	86.4	87.2	87.5	0.61	0.74	0.81	11.1
4.5	6	112M	2.08	8.0	3	3.6	0.0104	11	24	34.0	54	1735	85.0	87.0	88.0	0.58	0.72	0.80	13.8
7.5	10	128S	3.08	6.3	2.1	2.7	0.0180	15	30	44.0	56	1740	88.4	89.1	90.0	0.58	0.72	0.79	20.4
9.2	12.5	132M	3.69	8.0	2	3.1	0.0201	9	20	75.0	50	1760	90.0	90.8	91.0	0.67	0.79	0.84	25.8
11	15	132M	5.09	8.2	2	3.2	0.0638	8	18	80.0	58	1760	90.5	91.2	91.7	0.67	0.79	0.85	37.0
15	20	162M	8.23	6.8	2.7	3	0.1188	11	24	120	64	1775	91.0	92.4	92.4	0.64	0.75	0.81	52.6
18.5	25	160L	10.2	6.8	2.7	3	0.1387	10	22	135	64	1765	92.0	92.8	92.8	0.64	0.75	0.81	64.6
22	30	183M	12.1	6.4	2.3	2.7	0.1657	19	42	158	64	1765	92.5	92.8	93.0	0.71	0.81	0.84	74.0
30	40	200M	16.5	6.2	2	2.3	0.2406	18	40	195	66	1770	92.7	93.2	93.4	0.72	0.81	0.85	96.2
37	50	200L	20.4	6.2	2.5	2.6	0.3074	14	31	227	66	1770	93.0	93.6	93.6	0.72	0.80	0.85	122
45	60	225S	24.7	7.2	2.4	2.6	0.4931	12	26	367	67	1775	93.5	93.7	94.1	0.76	0.83	0.86	146
55	75	225S	30.2	7.2	2.4	2.6	0.6570	12	26	386	67	1775	93.9	94.2	94.4	0.77	0.84	0.87	176
75	100	250S	41.0	7.2	2.4	2.8	0.8740	12	26	470	69	1780	94.0	94.5	94.6	0.71	0.81	0.85	244
90	125	280S	50.1	7.2	2.1	2.6	1.56	20	44	636	73	1785	94.0	94.8	94.9	0.73	0.82	0.85	292
110	150	280S	60.0	7.3	2.1	2.6	1.87	18	40	694	73	1785	94.3	94.8	95.2	0.75	0.83	0.86	352
132	180	315S	71.8	7.1	2.1	2.4	2.57	18	40	903	75	1790	94.0	95.0	95.3	0.74	0.82	0.85	428
165	220	315S	81.6	7.0	2.2	2.3	2.89	20	44	947	75	1790	94.5	95.5	95.5	0.75	0.83	0.85	490
200	270	353M	101	7.0	2.2	2.3	3.44	18	40	1018	75	1790	95.0	95.0	95.7	0.77	0.84	0.87	584
220	300	353M	109	7.0	2.2	2.2	4.66	20	44	1291	78	1790	94.8	95.6	95.6	0.77	0.84	0.86	638
260	360	353M	120	7.2	2.2	2.3	5.42	23	51	1350	78	1790	95.2	95.8	95.9	0.77	0.84	0.85	700
300	400	353M	141	7.3	2	2.2	6.30	15	30	1431	70	1790	96.4	96.0	96.0	0.77	0.84	0.87	816
300	400	353M	163	7.0	2.4	2.3	7.20	14	31	1527	78	1790	95.7	96.1	96.1	0.77	0.83	0.87	942
300	400	353M	180	7.0	2.1	2.3	8.51	19	42	1652	78	1790	96.0	96.1	96.1	0.77	0.83	0.86	1050
370	500	353M	201	7.6	2.5	2.6	10.2	12	26	1833	78	1790	98.0	98.1	98.1	0.75	0.82	0.85	1190
400	540	353M	218	7.3	2.5	2.6	11.1	14	31	1916	78	1790	98.1	98.4	98.4	0.74	0.82	0.86	1270
440	600	353M	238	7.1	2.2	2.5	11.6	16	35	1966	78	1790	98.2	98.4	98.5	0.74	0.82	0.86	1400
480	650	353M	261	7.4	2.2	2.5	12.7	22	48	1993	81	1790	98.0	98.5	98.6	0.71	0.81	0.85	1530
515	700	353M	280	7.4	2.2	2.7	13.4	26	57	2078	81	1790	98.2	98.5	98.6	0.71	0.81	0.85	1650
550	750	353M	299	7.6	2.7	2.7	14.6	22	48	2246	81	1790	98.3	98.6	98.7	0.70	0.80	0.85	1780
High output design													50	75	100	150	200		
2.2	3	100L	1.23	7.6	3.2	3.5	0.0082	19	42	30.0	54	1740	85.0	87.0	87.5	0.57	0.70	0.78	8.46
45	60	200L	24.8	6.3	2.1	2.5	0.3116	12	26	237	66	1770	95.0	93.6	93.6	0.67	0.78	0.83	152
75	100	280S	41.0	7.9	2.6	2.8	0.7101	8	18	404	67	1785	94.0	94.5	94.6	0.71	0.81	0.85	244
132	180	280S	72.0	7.2	2	2.4	2.18	15	30	730	73	1785	94.5	95.0	95.3	0.76	0.84	0.86	422
150	200	280S	81.8	7.7	2.3	2.6	2.49	15	30	776	73	1785	94.8	95.4	95.5	0.76	0.84	0.86	490
200	270	315S	100	7.0	2.3	2.4	3.76	20	44	1062	75	1790	94.8	95.4	95.7	0.82	0.87	0.85	646

