

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS DE 15 KG/H PARA EL LABORATORIO DE CONFORMADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

ALEX PAÚL VÁSCONEZ ORTIZ

alexpol_vas@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. Mario Germán Granja Ramirez

mario.granja@epn.edu.ec

COLABORADOR: Ing. Willan Leopoldo Monar Monar

willan.monar@epn.edu.ec

Quito, Febrero 2013

DECLARACIÓN

Yo Alex Paúl Vásconez Ortiz, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, según por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Alex Paúl Vásconez Ortiz

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: ALEX PAÚL VÁSCONEZ ORTIZ bajo mi supervisión.

Ing. Mario Granja R.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Willan Monar
COLABORADOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios principalmente por brindarme la salud y las energías necesarias para llegar a culminar este proyecto y cumplir con un objetivo más de mi vida.

A mis padres Edwin Y Nancy por brindarme su apoyo incondicional en los momentos en que más los necesitaba, por sus consejos, sabiduría y amor que fueron los pilares fundamentales para llegar a ser una persona de bien.

A mi director Ing. Mario Granja y colaborador de tesis Ing. Willan Monar por su paciencia y guía durante el desarrollo de este proyecto ya que fueron parte fundamental para su realización y su feliz término.

A mis hermanas Karla y Paulina y mi primo Andrés por su comprensión, apoyo y ánimos durante todo este tiempo de estudios.

A la Escuela Politécnica Nacional que como institución contribuyó para mi formación y superación personal.

A todos mis amigos y personas que directa e indirectamente ayudaron en la realización de este proyecto.

A todos ellos, muchas gracias.

DEDICATORIA

La culminación con éxito de este proyecto se la dedico a mis abuelitos que desde el cielo están protegiéndome; a mi familia y amigos por estar conmigo en todo el curso de mi carrera universitaria sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

“Siempre sueña y apunta más alto de lo que puedes lograr”

(William Faulkner)

ÍNDICE DEL CONTENIDO

PÁGINA

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DEL CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XIII
PRESENTACIÓN.....	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4. FUNDAMENTO TEÓRICO	3
1.4.1. PLÁSTICOS	3
1.4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.....	3
1.4.3. TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)	6
1.4.4. TRITURACIÓN	10
1.4.5. TIPOS DE TRITURADORAS	11

CAPÍTULO 2.....	16
DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA	16
2.1. CASA DE LA CALIDAD	16
2.1.1. VOZ DEL USUARIO	16
2.1.2. VOZ DEL INGENIERO	17
2.1.3. CONSIDERACIONES PARA LA CASA DE LA CALIDAD	17
2.1.4. CONCLUSIONES DE LA CASA DE LA CALIDAD	18
2.2. ENCUESTA	18
2.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	23
CAPÍTULO 3.....	25
ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO	25
3.1. ANÁLISIS FUNCIONAL	25
3.1.1. SIMBOLOGÍA	25
3.1.2. FUNCIÓN GLOBAL Y ESTRUCTURA FUNCIONAL	26
3.2. DETERMINACIÓN DE MÓDULOS.....	27
3.2.1. MÓDULO 1: INGRESO DE LA MATERIA PRIMA	28
3.2.2. MÓDULO 2: TRITURACIÓN Y CLASIFICACIÓN.....	28
3.2.3. MÓDULO 3: ALMACENAJE	28
3.3. SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO	29
3.3.1. MÓDULO 1: INGRESO DE MATERIA PRIMA.....	29
3.3.2. MÓDULO 2: TRITURACIÓN Y CLASIFICACIÓN.....	37
3.3.3. MÓDULO 3: ALMACENAJE	47
CAPÍTULO 4.....	52
CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	52
4.1. MÓDULO 1: INGRESO DE MATERIA PRIMA.....	52
4.2. MÓDULO 2: TRITURACIÓN Y CLASIFICACIÓN.....	52
4.2.1. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR.....	52
4.2.2. CÁLCULO DE BANDAS Y POLEAS.....	53
4.2.3. DISEÑO DEL EJE DE LA TRITURADORA	56
4.2.4. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....	69
4.2.5. SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS	71
4.2.6. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS	79

CAPÍTULO 5	84
COSTOS	84
5.1. COSTOS DE MATERIALES	84
5.2. COSTOS DE ELEMENTOS MECÁNICOS	86
5.3. COSTOS DE ELEMENTOS VARIOS	87
5.4. COSTO DE MANO DE OBRA	87
5.5. COSTO FINAL	90
CAPÍTULO 6	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
6.1. CONCLUSIONES	91
6.2. RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	97
ANEXO 1 - MÁQUINAS DEL MERCADO	98
ANEXO 2 - ENCUESTA AL PERSONAL DE ASEO	102
ANEXO 3 - CÁLCULO DE BANDAS Y POLEAS	105
ANEXO 4 - DISEÑO DEL EJE DE LA TRITURADORA	111
ANEXO 5 - SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	117
ANEXO 6 - PROFORMAS	122
PLANOS	128

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

CAPÍTULO 1

Tabla 1. 1. Clasificación de los Plásticos. 4

Tabla 1. 2. Propiedades del Tereftalato de Polietileno..... 7

CAPÍTULO 2

Tabla 2. 1. Especificaciones técnicas de la máquina..... 24

CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1. Simbología. 26

Tabla 3. 2. Opciones para el MÓDULO 1. 32

Tabla 3. 3. Evaluación de cada criterio. 34

Tabla 3. 4. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de ingreso material..... 35

Tabla 3. 5. Evaluación de las soluciones respecto a la capacidad. 35

Tabla 3. 6. Evaluación de las soluciones respecto al aprovechar el peso del plástico. 35

Tabla 3. 7. Evaluación de las soluciones respecto a la complejidad de fabricación. 36

Tabla 3. 8. Evaluación de las soluciones respecto al tamaño que ocupa..... 36

Tabla 3. 9. Conclusiones para el MÓDULO 1..... 36

Tabla 3. 10. Opciones para el MÓDULO 2. 43

Tabla 3. 11. Evaluación de cada criterio. 44

Tabla 3. 12. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de montaje..... 45

Tabla 3. 13. Evaluación de las soluciones respecto al costo de fabricación..... 45

Tabla 3. 14. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de mantenimiento..... 45

Tabla 3. 15. Evaluación de las soluciones respecto a ruido y vibraciones..... 46

Tabla 3. 16. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de recircular el material.....	46
Tabla 3. 17. Evaluación de las soluciones respecto al tamaño y peso.	46
Tabla 3. 18. Evaluación de las soluciones respecto al desgaste de las cuchillas.	46
Tabla 3. 19. Conclusiones para el MÓDULO 2.....	47
Tabla 3. 20. Opciones para el MÓDULO 3.	50
Tabla 3. 21. Evaluación de cada criterio.	50
Tabla 3. 22. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de descarga...	51
Tabla 3. 23. Evaluación de las soluciones respecto a capacidad.	51
Tabla 3. 24. Conclusiones para el MÓDULO 3.	51

CAPITULO 4

Tabla 4. 1. Cálculo de la fuerza sobre la cuchilla.....	52
Tabla 4. 2. Datos para el diseño de la máquina.....	53
Tabla 4. 3. Factor de servicio típico.	54
Tabla 4. 4. Datos de poleas.	54
Tabla 4. 5. Geometría de la banda 3V 600.	55
Tabla 4. 6. Cálculos para el diseño del eje.	66
Tabla 4. 7. Composición química acero ASTM A36.....	80
Tabla 4. 8. Propiedades mecánicas acero ASTM A36.	80
Tabla 4. 9. Composición química acero ASSAB DF2.	81
Tabla 4. 10. Propiedades mecánicas acero ASSAB DF2.	81
Tabla 4. 11. Composición química acero AISI 1045.	82
Tabla 4. 12. Propiedades mecánicas acero AISI 1045.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

CAPÍTULO 1

Figura 1. 1 Recipientes de PET.....	6
Figura 1. 2 Proceso de Metanólisis (Reciclado Químico)	9
Figura 1. 3 Proceso de Reciclado Mecánico.....	9
Figura 1. 4 Fases de la trituración del plástico	10
Figura 1. 5 Cortadora rotativa de tipo “picadora de forraje”	11
Figura 1. 6 Molino de martillos.....	12
Figura 1. 7 Molino de discos	13
Figura 1. 8 Molino de cuchillas	14
Figura 1. 9 Trituradora de martillos.....	15
Figura 1. 10 Trituradora de cuchillas	15

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1 Datos técnicos botella Pet 500 ml.....	22
---	----

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1 Nivel 0 modularidad trituradora de plástico	27
Figura 3. 2 Nivel 1 modularidad trituradora de plástico	27
Figura 3. 3 División modular.....	28
Figura 3. 4 Tapa con bisagras	29
Figura 3. 5 Tapa vaivén.....	30
Figura 3. 6 Tolva rectangular.....	31
Figura 3. 7 Tolva mixta	31
Figura 3. 8 Alternativas para el MÓDULO 1	33
Figura 3. 9 Dos ejes de trituración con cuchillas distribuidas	37
Figura 3. 10 Un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo	38

Figura 3. 11 Un eje con cuchillas distribuidas a lo largo del mismo y separadas 180° entre sí.....	39
Figura 3. 12 Criba plana	40
Figura 3. 13 Criba de media luna	41
Figura 3. 14 Criba de doble media luna.....	42
Figura 3. 15 Alternativas para el MÓDULO 2	43
Figura 3. 16 Recipiente de almacenamiento fijo a la máquina	48
Figura 3. 17 Recipiente de almacenamiento con ruedas.....	48
Figura 3. 18 Recipiente de almacenamiento con rieles	49

CAPÍTULO 4

Figura 4. 1 Vista isométrica de la polea- banda, rodamiento, eje, porta cuchilla y cuchillas	56
Figura 4. 2 Disposición de las cuchillas a lo largo del eje.....	56
Figura 4. 3 Diagrama de cuerpo libre del eje.....	57
Figura 4. 4 Fuerzas cortantes en el plano xy.....	60
Figura 4. 5 Fuerzas cortantes en el plano xz.....	60
Figura 4. 6 Diagrama de momentos en el eje.....	61
Figura 4. 7 Puntos de esfuerzos en el eje	62
Figura 4. 8 Aplicación de la Teoría de la Energía de Distorsión para el diseño estático.....	64
Figura 4. 9 Esfuerzos de tensión y compresión en cada revolución del eje	65
Figura 4. 10 Geometría del eje propuesto	65
Figura 4. 11 Factor de seguridad mínimo de la estructura calculada por medio de Solidworks Simulation	73
Figura 4. 12 Esfuerzos de Von Mises de la estructura calculado por medio de Solidworks Simulation	74
Figura 4. 13 Factor de seguridad mínimo del eje de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation.....	75
Figura 4. 14 Esfuerzos de Von Mises del eje de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation	75
Figura 4. 15 Factor de seguridad mínimo y tensiones de Von Mises de la manija calculado por medio de Solidworks Simulation	76

Figura 4. 16 Factor de seguridad mínimo calculado por medio de Solidworks Simulation.....	77
Figura 4. 17 Esfuerzos de Von Mises en la cámara de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation.....	77
Figura 4. 18 Factor de seguridad mínimo de la cámara de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation	78
Figura 4. 19 Esfuerzos de Von Mises en la cámara de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation.....	79

RESUMEN

El presente documento consta de seis capítulos en donde hay varios aspectos a tratar. En el primer capítulo se realiza una introducción sobre la reutilización de los plásticos, la justificación del proyecto y los objetivos planteados, seguidamente se trata sobre los plásticos y su clasificación, las propiedades y reciclaje del PET para finalizar con los principales tipos de trituradoras que existen.

En el segundo capítulo se trata de las especificaciones técnicas de la máquina haciendo uso de la casa de la calidad y la encuesta realizada al personal de aseo de la EPN.

En el tercer capítulo se realiza el análisis funcional de la máquina identificando los primarios y secundarios y mostrándolos por medio de diagramas para luego llegar a determinar los 3 módulos constitutivos de la máquina trituradora de plásticos con su solución respectiva.

En el cuarto capítulo se hará referencia a los cálculos y a la selección de los componentes constitutivos de los módulos de la máquina, además se realiza la simulación de las piezas y algunos ensambles para comprobar sus tensiones y factores de seguridad óptimos con el uso de solidworks; luego se hace una breve descripción de los materiales empleados en la máquina.

El quinto capítulo tiene todos los costos correspondientes para la construcción de la máquina en cuatro partes: costos de materiales, costos de elementos mecánicos, costos de elementos varios y costos de mano de obra

El sexto capítulo consta de las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto, para finalmente concluir con los anexos en donde se encuentran todas las tablas, gráficos, proformas, encuestas etc., que se nombran en la parte teórica y cálculos.

PRESENTACIÓN

Ante el conocimiento de la gran cantidad de botellas plásticas de tereftalato de polietileno (PET) que se generan diariamente en el campus de la EPN, se plantea el siguiente proyecto que tiene como finalidad realizar el diseño y la simulación de un prototipo de máquina trituradora de plásticos (Pet) para el Laboratorio de Conformado de la Facultad de Ingeniería Mecánica; para lo cual se va a aplicar técnicas de diseño conocidas en nuestro medio como es el análisis funcional y el diseño concurrente, lo que permitirá generar productos funcionales y estéticamente agradables, en un tiempo corto con un mínimo costo.

También se ha empleado el software Solidworks para la realización del diseño de la máquina y simulación del funcionamiento de la misma, con el fin de diseñar todas las piezas y realizar el ensamble respectivo; además interpretar de mejor manera los fenómenos físicos que se presenten.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Vivir en un mundo sin los plásticos sería difícil ya que ha llegado a ser una parte integral del estilo de vida de todos con varios usos y aplicaciones.

Aunque los desechos plásticos no se degradan fácilmente y conducen a problemas de contaminación en su entorno, con respecto a otros materiales como papel, madera o metales, los plásticos tienen su única ventaja en su fácil producción, su apariencia, su calidad y lo más importante su peso ligero.

En la actualidad se consume una gran cantidad de materiales plásticos para beneficio humano y es esta acción la que conlleva a reutilizar o reciclar los productos desechados; un ejemplo claro está en el consumo de bebidas contenidas en envases de plástico, que generalmente son de tereftalato de polietileno (PET), los cuales una vez que cumplieron su objetivo son desechados.

Luego de realizado el proceso de reciclaje de plásticos, estos tendrán que ser triturados

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los problemas de los últimos años que ha afectado al país y al resto del mundo es el incremento gradual de basura, no solo por la falta de interés de las autoridades, sino también por la falta de hábito de reciclar de nuestros ciudadanos.

Este útil material tiene su parte negativa. Hace 30 años el planeta viene acumulando 1000 millones de objetos de plástico y la naturaleza no sabe ahora qué hacer con ellos debido a que cada objeto de este material dura hasta 500 años en desintegrarse, mientras tanto, el plástico convive con personas, animales y plantas y su impacto ya es evidente incluso en el fondo de los océanos.

Los pertenecientes a la categoría de termoplásticos o también conocidos como plásticos PET, usados para la elaboración de botellas para bebidas, demoran alrededor de 500 años en degradarse con una alta generación de desechos tóxicos, aumentando este tiempo si se encuentran enterrados, afectando así a la productividad agrícola en los suelos, lo que afecta directamente en la economía de los pueblos, incidiendo así en su calidad de vida. ¹

La acumulación de botellas inclusive afecta el sistema de drenaje provocando el taponamiento del sistema lo que facilita inundaciones en la temporada de lluvias, además produce un alto impacto visual ya que las botellas ocupan un mayor volumen del resto de basura lo cual es muy perceptible por la gente.

En el caso de la EPN, en base a encuestas realizadas al personal de aseo, se estima que el flujo de botellas plásticas que se genera es de alrededor de 15 kg por día, mismos que se encuentran dispuestos inadecuadamente por todo el campus; este material puede servir para uso del laboratorio; pero lo que se pretende es crear el diseño de una máquina y la simulación de su funcionamiento para que pueda ser usado no solo a nivel de laboratorio sino también a escala industrial.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el Laboratorio de Conformado de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recopilar información necesaria referente a los diferentes tipos de plásticos y modos de trituración, seguidamente elaborar la Casa de la Calidad para determinar un diseño viable de la máquina requerida, para que su fabricación sea conveniente y esté de acuerdo a los requerimientos del laboratorio.

Después realizar una selección de alternativas de diseño mediante el análisis modular, de acuerdo a las funcionalidades de cada módulo.

¹ <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/aago.pdf>

Seleccionar y dimensionar cada elemento constitutivo de la máquina en base al flujo de materia prima que se obtiene diariamente en la EPN para finalmente calcular el costo que tendrá la misma de acuerdo a los parámetros de diseño.

1.4. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.4.1. PLÁSTICOS




Los plásticos son sustancias orgánicas formadas por macromoléculas llamadas polímeros. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. Los plásticos proporcionan una serie de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales por ejemplo: color, baja densidad, buen aislante eléctrico y resistencia a la degradación ambiental y biológica. Carecen de punto fijo de ebullición, son elásticos y flexibles, permiten ser moldeados y adaptarse a diferentes formas y aplicaciones.

1.4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS





En la actualidad existen más de 50 tipos de plásticos, pero para facilitar su reciclaje se aplica el Código de Identificación de Plástico; se trata de un sistema utilizado internacionalmente en el sector industrial para distinguir la composición de resinas en los envases y otros productos plásticos. Esto fue realizado por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) en el año 1988, con el fin de propiciar y dar más eficiencia al reciclaje.

Los diferentes tipos de plástico se identifican con un número del 1 al 7 ubicado en el interior del clásico signo de reciclado (triángulo de flechas en seguimiento) tal como se lo puede evidenciar en la tabla 1.1.

Tabla 1. 1. Clasificación de los Plásticos. ²

SÍMBOLO	USOS	POSIBILIDAD DE SER RECICLADO	SALUD	NOTAS
PLÁSTICO # 1 POLIETILENO TEREFTALATO (PET)				
	<ul style="list-style-type: none"> • Botella de agua, refrescos y otras bebidas. • Recipientes de detergente y otros productos para la limpieza. • Botes de crema de aguacate y otros alimentos. 	<p>El PET se puede reciclar para hacer: poliéster para telas y alfombras, relleno para para choques de autos y fibra para rellenar bolsas de dormir y chaquetas.</p>	<p>No se conocen problemas de salud asociados con este plástico.</p>	<p>El PET es uno de los plásticos más fáciles de reciclar.</p>
PLÁSTICO #2 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD)				
	<ul style="list-style-type: none"> • Garrafrones para agua y leche • Recipientes para detergente para ropa, champú y aceite para motor • Botellas de champú • Algunas bolsas de plástico 	<p>Los recipientes de PEAD claros se reciclan fácilmente para crear nuevos recipientes. El PEAD de color se convierte en "madera" de plástico, bordes para césped y jardines, tubos, soga y juguetes.</p>	<p>No se conocen problemas de salud asociados con este plástico.</p>	<p>El PEAD se recicla fácilmente.</p>
PLÁSTICO #3 POLICLORURO DE VINILO (PVC o V)				
	<ul style="list-style-type: none"> • Empaques transparentes para alimentos, película de plástico pegajoso. • Botes de aceite para cocinar y de crema de cacahuete. • Tubos de vinilo • Cortinas para la ducha. • Pisos, revestimientos exteriores para casas y marcos para puertas y ventanas. 	<p>El PVC es uno de los plásticos menos reciclables debido a sus aditivos. Al desecharlo se crean sustancias potencialmente dañinas.</p>	<p>Se producen muchas sustancias químicas al fabricar, desechar o destruir el PVC como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plomo • DOA (Di-2-EtilHexil Adipato) • Dioxina • Etileno diclorado • Cloruro de vinilo <p>Los efectos de la exposición a estos químicos pueden incluir: problemas de aprendizaje trastorno hormonal,</p>	<p>A pesar de que no se conocen problemas de salud asociados con el uso de este plástico, durante su fabricación se producen contaminantes orgánicos.</p>

² ELIAS Xavier (2009), "Reciclaje de Residuos Industriales", Ed. Díaz de Santos, 2da Edición, España, Pág. 1005

			cáncer y cambios genéticos.	
PLÁSTICO #4 POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD)				
	<ul style="list-style-type: none"> Bolsas de plástico de alimentos congelados y de supermercados La mayoría de las envolturas de plástico Algunas botellas 	El PEBD no suele reciclarse	No se conocen problemas de salud asociados con este plástico.	A pesar de que no se conocen problemas de salud asociados con el uso de este plástico, durante su fabricación se producen contaminantes orgánicos.
PLÁSTICO #5 POLIPROPILENO (PP)				
	<ul style="list-style-type: none"> Recipientes para sopas, jarabes, yogurt y margarina. Pañales desechables Alfombras para exteriores Cubiertas para casas Recipientes de plástico opacos como biberones y sorbetes. 	El PP no se recicla con facilidad. Los diferentes tipos y grados hacen que sea difícil lograr una calidad consistente al reciclarlo.	No se conocen problemas de salud asociados con este plástico.	
PLÁSTICO #6 POLIESTIRENO (PS)				
	<p>Poliestireno Rígido</p> <ul style="list-style-type: none"> Cajas para CD Cubiertos desechables <p>Poliestireno moldeado (unicel)</p> <ul style="list-style-type: none"> Recipientes para comida Empaques Material aislante Cartones de huevo Material aislante para edificios 	Es posible reciclar PS pero generalmente no es una posibilidad económicamente viable.	El estireno puede filtrarse del poliestireno. A largo plazo puede actuar como neurotoxina. En algunos estudios realizados en animales se informa de efectos dañinos del estireno en los glóbulos rojos, el hígado, riñones y estómago. El estireno puede ser absorbido por los alimentos y una vez ingerido puede ser almacenado en la grasa corporal.	Cuando sea posible, trate de reutilizar las bolitas de unicel para empaquetar, y los cubiertos de poliestireno.
PLÁSTICO #7 MEZCLAS (OTROS)				
	<ul style="list-style-type: none"> Tapas Recipientes médicos para almacenar La mayoría de los biberones de plástico Botellas de agua de 5 galones. Forro de las 	Los plásticos de mezclas de resinas como los #7 son difíciles, o imposibles, de reciclar.	Los efectos en la salud varían dependiendo de la resina y los plastificadores utilizados para este plástico que con frecuencia incluye policarbonatos.	El número de estudios que documentan los efectos perjudiciales a la salud del BPA está aumentando.

	latas para alimentos • Algunos cubiertos de plástico transparente.			
--	---	--	--	--

Elaboración: Personal

1.4.3. TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)

Comúnmente abreviado PET o PETE, es un termoplástico polímero de resina de poliéster que se utiliza en fibras sintéticas, en envases para bebidas, alimentos y otros líquidos; se produce a partir de dos compuestos el Ácido Terftálico y Etilenglicol, también puede obtenerse utilizando Dimetiltereftalato en lugar de Ácido Tereftálico. Claros ejemplos de sus aplicaciones se lo tiene en la figura 1.1



Figura 1. 1 Recipientes de PET

Este material presenta una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino .El Polietilen Tereftalato se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia, resistencia química; esta resina es aceptada por la Food and Drugs Administration (FDA).³

1.4.3.1. Propiedades

El PET posee buena resistencia química y térmica con una alta resistencia al desgaste y corrosión, además un buen coeficiente de deslizamiento.

Presenta una muy buena barrera al CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad; el pet tiene una alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes y es

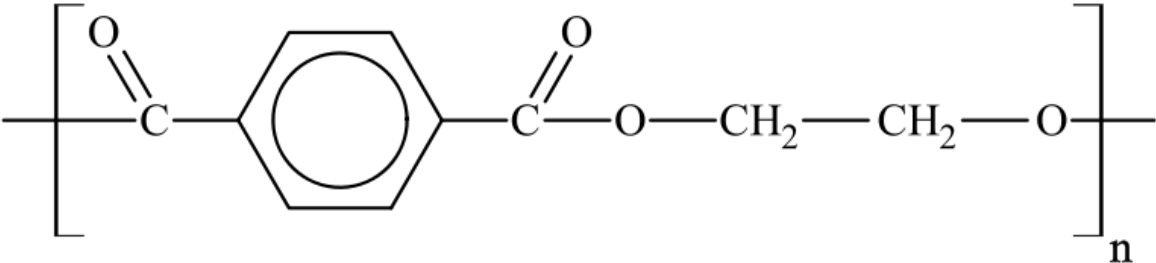
³ http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_14_MEC01.pdf

aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

Dependiendo de su procesamiento y la historia térmica, el PET puede existir tanto como un amorfo (transparente) y como un polímero semi-cristalino; dichas propiedades se muestran en la tabla 1.2.

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.