Fuente: (WEG, 2014, pág. 55)

Anexo 8 Tipos de bandas

Tipo de banda	Figura	Unión	Intervalo de tamaños	Distancia entre centros
Plana		Si	$t = \begin{cases} 0.03 \text{ a } 0.20 \text{ pulg} \\ 0.75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	No hay límite superior
Redonda		Si	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ pulg}$	No hay límite superior
Tipo V		Ninguna	$b = \begin{cases} 0.31 \text{ a } 0.91 \text{ pulg} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
De sincronización		Ninguna	$p = 2 \text{ mm y mayor}$	Limitada

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 860)

Anexo 9 Factor de servicio para el molino

Table 1 Service Factors

Driven Unit		Normal Torque (Up to 175% of rated torque)			High Torque (above 175% of rated torque)			
		Intermittent	Normal	Continuous	Intermittent	Normal	Continuous	
Agitators	Paddle or Propeller, Vertical or Horizontal, Screw	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
Bottling Machinery		1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
Car Dumper, Car Puller		1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
Clarifier, Classifier		1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
Clay Machinery	Brick Press, Briquette, Pug Mill	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Compressors	Lobe, Rotary	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Reciprocating	1 cylinder - single acting	1.5	1.6	1.7	1.6	1.7	1.8
		1 cylinder - double acting, 2 cylinder single acting	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7
		2 cylinder - double / 3 cylinder & up single & double	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6
Conveyors	Light Duty	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
	Sand, Grain	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Screw, Drag, Pan	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
		1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Cranes and Hoists	Hoist, Medium Duty	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Heavy Duty	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
	Skip Hoist - Travel/Trolley, Slope	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Crushers	Gyratory, Jaw, Roll	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7	
Dredges	Cable Reel, Conveyor	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Cutter Head Drive, Jig Drive	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
	Pump, Screen, Stacker, Utility Winch	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
		1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.5	
Dynamometer		1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.5	
Elevators	Bucket, Freight	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Fans	Up to 10 HP	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
	Over 10 HP	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
Food Industry	Slicers, Dough Mixer, Meat Grinder	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
Generators	Even Load	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
	Hoist, Railway Service	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Welder Load	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
Laundry Machines	Tumbler, Washer	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Extractor	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
Line Shafts	Driving Processing Machine	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
Lumber Industry	Band Resaw, Circular Resaw	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Edger, Head Rig, Hog, Log Haul	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Planer	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Rolls: Reversing & Non-Reversing	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Sawdust Conveyor	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
	Slab Conveyor, Sorting Table	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Debarker, Chipper	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
		1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
Machine tools	Auxiliary	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Main Drive, Notching Press	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
	Planer (reversing), Plate Planer	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
	Punch Press, Traverse	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
Metal Forming Machines	Draw Bench, Cabbage, Main Drive	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Wire Drawing, Flattening Machine	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Mills (Rotary Type)	Ball or Pebble	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Dryer or Cooler	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Rod or Tube	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
	Tumbling Barrel	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
		1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Mixers	Concrete - Continuous & Intermittent	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
Paper Mills	Agitator	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
	Barking Drum	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
	Beater and Pulper	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Chipper	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
	Dryer, Pulp Grinder, Winder	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Press	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Printing Press		1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
Pulverizers	Hammermill - Light Duty	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Hammermill - Heavy Duty	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
	Hog, Roller	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
Pumps	Centrifugal	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
	Reciprocating	Gear Type, Rotary	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5
		Oil Well Unit (not over 100% peak torque)	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6
		1 cylinder single & double acting	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7
		2 cylinder sing & double acting / 3 cylinder & up	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6
Rubber/Plastics	Calendar, Extruder, Mills	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
Screens	Coal and Sand (Rotary)	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Vibrating	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
Sewage Disposal Equipment		1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	
Shredder		1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Steel Industry	Cold/Hot Mill, Coiler (Up or Down)	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Strip, Temper	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Edger Drive, Slaker	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	
	Feed Roll (Blooming)	1.5	1.6	1.7	1.6	1.7	1.8	
	Sheet, Strip, Rod Mill, Roughing, Mill Delivery	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7	
		1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Textile Industry	Batcher, Calendar, Dry Can, Loom, Napper	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Cards Machine, Dyeing Machinery	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
	Mangle Napper, Spinner Tenter Frame	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	
Woodworking Machines		1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	

Fuente: (CARLISLE, pág. 17)

Anexo 10 Diagrama de selección de bandas

DRIVE SELECTION USING PRE-ENGINEERED TABLES (Continued)

CROSS-SECTION SELECTION TABLES

To help in selecting the proper V-belt cross-section, Carlisle has provided easy to use cross-section selection tables. These tables allow the user to determine the optimum V-belt cross-section from the design horsepower and faster shaft RPM of the application. When the design horsepower and faster shaft RPM intersect at, or near one of the diagonals separating two cross-section areas, it can be designed using either side of the line. Check the design using both cross-sections and select the drive most economical and consistent with other drive requirements.

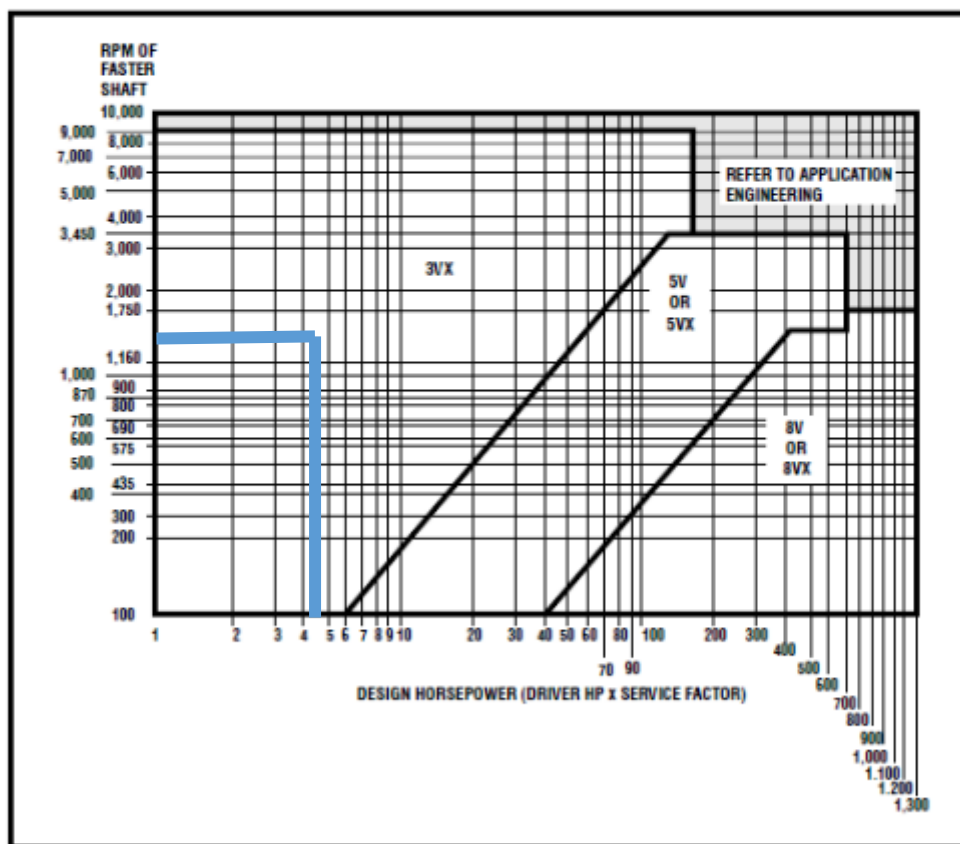


Figure 1
SUPER POWER-WEDGE AND
POWER-WEDGE COG-BELT

Fuente: (CARLISLE, pág. 18)