Tabla 1. 2. Propiedades del Tereftalato de Polietileno.⁴

FÓRMULA DE LA ESTRUCTURA	
	
FÓRMULA QUÍMICA	$(C_{10}H_8O_4)_n$
DENSIDAD COMO AMORFO	$1,370 \frac{g}{cm^3}$
DENSIDAD COMO CRISTALINO	$1,455 \frac{g}{cm^3}$
MÓDULO DE YOUNG (E)	2800 – 3100 Mpa
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (σ_t)	55 – 75 Mpa
COEF. DE EXPANSIÓN LINEAL (α)	$7 \times 10^{-5} / K$
PUNTO DE FUSIÓN	250 – 260 °C
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	$0,15 - 0,24 \frac{W}{mK}$
ABSORCIÓN DE AGUA (ASTM)	0,16

⁴ VAN DER VEGT A.K, GOVAERT L. E.,(2005), "Polymeren: van Keten tot kunstof", Ed. Centraal Boekhuis, Germany, págs. 24 - 28

SOLUBILIDAD EN AGUA	<i>Prácticamente insoluble</i>
----------------------------	--------------------------------

1.4.3.2. Reciclaje del PET ⁵

Para el reciclaje de tereftalato de polietileno o PET por lo general existen dos formas las mismas que tienen que ser diferenciadas:

1.4.3.2.1. *Reciclado Químico*

El reciclado químico que se muestra en la figura 1.2, se trata de diferentes procesos en donde las moléculas de los polímeros se destruyen por completo permitiendo regresar a las materias primas iniciales (Material virgen): ácido tereftálico purificado (PTA) o dimetil tereftalato (DMT) y etilenglicol (EG), que pueden ser utilizadas para fabricar nuevos plásticos.

El reciclado químico del PET será rentable sólo la aplicación de las líneas de alta capacidad de reciclaje de más de 50.000 toneladas al año.

Cabe destacar que previo a todo proceso de reciclaje químico le precede un reciclaje mecánico para la obtención de escamas de PET.

El tamaño de las escamas puede variar entre 2 (o menos) a 10 mm.

De los procesos químicos para la despolimerización de PET, la metanólisis, la hidrólisis y sobre todo la glicólisis, son los procesos más utilizados. Sin embargo, la metanólisis e hidrólisis se llevan a cabo a condiciones de presión y temperatura mayores que en el caso de la glicólisis, y además, debido a las condiciones ácidas o básicas de la hidrólisis, esta puede generar mayores problemas ambientales.

⁵ <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PET/OPCIONES%20DE%20RECUPERACION.htm>



Figura 1. 2 Proceso de Metanólisis (Reciclado Químico)

1.4.3.2.2. *Reciclado Mecánico*

La técnica más utilizada en la actualidad es el reciclado mecánico mostrado en la figura 1.3. Este consiste en la molienda, separación y lavado de los envases. Las escamas resultantes de este proceso se pueden destinar en forma directa, sin necesidad de volver a hacer pellets, en la fabricación de productos por inyección o extrusión.

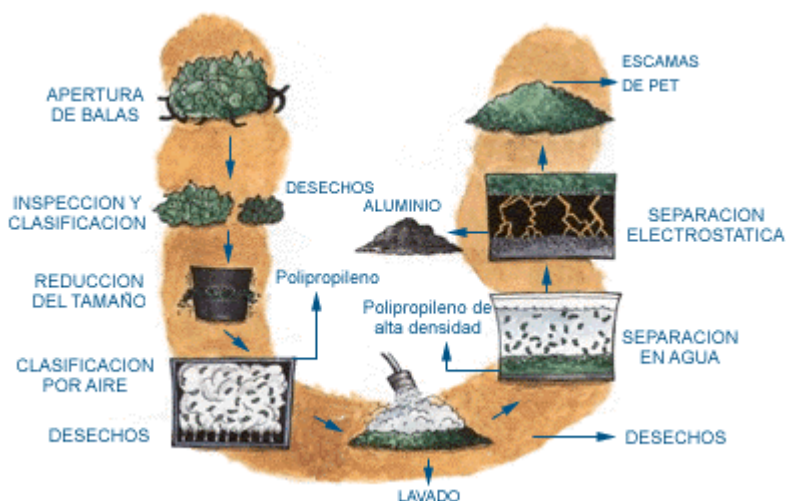


Figura 1. 3 Proceso de Reciclado Mecánico

La rentabilidad ya se puede lograr con la capacidad de la planta dentro de un rango de 5 000 - 20 000 toneladas al año.

El proceso de reciclado mecánico del PET no conlleva contaminación del medio ambiente, con el tratamiento de los efluentes líquidos del proceso se llega a

controlar el proceso ambientalmente, además desde el punto de vista técnico, se puede decir que las plantas de reciclado mecánico requieren inversiones moderadas en cambio las del reciclaje químico requieren inversiones mayores.

1.4.4. TRITURACIÓN

Es la siguiente operación dentro del proceso del reciclado donde se utilizan trituradoras para dividir en partes más pequeñas el plástico, su apariencia es como la de un molino, y varían muy poco dependiendo del volumen de procesado del material, generalmente cuentan con dos cuchillas o rodillos paralelos con cuchillas afiladas, ya sean en forma vertical u horizontal, similares al de la figura 1.4 tienen una tolva o boca de entrada para el material, un motor, engranes y cadenas, estructuras de soporte y caja de salida para el material.

FASE 1

El cuerpo a destruir está apoyado sobre el grupo de cuchillas. Para la trituración no es necesario aplicar ningún "empujador".



FASE 2

Al arrancar la máquina los discos de introducción facilitan la trituración del plástico forzando para introducir en el grupo de corte.



FASE 3

La especial construcción de los dientes, facilita una acción continua de enganche del material.



FASE 4

El triturador permite obtener material triturado hasta 12-14 mm.



Figura 1. 4 Fases de la trituración del plástico ⁶

⁶ <http://www.trittonxxi.com/ri-triturador-trituradores-trituradora-trituradoras/molino-triturador-precios/plasticos/carton/18>

Las fases descritas para la trituración representan un tipo de diseño de la máquina mediante la distribución de las cuchillas en dos ejes.

1.4.5. TIPOS DE TRITURADORAS

Para la realización de la trituración se utilizan máquinas trituradoras, cortadoras y molinos; se va a descartar a las trituradoras de mandíbulas de doble y simple efecto, las trituradoras primarias, secundarias y terciarias y a las trituradoras giratorias tipo cono debido a que la capacidad a la que operan y la finalidad para la que fueron diseñadas es diferente a lo que se necesita.

1.4.5.1. Máquinas cortadoras rotativas

Se caracterizan por poseer una cámara de corte amplia la misma que se encuentra atravesada por un eje que porta cuchillas, las que se encuentran distribuidas uniformemente en toda su longitud y pueden disponerse perpendicular al eje o tener un pequeño ángulo de inclinación como se lo ve en la figura 1.5

El eje gira a altas revoluciones y se lo puede alinear horizontal o verticalmente a la cámara, siendo esta última la más adecuada y eficiente. Se utiliza estas máquinas para procesar materiales húmedos, ideal para aplicaciones agropecuarias.



Figura 1. 5 Cortadora rotativa de tipo “picadora de forraje”

1.4.5.2. Molinos⁷

Son máquinas utilizadas para reducir el volumen promedio de las partículas por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado.

A continuación se describen los molinos que pueden realizar la molienda de las botellas de pet.

1.4.5.2.1. Molinos de martillos

En la figura 1.6 se puede observar este tipo de molino el cual actúa por efecto de impacto, compresión, frotamiento y cizalladura del material entre dos cuerpos.

Consiste en una serie de barras de libre movimiento o martillos los cuales están sujetos a unos pivotes y estos a un eje rotatorio. Las botellas que ingresan por la tolva son quebradas por los martillos para luego pasar por la criba. Los pivotes cumplen una función especial ya que ayudan a los martillos a transferir la energía de impacto hacia el material a reducir permitiendo reducir el desgaste en rodamientos y de los martillos.

El tamaño de salida del material dependerá de la velocidad del rotor, tamaño del tamiz y la velocidad de introducción del material.

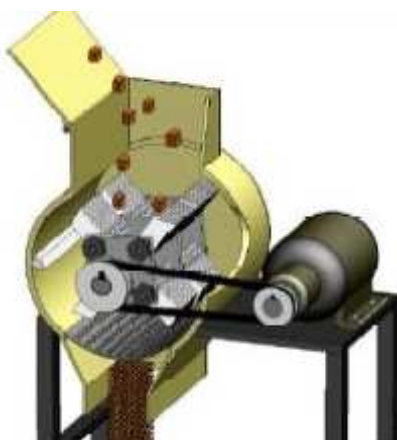


Figura 1. 6 Molino de martillos

⁷ http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06_Apunte%20Molienda.pdf

1.4.5.2.2. *Molino de discos*⁸

Este tipo de molino posee uno o dos discos que contienen una hilera de dientes concéntricos que trabajan a altas velocidades como el mostrado en la figura 1.7. Para el caso de un solo disco, las hileras de dientes del plato se encuentran organizadas de manera que encajan perfectamente con las de la pared de la cámara de molienda; en cambio para el caso de doble disco las hileras de un disco encajan entre las del otro, permitiendo triturar todo lo que atraviese entre ellos.

En el molino de doble disco uno de ellos puede ser estático o ambos girar pero en sentidos contrarios (600 – 1500 rpm)

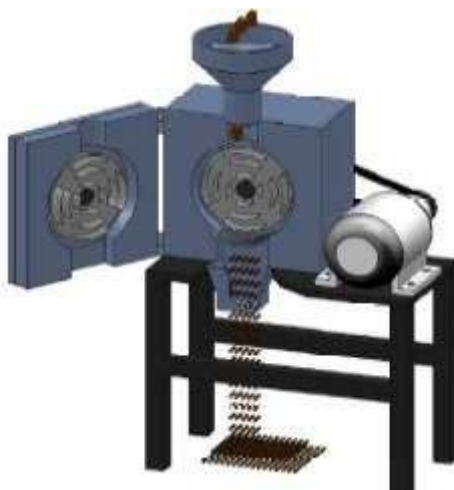


Figura 1. 7 Molino de discos

1.4.5.2.3. *Molino de cuchillas*

Este tipo de molino es similar al molino de martillos, en este caso al eje se le puede colocar varios tipos de cuchillas; en su parte inferior se encuentra un tamiz el cual es el encargado de controlar el tamaño de las partículas tal como se lo puede observar en la figura 1.8

El tamaño también depende de la distancia de las cuchillas del rotor hacia las cuchillas estáticas del bastidor y de la velocidad de rotación (200 – 800 rpm). Estos molinos aplican presión por medio de cuchillas en un área lineal del material

⁸ NOGUÉS F, GARCÍA D., (2010) "*Energía de la biomasa*", Ed. Prensas Universitarias de Zaragoza, 1ra. edición, España págs.: 257-266

haciendo que disminuyan las secciones transversales de las partículas por medio de deformación plástica.

La eficiencia dependerá del correcto mantenimiento que se proporcione a las cuchillas, se recomienda que el material no sobrepase el tamaño de las cuchillas y que la carga nunca supere la mitad de su capacidad.



Figura 1. 8 Molino de cuchillas

1.4.5.3. Trituradoras

Tanto los molinos como las trituradoras guardan una relación en su funcionamiento, la diferencia radica en el tamaño de los materiales a procesar y por lo tanto la cantidad de fuerza que se necesita ejercer, aspectos que influyen en el tamaño y robustez de la máquina.

Estas máquinas se utilizan generalmente para ruptura de materiales duros y de grandes dimensiones; tienen como principio de funcionamiento la compresión lenta, cizallamiento, impacto y atrición.

1.4.5.3.1. Trituradora de martillos⁹

Su funcionamiento es similar al molino de martillos excepto en una variante en el diseño, por lo general los martillos no pivotan en el eje porta martillos lo que le proporciona una mayor fuerza al impacto en la periferia de la cámara de trituración.

⁹ <http://trituradoras-de-roca.com/Trituradora-Fija/Trituradora-de-martillos.html>

En la figura 1.9 se muestra la máquina la cual puede ser utilizada tanto para seco y húmedo como trituración de materiales duros y frágiles que se tiene en la industria química, metalúrgica, construcción de carreteras, gas, energía térmica etc.

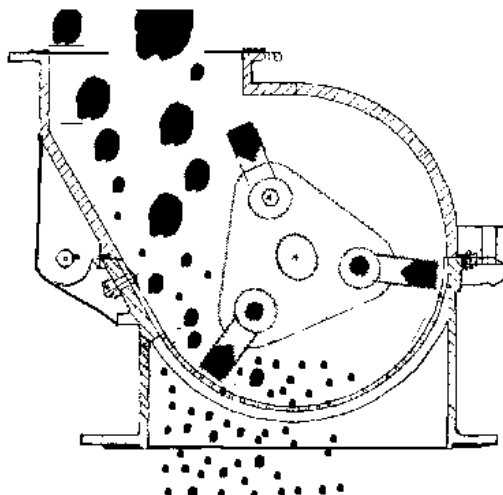


Figura 1. 9 Trituradora de martillos

1.4.5.3.2. *Trituradora de cuchillas*

Su funcionamiento es similar al molino de cuchillas, el número de discos que contienen a las cuchillas es variable de 1 a 20 dependiendo de la aplicación.

Los discos presentan diferentes configuraciones tanto circulares como triangulares y poseen una gran masa. Generalmente se ubican 2 o 3 cuchillas en la periferia de los discos y en algunos casos se regulan con sistemas de pistones o resortes hechos por el cual su estructura debe ser robusta como se muestra en la figura 1.10



Figura 1. 10 Trituradora de cuchillas

CAPÍTULO 2

DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA

2.1. CASA DE LA CALIDAD ¹⁰

La casa de la calidad es una representación gráfica de la calidad, la cual busca focalizar el diseño de los productos y servicios y como estos se alinean con las necesidades de los clientes.

Esta herramienta del Quality Function Deployment (QFD) permite entender de mejor manera las prioridades del cliente o los clientes y buscar una alternativa que satisfaga de mejor manera a dichas necesidades.

Para su elaboración primeramente se necesita los requerimientos del usuario o “voz del cliente”, luego estos deben ser traducidos en requerimientos técnicos en cada fase del diseño; seguidamente se realiza una evaluación de la incidencia de cada una de las características técnicas en la satisfacción de las necesidades del usuario, para finalmente seleccionar las más apropiadas que predominarán en el diseño.

2.1.1. VOZ DEL USUARIO

De acuerdo a los requerimientos del usuario, la máquina deberá cumplir con lo siguiente:

Debe ser compacta y a su vez no muy ruidosa, debe ser ligera y de bajo costo y además que tenga un bajo consumo energético. Se debe procurar que sea segura y que posea una gran capacidad de almacenamiento y lo más importante que no se remuerda o atasque durante la trituración.

Una parte primordial es que tenga un bajo mantenimiento, que de un producto triturado de 7 mm, que sus cuchillas sean duraderas y que esta máquina sea estable.

¹⁰ RIBA Carles, (2002) *“Diseño Concurrente”*, Ed. UPC, 1ra. edición, Barcelona, págs. 177-184

2.1.2. VOZ DEL INGENIERO

Obtenidos los requerimientos del usuario se procede a traducirlos a especificaciones o características técnicas.

Altura, Control de vibraciones, Peso, Costo máquina, Volumen de producción, Tamaño de salida del producto, Estética y Calidad de los materiales

2.1.3. CONSIDERACIONES PARA LA CASA DE LA CALIDAD

La Casa de la Calidad que se muestra a continuación, fue elaborada en base al procedimiento que plantea Carles Riba en su libro de Diseño Concurrente; otra importante consideración es que debido al hecho de que no se tiene máquinas elaboradas como empresa, se evaluó el ítem de propia empresa con 1 para todos los parámetros.

Para analizar los productos de la competencia se tomó en cuenta a la Mecánica Don Bosco, la misma que es una pequeña industria, que elabora máquinas trituradoras de plásticos de una manera artesanal, cumpliendo sólo con las exigencias de los clientes locales, más no con normas que se manejan a nivel internacional, incluso han realizado copias exactas de máquinas por solicitud de los clientes.

Otra empresa a analizar fue IMOCOM Ecuatoriana Cia. Ltda. La cual importa diferentes tipos de máquinas, entre estas las trituradoras de plásticos. Por la cartera de clientes que maneja adquieren equipos de última tecnología que poseen control automático y que cumplen con normas internacionales.

Los valores de referencia fueron establecidos en base a catálogos de máquinas que tienen especificaciones similares a las máquinas trituradoras que tiene IMOCOM y mecánica Don Bosco y que se desarrollará mediante este proyecto. (VER ANEXO 1)

En vista que el cliente no ha hecho ninguna indicación sobre cuáles de los requerimientos son básicos, unidimensionales y estimulantes; se tomó como decisión personal el hacerlo.

2.1.4. CONCLUSIONES DE LA CASA DE LA CALIDAD

Una vez realizado todos parámetros de la casa de la calidad, esta nos proporciona las características técnicas más importantes que serán las que predominarán en el diseño y las que satisfagan las necesidades del cliente.

Entre estas tenemos:

Costo de la máquina: Parámetro de mayor importancia y debido que las exigencias del cliente son varias, hace del diseño un mayor reto ya que se necesita manejar buena calidad con costos bajos.

Volumen de producción: Este constituye el segundo parámetro de vital importancia que se debe cumplir ya que se deben triturar 15 kg/h de plástico, según especificaciones del usuario.

Control de vibraciones: Parámetro fundamental para un correcto funcionamiento de la máquina.

Peso: Debe ser el menor posible, considerando la capacidad de la máquina.

Calidad de los materiales: Deben ser materiales de buena calidad pero a la vez de bajo costo. Lo que constituye un reto de ingeniería.

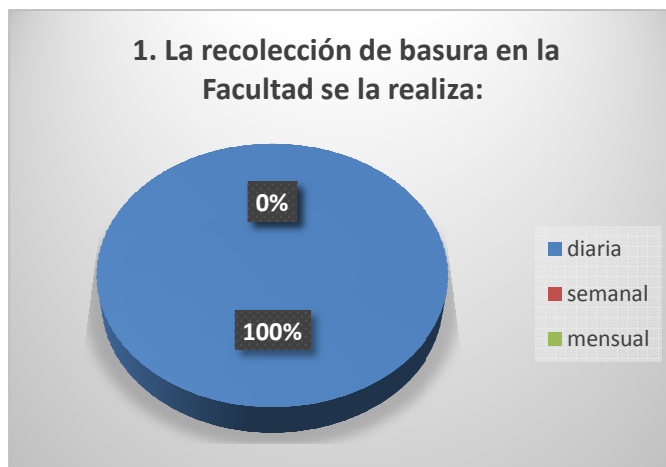
2.2. ENCUESTA

La encuesta ubicada en el ANEXO 2 fue realizada al personal de aseo de todo el campus de la EPN para determinar el flujo de botellas plásticas de pet aproximado que se generan como desecho diariamente; dato que será de vital importancia para las especificaciones técnicas de la máquina.

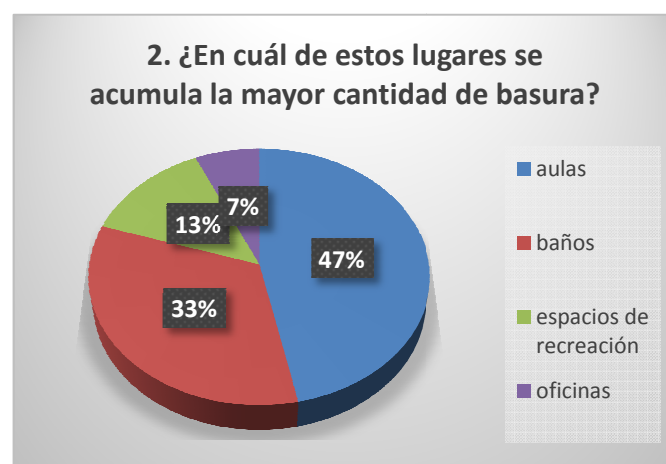
La encuesta fue realizada en las Facultades de Ingeniería Química y Agroindustria, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Civil y Ambiental, Ingeniería en Geología y Petróleos, Ingeniería en Sistemas, Ciencias Administrativas y Edificio de Relación con el Medio Externo.

La tabulación de las encuestas se detalla a continuación:

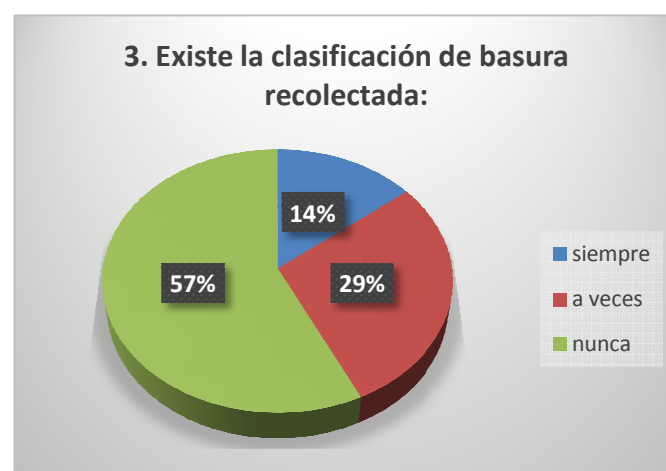
1. La recolección de basura en la Facultad se la realiza:		
	Respuesta	Porcentaje
diaria	7	100
semanal	0	0
mensual	0	0
total	7	100



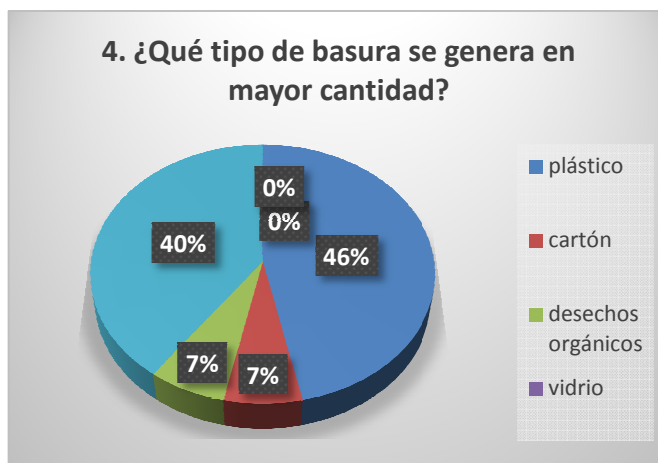
2. ¿En cuál de estos lugares se acumula la mayor cantidad de basura?		
	Respuesta	Porcentaje
aulas	7	47
baños	5	33
espacios de recreación	2	13
oficinas	1	7
total	15	100



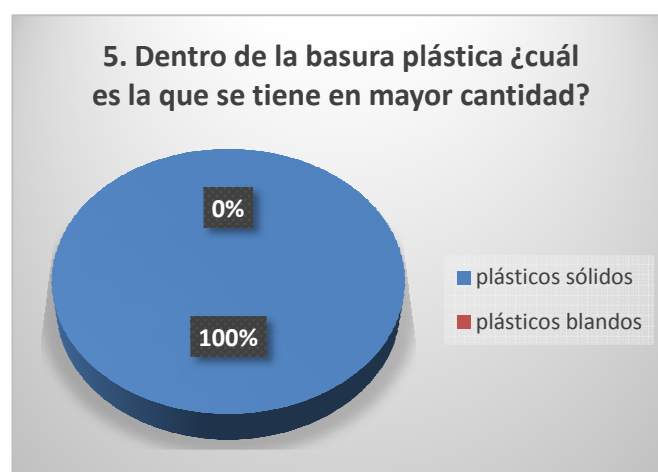
3. Existe la clasificación de basura recolectada:		
	Respuesta	Porcentaje
siempre	1	14
a veces	2	29
nunca	4	57
total	7	100



4. ¿Qué tipo de basura se genera en mayor cantidad?		
	Respuesta	Porcentaje
plástico	7	47
cartón	1	7
desechos orgánicos	1	7
vidrio	0	0
papel	6	40
otros	0	0
total	15	100



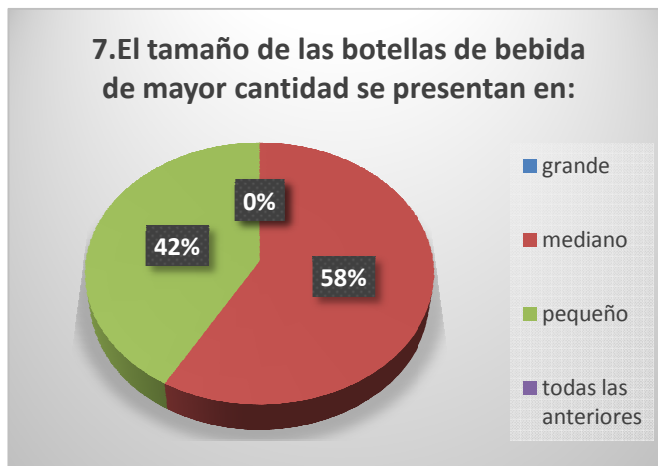
5. Dentro de la basura plástica ¿cuál es la que se tiene en mayor cantidad?		
	Respuesta	Porcentaje
plásticos sólidos	7	100
plásticos blandos	0	0
total	7	100



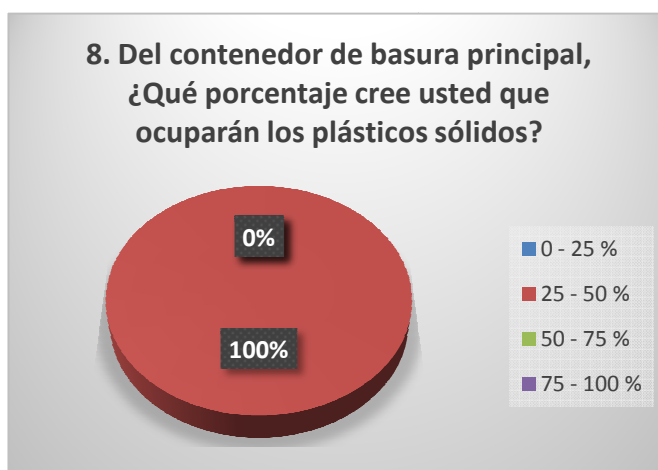
6. Dentro de los plásticos sólidos se tiene:		
	Respuesta	Porcentaje
botellas de bebidas	7	64
vasos desechables	4	36
otros	0	0
total	11	100



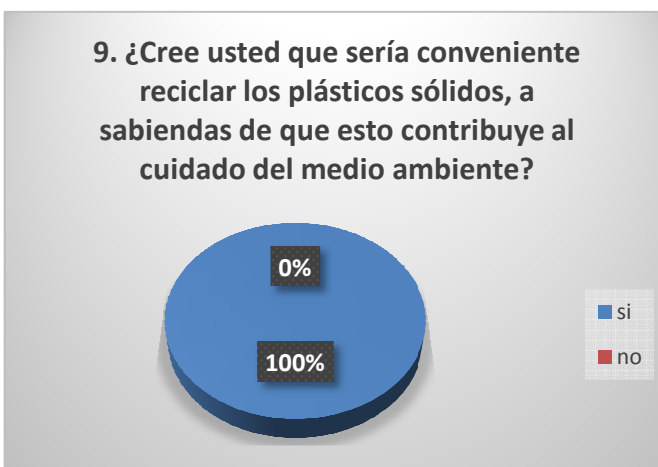
7. El tamaño de las botellas de bebida de mayor cantidad se presentan en:		
	Respuesta	Porcentaje
grande	0	0
mediano	7	58
pequeño	5	42
todas las anteriores	0	0
total	12	100



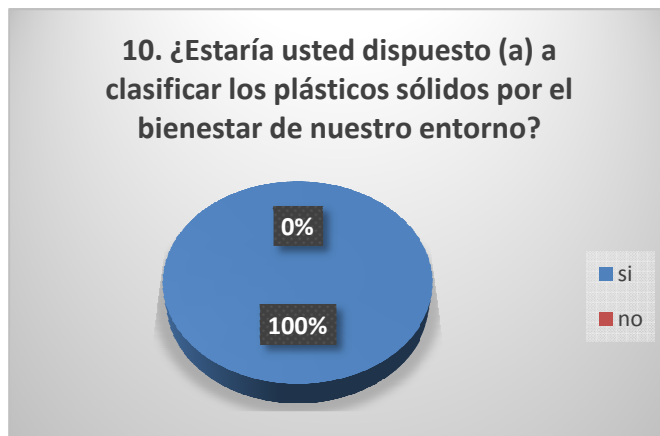
8. Del contenedor de basura principal, ¿Qué porcentaje cree usted que ocuparán los plásticos sólidos?		
	Respuesta	Porcentaje
0 - 25 %	0	0
25 - 50 %	7	100
50 - 75 %	0	0
75 - 100 %	0	0
total	7	100



9. ¿Cree usted que sería conveniente reciclar los plásticos sólidos, a sabiendas de que esto contribuye al cuidado del medio ambiente?		
	Respuesta	Porcentaje
si	7	100
no	0	0
total	7	100



10. ¿Estaría usted dispuesto (a) a clasificar los plásticos sólidos por el bienestar de nuestro entorno?		
	Respuesta	Porcentaje
si	7	100
no	0	0
total	7	100



11. ¿Conoce usted cómo se reutiliza los plásticos sólidos?		
	Respuesta	Porcentaje
si	0	0
no	7	100
total	7	100



Una vez realizada la tabulación de datos se determina que aproximadamente un 25 – 50 % del contenedor metálico de basura se llena con plásticos sólidos de los cuales su gran mayoría pertenecen a las botellas PET de 500 ml.

Como esta constituiría la materia prima se va hacer uso de sus dimensiones para calcular una cantidad aproximada de plástico que se genera diariamente en el campus las cuales se muestran en la figura 2.1



Alto: 18.85 cm Derrame: 534 ml
 Ancho: 6.7 cm Capacidad Nominal: 500 ml
 Diámetro rosca: 2.8 cm Peso: 28 gr

Figura 2. 1 Datos técnicos botella Pet 500 ml¹¹

¹¹ http://www.multiplastic.com.mx/productos/detalle_producto/4/292/industrial/botella_pet_anillada_500_ml

Volumen aprox. botella PET = $6.65 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

Volumen aprox. contenedor metálico de basura = 1.8 m^3

Si se divide el vol. del contenedor por el vol. de la botella se tiene:

$$\text{número de botellas pet aprox. por contenedor} = 2708$$

Según la encuesta se va a estimar un 30 % del contenedor de basura de contenido de botellas que se genera diariamente en el campus, donde se tiene:

$$\# \text{ botellas pet/día aprox.} = 812$$

Multiplicando este valor por el peso de una botella pet 500 ml se obtendrá

$$\# \text{ botellas pet/día aprox.} = 22.7 \text{ kg/día}$$

El dato calculado de flujo de botellas generadas diariamente es de vital importancia para el dimensionamiento de la máquina la cual tiene una capacidad de 15 Kg/h, con lo cual se podrá hacer uso de este recurso para evitar comprar la materia prima.

Además de las encuestas se obtiene que el personal de aseo de la EPN está dispuesto a realizar una clasificación de los plásticos sólidos y en este caso de botellas PET, iniciativa que puede ser correctamente orientada si se les capacita adecuadamente sobre la reutilización de desechos.

2.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En la tabla 2.1. se resume todas las especificaciones técnicas de la máquina, las mismas que sirvieron de base para el diseño de las diferentes piezas que la componen.

Tabla 2. 1. Especificaciones técnicas de la máquina.

Empresa Escuela Politécnica Nacional		Producto: Diseño de una máquina trituradora plásticos de 15 Kg/h		Fecha inicial: 25/04/2012 Última revisión: 21/02/2013	
Diseñador: Paúl Vásconez Ortiz				Página 1/1	
ESPECIFICACIONES					
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción	
Función		C	D	Triturar alrededor de 15 kg/hr	
		D	D	Almacenar hasta 70 kg	
		D	D	La máxima capacidad de carga de la máquina está sujeta al tamaño y composición del material.	
Energía		C+D	D	Alimentación eléctrica Funcionamiento con corriente alterna de 60 Hz	
Dimensiones del producto		C+D	R	Trozos de plástico hasta 7 mm	
Señales y control		C+D	D	Consola de controles de encendido y apagado	
Vida útil y Mantenimiento		C+D	D	En operación: 10 años Realizar un mantenimiento regular	
Costos		C	D	Costo máximo de fabricación \$ 900	

Propone: C=Cliente; M=Marketing; D= Diseño; F= Fabricación

R/D: R=Requerimiento; MR=modificación de requerimiento; NR=Nuevo

Requerimiento D=Deseo; MD=Modificación de deseo; ND= Nuevo deseo

CAPÍTULO 3

ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO

3.1. ANÁLISIS FUNCIONAL

Este método permite identificar las funciones principales y las funciones secundarias de la máquina trituradora de plástico. Las funciones principales son aquellas por las que el cliente compra el producto, que en este caso es la trituración de botellas de PET.

Las funciones secundarias son aquellas que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente, y son las que se determinarán mediante este análisis.

Una vez establecidas todas las funciones secundarias se procede a plantear posibles soluciones, que sean convenientes para desempeñar dichas funciones, para proceder a seleccionar la más viable.

Además, estas funciones pueden ser agrupadas y desglosadas en módulos.

La descomposición funcional del producto se llevará a cabo mediante diagramas de flujo en los que aparecerá cada función, que puede tener 3 tipos de entradas y salidas: señal, material y energía. Los diagramas de flujo se presentarán en diferentes niveles, comenzando con el nivel 0 o función global, y continuando hasta el nivel que se estime conveniente.

3.1.1. SIMBOLOGÍA ¹²

Para facilitar la representación de las funciones y de los flujos en la estructura funcional de la trituradora de plásticos, es conveniente disponer de símbolos adecuados cuya utilización sea lo suficientemente flexible.

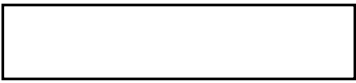
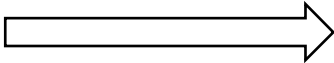



Para ello se va a utilizar la simbología propuesta por la norma VDI 2222, en la cual sin limitar las funciones a las estrictamente matemáticas y lógicas y sin forzar a precisar ni a cuantificar las variables de los flujos, permite establecer una

¹² RIBA Carles, (2002) *"Diseño Concurrente"*, Ed. UPC, 1ra. edición, Barcelona, pág. 129

estructura funcional suficientemente articulada que sirva de guía para fijar la estructura modular del producto o sistema.

Los símbolos utilizados se mostrarán en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1. Simbología.

Función	Rectángulo de línea continua	
Flujo de material y dirección	Flecha de doble línea continua	
Flujo de energía y dirección	Flecha de línea continua	
Flujo de señal y dirección	Flecha de línea discontinua	
Sistema, subsistema y módulo	Polígono de línea de punto y raya.	

Las descripciones de los diferentes conceptos se realizan de la siguiente manera:

Funciones: Se sitúan dentro del rectángulo y preferentemente se definen con un verbo seguido de un predicado: transferir pieza, mover brazo, controlar posición.

Flujos: Su objeto se indica encima de las flechas correspondientes: de pieza en bruto, acabada, de alimentación eléctrica, de accionamiento de cabezal, de señal de puesta en marcha, de posición.

Sistemas, subsistemas y módulos: Se indica encima y a mano izquierda del polígono que los delimita.

3.1.2. FUNCIÓN GLOBAL Y ESTRUCTURA FUNCIONAL

NIVEL 0

En la figura 3.1 se mostrará el nivel 0 en el que se presentan los factores en cuanto a material, energía y señal que la máquina necesita para cumplir su

función global y obtener el producto deseado que cumpla con los requerimientos del cliente.

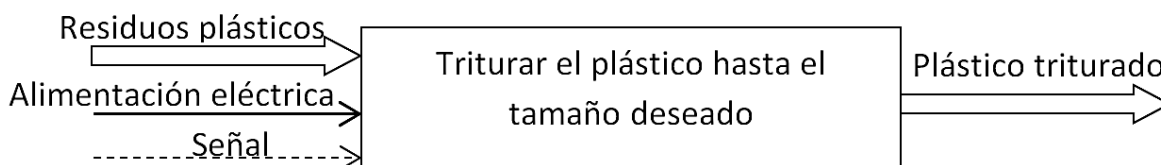


Figura 3. 1 Nivel 0 modularidad trituradora de plástico

NIVEL 1

En la figura 3.2 se muestra el nivel 1 en el que se hace un desglose de todas las funciones que aportaran a la obtención del producto final.

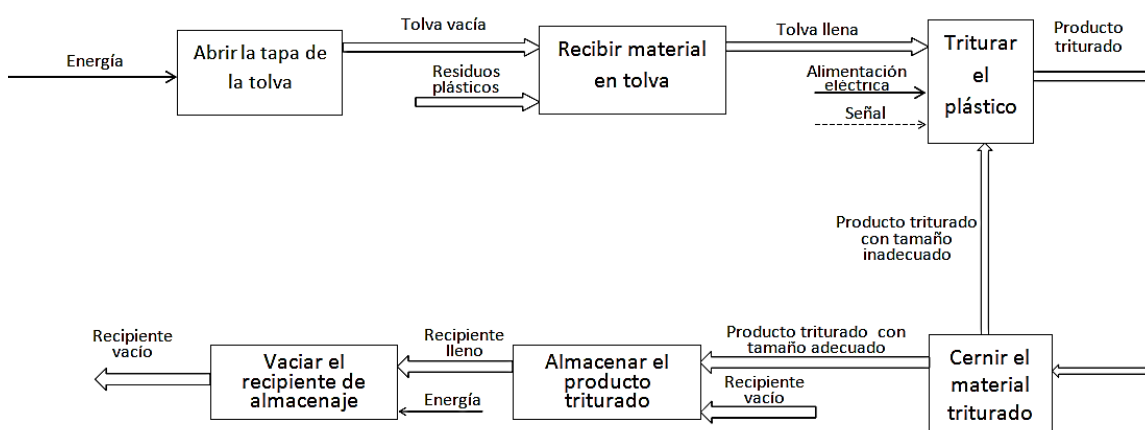


Figura 3. 2 Nivel 1 modularidad trituradora de plástico

3.2. DETERMINACIÓN DE MÓDULOS

Es conveniente separar por bloques (módulos) constructivos y/o funcionales a los procesos que se cumple, de esta forma abordar posibles soluciones posteriores a cada uno de estos.

El hecho de aplicar una estructura modular ayuda tanto al fabricante como al usuario ya que al realizar la división del proyecto facilita el diseño de diferentes módulos en paralelo, disminuyendo el tiempo de diseño, reducción de costos, facilidad de montaje, el mantenimiento, se amplía la gama, etc.

3.2.1. MÓDULO 1: INGRESO DE LA MATERIA PRIMA

El ingreso de la materia prima, comienza desde abrir la tolva, hasta el llenado de la misma.

3.2.2. MÓDULO 2: TRITURACIÓN Y CLASIFICACIÓN

Al tener la materia prima necesaria en la cámara, se procede a encender el motor eléctrico mediante el accionamiento de un pulsador, luego de ello se inicia la trituration.

Una vez obtenido el producto triturado, éste pasa a ser seleccionado de manera que sólo se permitirá el paso del material que cumpla con el tamaño especificado de lo contrario este volverá a pasar por el proceso descrito en el módulo dos.

3.2.3. MÓDULO 3: ALMACENAJE

Una vez que se haya cumplido con lo establecido en el módulo dos, el producto final (con el tamaño adecuado) se almacenará en el recipiente de la máquina y posteriormente al llenarse este, se vaciará el mismo para reiniciar el ciclo; este proceso se lo detalla en la figura 3.3

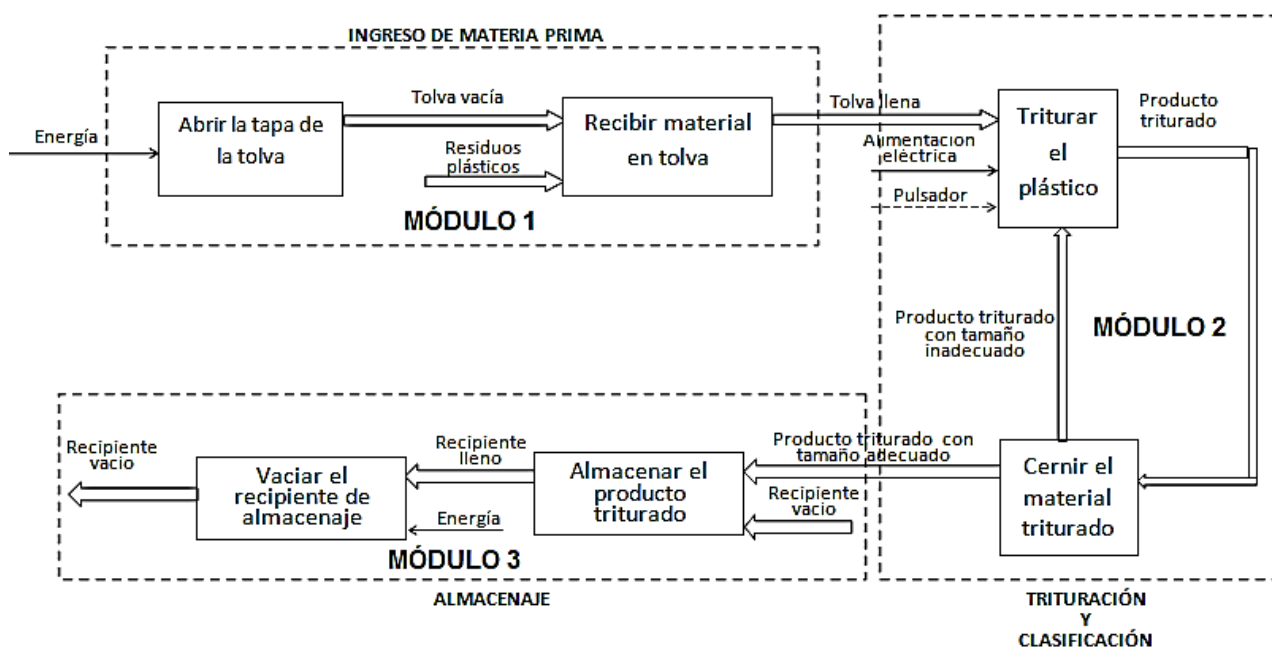


Figura 3. 3 División modular

3.3. SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO

3.3.1. MÓDULO 1: INGRESO DE MATERIA PRIMA.

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

Primero abrir la tapa de la tolva para introducir el plástico y segundo recibir el plástico para la trituración.

A continuación se proponen diferentes formas de solución de estas funciones que luego se combinarán y darán como resultado diferentes soluciones al módulo.

3.3.1.1. Abrir la tapa de la tolva

La manera más rápida y cómoda de realizar este trabajo es hacerlo de forma manual, para lo cual se puede tener dos alternativas de solución:

3.3.1.1.1. Tapa con bisagras

En la figura 3.4 se muestra la manera tradicional de tapa en la que se la abre y se la cierra manualmente cada vez que se vaya a llenar a la tolva.

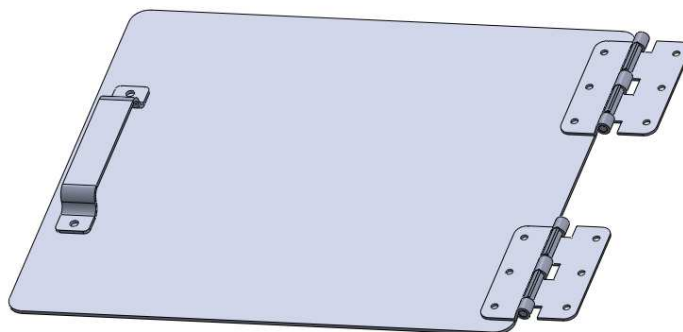


Figura 3. 4 Tapa con bisagras

Ventajas

Permite aprovechar toda la boca de la tolva para el ingreso del plástico.

Desventajas

Se debe abrir y cerrar cuantas veces sea necesario llenar la tolva, lo que puede llegar a aflojar las bisagras o a someterlas a un desgaste rápido.

3.3.1.1.2. Tapa vaivén

La tapa se dispone, de manera que después de poner el plástico esta regrese a su posición original, por simple inercia, mostrado en la figura 3.5

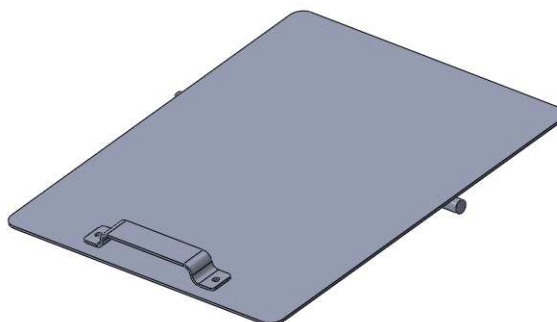


Figura 3. 5 Tapa vaivén

Ventaja

Se evita el abrir y cerrar la tapa, en cada ingreso de material.

Desventaja

Reduce el volumen de plástico que ingresa al disminuir el área de apertura de la tapa, de manera que se restringe el ingreso de objetos de mayores tamaños.

3.3.1.2. Llenar la tolva para la trituración

A medida que la máquina va procesando el material, se deberá ir llenando la tolva, por lo que esta cumple un papel muy importante dentro del proceso de triturado, de manera que su forma tiene que ser bien diseñada para tratar de acumular y apelmazar la mayor cantidad de material posible. Se han establecido tres posibles soluciones para la forma de la tolva: rectangular, trapezoidal y mixta (rectangular + trapezoidal).

3.3.1.2.1. Tolva rectangular

Una de las formas para llegar al módulo de trituración con el material, es por medio de una tolva rectangular, cuya geometría se muestra en la figura 3.6

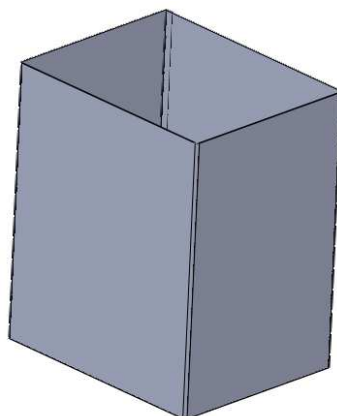


Figura 3. 6 Tolva rectangular

Ventajas

Se mantiene el ancho de la apertura hasta el módulo de trituración permitiendo que el material ingrese y se acumule.

Ofrece una facilidad para su construcción.

Desventaja

El material llega como una masa dispersa ya que entra sin ningún tipo de compactación, sin aprovechar el peso del plástico para una rápida trituración.

3.3.1.2.2. Tolva mixta

Consiste en la combinación de una tolva rectangular con una trapezoidal, proporcionando una geometría mixta como se lo observa en la figura 3.7

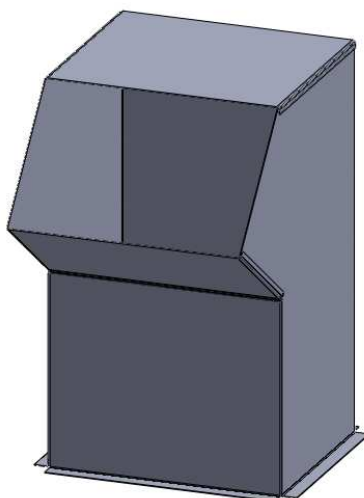


Figura 3. 7 Tolva mixta

Ventajas

Concentra el material aprovechando el peso del plástico y lo lleva el módulo de trituración.

Tiene un aspecto más ergonómico.

Evita que partículas trituradas regresen y entren en contacto con el usuario durante la alimentación de materia prima, gracias a la forma que posee.

Desventajas

El proceso de fabricación de esta tolva es más compleja y costosa que la anterior que tiene una sola geometría desde el inicio hasta el final.

3.3.1.3. Alternativas de módulos

Se realiza una combinación de las soluciones para cada función, con la finalidad de obtener una alternativa para el módulo 1, como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3. 2. Opciones para el MÓDULO 1.

Función	Componente			
Abrir la tapa de la tolva para poner el plástico	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Tapa con bisagras</div>		<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Puerta vaivén</div>	
Llenar la tolva para la trituración	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Tolva rectangular</div>		<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Tolva Mixta</div>	
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4

Las cuatro alternativas obtenidas como solución para el módulo 1 se representan en la figura 3.8

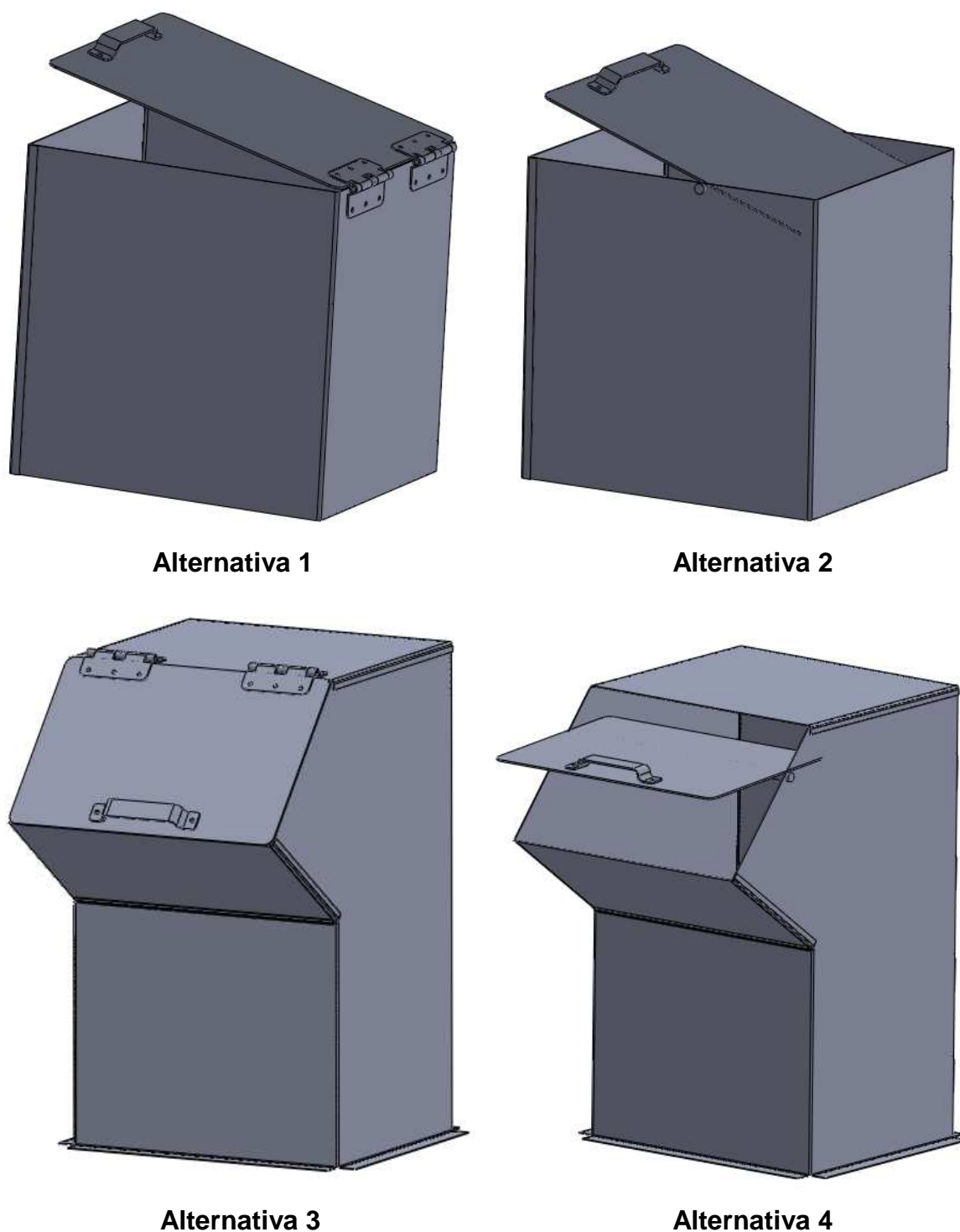


Figura 3. 8 Alternativas para el MÓDULO 1

3.3.1.4. Evaluación y selección de módulos

Para determinar cuál de las alternativas de los módulos es la que conviene realizar, se usará el método ordinal corregido de criterios ponderados, planteado por el diseño concurrente.