Anexo 11 Variables de la banda 3VW

Driven Speed for Motor Speed of	Sheave Outside Diameters		V-Belt Number and Center Distance (Other sizes may be available, see page 214)																				
	RPM	RPM	RPM	Small Sheave	Large Sheave	Speed Ratio	3VX 250	3VX 265	3VX 280	3VX 300	3VX 315	3VX 335	3VX 355	3VX 375	3VX 400	3VX 425	3VX 450	3VX 475	3VX 500	3VX 530	3VX 560		
770	1026	1548	3052	3.65	4.12	1.13	6.4	7.1	7.9	8.9	9.6	10.6	11.6	12.6	13.9	15.1	16.4	17.6	18.9	20.4	21.9		
763	1018	1536	3028	2.20	2.50	1.14	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0		
756	1008	1520	2997	6.00	6.90	1.15	—	—	—	—	—	—	—	8.6	9.9	11.1	12.4	13.6	14.9	16.4	17.9		
753	1005	1515	2988	4.12	4.75	1.15	—	6.3	7.0	8.0	8.8	9.8	10.8	11.8	13.0	14.3	15.5	16.8	18.0	19.5	21.0		
749	999	1508	2973	6.90	8.00	1.16	—	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0		
749	999	1508	2973	6.90	8.00	1.16	7.2	7.9	8.7	9.7	10.4	11.4	12.4	13.4	14.7	15.9	17.2	18.4	19.7	21.2	22.7		
750	999	1508	2973	6.90	8.00	1.16	—	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0		
749	998	1506	2969	3.50	5.50	1.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.5	10.8	12.0	13.3	14.8	16.3		
749	998	1506	2969	3.50	5.50	1.16	—	—	—	—	—	—	—	8.2	9.2	10.5	11.7	13.0	14.2	15.5	17.0	18.5	
737	983	1483	2924	4.50	5.30	1.18	—	—	—	7.3	8.0	9.0	10.0	11.0	12.3	13.5	14.8	16.0	17.3	18.8	20.3		
737	982	1482	2922	4.75	5.60	1.18	—	—	—	6.9	7.6	8.6	9.6	10.6	11.9	13.1	14.4	15.6	16.9	18.4	19.9		
724	965	1456	2870	5.00	6.00	1.20	—	—	—	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0		
724	965	1456	2870	5.00	6.00	1.20	—	—	—	7.1	8.1	9.1	10.1	11.3	12.6	13.9	15.1	16.4	17.9	19.4	21.0		
715	954	1439	2837	4.12	5.00	1.22	-0.0	6.1	6.8	7.8	8.6	9.6	10.6	11.6	12.8	14.1	15.3	16.6	17.8	19.3	20.8		
706	941	1420	2799	6.50	8.00	1.23	-0.0	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0		
706	941	1420	2799	6.50	8.00	1.23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.8	11.1	12.3	13.6	15.1	16.6		
705	940	1418	2795	5.60	6.90	1.23	—	—	—	—	—	—	—	7.9	8.9	10.2	11.4	12.7	13.9	15.2	16.7	18.2	
698	938	1416	2791	3.65	4.50	1.24	6.1	6.8	7.6	8.6	9.3	10.3	11.3	12.3	13.6	14.8	16.1	17.3	18.6	20.1	21.6		
704	938	1416	2791	3.65	4.50	1.24	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	
698	930	1403	2766	4.50	5.60	1.25	-0.0	-0.0	-0.0	7.0	7.8	8.7	9.8	10.8	12.1	13.3	14.6	15.8	17.1	18.6	20.1		
688	917	1383	2727	2.50	3.15	1.27	-0.0	-0.0	-0.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	
688	917	1383	2727	2.50	3.15	1.27	8.1	8.8	9.6	10.6	11.3	12.3	13.3	14.3	15.6	16.8	18.1	19.3	20.6	22.1	23.6		
687	916	1382	2725	4.75	6.00	1.27	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	
687	916	1382	2725	4.75	6.00	1.27	—	—	—	7.3	8.3	9.3	10.3	11.5	12.8	14.0	15.3	16.5	18.0	19.5	21.0	22.5	
674	899	1357	2675	4.12	5.30	1.29	—	—	—	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	
668	890	1343	2648	5.00	6.50	1.30	—	—	—	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	
668	890	1343	2648	5.00	6.50	1.30	—	—	—	—	—	—	—	7.7	8.7	9.7	10.9	12.2	13.4	14.7	16.0	17.5	19.0
666	889	1340	2643	3.65	4.75	1.31	—	—	—	—	—	—	—	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	
666	889	1340	2643	3.65	4.75	1.31	5.9	6.6	7.4	8.4	9.1	10.1	11.1	12.1	13.4	14.6	15.9	17.1	18.4	19.9	21.4	22.9	
663	884	1333	2628	3.15	4.12	1.31	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	
663	884	1333	2628	3.15	4.12	1.31	6.8	7.5	8.3	9.3	10.0	11.0	12.0	13.0	14.3	15.5	16.8	18.0	19.3	20.8	22.3	23.8	
658	877	1323	2609	10.60	14.00	1.32	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	
656	874	1319	2600	8.00	10.60	1.33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.8	13.3	14.8
651	868	1309	2580	4.50	6.00	1.34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	1.0	1.0
651	868	1309	2580	4.50	6.00	1.34	—	—	—	7.5	8.5	9.5	10.5	11.7	13.0	14.2	15.5	16.7	18.2	19.7	21.2	22.7	24.2
651	868	1310	2582	6.00	8.00	1.34	—	—	—	—	—	—	—	—	8.9	10.2	11.5	12.7	14.0	15.5	17.0	18.5	20.0
645	861	1298	2560	2.35	3.15	1.35	—	—	—	—	—	—	—	—	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0
645	861	1298	2560	2.35	3.15	1.35	8.2	8.9	9.7	10.7	11.4	12.4	13.4	14.4	15.7	16.9	18.2	19.4	20.7	22.2	23.7	25.2	26.7
645	861	1298	2560	2.35	3.15	1.35	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0

*Use only Power-Wedge Cog-Belt with these diameters.

All Length Correction Factors are located beneath Center Distance Values.

Fuente: (CARLISLE, pág. 22)

Anexo 12 Material de las poleas

QD MULTIPLE SHEAVES

Ductile Iron and Steel Sheaves

When rim speeds exceed 6,500 fpm on a drive, standard statically balanced sheaves cannot be used. In such cases, steel or ductile iron sheaves are required. Carlisle can provide these sheaves upon request. The logarithmic graph in Figure 18 illustrates when steel or ductile iron sheaves should be used, and when dynamic balancing is required.