Este criterio se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución para un determinado criterio) se confronta con los otros y se asignan los siguientes valores:

- 1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas.
- 0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas.
- 0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor;<) que el de las columnas.

Los criterios de valoración más importantes y mostrados en la tabla 3.3. son:

Facilidad de ingreso del material.

Capacidad: Permitir el ingreso del mayor volumen de plástico para que no se deba cargar la máquina a cada momento.

Aprovechar el peso del plástico depositado, de manera que el material se concentre y que el peso le ayude a seguir dirigiéndose al módulo de trituración.

Complejidad en el proceso de fabricación

Tamaño que ocupa.

Tabla 3. 3. Evaluación de cada criterio.

	Facilidad ingreso material	Capacidad	Aprovechar peso del plástico	Complejidad de Fabricación	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderación
Facilidad ingreso material		0,5	0,5	0,5	1	3	0,207
Capacidad	0,5		0,5	0	1	3	0,207
Aprovechar peso del plástico	0,5	0,5		0	0	2	0,138
Complejidad de Fabricación	0,5	1	1		1	4,5	0,310
Tamaño	0	0	1	0		2	0,138
					Suma	14,5	1
Complejidad de Fabricación > Facilidad Ingreso del material > Capacidad > Tamaño = Aprovechar peso del plástico							

Se evalúa cada una de los criterios con respecto a las alternativas o soluciones del MÓDULO 1. La solución para la facilidad de ingreso de material se muestra en la tabla 3.4.; la solución respecto a la capacidad se la detalla en la tabla 3.5.; lo que respecta a las solución de aprovechar el peso del plástico se muestra en la tabla 3.6.; las solución que corresponde a la complejidad de fabricación se localiza en la tabla 3.7. y la solución con respecto al tamaño que ocupa se ubica en la tabla 3.8.

Tabla 3. 4. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de ingreso material.

Facilidad ingreso material	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	1	3,5	0,35
Solución 2	0		0	0,5	1,5	0,15
Solución 3	0,5	1		1	3,5	0,35
Solución 4	0	0,5	0		1,5	0,15
				Suma	10	1
Solución 1 = Solución 3 > Solución 2 = Solución 4						

Tabla 3. 5. Evaluación de las soluciones respecto a la capacidad.

Capacidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	1	3,5	0,35
Solución 2	0		0	0,5	1,5	0,15
Solución 3	0,5	1		1	3,5	0,35
Solución 4	0	0,5	0		1,5	0,15
				Suma	10	1
Solución 1 = Solución 3 > Solución 2 = Solución 4						

Tabla 3. 6. Evaluación de las soluciones respecto al aprovechar el peso del plástico.

Aprovechar peso del plástico	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0	0	2	0,15
Solución 2	0,5		0	0	1,5	0,15
Solución 3	1	1		0,5	3,5	0,35
Solución 4	1	1	0,5		3,5	0,35
				Suma	10	1
Solución 3 = Solución 4 > Solución 1 = Solución 2						

Tabla 3. 7. Evaluación de las soluciones respecto a la complejidad de fabricación.

Complejidad de Fabricación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0	0	2	0,2
Solución 2	0		0	0	1	0,1
Solución 3	1	1		0	3	0,3
Solución 4	1	1	1		4	0,4
				Suma	10	1
Solución 4 > Solución 3 > Solución 1 > Solución 2						

Tabla 3. 8. Evaluación de las soluciones respecto al tamaño que ocupa.

Tamaño que ocupa	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	0,5	3	0,25
Solución 2	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Solución 4	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
				Suma	10	1
Solución 1 = Solución 2 = Solución 3 = Solución 4						

Finalmente para llegar a la evaluación total de cada solución se realiza la suma de los productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio; estos resultados se los muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3. 9. Conclusiones para el MÓDULO 1.

Conclusiones	Facilidad ingreso material	Capacidad	Aprovechar el peso del plástico	Complejidad de Fabricación	Tamaño que ocupa	Σ	Prioridad
Solución 1	0,35*0,207	0,35*0,207	0,15*0,138	0,2*0,310	0,25*0,138	0,2621	3
Solución 2	0,15*0,207	0,15*0,207	0,15*0,138	0,1*0,310	0,25*0,138	0,1483	4
Solución 3	0,35*0,207	0,35*0,207	0,35*0,138	0,3*0,310	0,25*0,138	0,3207	1
Solución 4	0,15*0,207	0,15*0,207	0,35*0,138	0,4*0,310	0,25*0,138	0,2690	2

CONCLUSIÓN: Por lo tanto, de acuerdo a la tabla 3.9. la solución que más se ajusta a los criterios es la solución 3 (Alternativa 3) o Tolva mixta + tapa con bisagras.

3.3.2. MÓDULO 2: TRITURACIÓN Y CLASIFICACIÓN

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

Triturar el plástico hasta alcanzar el tamaño adecuado y clasificar el material de forma que sólo pase el que tenga el tamaño adecuado.

Se proponen diferentes formas de solución de estas funciones que después de combinarlas se verá el resultado en diferentes opciones de módulos.

3.3.2.1. Triturar el plástico para alcanzar el tamaño adecuado

Existen diferentes formas con las que se puede llegar a este objetivo, de las cuales algunas son:

3.3.2.1.1. *Dos ejes de trituración con cuchillas distribuidas*

Las cuchillas tienen la forma de fresas de corte y se encuentran distribuidas a lo largo de los ejes, los cuales giran en sentidos contrarios, haciendo que las cuchillas vayan atrapando el material y lo vayan triturando como se muestra en la figura 3.9

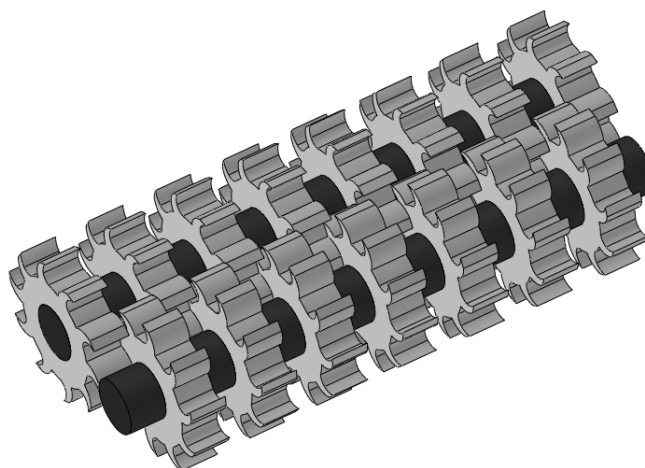


Figura 3. 9 Dos ejes de trituración con cuchillas distribuidas

Ventajas

Se tiene mayor fuerza de corte por la presión entre las cuchillas; las cuchillas al girar en sentidos contrarios atrapan al material de mejor manera para triturarlo, otra de las ventajas es que las cuchillas son intercambiables.

Se obtiene menos recirculación de material debido al gran número de cuchillas dispuestas para triturar el plástico y hay una disminución del tiempo en la trituración.

Desventajas

Las cuchillas deben tener la separación entre sí, adecuada para poder cortar al material y evitar fricción entre las mismas y en el caso de que una cuchilla falle se debe cambiar la fresa completa. Existe la posibilidad de atascamientos, si la separación de las cuchillas que están en los diferentes ejes no es la adecuada.

Debido a la gran presión generada por las cuchillas al triturarlas podría ocasionar que aumente la temperatura entre ellas y hacer que el plástico se derrita y se quede adherido en las cuchillas además no cortaría hasta el tamaño deseado.

Debido a la disposición e interacción dependientes entre dos ejes con varias cuchillas, el montaje de esta parte de la máquina debe ser muy bien calculada para evitar excesivas vibraciones y por último su costo de fabricación alto por la complejidad de la geometría.

3.3.2.1.2. Un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo

En este tipo de trituración, las cuchillas son individuales y están dispuestas en tres hileras en el eje dando una forma helicoidal. El corte y la trituración se producen cuando el movimiento del eje lleva al plástico a uno de sus bordes del bastidor, el cual también tiene una cuchilla fija dispuesta para la trituración, su geometría se la observa en la figura 3.10.

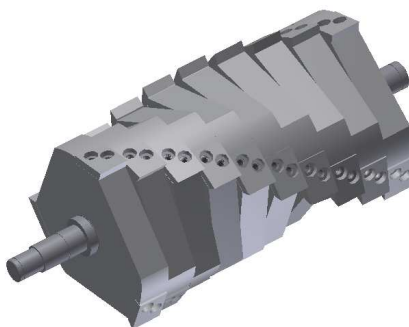


Figura 3. 10 Un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo

Ventajas

Se aprovecha del efecto del sinfín para atrapar el material entre la cuchilla del borde y las del eje con eso se atrapa el material de mejor manera como en un molino y por la forma del arreglo de las cuchillas puede hacer recircular al plástico de mejor manera evitando en gran parte el salto del mismo hacia las paredes.

Presenta cuchillas intercambiables y las operaciones de mantenimiento son sencillas, por lo que no se requieren personal calificado.

Desventajas

La cuchilla si no está afilada puede hacer que el plástico no se corte y se vaya acumulando en el borde además se debe asegurar la separación adecuada entre el borde afilado y el eje. Presenta un costo elevado por la complejidad de la construcción

3.3.2.1.3. Un eje con dos cuchillas distribuidas a lo largo del mismo y separadas 180 ° entre si

En la figura 3.11 se tiene el eje con dos cuchillas continuas, y gira aprovechándose de este efecto triturando el material al apresarlo entre la cuchilla del eje y el borde afilado similar a la solución anterior.

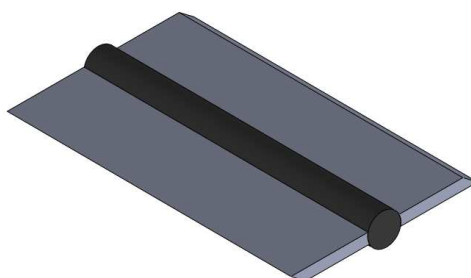


Figura 3. 11 Un eje con cuchillas distribuidas a lo largo del mismo y separadas 180° entre sí

Ventajas

De fácil construcción ya que la disposición de las cuchillas ejecutara operaciones de desgarre y corte haciendo recircular el material aprovechando su forma de paletas.

Las operaciones de mantenimiento son sencillas, por lo que no se requieren personal muy calificado.

Desventajas

Si no está afilada la cuchilla puede hacer que el plástico no se corte, incluso atascarse por lo que se debe asegurar la separación adecuada entre el borde afilado y el eje. Las cuchillas no son intercambiables, en caso de daño el eje debe ser reemplazado y por la velocidad y forma de estas gran parte del material tiende a saltar a las paredes de la tolva, aumentando el tiempo de trituración.

3.3.2.2. Clasificar el material de manera que sólo pase el que tenga el tamaño adecuado

Esta función permite que el material triturado que tenga el tamaño adecuado pase a ser almacenado y el que no cumple con el tamaño estimado, pase a ser triturado nuevamente. Para la clasificación se usa una criba o tamizadora metálica.

3.3.2.2.1. Criba plana

En la figura 3.12 se muestra una tamizadora de metal acoplada a la máquina, por debajo del eje o los ejes, según corresponda.

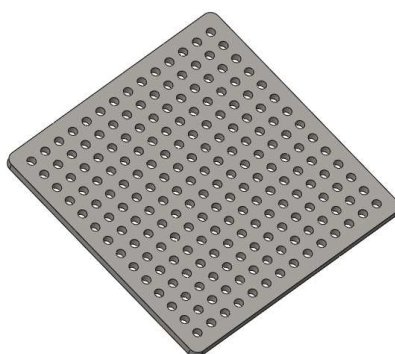


Figura 3. 12 Criba plana

Ventajas

La fabricación es relativamente fácil como también su montaje y desmontaje además las operaciones de mantenimiento son sencillas por lo que no se requieren personal muy calificado.

Desventajas

Existirá material que tape la tamizadora en los extremos más lejanos del eje o los ejes, que no permita aprovechar el mismo ni su recirculación lo que podría causar también los taponamientos en el tamiz.

3.3.2.2.2. *Criba de media luna*

Criba de metal con la forma de un medio cilindro, que presenta una pequeña holgura con las cuchillas del eje, permitiendo que estas recojan el material que no ha pasado, por tener el tamaño inadecuado para ser almacenado como se muestra en la figura 3.13.

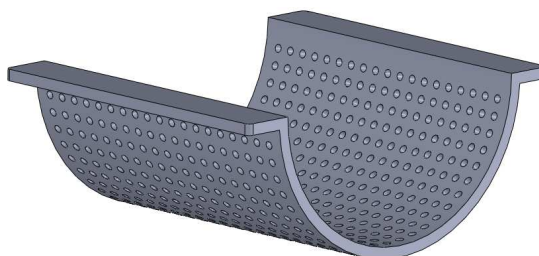


Figura 3. 13 Criba de media luna

Ventajas

Por lo cerca que están las cuchillas se aprovecha el material que no pasa y vuelve a triturarse facilitando la recirculación del plástico que no tiene el tamaño adecuado para pasar por los orificios de la criba; con esta geometría no se desperdicia el material ni existe acumulación de plástico en ningún punto de la criba debido a su geometría circular. Al ayudar a ejercer presión entre las cuchillas y el plástico y por la alta velocidad manejada, corta de manera continua.

Desventajas

La separación entre el eje de cuchillas y la criba debe ser muy bien definida, para que se pueda ejecutar el proceso de corte y de recirculación del material, además debe estar correctamente centrado la criba con el eje, para mantener una separación uniforme constante entre todas las cuchillas y la criba.

3.3.2.2.3. Criba de doble media luna

El funcionamiento es similar al de la criba de media luna, sólo que en este caso esta criba se usa cuando se tienen 2 ejes de trituración. Por su similitud al anterior comparten las mismas ventajas y desventajas, su geometría se observa en la figura 3.14

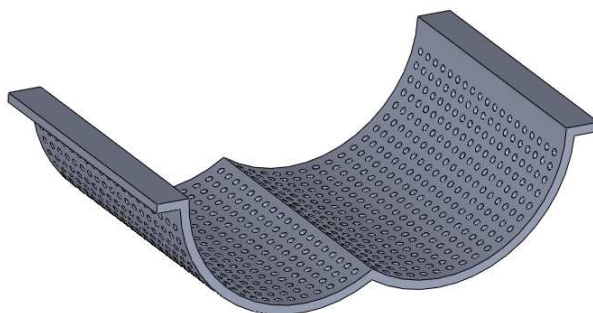


Figura 3. 14 Criba de doble media luna

Ventajas

Por lo cerca que está del eje se aprovecha el material que no pasa el cual vuelve a triturarse además ofrece una mayor velocidad de trituración.

Desventajas

Mayor dificultad en la fabricación, montaje y alineación correcta ya que debe estar correctamente centrado la criba con el eje correspondiente para mantener una separación constante entre todas las cuchillas.

La unión entre las cribas puede llegar a constituir un lugar de acumulación de material.

3.3.2.3. Alternativas de módulos

Se realiza una combinación de las soluciones para cada función, con la finalidad de obtener una alternativa para el módulo 2, como se muestra en la tabla 3.10.

Tabla 3. 10. Opciones para el MÓDULO 2.

Función	Componente		
Triturar el plástico hasta el tamaño adecuado	Dos ejes de trituración con cuchillas distribuidas	Un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo	Un eje con 2 cuchillas a lo largo del eje desfasadas 180°
Clasificar el material con tamaño adecuado	Criba de doble media luna	Criba plana	Criba de media luna
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

NOTA: No es necesario realizar todas las combinaciones posibles, sino sólo aquellas cuyos componentes sean compatibles entre sí y que no presenten una aparente similitud.

Las alternativas para el módulo 2 se representan en la figura 3.15 a cada una de ellas se las representa dentro de una cámara de trituración que es donde se realiza la función principal de la máquina.

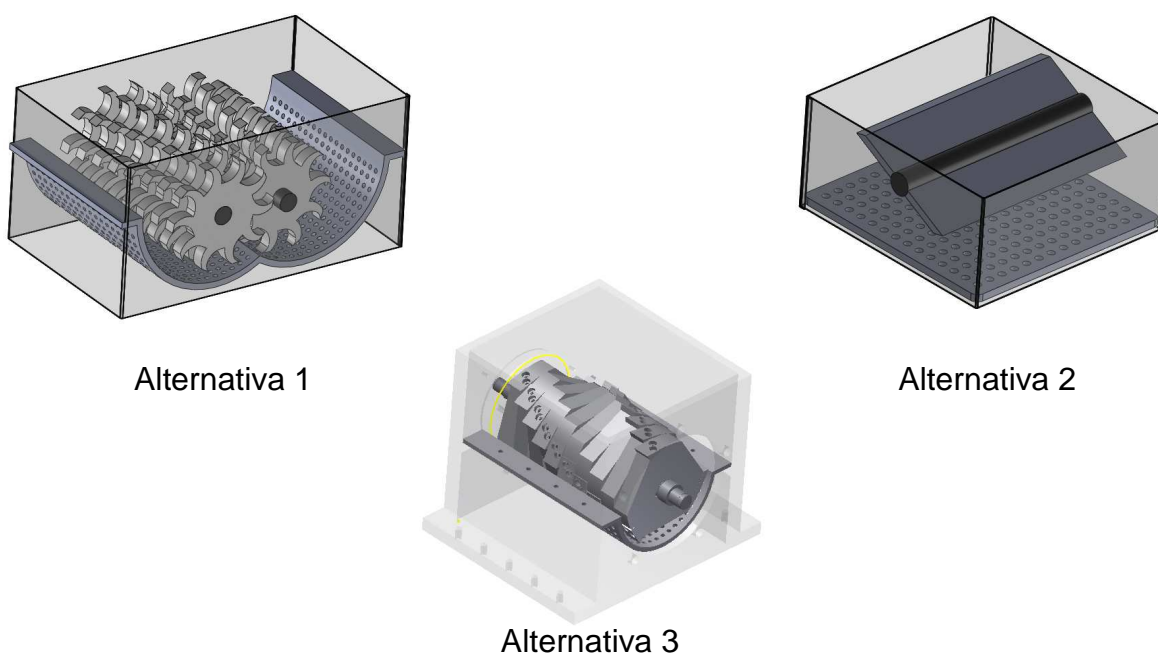


Figura 3. 15 Alternativas para el MÓDULO 2

3.3.2.4. Evaluación y selección de módulos

Se usará el método ordinal corregido de criterios ponderados, planteado por el diseño concurrente.

Los principales factores que deben considerarse para la selección de la alternativa más conveniente son:

Facilidad de montaje, costo de fabricación de los elementos, facilidad de mantenimiento, ruido y vibraciones, facilidad para recircular el material, tamaño y peso y desgaste de las cuchillas

La evaluación de los criterios con sus respectivas ponderaciones se lo realiza en la tabla 3.11.

Tabla 3. 11. Evaluación de cada criterio.

	Facilidad de Montaje	Costo de Fabricación	Facilidad de Mantenimiento	Ruido y Vibraciones	Facilidad recircular material	Tamaño y peso	Desgaste de las cuchillas	$\Sigma+1$	Ponderación
Facilidad de Montaje		0	0	0	0	0,5	0	1,5	0,0536
Costo de Fabricación	1		1	1	1	1	1	7	0,2500
Facilidad de Mantenimiento	1	0		0	1	1	0	4	0,1429
Ruido y Vibraciones	1	0	1		1	1	0,5	5,5	0,1964
Facilidad recircular material	1	0	0	0		1	0	3	0,1071
Tamaño y peso	0,5	0	0	0	0		0	1,5	0,0536
Desgaste de las cuchillas	1	0	1	0,5	1	1		5,5	0,1964
							Suma	28	1
Costo de Fabricación > Ruido y Vibraciones = Desgaste de las cuchillas > Facilidad de Mantenimiento > Facilidad recircular material > Tamaño y Peso = Facilidad de Montaje									

Se evalúa cada una de los criterios con respecto a las alternativas o soluciones del MÓDULO 2; es así que en la tabla 3.12. se evalúa la facilidad de montaje, en la tabla 3.13 el costo de fabricación, en la tabla 3.14. la facilidad de mantenimiento; en la tabla 3.15. sobre el ruido y vibraciones; lo que respecta a la solución de la facilidad de recircular el material se tiene en la tabla 3.16., seguido de la evaluación de tamaño y peso en la tabla 3.17. para finalizar con la solución para el desgaste de las cuchillas con la tabla 3.18.

Tabla 3. 12. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de montaje.

Facilidad de Montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,1667
Solución 2	1		1	3	0,5000
Solución 3	1	0		2	0,3333
Suma				6	1
Solución 2 > Solución 3 > Solución 1					

Tabla 3. 13. Evaluación de las soluciones respecto al costo de fabricación.

Costo de Fabricación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,1667
Solución 2	1		1	3	0,5000
Solución 3	1	0		2	0,3333
Suma				6	1
Solución 2 > Solución 3 > Solución 1					

Tabla 3. 14. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de mantenimiento.

Facilidad de Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,1667
Solución 2	1		1	3	0,5000
Solución 3	1	0		2	0,3333
Suma				6	1
Solución 2 > Solución 3 > Solución 1					

Tabla 3. 15. Evaluación de las soluciones respecto a ruido y vibraciones.

Ruido y Vibraciones	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,1667
Solución 2	1		0	2	0,3333
Solución 3	1	1		3	0,5000
			Suma	6	1
Solución 3 > Solución 2 > Solución 1					

Tabla 3. 16. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de recircular el material.

Facilidad recircular material	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0	2	0,3333
Solución 2	0		0	1	0,1667
Solución 3	1	1		3	0,5000
			Suma	6	1
Solución 3 > Solución 1 > Solución 2					

Tabla 3. 17. Evaluación de las soluciones respecto al tamaño y peso.

Tamaño y peso	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,1667
Solución 2	1		0	2	0,3333
Solución 3	1	1		3	0,5000
			Suma	6	1
Solución 3 > Solución 2 > Solución 1					

Tabla 3. 18. Evaluación de las soluciones respecto al desgaste de las cuchillas.

Desgaste de las cuchillas	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	2,5	0,4167
Solución 2	0		0	1	0,1667
Solución 3	0,5	1		2,5	0,4167
			Suma	6	1
Solución 3 = Solución 1 > Solución 2					

Finalmente para llegar a la evaluación total de cada solución se realiza la suma de los productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio mostrado en la figura 3.19

Tabla 3. 19. Conclusiones para el MÓDULO 2.

Conclusiones	Facilidad de Montaje	Costo de Fabricación	Facilidad de Mantenimiento	Ruido y Vibraciones	Facilidad recircular material	Tamaño y peso	Desgaste de las cuchillas	Σ	Prioridad
Solución 1	0,1666* 0,0536	0,1666* 0,25	0,16666* 0,1429	0,1666* 0,1964	0,3333* 0,1071	0,1666* 0,0536	0,4166* 0,1964	0,23363	3
Solución 2	0,5* 0,0536	0,5*0,25	0,5* 0,1429	0,3333* 0,1964	0,1666* 0,1071	0,3333* 0,0536	0,1666* 0,1964	0,35714	2
Solución 3	0,3333* 0,0536	0,3333* 0,25	0,3333* 0,1429	0,5* 0,1964	0,5* 0,1071	0,5* 0,0536	0,4166* 0,1964	0,40923	1

CONCLUSIÓN: Por lo tanto, de acuerdo a la tabla 3.19. la solución que más se ajusta a los criterios es la solución 3 (Alternativa 3) o un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo con una criba de media luna.

3.3.3. MÓDULO 3: ALMACENAJE

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

Almacenar el producto triturado y el vaciado del recipiente de almacenamiento

A continuación se proponen posibles soluciones para cada una de estas funciones para luego combinarlas y establecer diferentes opciones de módulos.

3.3.3.1. Almacenar el producto

La función a cumplir es la de recibir el material triturado que cae por gravedad de la tamizadora, donde será almacenado y que posteriormente será recogido.

Para almacenar el producto triturado se ha visto tres formas en las que se puede poner el contenedor, las cuales son:

3.3.3.1.1. Recipiente de almacenamiento fijo a la máquina

El recipiente forma parte del bastidor y es uno sólo con la máquina de forma que el material se va acumulando y cuando llega a su límite (o antes de eso) se puede retirar el material, su forma se observa en la figura 3.16.

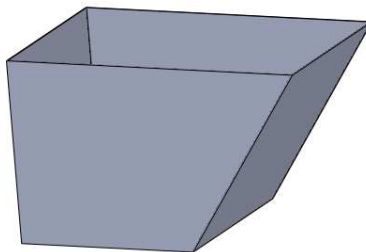


Figura 3. 16 Recipiente de almacenamiento fijo a la máquina

Ventajas

Fácil diseño y capacidad de acumulación alta, debido a que puede ensancharse hasta el piso sin preocupación de movilidad posterior además permite aumentar la masa a la máquina a medida que tritura eliminando vibraciones.

Desventajas

Ocupa mayor espacio físico y no permite la movilidad del recipiente complicando el trabajo de retiro del material triturado.

3.3.3.1.2. Recipiente de almacenamiento con ruedas

Una vez que recibe el material triturado se puede retirar el depósito de material haciendo uso de las ruedas como el recipiente de la figura 3.17

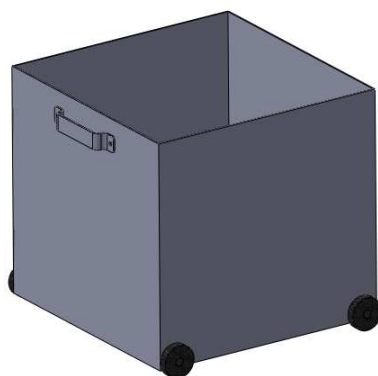


Figura 3. 17 Recipiente de almacenamiento con ruedas

Ventajas

Capacidad de almacenamiento alta y facilidad de transportar.

Desventajas

Si se elabora un recipiente de gran capacidad, se requiere de un gran esfuerzo para transportarlo cuando se encuentra lleno del plástico triturado, además para vaciar el recipiente hay que parar la máquina.

3.3.3.1.3. Recipiente de almacenamiento con rieles

Una vez que recibe el material triturado se puede retirar el depósito de material haciendo uso de las rieles como se observa en la figura 3.18

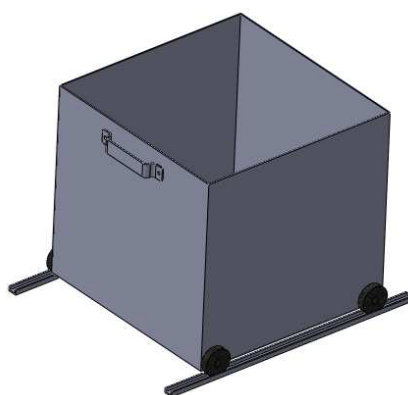


Figura 3. 18 Recipiente de almacenamiento con rieles

Ventajas

Capacidad de almacenamiento alta y facilidad de transportar.

Desventajas

Se requiere de un gran esfuerzo para transportarlo cuando se encuentra lleno del plástico triturado, debido a la fricción entre el recipiente y los rieles; por otro lado para vaciar el recipiente hay que parar la máquina.

Ocupa espacio adicional al del recipiente que se usa y puede generar un rechinamiento al moverse por los rieles.

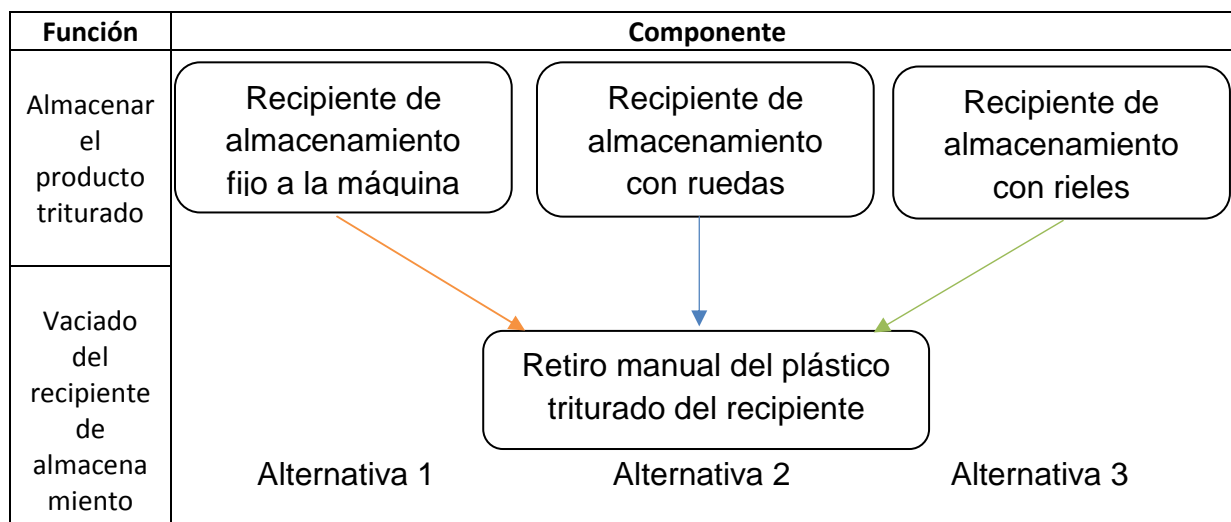
3.3.3.2. Vaciado del recipiente de almacenamiento

De cualquier manera en la que se almacene el producto triturado, se deberá retirar el mismo manualmente, con la ayuda de una pala, para luego ser almacenado en sacos que serán usados cuando se los necesite.

3.3.3.3. Alternativa de módulos

Se combina las soluciones para cada función y se aprecia la alternativa de solución para el módulo, como podemos apreciar en la tabla 3.20. de alternativas del módulo 3.

Tabla 3. 20. Opciones para el MÓDULO 3.



Los esquemas de estos módulos aparecen en la siguiente figura:

3.3.3.4. Evaluación y selección de módulos

Los criterios de valoración más importantes son:

Facilidad para realizar la descarga y capacidad de almacenamiento.

La evaluación de los criterios para el módulo 3 se lo realiza en la tabla 3.21., ubicando la valoración adecuada para cada caso.

Tabla 3. 21. Evaluación de cada criterio.

	Facilidad de descarga	Capacidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Facilidad de descarga		0,5	1,5	0,5
Capacidad	0,5		1,5	0,5
		Suma	3	1
Facilidad de descarga = Capacidad				

Se evalúa cada una de las opciones según los criterios, es así que en la tabla 3.22. se evalúa las soluciones respecto a la facilidad de descarga y en la tabla 3.23. las soluciones respecto a la capacidad.

Tabla 3. 22. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad de descarga.

Facilidad de descarga	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0,5	1,5	0,25
Solución 2	1		1	3	0,5
Solución 3	0,5	0		1,5	0,25
			Suma	6	1
Solución 2 > Solución 1 = Solución 3					

Tabla 3. 23. Evaluación de las soluciones respecto a capacidad.

Capacidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,5
Solución 2	0		1	2	0,3333
Solución 3	0	0		1	0,1667
			Suma	6	1
Solución 1 > Solución 2 > Solución 3					

Finalmente para llegar a la evaluación total de cada solución se realiza la suma de los productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio como se muestra en la tabla 3.24.

Tabla 3. 24. Conclusiones para el MÓDULO 3.

Conclusiones	Facilidad de descarga	Capacidad	Σ	Prioridad
Solución 1	0,125	0,2500	0,3750	2
Solución 2	0,25	0,1667	0,4167	1
Solución 3	0,125	0,0833	0,2083	3

CONCLUSIÓN: Por lo tanto, de acuerdo a la tabla 3.24. la solución que más se ajusta a los criterios es la solución 2 (Alternativa 2) o recipiente de almacenamiento con ruedas con retiro manual del plástico del recipiente.

CAPÍTULO 4

CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

4.1. MÓDULO 1: INGRESO DE MATERIA PRIMA

Mediante el análisis realizado a lo largo del presente proyecto, se llegó a determinar que el módulo 1 no necesita ser calculado o dimensionado bajo ningún parámetro en especial, ya que la función principal de este, como se explicó anteriormente, será el de canalizar el material hacia la cámara de trituración, por lo tanto quedará con la geometría y medidas que se señalan en los planos.

Hay que tomar en cuenta que la parte inferior de la tolva de ingreso de material o módulo 1 debe tener las dimensiones adecuadas para permitir la trituración de botellas de pet de hasta 500 ml, de acuerdo a exigencias del usuario.

4.2. MÓDULO 2: TRITURACIÓN Y CLASIFICACIÓN

4.2.1. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

La potencia del motor se escogerá haciendo un benchmarking de máquinas similares existentes en el mercado de la Marca Wittman, como se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4. 1. Cálculo de la fuerza sobre la cuchilla.

Wittmann/Modelo	Potencia [hp]	Potencia [W]	w [rad/s]	Capacidad [Kg/h]	Torque [Nm]	Radio [m]	Fuerza [N]
Minor 1	1	750	2,83	7	265,02	0,045	5889
Minor 2	1,5	1100	2,83	12	388,69	0,075	5183
Junior 1	2	1500	2,83	10	530,04	0,077	6884
Junior 2	3	2200	2,83	20	777,39	0,10	7774
Junior 3	3	2200	2,83	30	777,39	0,15	5183
JD4 (doble rotor)	2 x 3	2 x 2200	2,83	40	777,39	0,14	5553
JD6 (doble rotor)	2 x 3	2 x 2200	2,83	60	777,39	0,20	3887
JD8 (doble rotor)	2 x 3	2 x 2200	2,83	70	777,39	0,26	2990
MAS 1	3	2200	20,94	30	105,06	0,07	1501
MAS 2	5,4	4000	20,94	70	191,02	0,12	1592
MAS 3	5,4	4000	20,94	80	191,02	0,16	1194

Se utilizaron las siguientes fórmulas para elaborar la tabla 4.1.:

$$T = \frac{P}{w} \quad (4.1)$$

$$F = \frac{T}{r} \quad (4.2)$$

Debido a la complejidad de desarrollar un modelo matemático para llegar a determinar la potencia del motor, puesto que se debería analizar los esfuerzos que las cuchillas ejercen sobre los trozos de plástico triturado teniendo en cuenta que son una cantidad innumerable y que sus propiedades van variando dependiendo del tipo de plástico que se esté triturando y el tamaño, además de la carencia de un prototipo de pruebas para obtener estos datos, ya que esto no se contempla en el alcance del proyecto; se optó por realizar un benchmarking o análisis de los productos similares que se ofrecen en el mercado para determinar con que parámetros están trabajando como se lo indica en la tabla 4.1., para de esta manera obtener los datos necesarios para el diseño de la máquina como se lo muestra en la tabla 4.2.

Ver máquinas similares en el mercado en el ANEXO 1

Tabla 4. 2. Datos para el diseño de la máquina.

Potencia [hp]	Potencia [W]	w [rad/s]	Capacidad [Kg/h]	Torque [Nm]	Radio [m]	Fuerza [N]
1.5	1118.55	20.94	15	53.42	0,05	1068

Elaboración: Personal

4.2.2. CÁLCULO DE BANDAS Y POLEAS

Se tiene entonces:

$$Potencia\ del\ motor = 1.5\ hp$$

$$RPM\ del\ motor = 900$$

$$RPM\ al\ eje = 200$$

(TABLAS DE REFERENCIA PARA EL CÁLCULO DE POLEAS VER EN ANEXO 3)

4.2.2.1. Determinar el factor de servicio

En la tabla 4.3. se determina el factor de servicio de la máquina que es el tiempo de uso que se le dará a la máquina diariamente.

Tabla 4. 3. Factor de servicio típico.¹³

PARA MOTORES ELÉCTRICOS (AC Torque normal)	FACTOR DE SERVICIO (Para servicio normal)
Máquina de elemento giratorio y vibratorio	1.2

4.2.2.2. Cálculo de la potencia de diseño

Multiplicar la potencia por el factor de servicio.

$$Potencia\ efectiva = 1.5 \times 1.2 = 1.8\ hp$$

4.2.2.3. Escoger la sección transversal de la banda

Con los datos de potencia efectiva y revoluciones del eje más rápido = 900 rpm

$$Sección\ transversal\ de\ la\ banda = "3V" \quad 14$$

4.2.2.4. Escoger el diámetro de la polea al motor, diámetro de la polea al eje, HP por banda y tamaño de la banda

Con los datos de RPM del motor y RPM del eje, se puede obtener los datos que se muestran en la tabla 4.4., mismos que servirán para el diseño de la máquina.

Tabla 4. 4. Datos de poleas.¹⁵

Φ de la polea al motor [in]	Φ de la polea al eje [in]	Tamaño de la banda	HP por banda	Factor de corrección de longitud
3.35	14	Tipo 3V 600 (Distancia entre centros de las	1.62	0.87

¹³ The GoodYear Tire and Ruber Company (1990), "Engineering data for multiple V-belts", Ed. GoodYear, USA, Tabla 1; pág. 7

¹⁴ The GoodYear Tire and Ruber Company (1990), "Engineering data for multiple V-belts", Ed. GoodYear, USA, Tabla 2; pág. 8

¹⁵ The GoodYear Tire and Ruber Company (1990), "Engineering data for multiple V-belts", Ed. GoodYear, USA, Tabla 10; pág. 13

		poleas es de 15.4 in)		
--	--	--------------------------	--	--

4.2.2.5. Encontrar el número de bandas

Usando los datos de la tabla 4.4. se tiene:

$$1.62 \times 0.87 = 1.4 \text{ HP}$$

$$\text{Número de bandas requeridas} = \frac{\text{Potencia efectiva}}{\text{HP por banda}} = \frac{1.8}{1.4} = 1.3$$

Por lo tanto se debe usar solamente una banda.

4.2.2.6. Cálculo de la longitud de la banda

$$L = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad (4.4)^{16}$$

Donde

C: distancia entre centros [in]

D: diámetro de la polea al eje [in]

d: diámetro de la polea al motor [in]

$$L = 60 \text{ in } (152,4 \text{ cm})$$

A continuación en la tabla 4.5. se detalla las dimensiones de la banda calculada para la trituradora de plásticos.

Tabla 4. 5. Geometría de la banda 3V 600. ¹⁷

Ancho de banda	0.38 [in]
Espesor de la banda	0.31 [in]
Longitud	60 [in]

¹⁶ The GoodYear Tire and Ruber Company (1990), "Engineering data for multiple V-belts", Ed. GoodYear, USA, ecuación 25; pág. 88

¹⁷ The GoodYear Tire and Ruber Company (1990), "Engineering data for multiple V-belts", Ed. GoodYear, USA, Tabla 3; pág. 8

4.2.3. DISEÑO DEL EJE DE LA TRITURADORA

El eje de la trituradora está sometido a cargas de flexión y de torsión que se generan por efecto de la transmisión de potencia que se da entre las poleas y el eje; también hay que tomar en consideración los rodamientos ubicados en los extremos del eje. (TABLAS DE REFERENCIA VER EN ANEXO 4)

A continuación en la figura 4.1 se muestra un arreglo de los elementos a considerarse para el diseño.

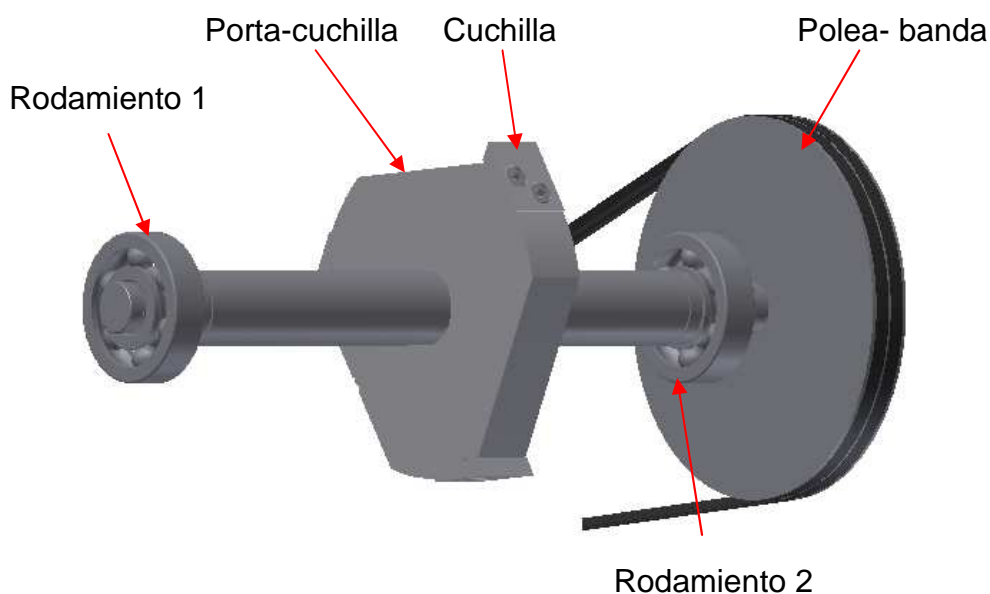


Figura 4. 1 Vista isométrica de la polea- banda, rodamiento, eje, porta cuchilla y cuchillas

El eje trasmite el torque a 8 cuchillas dispuestas a lo largo del eje, cada una de ellas desfasadas 12° . Un esquema de la disposición de las cuchillas se puede observar en la figura 4.2

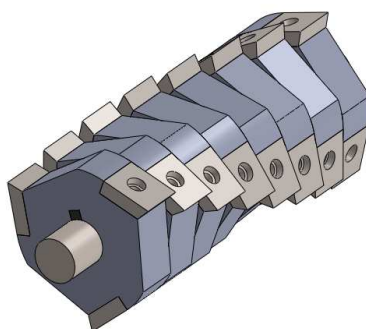


Figura 4. 2 Disposición de las cuchillas a lo largo del eje

4.2.3.1. Diseño estático

Para realizar el diseño estático se va a obtener los diagramas de momento y corte a partir del cálculo de las reacciones.

4.2.3.1.1. Diagrama de cuerpo libre

En la figura 4.3 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje de la trituradora, en el cual constan todas las reacciones del eje y del portacuchillas.

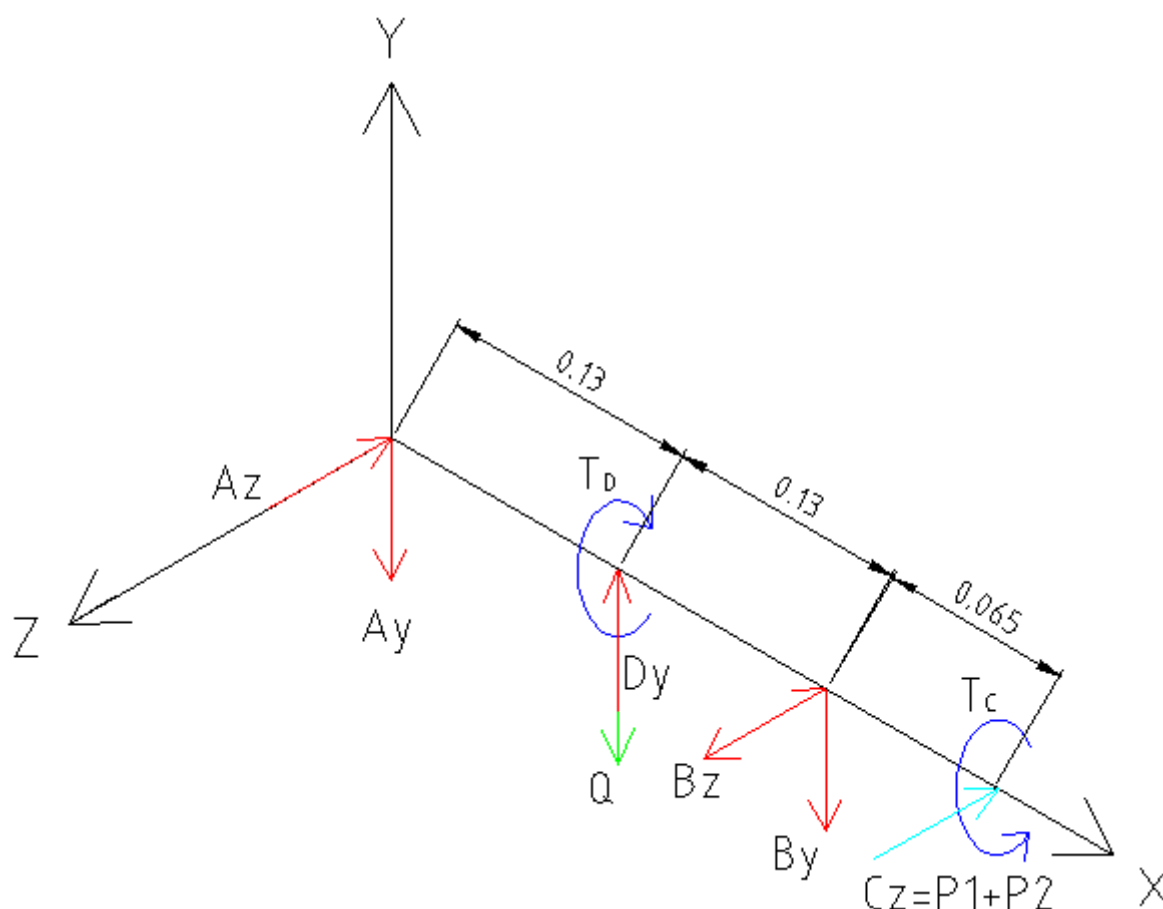


Figura 4. 3 Diagrama de cuerpo libre del eje

En donde:

A_z, A_y = Reacciones de rodamiento 1

Q = Fuerza del peso de los portacuchillas, cuchillas y eje (fuerza puntual)

D_y = Fuerza generada por el impacto de la cuchilla fija con el móvil en un instante t

B_z, B_y = Reacciones de rodamiento 2

Cz, Tc = Reacción y torque generados por la polea

4.2.3.1.2. Cálculo de reacciones

$$H = T_c \omega \quad (4.3)^{18}$$

Donde

$$H = \text{potencia, [W]}$$

$$T_c = \text{Torque [N.m]}$$

$$\omega = \text{velocidad angular [rad/seg]}$$

Usando los datos de la tabla 4.2. y despejando T_c de la ecuación anterior se tiene.

$$T_c = 53.42 \text{ N.m}$$

$$P_1 = P_2 e^{f \beta} \quad (4.4)^{19}$$

Entonces se tiene los siguientes datos:

$$R_c = 7 \text{ in} = 0.1778 \text{ m (Radio de la polea)}$$

$$\beta = 180^\circ + \frac{60(D-d)}{C} = 221.5^\circ = 3.86 \text{ rad (Ángulo de contacto polea - banda)}^{20}$$

$$f = 0.25 \text{ (Factor de fricción polea de aluminio - banda de caucho)}$$

Remplazando estos valores en la ecuación 4.4 se tiene:

$$P_1 = P_2 e^{0.25 \times 3.86} = 2.62 P_2$$

$$\sum M_{eje x} = 0$$

$$(P_1 - P_2) * R_c = T_D$$

$$(2.62P_2 - P_2) * 0.1778 = 53.42 \text{ Nm}$$

$$P_2 = 185,5 \text{ N}$$

¹⁸ BUDYNAS R. NISBETT K,(2008) "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", Ed. Mc Graw Hill, 8va edición, México, pág. 96

¹⁹ <http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema05.pdf>

²⁰ The GoodYear Tire and Ruber Company (1990), "Engineering data for multiple V-belts", Ed. GoodYear, USA, ecuación 21; pág. 87

$$P_1 = 486 \text{ N}$$

Volumen eje + cuchillas + porta-cuchillas:

$$V_{total} = 0.00128 \text{ m}^3 \text{ }^{21}$$

$$Q = 7870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.00128 \text{ m}^3 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 98.5 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-A_y - Q - B_y + D_y = 0$$

$$A_y + B_y = 969.5 \text{ N}$$

$$\sum M_{eje z} = 0$$

$$1068 (0.13) - 98.5 (0.13) - B_y(0.26) = 0$$

$$B_y = 484.8 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación anterior se tiene:

$$A_y = 484.8 \text{ N}$$

$$\sum M_{eje y} = 0$$

$$-B_z (0.26) + (P_1 + P_2) (0.325) = 0$$

$$B_z = 839.3 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0$$

$$-A_z + B_z - C_z = 0$$

$$-A_z + 839.3 - 671.5 = 0$$

$$A_z = 167.8 \text{ N}$$

²¹ Valor del volumen total obtenido de SolidWorks 2011

4.2.3.1.3. Diagrama de momentos

En la figura 4.4 se muestran las fuerzas cortantes que se producen en el eje en el plano xy, de la misma manera en la figura 4.5 se muestran las fuerzas cortantes del eje en el plano yz.