Note: For rim speeds exceeding 10,000 fpm, consult the factory.

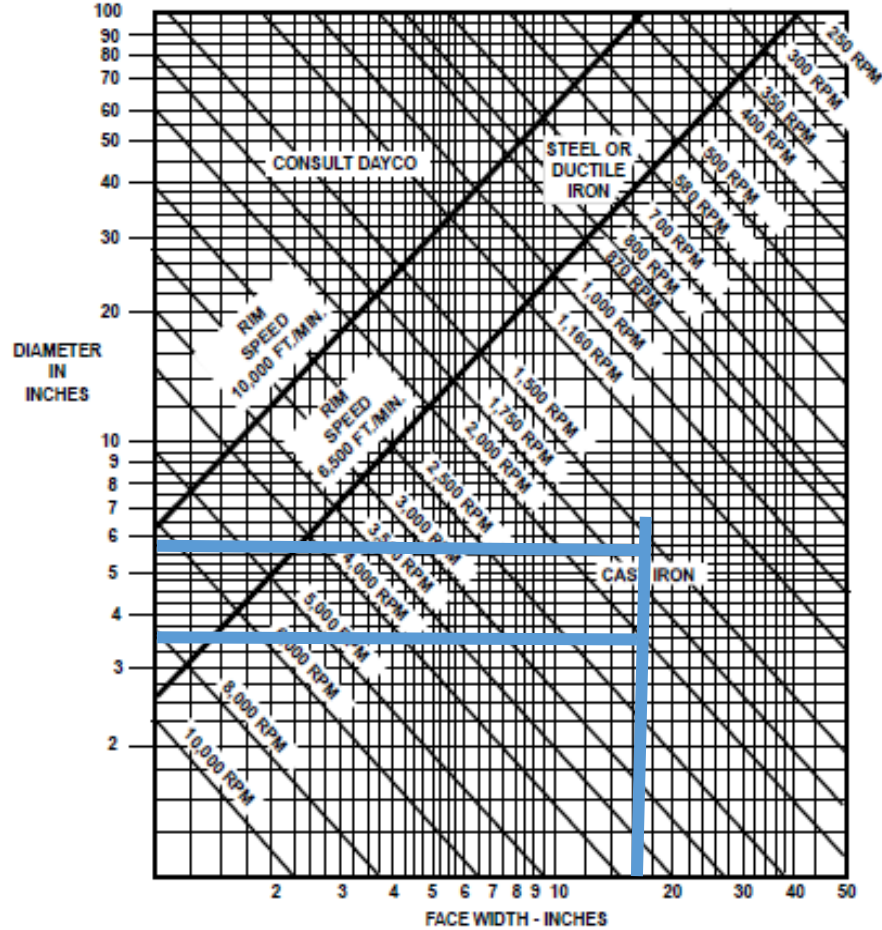
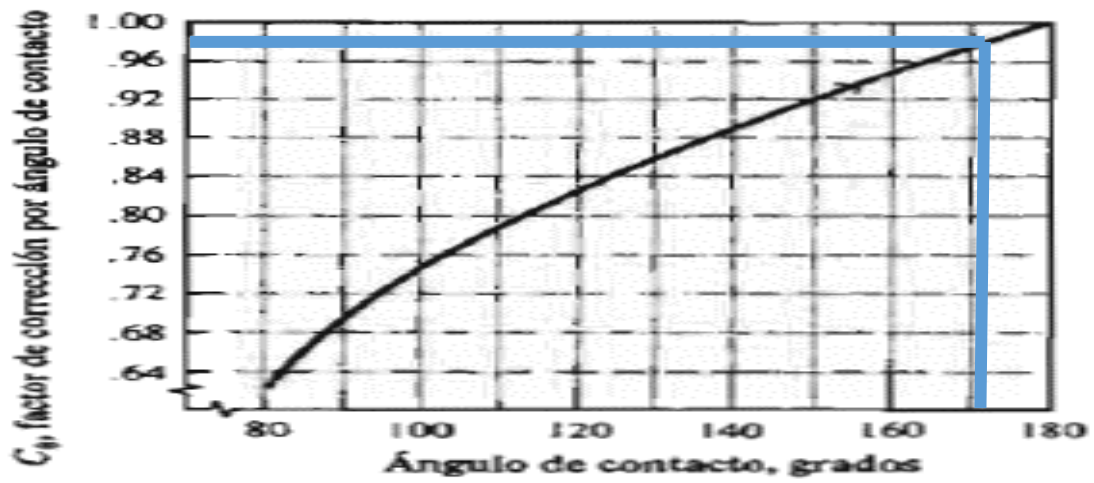


Figure 18

Graph for determining when steel or ductile iron sheaves should be used, and when dynamic balancing is required.