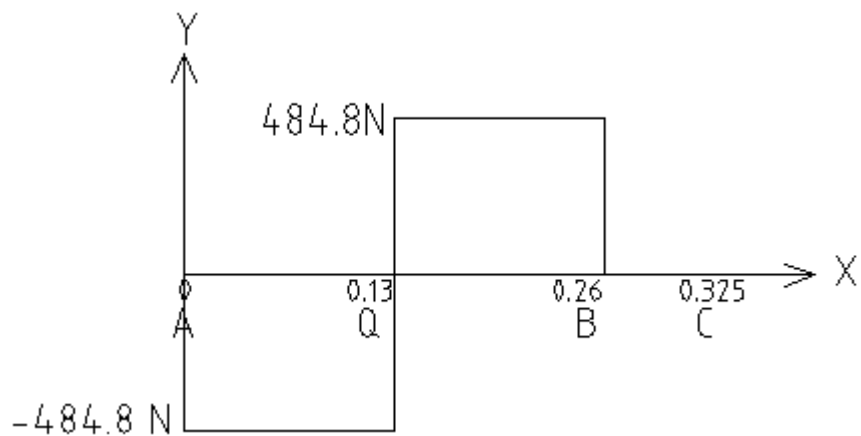


Figura 4. 4 Fuerzas cortantes en el plano xy

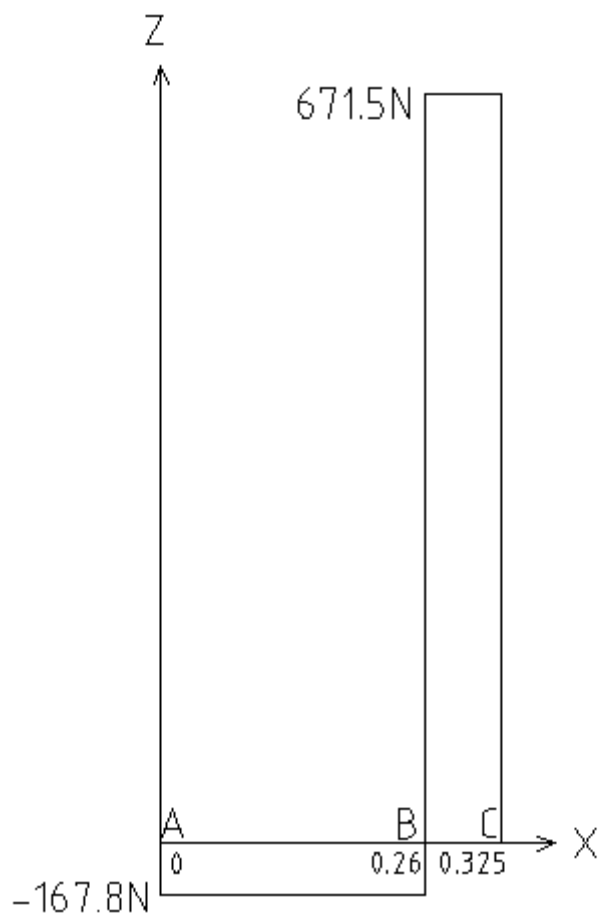


Figura 4. 5 Fuerzas cortantes en el plano xz

Haciendo uso de los diagramas de las figuras 4.4 y 4.5, se elabora en diagrama de momentos en el eje en los tres planos el cual se muestra en la figura 4.6.

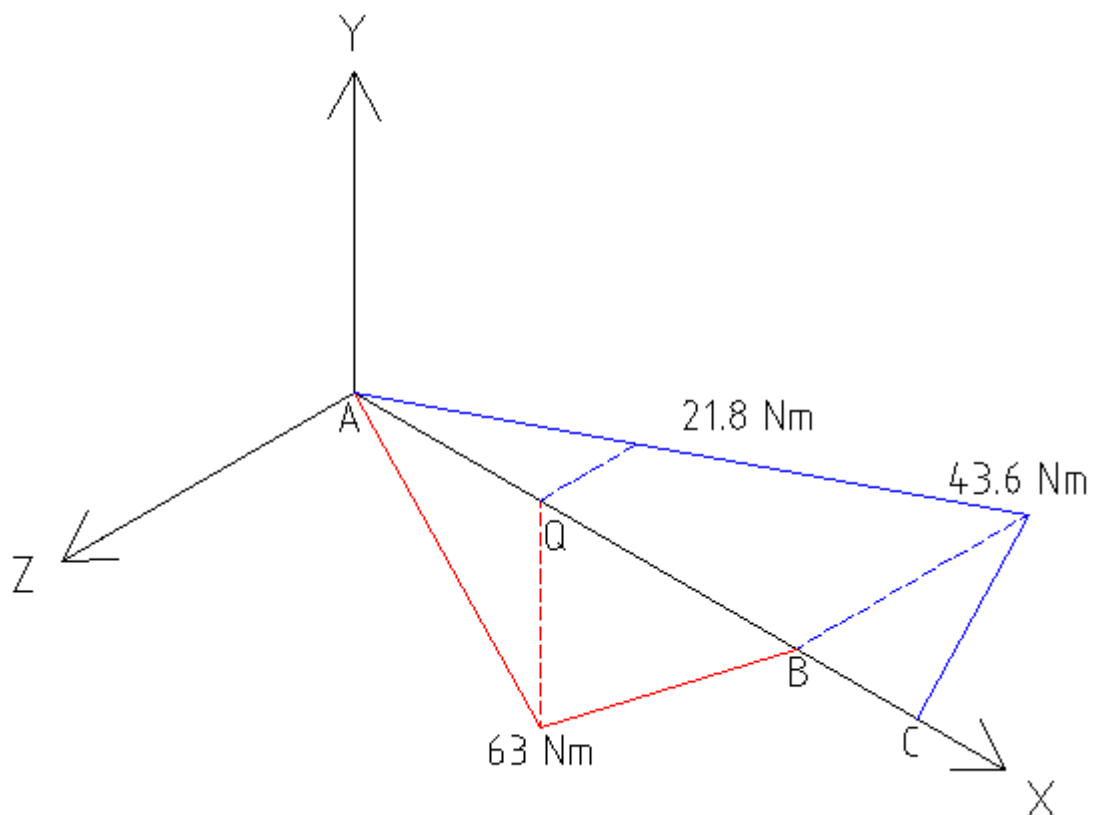


Figura 4. 6 Diagrama de momentos en el eje

4.2.3.1.4. Determinación de la sección crítica

La posible sección crítica en Q o en B; según la figura 4.3

$$M_B = 43.6 \text{ Nm}$$

$$M_Q = \sqrt{63^2 + 21.8^2} = 66.7 \text{ Nm}$$

La sección crítica es en Q porque $M_Q > M_B$

El momento torsor afecta a las 2 secciones de igual manera.

4.2.3.1.5. Determinación del punto crítico

Para poder determinar cuál es el punto crítico se seleccionan tres partes del eje A, B, C como se muestra en la figura 4.7 y se analizan las tensiones en cada punto.

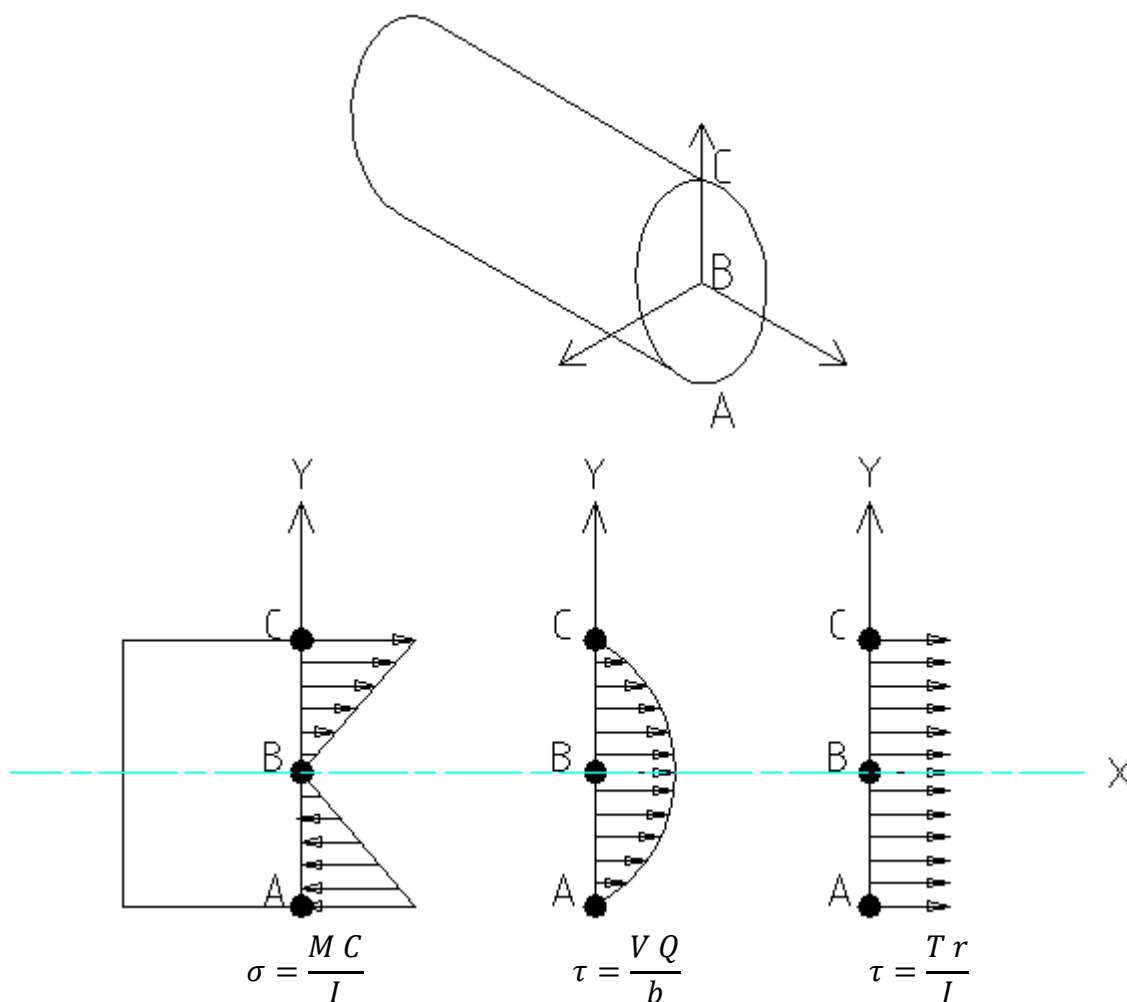


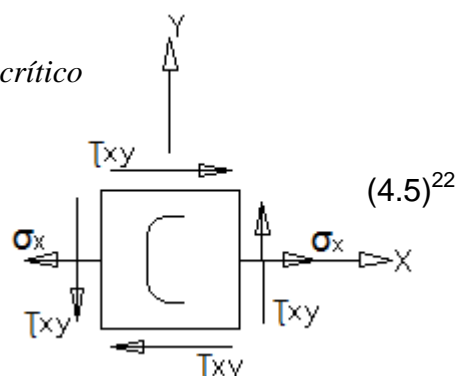
Figura 4.7 Puntos de esfuerzos en el eje

El punto crítico es en el elemento C, debido a que un material falla más a tracción que a compresión.

4.2.3.1.6. Cálculo de esfuerzos de la sección y punto crítico

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$T_c = 53.42 \text{ Nm} \quad M_Q = 66.7 \text{ Nm}$$



²² SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1; 4ta. edición, México, pág. 34

Diseño por esfuerzos principales normales.

$$\sigma_{A,B} = \frac{16M}{\pi d^3} + \sqrt{\left(\frac{16M}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2}$$

Reemplazando y realizando las simplificaciones correspondientes se tiene:

$$\sigma_1 = \frac{774.9}{d^3} \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_3 = -\frac{95.5}{d^3} \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_2 = 0$$

4.2.3.1.7. *Determinar la resistencia de la sección crítica*

Acero AISI 1045 maquinado o estirado en frío según tabla A-20 “Diseño de máquinas de Shigley (8va edición) se tiene:

$$S_y = 530 \text{ Mpa} = 530 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$S_{ut} = 630 \text{ Mpa} = 630 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

4.2.3.1.8. *Relacionar esfuerzos principales con resistencias para determinar el parámetro requerido.*

Se va a utilizar la teoría de la Energía de la Distorsión para material dúctil.

De la figura 4.8 se obtiene:

$$S_B = -\frac{\sigma_3}{\sigma_1} S_A \quad (1)$$

$$S_y^2 = S_A^2 - S_A S_B + S_B^2 \quad (2)$$

Reemplazando la ecuación (1) en la ecuación (2) se tiene:

$$S_A = \frac{S_y}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1}\right) + \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1}\right)^2}}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación anterior.

$$S_A = 496.7 \times 10^6 \text{ Mpa}$$

La aplicación de la teoría de la distorsión con los esfuerzos normales calculados y los valores de S_y y S_{ut} se los representa en la figura 4.8

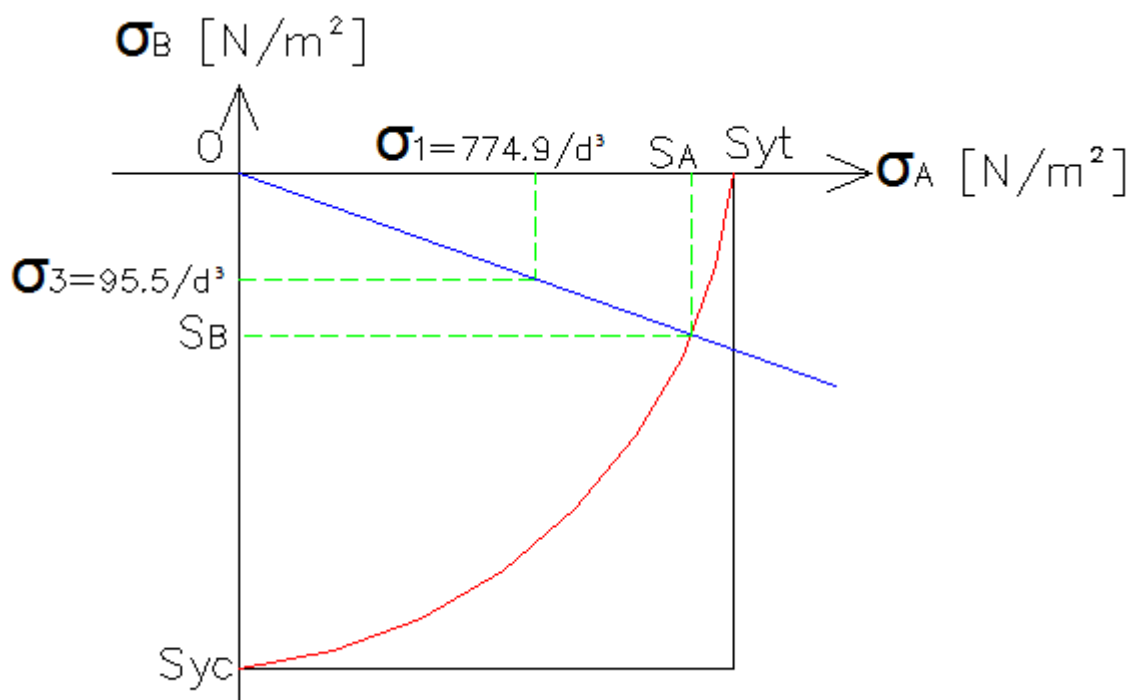


Figura 4. 8 Aplicación de la Teoría de la Energía de Distorsión para el diseño estático

Empleando un factor de diseño de 2, se tiene que:

$$\eta = \frac{S_A}{\sigma_1} = 2$$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior y despejando se tiene:

$$d = 14.6 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

4.2.3.2. Diseño dinámico

En la figura 4.9 se hace un diagrama de los esfuerzos combinados de flexión y torsión que se presentan durante un tiempo t .

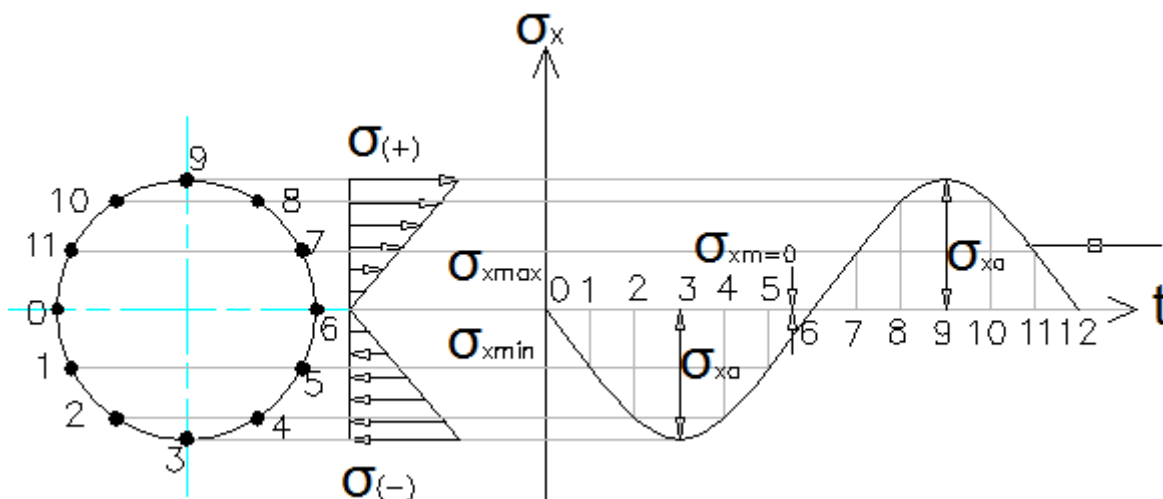


Figura 4. 9 Esfuerzos de tensión y compresión en cada revolución del eje

Condiciones:

Primero que las poleas estén fijas al eje y segundo que deben tener rodamientos.

Análisis de la sección Q y C para determinar la sección crítica porque estas secciones se encuentran a esfuerzos combinados de flexión y torsión, y tiene momentos de flexión máximos; se desprecia las secciones A y B porque sus momentos son pequeños.

En la figura 4.10 se realiza una gráfica del eje propuesto para la máquina para de esta manera calcular los diámetros óptimos de diseño los cuales se detallan en la tabla 4.6.

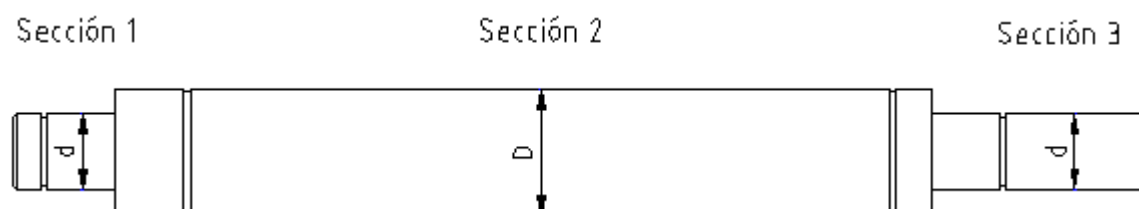


Figura 4. 10 Geometría del eje propuesto

La sección crítica se tiene en el punto Q y B como se observa en la figura 4.3

$$T = 53.42 \text{ Nm} \quad M_Q = 66.7 \text{ Nm} \quad M_B = 43.6 \text{ Nm}$$

Tabla 4. 6. Cálculos para el diseño del eje.

SECCIÓN 2	SECCIÓN 1 Y 3
$\sigma_{x_a} = \sigma_{x_{max}} = \frac{32 M_Q}{\pi D^3}$ (4.6) ²³	$\sigma_{x_a} = \sigma_{x_{max}} = \frac{M_{B,C}}{I} = \frac{32 M_B}{\pi d^3}$ (4.7) ²⁴
$\sigma_{x_m} = 0 ; \tau_{xy_a} = 0$	$\sigma_{x_m} = 0 ; \tau_{xy_a} = 0$
$\tau_{xy_m} = \tau_{xy_{max}} = \frac{16 T}{\pi D^3}$ (4.8) ²⁵	$\tau_{xy_m} = \tau_{xy_{max}} = \frac{16 T}{\pi d^3}$ (4.9) ²⁶
$\sigma_a' = \sqrt{(\sigma_{x_a})^2 + 3 (\tau_{xy_a})^2} = \sigma_{x_a}$	$\sigma_a' = \sqrt{(\sigma_{x_a})^2 + 3 (\tau_{xy_a})^2} = \sigma_{x_a}$
$\sigma_m' = \sqrt{(\sigma_{x_m})^2 + 3 (\tau_{xy_m})^2} = \tau_{xy_m} \cdot \sqrt{3}$	$\sigma_m' = \sqrt{(\sigma_{x_m})^2 + 3 (\tau_{xy_m})^2} = \tau_{xy_m} \cdot \sqrt{3}$
<i>Método iterativo: D = 38 mm</i>	<i>Método iterativo: d = 25 mm</i>
$\sigma_{x_a} = 1.23 \times 10^7 \text{ N/m}^2 = \sigma_a'$	$\sigma_{x_a} = 2.71 \times 10^7 \text{ N} = \sigma_a'$
$\tau_{xy_m} = 4.92 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$\tau_{xy_m} = 1.66 \times 10^7 \text{ N}$
$\sigma_m' = 8.52 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$\sigma_m' = 2.88 \times 10^7 \text{ N}$
$S_e = S_e' \times k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f$	
AISI 1045 (CD) $\left\{ \begin{array}{l} S_y = 530 \text{ MPa} \\ S_{ut} = 630 \text{ MPa} \end{array} \right.$	<i>Material dúctil $S_{ut} < 1400 \text{ MPa}$²⁷</i> <i>entonces $S_e' = 0.5 S_{ut} = 315 \text{ MPa}$</i>

²³ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, Figura A26-14, pág. 888

²⁴ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, Figura A26, pág. 889

²⁵ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, Figura A26-15, pág. 889

²⁶ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, Figura A 26-8, pág. 885

²⁷ BUDYNAS R. NISBETT K.,(2008) "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", Ed. Mc Graw Hill, 8va edición, México, pág. 77

<i>Figura 7 – 10</i> → $k_a = 0.75$	<i>Figura 7 – 10</i> → $k_a = 0.75$
$D = 38 \text{ mm}$ <i>si</i> $8 \text{ mm} < D < 250 \text{ mm}$ $k_b = 1.189 * D^{-0.097} \quad (4.10)^{28}$ $k_b = 0.84$	$d = 25 \text{ mm}$ <i>si</i> $8 \text{ mm} < D < 250 \text{ mm}$ $k_b = 1.189 * d^{-0.097}$ $k_b = 0.87$
<i>Se supone una confiabilidad del 50%</i> $k_c = 1$ ²⁹	<i>Se supone una confiabilidad del 50%</i> $k_c = 1$
$T \leq 450^\circ\text{C}$ $k_d = 1$ ³⁰	$T \leq 450^\circ\text{C}$ $k_d = 1$
$k_e = 0.5$	$k_e = k_{ef} \times k_{eT}$ (<i>k flexión</i> × <i>k torsión</i>) $\frac{D}{d} = 1.5 \quad \frac{r}{d} = 0.04$ $k_{ts} = 1.8$ ³¹ $k_t = 2.2$ ³² $q = 0.65$ ³³ $k_{ef} = \frac{1}{k_f} = \frac{1}{1 + q(k_t - 1)} = 0.56 \quad (4.10)^{34}$ $k_{eT} = \frac{1}{k_f} = \frac{1}{1 + q_s(k_{ts} - 1)}$ <i>No existe q_s porque no existe variación en la torsión, por lo tanto $k_{eT} = 1$</i> $k_e = 0.56$

²⁸ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, pág. 313

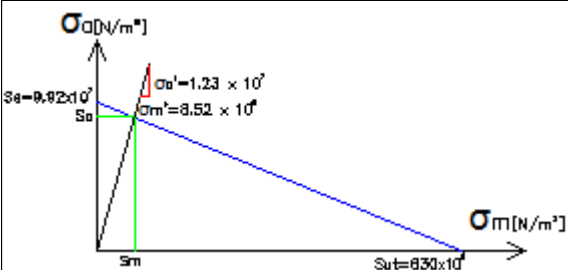
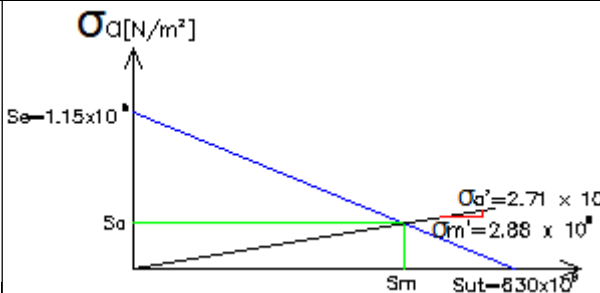
²⁹ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, 1989 Tabla 7-7, pág. 319

³⁰ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, pág. 321

³¹ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, Figura A26-8, pág.885

³² SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, Figura A26-9, pág.886

³³ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, Figura 7-18, pág. 323

$k_f = 1$ ³⁵ Debido a que este valor solo es para el caso de análisis de engranes	$k_f = 1$ Debido a que este valor solo es para el caso de análisis de engranes
$S_e = 9.92 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	$S_e = 1.15 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
 $S_m = \frac{S_e}{\left(\frac{S_e}{S_{ut}}\right) + \left(\frac{\sigma'_a}{\sigma'_m}\right)}$ $S_m = 6.2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	 $S_m = \frac{S_e}{\left(\frac{S_e}{S_{ut}}\right) + \left(\frac{\sigma'_a}{\sigma'_m}\right)}$ $S_m = 1.02 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
$\eta = \frac{S_m}{\sigma'_m} = 7.3$	$\eta = \frac{S_m}{\sigma'_m} = 3.6$

De la tabla 4.6. se puede determinar que para la sección 2 se utiliza un diámetro $D = 38 \text{ mm}$ y para las secciones 1 y 3 un diámetro $d = 25 \text{ mm}$, ya que en ambos casos se obtiene un factor de seguridad superior a 2, lo que indica que el dimensionamiento escogido es adecuado.