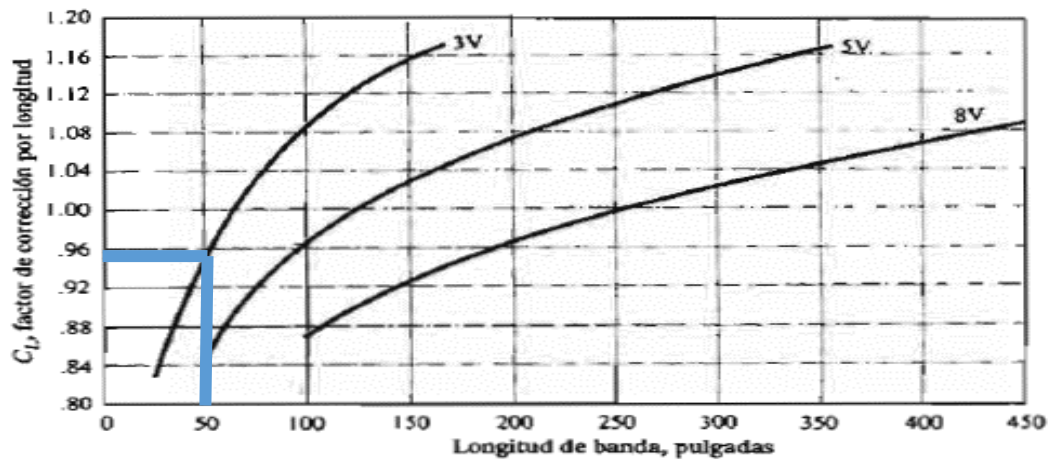
Fuente: (CARLISLE, pág. 236)

Anexo 13 Factor de corrección por ángulo de contacto



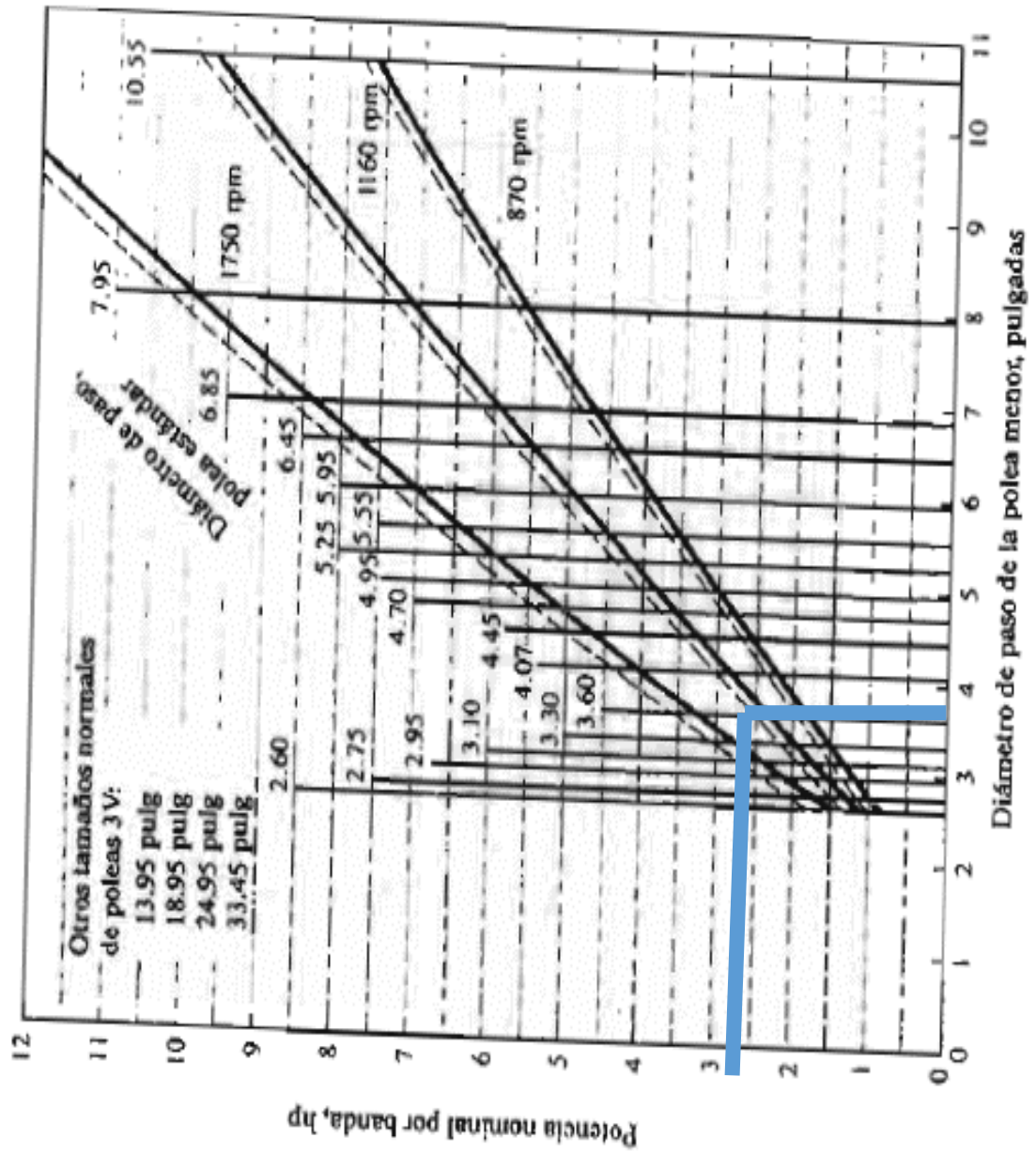
Fuente: (Mott, 2006, pág. 277)