Donde:

τ_{max}, σ_{max} *esfuerzos máximos*

τ_{min}, σ_{min} *esfuerzos mínimos*

τ_a, σ_a *amplitud de esfuerzos*

τ_m, σ_m *esfuerzos medios*

σ'_a, σ'_m *esfuerzos equivalentes*

³⁴ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, pág. 322

³⁵ SHIGLEY Joseph, (1989) "Manual de Diseño Mecánico", Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1, 4ta. edición, México, pág. 324

S_e	<i>límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico</i>
S'_e	<i>límite de resistencia a la fatiga de la probeta</i>
k_a	<i>factor de superficie</i>
k_b	<i>factor de tamaño</i>
k_c	<i>factor de confiabilidad</i>
k_d	<i>factor de temperatura</i>
k_e	<i>factor de modificación por concentración de esfuerzo</i>
k_f	<i>factor de efectos diversos</i>
k_{ef}	<i>factor de flexión</i>
k_{eT}	<i>factor de torsión</i>
q	<i>sensibilidad a la ranura a flexión</i>
q_s	<i>sensibilidad a la ranura a torsión</i>
η	<i>factor de seguridad</i>

4.2.4. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Para la selección de rodamientos o cojinetes se va hacer uso del Catálogo de rodamientos FAG WL 41 520/3 SB.

Para este caso el tipo de carga que se tiene es radial; para determinar el tamaño del cojinete se va a tomar en cuenta que la capacidad de carga es dinámica y que va a estar sometido a movimientos rápidos, es por esto que se va a utilizar la siguiente fórmula. (VER ANEXO 5)

$$C = \frac{f_L}{f_n} P \quad (4.11)^{36}$$

Donde:

³⁶ FAG, (2000) "Catalogo de rodamientos WL 41 520/3 SB", Ed. FAG, España, pág. 32

f_L	<i>factor de esfuerzos dinámicos</i>
f_n	<i>factor de velocidad</i>
C	<i>capacidad de carga dinámica [Kg]</i>
P	<i>carga dinámica equivalente [Kg]</i>

El tipo de rodamiento de acuerdo a las características de la máquina va ser un rodamiento rígido de bolas de una hilera ya que puede soportar cargas axiales y radiales, son apropiados para altas velocidades y giran silenciosamente, además con obturación a ambos lados ya que estarán sometidos a un ambiente lleno de polvo plástico e impurezas.³⁷

A continuación se calcula el valor de P para lo cual se va a utilizar los valores de las reacciones calculadas en el punto B, ya que es donde se concentra la mayor carga.

$$P = \sqrt{484.4^2 + 839.3^2} = 969 \text{ N}$$

El valor de f_L ³⁸ es un valor empírico obtenido de la experiencia ganada en aplicaciones de rodamientos iguales o semejantes, el cual servirá para seleccionar el tamaño correcto del rodamiento; para ello se hace uso de la tabla de valores de referencia de f_L

En la tabla propone un factor de esfuerzos dinámicos en un rango de 4-5.

Se elige un $f_L = 4.45$ ³⁹ que corresponde a una vida nominal $L_h = 44000 \text{ horas}$

Lo que indica que los rodamientos se desempeñaran correctamente para una vida infinita.

El valor de f_n se lo obtiene con el número de revoluciones por minuto a la que trabaja la trituradora en este caso son 200 rpm lo que da:

³⁷ FAG, (2000) "Catalogo de rodamientos WL 41 520/3 SB", Ed. FAG, España, págs. 20,21

³⁸ FAG, (2000) "Catalogo de rodamientos WL 41 520/3 SB", Ed. FAG, España, pág. 38

³⁹ FAG, (2000) "Catalogo de rodamientos WL 41 520/3 SB", Ed. FAG, España, pág. 34

$$f_h = 0.55 \quad 35$$

Entonces

$$C = \frac{4.45}{0.55} * 969 \text{ N}$$

$$C = 7.84 \text{ KN}$$

Con este valor se va a las tablas de la FAG y se determina que el rodamiento apropiado es un rodamiento rígido de bolas de una sola hilera obturado por ambos lados **FAG 6005.2RSR** ⁴⁰, según DIN 625; Rodamiento en ejecución normal.

4.2.5. SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS ⁴¹

Para el análisis y dimensionamiento de la estructura y de algunos componentes de la máquina se lo va a realizar con la herramienta SolidWorks Simulation que es un sistema de análisis de diseño que viene integrado con SolidWorks 2011 la cual permite ver la solución en pantalla de análisis de tensión, frecuencia, pandeo, térmicos y de optimización.

4.2.5.1. Solucionador de análisis (Solver)

El tipo de solucionador que se utiliza para resolver el sistema de ecuaciones algebraicas es el FFEPlus el cual es un método iterativo que resuelve las ecuaciones por medio de técnicas de aproximación, las cuales continúan hasta que los errores se tornan aceptables.

4.2.5.2. Método adaptivo

Se utiliza para mejorar la exactitud en la convergencia de resultados de los estudios estáticos, para ello se usa el método h que consiste en la utilización de elementos más pequeños en regiones con altos niveles de error. Después de realizar el estudio el software automáticamente refina la malla donde sea necesario para mejorar los resultados.

⁴⁰ FAG, (2000) "Catálogo de rodamientos WL 41 520/3 SB", Ed. FAG, España, págs. 158,159.

⁴¹ http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/SWHelp_List.html?id=528bacc70a174f5e90ab9a60fb0e1c05#Pg0

Este método se basa en los siguientes parámetros:

Precisión de destino: sirve para colocar un alto nivel de precisión (99%) en la convergencia de la norma de energía de deformación unitaria para de esta manera obtener buenos resultados de tensión.

Desvío de precisión: Se usa **global** para que el programa se concentre en la obtención de resultados globales precisos.

Número de bucles: El número de bucles utilizado para el análisis es 3, el máximo es 5.

4.2.5.3. Mallado

El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño. El mallador automático en el software genera una malla basándose en un tamaño de elemento global, una tolerancia y especificaciones locales de control de malla. El control de malla le permite especificar diferentes tamaños de elementos de componentes, caras, aristas y vértices.

Para realizar el mallado se utiliza las siguientes opciones:

Mallado estándar: Utiliza el esquema de mallado Voronoi-Delaunay para operaciones de mallado posteriores.

Calidad de malla: usada para modelos sólidos cuando los efectos de flexión son leves.

Puntos jacobianos: Establece el número de puntos de integración que se utiliza para verificar el nivel de distorsión de los elementos tetraédricos, se selecciona 16.

Malla basada en curvatura: Crea mayor número de elementos en zonas curvadas automáticamente.

4.2.5.4. Criterios de aceptación de estudio

Para el dimensionamiento de la pieza se va aceptar el criterio de esfuerzo de Von Mises con relación al esfuerzo de fluencia del material.

4.2.5.5. Estructura

El análisis se lo lleva a cabo sometiendo a la estructura a una carga distribuida por el peso de la cámara de trituración, el eje con todas sus cuchillas y la tolva, además se considera la carga generada por el peso del motor y del material triturado.

Para toda la estructura se emplea un perfil angular de acero estructural ASTM A-36 de 30x30x3 mm

Como se puede observar en la figura 4.11 el factor de seguridad mínimo de la estructura es de 4.2 por lo tanto soporta satisfactoriamente las cargas a la cual está sometido sin fallar.

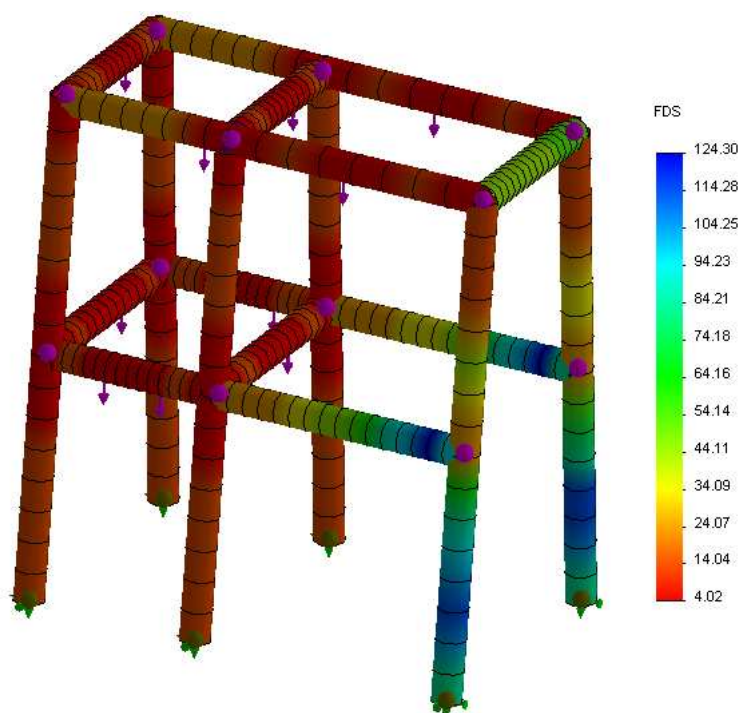


Figura 4. 11 Factor de seguridad mínimo de la estructura calculada por medio de Solidworks Simulation

En la figura 4.12 se muestra la tensión axial y flexión más alta; en la parte derecha se encuentra la coloración la cual indica que el esfuerzo máximo (color rojo) es de 62 Mpa., el mismo que es imperceptible, por lo tanto la estructura no se deformará.

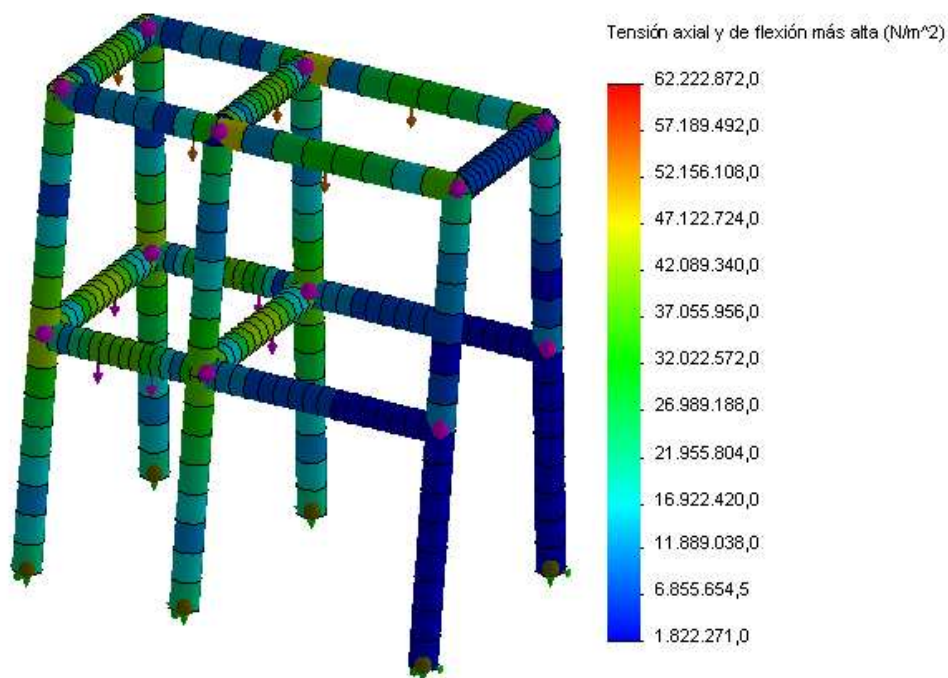


Figura 4. 12 Esfuerzos de Von Mises de la estructura calculado por medio de Solidworks Simulation

En base de los dos análisis realizados por elementos finitos en solidworks simulation permiten determinar que la estructura diseñada para esta máquina soportará las cargas a la que esté sometido sin fallar

4.2.5.6. Eje de trituración

Es la parte fundamental de la máquina ya que esta pieza será la que está sometida a la mayor parte de esfuerzos como el peso de los portacuchillas, las cuchillas y los esfuerzos de impacto que se generan durante el corte de material; para su elaboración se emplea acero AISI 1045.

Una vez realizado el análisis se puede observar en la figura 4.13 que el factor de seguridad mínimo del eje de trituración es de 7.9 lo cual indica que no fallará ante los esfuerzos a los cuales está sometido.

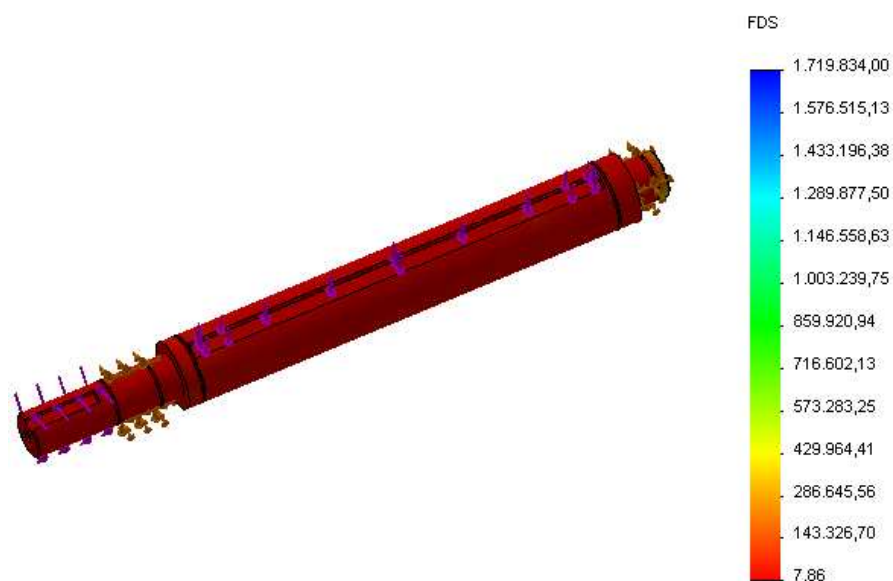


Figura 4. 13 Factor de seguridad mínimo del eje de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation

La gama de colores de la simulación mostrada en la figura 4.14 muestra claramente que la tensión máxima que experimenta el eje es menor a su límite elástico razón por la cual el elemento no presentará una deformación considerable durante su etapa de trabajo.

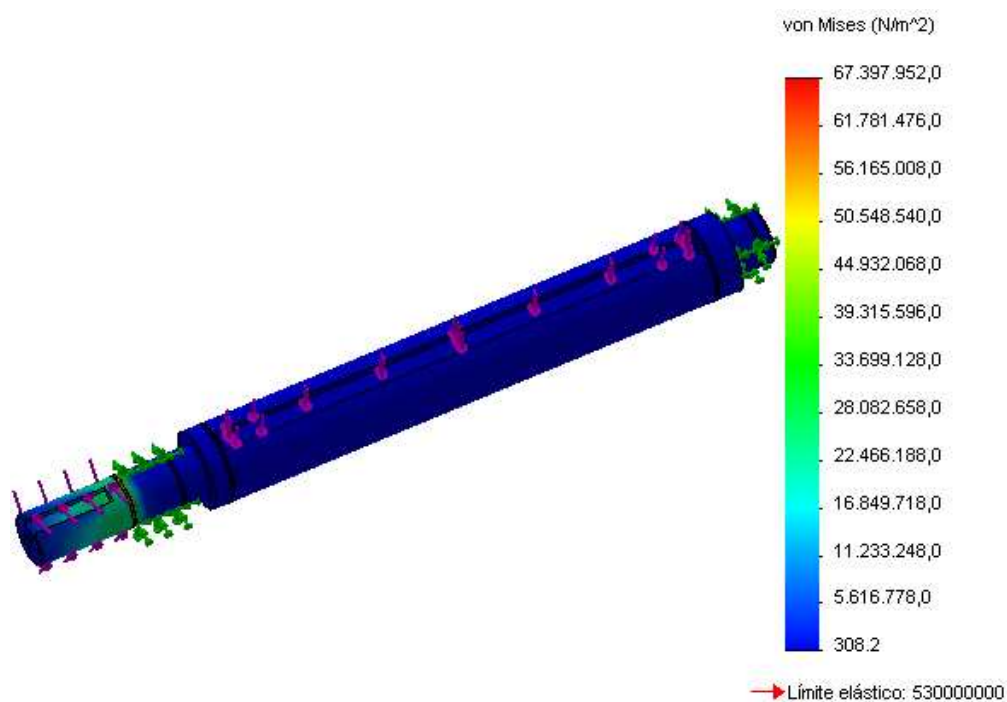


Figura 4. 14 Esfuerzos de Von Mises del eje de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation

4.2.5.7. Manija para depósito de material

Hay dos tipos de manija, una pertenece a la tapa de la tolva que está fabricada de tol galvanizado de 0,9 mm a la cual no se le realizará un análisis debido a que su única función es de sujetarse a la tapa y levantarla; la otra manija es de Acero A36 de espesor 5 mm para el depósito de material ya que este tendrá que soportar una mayor carga.

A continuación en la figura 4.15 se muestra la simulación de la manija del depósito a la carga a la que estará sometida que en este caso será la máxima capacidad de almacenamiento de material en el depósito.

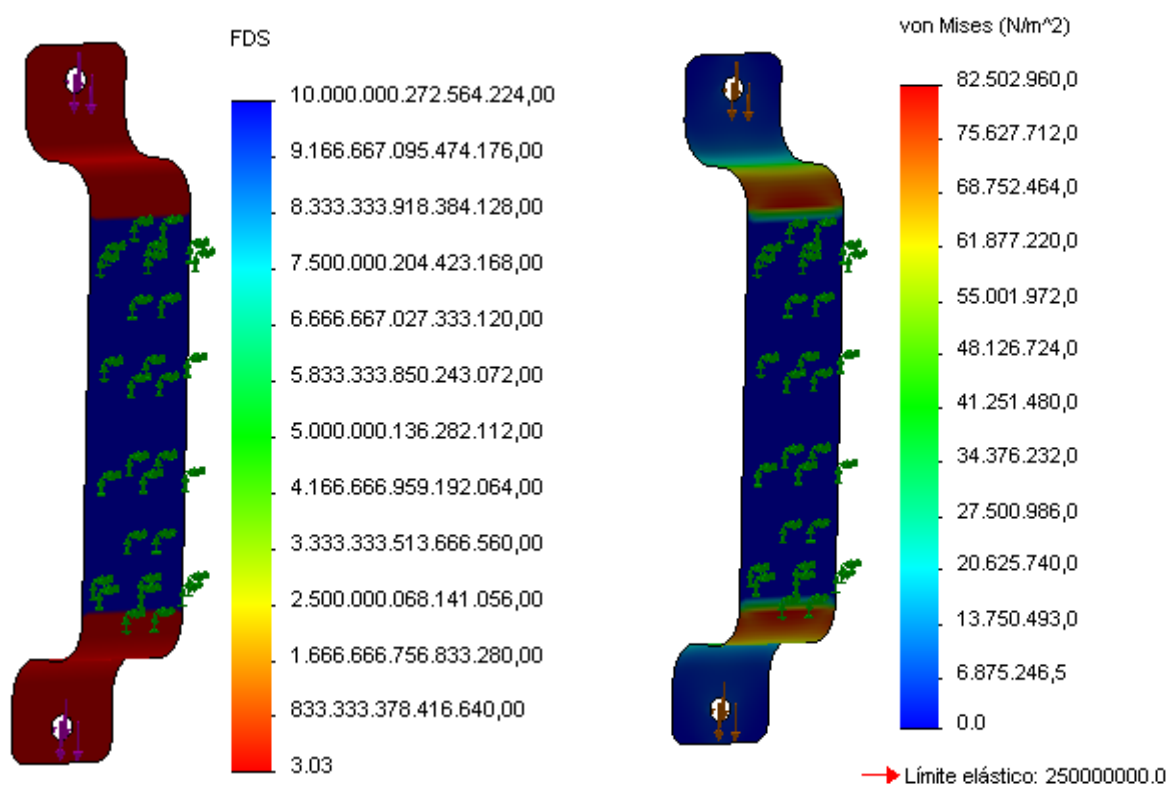


Figura 4. 15 Factor de seguridad mínimo y tensiones de Von Mises de la manija calculado por medio de Solidworks Simulation

De acuerdo al análisis obtenido la manija presenta un factor de seguridad de 3 en su parte más crítica, además los esfuerzos generados en esa zona son menores al límite elástico del material, razones por la cual la pieza no fallará.

4.2.5.8. Depósito de material

El depósito de material que se muestra en la figura 4.16 está construido de chapa metálica de 1.9 mm de espesor, mediante la simulación a su máxima capacidad de carga se puede obtener que el mismo va a presentar un factor de seguridad de 1.5, considerado aceptable.

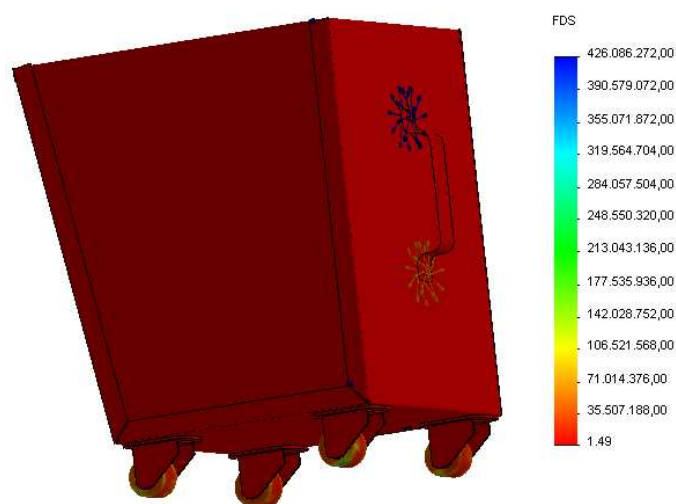


Figura 4. 16 Factor de seguridad mínimo calculado por medio de Solidworks Simulation

Los esfuerzos de Von Mises presentes en la estructura y que se observan en la figura 4.17 son menores a su límite elástico y se lo puede evidenciar por la coloración azul que presenta en toda la superficie del recipiente razón por la cual no sufrirá deformaciones plásticas durante su trabajo.

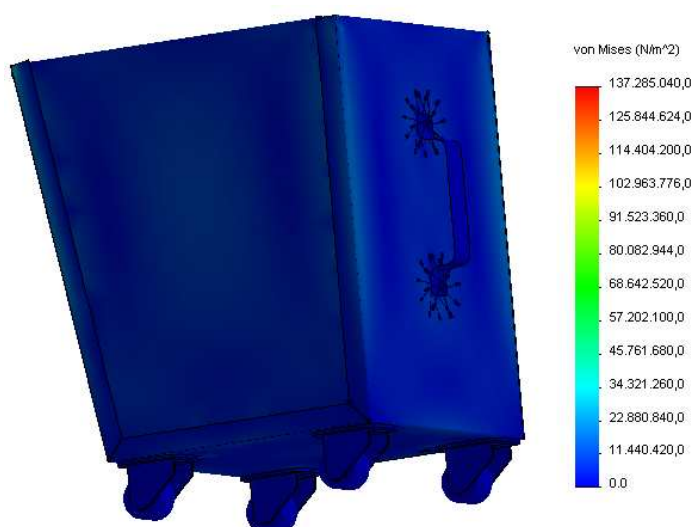


Figura 4. 17 Esfuerzos de Von Mises en la cámara de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation

4.2.5.9. Cámara de trituración

Claramente se puede observar en la figura 4.18 que se coloca todos los esfuerzos al que estará sometido a la cámara de trituración, tomando en cuenta a los pernos, peso de la tolva, eje y demás componentes en donde se obtuvo que el factor de seguridad es mayor a 2.7, lo cual por su coloración indica que tendrá una vida infinita; como se trata de la parte fundamental de la máquina se va a mantener los espesores del material.