Anexo 14 Factor de corrección por longitud



Fuente: (Mott, 2006, pág. 277)

Anexo 15 Potencia nominal por banda



Fuente: (Mott, 2006, pág. 275)

Anexo 16 Capacidad de cojinete

Bore (mm)	Radial Ball, $\alpha = 0^\circ$			Angular Ball, $\alpha = 25^\circ$			Roller		
	L00 Xlt (kN)	200 lt (kN)	300 med (kN)	L00 Xlt (kN)	200 lt (kN)	300 med (kN)	1000 Xlt (kN)	1200 lt (kN)	1300 med (kN)
10	1.02	1.42	1.90	1.02	1.10	1.88			
12	1.12	1.42	2.46	1.10	1.54	2.05			
15	1.22	1.56	3.05	1.28	1.66	2.85			
17	1.32	2.70	3.75	1.36	2.20	3.55	2.12	3.80	4.90
20	2.25	3.35	5.30	2.20	3.05	5.80	3.30	4.40	6.20
25	2.45	3.65	5.90	2.65	3.25	7.20	3.70	5.50	8.50
30	3.35	5.40	8.80	3.60	6.00	8.80	2.40 ^a	8.30	10.0
35	4.20	8.50	10.6	4.75	8.20	11.0	3.10 ^a	9.30	13.1
40	4.50	9.40	12.6	4.95	9.90	13.2	7.20	11.1	16.5
45	5.80	9.10	14.8	6.30	10.4	16.4	7.40	12.2	20.9
50	6.10	9.70	15.8	6.60	11.0	19.2	5.10 ^a	12.5	24.5
55	8.20	12.0	18.0	9.00	13.6	21.5	11.3	14.9	27.1
60	8.70	13.6	20.0	9.70	16.4	24.0	12.0	18.9	32.5
65	9.10	16.0	22.0	10.2	19.2	26.5	12.2	21.1	38.3
70	11.6	17.0	24.5	13.4	19.2	29.5		23.6	44.0
75	12.2	17.0	25.5	13.8	20.0	32.5		23.6	45.4
80	14.2	18.4	28.0	16.6	22.5	35.5	17.3	26.2	51.6
85	15.0	22.5	30.0	17.2	26.5	38.5	18.0	30.7	55.2
90	17.2	25.0	32.5	20.0	28.0	41.5		37.4	65.8
95	18.0	27.5	38.0	21.0	31.0	45.5		44.0	65.8
100	18.0	30.5	40.5	21.5	34.5		20.9	48.0	72.9
105	21.0	32.0	43.5	24.5	37.5			49.8	84.5
110	23.5	35.0	46.0	27.5	41.0	55.0	29.4	54.3	85.4
120	24.5	37.5		28.5	44.5			61.4	100.1
130	29.5	41.0		33.5	48.0	71.0	48.9	69.4	120.1
140	30.5	47.5		35.0	56.0			77.4	131.2
150	34.5			39.0	62.0		58.7	83.6	
160								113.4	
180	47.0			54.0			97.9	140.1	
200								162.4	
220								211.3	
240								258.0	

Fuente: (Juvinall & Marshek, 2012, pág. 605)

Anexo 17 Pernos de anclaje tipo cuña

DIMENSIÓN	TAMAÑO DEL ANCLAJE				
	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
Tamaño de la broca	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
Orificio en la pieza	5/16"	7/16"	9/16"	11/16"	13/16"
Tamaño de la rosca	1/4"-20	3/8"-16	1/2"-13	5/8"-11	3/4"-10
Altura de la tuerca	7/32"	21/64"	7/16"	35/64"	41/64"
Diámetro ext. de la arandela	5/8"	13/16"	1 1/16"	1 3/4"	2"
Tamaño de la llave	7/16"	9/16"	3/4"	15/16"	1 1/8"
Torsión ajuste máximo (pies-libras)	8	28	60	90	175

Fuente: (La casa del perno, 2015)

Anexo 18 Pernos de acero al carbono

NUMERO DE GRADO	MATERIAL	CARGA DE PRUEBA (KPSI)	ESFUERZO DE RUPTURA (KPSI)
1, 2	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	55 - 33	74 - 60
5	Acero al carbono, templado y revenido	85 - 74	120 - 105
5.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	85	120
7	Acero al carbono aleado, templado y revenido	105	133
8	Acero al carbono aleado, templado y revenido	120	150
8.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	120	150

Fuente: (La casa del perno, 2015)

Anexo 19 Selección de chavetas paralelas

Pasadores y chavetas		CHAVETAS PARALELAS SERIE NORMAL										TABLA 18 - 13	
Dimensiones en mm.		CHAVETA										(De UNE 17.102 h1)	
Sección <i>b x h</i>	Ancho <i>b</i>		Altura <i>h</i>		Chaflán <i>b₁</i>		Longitud <i>l</i>						
	Nominal	Toler. h5	Nominal	Toler. h5 y h11	Mínima	Máxima	De	h	De	h	Mín.	Máx.	
4 x 4	4	0	4	0	0,16	0,25	6	45					
5 x 5	5	-0,030	5	-0,030	0,25	0,40	10	56					
6 x 6	6		6		0,25	0,40	14	70					
8 x 7	8	0	7		0,25	0,40	16	90					
10 x 8	10	-0,036	8		0,40	0,60	22	110					
12 x 8	12		8	0	0,40	0,60	28	140					
14 x 9	14	-0,043	9	-0,090	0,40	0,60	36	160					
16 x 10	16		10		0,40	0,60	45	180					
18 x 11	18		11		0,40	0,60	50	200					
20 x 12	20	0	12	0	0,40	0,80	56	220					
22 x 14	22		14		0,60	0,80	63	250					
25 x 14	25	-0,052	14	-0,110	0,60	0,80	70	280					
28 x 16	28		16		0,60	0,80	80	320					
32 x 18	32		18		0,60	0,80	90	360					
36 x 20	36	0	20		0,60	1,20	100	400					
40 x 22	40	-0,062	22	0	1,00	1,20	—	—					
45 x 25	45		25	0,130	1,00	1,20	—	—					
50 x 28	50		28		1,00	1,20	—	—					
56 x 32	56	0	32		1,00	2,00	—	—					
63 x 32	63	-0,074	32		1,60	2,00	—	—					
70 x 36	70		36	0	1,60	2,00	—	—					
80 x 40	80	0	40	-0,160	2,50	3,00	—	—					
90 x 45	90		45		2,50	3,00	—	—					
100 x 50	100	-0,087	50		2,50	3,00	—	—					

Diámetro del eje <i>d</i>		Sección de la chaveta <i>b x h</i>		Ancho <i>b</i> , tolerancia						Profundidad				Chaflán <i>R₁</i>				
Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Clase de ajuste del enchavetado						Eje <i>h₁</i>		Cubo <i>h₂</i>		Mín.	Máx.			
				Libre		Normal		Ajustado		Nominal	Toler.	Nominal	Toler.					
				Eje h5	Cubo D10	Eje H9	Cubo J5 3	Eje y cubo p9										
10	12	4	4	+0,030	+0,078	0	0	-0,012	2,5	+0,1	1,8	+0,1	0,08	0,16				
12	17	5	5	0	+0,030	-0,030	±0,015	-0,042	3	0	2,3	0	0,16	0,25				
17	22	6	6	0					4		3,5		0,16	0,25				
22	30	8	7	+0,036	+0,098	0	±0,018	-0,015	4		3,3		0,25	0,40				
30	38	10	8	0	+0,040	-0,036	±0,018	-0,051	5		3,3		0,25	0,40				
38	44	12	8						5		3,3		0,25	0,40				
44	50	14	9	+0,043	+0,120	0		-0,018	5,5		3,8		0,25	0,40				
50	58	16	10	0	+0,050	-0,043	±0,0215	-0,061	6		4,3		0,25	0,40				
58	65	18	11						6		4,3		0,25	0,40				
65	75	20	12						7,5	+0,2	4,9	+0,2	0,40	0,60				
75	85	22	14	+0,052	+0,149	0		-0,022	9	0	5,4	0	0,40	0,60				
85	95	25	14	0	+0,065	-0,052	±0,025	-0,074	9		6,4		0,40	0,60				
95	110	28	16						10		6,4		0,40	0,60				
110	130	32	18						11		7,4		0,40	0,60				
130	150	36	20						12		8,4		0,70	1,00				
150	170	40	22	+0,052	+0,180	0	±0,031	-0,026	13		9,4		0,70	1,00				
170	200	45	22	0	+0,080	-0,062	±0,031	-0,088	15		10,4		0,70	1,00				
200	230	50	28						17		11,4		0,70	1,00				
230	260	56	32						20		12,4		0,70	1,00				
260	290	63	32	+0,074	+0,220	0		-0,106	22	+0,3	14,4	+0,3	1,20	1,60				
290	330	70	36	0	+0,100	-0,074	±0,037	-0,032	20	0	12,4	0	1,20	1,60				
330	380	80	40	0					25		14,4		1,20	1,60				
380	440	90	45	+0,087	+0,250	0		-0,037	28		15,4		2,00	2,50				
400	500	100	50	0	+0,120	-0,087	±0,0435	-0,124	31		17,4		2,00	2,50				

Fuente: (Larburu Arrizabalaga, 2008, pág. 518)