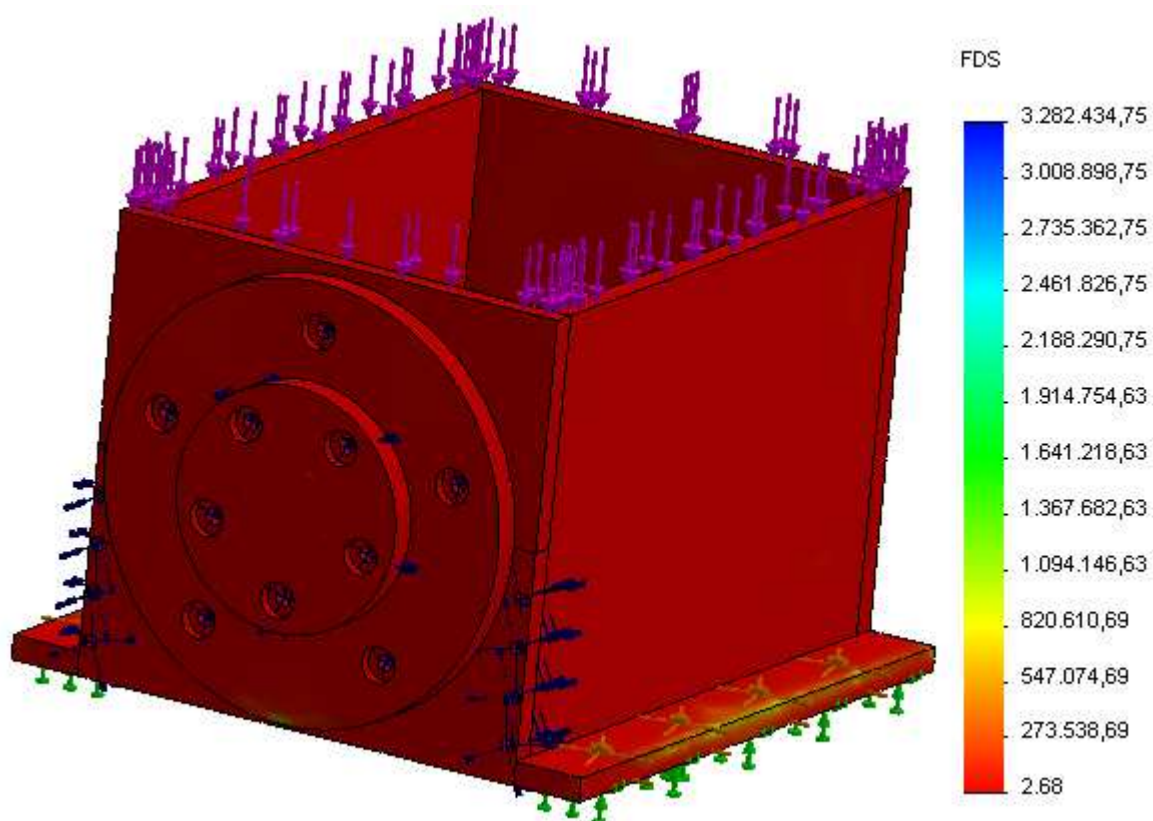


Figura 4. 18 Factor de seguridad mínimo de la cámara de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation

En la figura 4.19 se puede observar que las tensiones a las que está sometido la cámara de trituración con respecto a pernos de unión, peso del eje, cuchillas fijas y móviles y portacuchillas son mínimas y se lo evidencia en la coloración azul en casi la totalidad del ensamble, por lo tanto la deformación que se tiene es imperceptible.

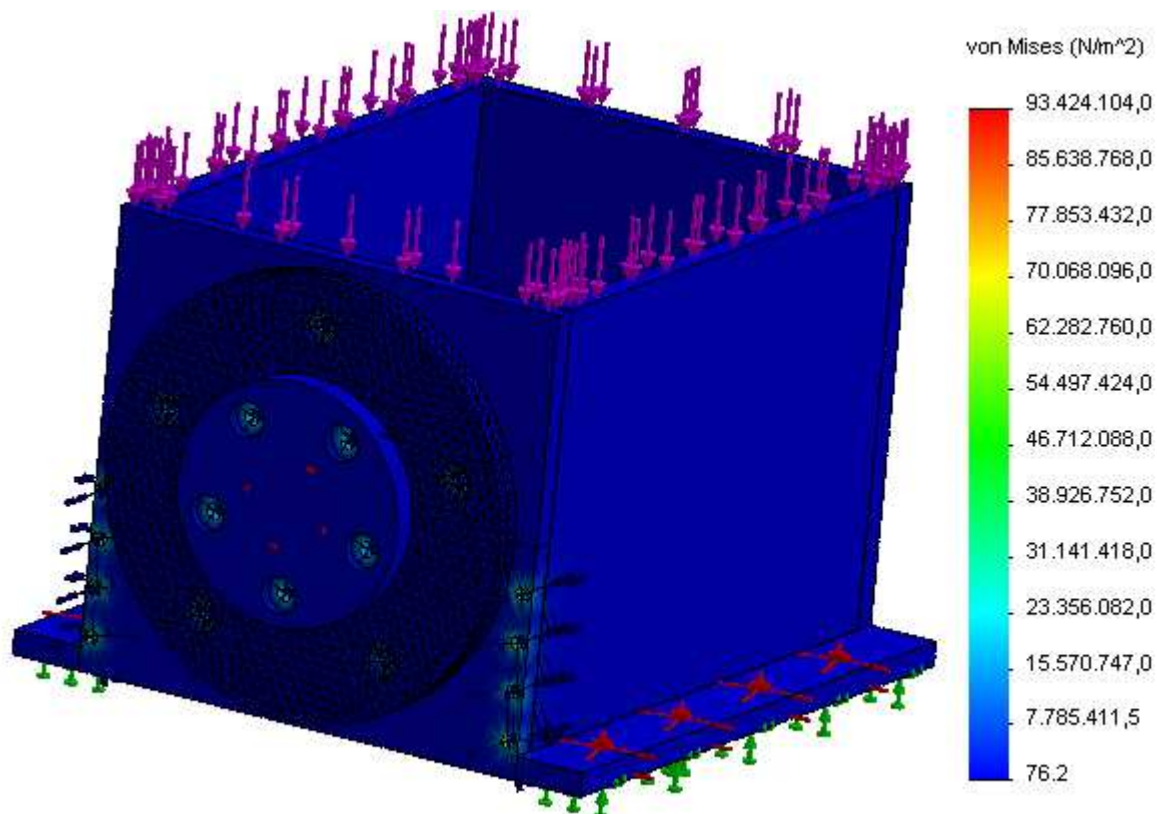


Figura 4. 19 Esfuerzos de Von Mises en la cámara de trituración calculado por medio de Solidworks Simulation

4.2.6. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

4.2.6.1. Acero ASTM A36 ⁴²

Debido a sus características y propiedades el acero ASTM A36 es utilizado en gran mayoría por la industria ecuatoriana; el porcentaje de carbón no supera el 1.2 % del peso de la composición y puede variar entre 0.2 % y el 0.3 % lo que lo hace fácilmente moldeable. Los datos de su composición química se detallan de mejor manera en la tabla 4.7.

Es utilizado para la fabricación de herramientas, en la construcción de maquinaria, estructuras metálicas, edificios puentes, torres de energía, torres para comunicación, edificaciones remachadas y obras públicas por el hecho de presentar un comportamiento lineal y elástico hasta la fluencia. Los datos de sus propiedades mecánicas se muestran en la tabla 4.8.

⁴² AZA Gerdau, (2002) "Compendio de normas para productos de acero", 1ra. Edición, Chile, págs. 20-23

Las piezas realizadas con acero A36 son fácilmente unidas mediante casi todos los procesos de soldadura como SMAW, GMAW y soldadura oxiacetilénica.

Este material es usado en la estructura que conforma la máquina, componentes de la cámara de trituración, mesa, criba, tolva y recipiente de almacenamiento.

Tabla 4. 7. Composición química acero ASTM A36.

ELEMENTOS	PERFILES	BARRAS	
	Todos	Hasta 19 mm	Sobre 19 mm hasta 38 mm
% C, máx	0,26	0,26	0,27
% Mn	-	-	0,60 a 0,90
% P, máx	0,04	0,04	0,04
% S. máx	0,05	0,05	0,05
% Si	-	-	-
% Cu mín	0,2	0,2	0,2

Fuente: Compendio de normas para productos de acero

Tabla 4. 8. Propiedades mecánicas acero ASTM A36. ⁴³

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Densidad	7850	Kg/m ³
Límite de fluencia	32 - 36 (250 - 280)	Ksi (Mpa)
Resistencia a la tensión	58 - 80 (400 - 550)	Ksi (Mpa)
Módulo de elasticidad	2900	Ksi
%de elongación mínimo	20 (8")	%
Punto de fusión	1538	°C

4.2.6.2. Acero ASSAB DF2 (AISI O1) ⁴⁴

Es un acero endurecido en aceite, de uso general muy versátil ya que contiene carbono, manganeso, cromo y wolframio como se observa en la tabla 4.9.; además es adecuado para una amplia variedad de aplicaciones de trabajo en frío.

Sus principales características incluyen:

Buena maquinabilidad, buena estabilidad durante el temple, buena combinación de alta dureza superficial y dureza después del temple y revenido.

⁴³ MANGONON Pat L., (2001) "Ciencia de Materiales: Selección y Diseño", Ed. Prentice Hall, 4ta. edición, México, pág.651

⁴⁴ http://www.bucorp.com/files/aisi_o1.pdf

Estas características se muestran en la tabla 4.10. las cuales se combinan para dar un acero adecuado para la fabricación de herramientas con buena vida útil y economía de producción.

Se usa en la máquina lo que concierne a las cuchillas móviles y a las cuchillas fijas ya que se van a someter a esfuerzos de impacto continuamente.

Tabla 4. 9. Composición química acero ASSAB DF2.

ANÁLISIS TÍPICO	C	Mn	Cr	W
	0.95	1.1	0.6	0.6

Tabla 4. 10. Propiedades mecánicas acero ASSAB DF2.

Temperatura	68 °F 20 °C	375 °F 200 °C	750 °F 400 °C
Densidad lb/in ³ kg/m ³	0.282 7800	0.280 7750	0.278 7700
Módulo de Elasticidad psi N/mm ²	28 x 10 ⁶ 190000	27 x 10 ⁶ 185000	25 x 10 ⁶ 170000
Coefficiente de expansión térmica desde °F hasta 68 °F desde °C hasta 20 °C	- -	6.5 x 10 ⁻⁶ 11.7 x 10 ⁻⁶	6.3 x 10 ⁻⁶ 11.4 x 10 ⁻⁶
Conductividad térmica Btu in /ft ² °F W/m °C	222 32	229 33	236 34
Calor específico Btu/lb °F J/Kg °C	0.11 460	- -	- -

4.2.6.3. Acero AISI 1045

Es un acero que se caracteriza por una buena soldabilidad, buena maquinabilidad, de gran resistencia y propiedades de impacto, ya sea en la condición de laminado en caliente o normalizada, debido a la composición química que presenta y q se lo evidencia en la figura 4.11

Es comúnmente usado en piezas endurecidas superficialmente por inducción o llama oxiacetilénica y para elementos de maquinaria que requieran de medianas propiedades mecánicas a un bajo costo.

Se lo aplica en engranajes, cigüeñales, ejes, espárragos, pernos, abrazaderas, piezas agrícolas, cadenas, etc.

El la máquina será utilizado este material en el eje de la trituradora.

Tabla 4. 11. Composición química acero AISI 1045. ⁴⁵

ELEMENTO	CONTENIDO
Carbon, C	0.420 - 0.50 %
Hierro, Fe	98.51 - 98.98 %
Manganeso, Mn	0.60 - 0.90 %
Fósforo, P	0.040 %
Azufre, S	0.050 %

Puede ser templado con el fin de obtener excelentes propiedades mecánicas como las que se muestra en la tabla 4.12., además puede maquinarse en frío y en grandes medidas puede ser maquinado en caliente.

Tabla 4. 12. Propiedades mecánicas acero AISI 1045. ⁴⁶

	RESISTENCIA A LA TENSION (Kg/cm²)	PUNTO DE CEDENCIA (Kg/cm²)	% ELOGACION EN 50.8 m.m.	REDUCC ION DE AREA	DUREZA BRINELL
Estirado en frío 1"Ø	7700	5500	19	32	220
Recocido (790°C) 1"Ø	5600	3375	30	54	160
Normalizado (900°C)	6100	3815	28	52	190
1"Ø	6000	3750	28	52	170
2"Ø	5900	3500	27	50	170
4"Ø					

⁴⁵ <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6130>

⁴⁶ http://iirsacero.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=41

Templado (840°C) y Revenido (180°C)					
1"Ø	7670	5330	24	63	210
2"Ø	7300	5210	26	66	195
4"Ø	7225	4536	27	67	190

CAPÍTULO 5

COSTOS

Los costos detallados a continuación son los correspondientes para la construcción de la máquina los cuales han sido obtenidos de diferentes proveedores ubicados en la ciudad de Quito y Valle de Tumbaco; se han escogido aquellos materiales que sean económicos y a su vez de buena calidad.

Los costos de la mano de obra se obtuvieron de la metalmecánica DISENIUM, ubicada en Rafael Ramos 737 sector La Luz; las proformas de los materiales están adjuntos en el ANEXO 6.

Los costos se agrupan de la siguiente manera:

Costos de materiales, costos de elementos mecánicos, costos de elementos varios y costo final de la máquina

5.1. COSTOS DE MATERIALES

En la tabla 5.1. se va a detallar todos los costos de aquellos materiales que sirven para la construcción de las partes constitutivas de la máquina, estos están divididos de acuerdo al espesor si son planchas de acero o platinas, de acuerdo al tamaño del diámetro si son ejes y también de acuerdo al tipo de material, esto se realiza con la finalidad de tener un orden en los diferentes materiales a comprar y además saber la cantidad exacta de cada uno de ellos, para así evitar comprar material en exceso.

5.2. COSTOS DE ELEMENTOS MECÁNICOS

Los elementos mecánicos en este caso son todos aquellos que sirven para unir o permitir los acoples entre las diferentes piezas constitutivas de la máquina los mismos que se detallan en la tabla 5.2.

Tabla 5. 2. Elementos mecánicos.

DESCRIPCIÓN	PROVEEDOR	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
Anillo de seguridad exterior 38 x 1.75	LA CASA DEL PERNO	U	2	0,490	0,98
Anillo de seguridad interior 25 x 1.2	LA CASA DEL PERNO	U	3	1,210	3,63
Rodamiento de bolas de una hilera FAG 6005 2RSR	ACEROS H.G.B.	U	2	4,480	8,96
Rodela de presión PLG Galvanizada 3/16	LA CASA DEL PERNO	U	14	0,020	0,28
Tuerca Acero MM UNC 5 - 1.0	LA CASA DEL PERNO	U	4	0,040	0,16
Rodela Inoxidable de presión 5/16	LA CASA DEL PERNO	U	75	0,060	4,50
Tuerca Original UNC 8'	LA CASA DEL PERNO	U	28	0,180	5,04
Tuerca Acero MM UNC 4 - 1.0	LA CASA DEL PERNO	U	18	0,040	0,72
Rodela de presión PLG Galvanizada 1/4	LA CASA DEL PERNO	U	8	0,030	0,24
Perno Allen Cabeza Redonda M6 x 10	LA CASA DEL PERNO	U	8	0,140	1,12
Perno Allen Cabeza Redonda M8 x 12	LA CASA DEL PERNO	U	5	0,205	1,03
Perno Original 5 x 25 - 1 GR. 8.8	LA CASA DEL PERNO	U	4	0,150	0,60
Perno Original UNC 8 x 30 - 1.25 GR. 8.8	LA CASA DEL PERNO	U	4	0,410	1,64
Perno Original UNC 8 x 40 - 1.25 GR. 8.8	LA CASA DEL PERNO	U	16	0,450	7,20
				TOTAL	36,10

5.3. COSTOS DE ELEMENTOS VARIOS

Estos corresponden a aquellos elementos que no ingresan en ninguna de las categorías antes mencionadas como los que se detallan en la tabla 5.3. pero son de gran utilidad ya que son accesorios necesarios para el correcto funcionamiento; se seleccionó a diferentes proveedores debido a que se tomó en cuenta los costos más convenientes de los materiales que ellos ofrecen.

Tabla 5. 3. Costos de elementos varios.

DESCRIPCIÓN	PROVEEDOR	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
Motor eléctrico monofásico 2 HP 110V/220V 1800 rpm WEG	KYWI	U	1	176,99	176,99
Banda de caucho en V Tipo 3V600 L = 64 plg.	R.I.L.E.R.	U	1	9,30	9,30
Bisagra acero lat.ant 3" C/P	KYWI	U	3	2,51	7,53
Polea Aluminio 1 canal 1/2 x 14"	ACEROS H.G.B.	U	1	20,35	20,35
Polea Aluminio 1 canal 1/2 x 3 1/2"	KYWI	U	1	2,84	2,84
Cable sólido # 10	KYWI	ML	1	0,93	0,93
Switch interruptor 2 polos x 40 A Power veto	KYWI	U	1	8,77	8,77
Electrodo AGA 6011 1/8" 3,25 mm C/Kg	KYWI	KG	1	4,23	4,23
Garrucha 1.5 " 15 Kg de capacidad	KYWI	U	4	0,41	1,64
Implementos de oficina	N/A	U	1	60,00	60,00
Transporte	N/A	U	1	30,00	30,00
				TOTAL	322,58

5.4. COSTO DE MANO DE OBRA

En la tabla 5.4. se detalla el costo que se requiere para la elaboración de cada una de las piezas constitutivas de la máquina tomando en consideración el trabajo de maquinado a realizar en ellas, cabe recalcar que el costo de la mano de obra del trabajador y de las máquinas está incluido ya en los precios.

Tabla 5. 4. Costos de mano de obra.

PIEZAS	TRABAJO A REALIZAR	GOLPE/HORA/ML/DOBLEZ/CORTE	COSTO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Tapa frontal bastidor	Cizalla Hidráulica	CORTE	1,100	4,00	4,40
	Cortadora Plasma	ML	2,000	0,17	0,34
	Limadora	HORA	0,210	0,40	0,08
Placa lateral bastidor	Cizalla Hidráulica	CORTE	1,100	5,00	5,50
	Limadora	HORA	0,210	0,40	0,08
Tapa tracera bastidor	Cizalla Hidráulica	CORTE	1,100	4,00	4,40
	Cortadora Plasma	ML	2,000	0,15	0,30
	Limadora	HORA	0,210	0,40	0,08
Disco del bastidor	Cortadora Plasma	ML	2,000	0,46	0,92
	Fresadora	HORA	2,520	0,50	1,26
	Taladro de banco	HORA	0,327	0,33	0,11
	Machuelo	HORA	0,210	0,50	0,11
	Limadora	HORA	0,210	0,40	0,08
Soporte bastidor	Cizalla Hidráulica	CORTE	1,100	3,00	3,30
	Fresadora	HORA	2,520	0,50	1,26
	Taladro de banco	HORA	0,327	0,30	0,10
	Machuelo	HORA	0,210	0,70	0,15
	Limadora	HORA	0,210	0,20	0,04
Soporte cuchillas fijas	Cizalla Hidráulica	CORTE	1,100	2,00	2,20
	Fresadora	HORA	2,520	0,50	1,26
	Taladro de banco	HORA	0,327	0,33	0,11
	Machuelo	HORA	0,210	0,70	0,15
	Limadora	HORA	0,210	0,20	0,04
Criba de media luna	Cizalla Hidráulica	CORTE	0,900	2,00	1,80
	Taladro de banco	HORA	0,327	1,00	0,33
	Prensa hidráulica	GOLPE	0,900	1,00	0,90
	Machuelo	HORA	0,210	0,70	0,15
	Limadora	HORA	0,210	0,60	0,13
Cuchilla fija	Amoladora	HORA	0,305	0,40	0,12
	Fresadora	HORA	2,520	1,00	2,52
	Taladro de banco	HORA	0,327	1,00	0,33
	Machuelo	HORA	0,210	0,70	0,15
	Limadora	HORA	0,210	0,60	0,13
Chaveta	Amoladora	HORA	0,305	0,40	0,12
	Fresadora	HORA	2,520	0,60	1,51
	Limadora	HORA	0,210	0,40	0,08
Eje de la trituradora	Sierra vaiven	CORTE	0,200	1,00	0,20
	Torno	HORA	3,950	1,50	5,93
	Pulidora	HORA	0,763	0,30	0,23

Portacuchilla	Torno	HORA	3,950	1,00	3,95
	Fresadora	HORA	2,520	1,00	2,52
	Sierra vaiven	CORTE	0,200	8,00	1,60
	Taladro de banco	HORA	0,327	1,00	0,33
	Machuelo	HORA	0,210	1,00	0,21
	Limadora	HORA	0,210	1,00	0,21
Cuchilla móvil	Amoladora	HORA	0,305	0,70	0,21
	Fresadora	HORA	2,520	1,50	3,78
	Taladro de banco	HORA	0,327	1,50	0,49
	Machuelo	HORA	0,210	0,70	0,15
	Limadora	HORA	0,210	1,00	0,21
Mesa	Cizalla Hidráulica	CORTE	0,700	4,00	2,80
	Taladro de banco	HORA	0,327	1,50	0,49
	Machuelo	HORA	0,210	0,70	0,15
	Limadora	HORA	0,210	0,30	0,06
Estructura	Sierra vaiven	CORTE	0,100	10,00	1,00
	Limadora	HORA	0,210	0,40	0,08
Tolva	Cizalla Hidráulica	CORTE	0,700	5,00	3,50
	Cizalla Manual	CORTE	0,100	10,00	1,00
	Dobladora Tol	DOBLEZ	0,100	14,00	1,40
	Punzonado	GOLPE	0,020	16,00	0,32
	Limadora	HORA	0,210	0,15	0,03
Depósito de material	Cizalla Hidráulica	CORTE	0,700	6,00	4,20
	Cizalla Manual	CORTE	0,100	4,00	0,40
	Dobladora Tol	DOBLEZ	0,100	10,00	1,00
	Punzonado	GOLPE	0,020	12,00	0,24
	Limadora	HORA	0,210	0,15	0,03
Manija	Cizalla Manual	CORTE	0,100	4,00	0,40
	Dobladora Tol	DOBLEZ	0,500	8,00	4,00
	Punzonado	GOLPE	0,020	4,00	0,08
	Limadora	HORA	0,210	0,05	0,01
Tapeta eje	Cortadora Plasma	ML	2,000	0,71	1,42
	Fresadora	HORA	2,520	0,40	1,01
	Taladro de banco	HORA	0,327	0,40	0,13
	Machuelo	HORA	0,210	0,50	0,11
	Limadora	HORA	0,210	0,15	0,03
Tapeta rodamiento	Cortadora Plasma	ML	2,000	0,10	0,20
	Fresadora	HORA	2,520	0,40	1,01
	Taladro de banco	HORA	0,327	0,40	0,13
	Machuelo	HORA	0,210	0,50	0,11
	Limadora	HORA	0,210	0,15	0,03
Tapa salida de criba	Cizalla Hidráulica	CORTE	1,100	4,00	4,40
	Cortadora Plasma	ML	2,000	0,17	0,34
	Taladro de banco	HORA	0,327	0,40	0,13

	Machuelo	HORA	0,210	0,50	0,11
	Limadora	HORA	0,210	0,80	0,17
Placa guía de material	Cizalla Manual	CORTE	0,100	3,00	0,30
	Dobladora Tol	DOBLEZ	0,100	6,00	0,60
Protector poleas	Cizalla Hidráulica	CORTE	0,700	2,00	1,40
	Cizalla Manual	CORTE	0,100	6,00	0,60
	Dobladora Tol	DOBLEZ	0,100	4,00	0,40
	Punzonado	GOLPE	0,020	8,00	0,16
	Limadora	HORA	0,210	0,15	0,03
Placas soporte estructura	Cizalla Hidráulica	CORTE	0,700	7,00	4,90
	Limadora	HORA	0,210	1,00	0,21
Máquina en general	Suelda eléctrica DC	HORA	0,480	2,00	0,96
Máquina en general	Pintura electrostática	HORA	2,520	1,00	2,52
Máquina en general	Horno de pintura	HORA	0,510	2,00	1,02
				COSTO TOTAL	98,16

5.5. COSTO FINAL

En la tabla 5.5. se muestra los costos totales de cada uno de los rubros anteriores al cual también se le añade los costos referente a imprevistos, diseño y la utilidad correspondiente para de esta manera llegar a tener el costo final de la máquina.

Tabla 5. 5. Costo Máquina.

RUBRO		COSTO
MATERIALES		149,20
ELEMENTOS MECÁNICOS		36,10
ELEMENTOS VARIOS		322,58
MANO DE OBRA		98,16
COSTO TOTAL DEL RUBRO		606,03
IMPREVISTOS	10%	60,60
DISEÑO	15%	90,90
UTILIDAD	15%	90,90
VALOR OFERTADO (USD)		848,44

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El resultado de las encuestas realizadas al personal de aseo del campus permitió determinar el flujo aproximado de botellas PET que se generan diariamente, valor que fue de gran utilidad para el dimensionamiento de la máquina.
- Las especificaciones técnicas de la máquina fueron determinadas por medio de la casa de la calidad la misma que toma en consideración los requerimientos del cliente en este caso del Laboratorio de Conformado y los productos similares existentes en el mercado; todo esto con el fin de traducir toda esta información a especificaciones técnicas que permitirán el diseño de la máquina.
- Para el desarrollo de la máquina se emplea el diseño concurrente, el cual consiste en establecer las funciones de la misma, con el fin de agruparlas en módulos para de esta manera poder trabajarlos en paralelo reduciendo tiempo de diseño, costos en el desarrollo del producto y asegurar el cumplimiento y expectativas del laboratorio.
- La máquina consta de tres módulos; Módulo 1: Ingreso de materia prima, Módulo 2: Cámara de trituración y Módulo 3: Almacenaje.
- El módulo 1 es una tolva mixta con tapa, desarrollado en chapa metálica de 0.9 mm de espesor, combinando la geometría rectangular y trapezoidal para evitar que restos de materia prima entren en contacto con el operador durante la fase de trituración y a su vez concentre el material en la cámara de trituración.

- El módulo 2 se compone de una serie de cuchillas y portacuchillas desfasadas 12° una de la otra y dispuestas a lo largo del eje con la finalidad de dar la forma de tornillo sin fin, lo cual ayuda con el problema de atascamiento que se presenta al ingresar una gran cantidad de material a la vez; también consta de una criba la cual tiene una geometría de un semicilindro con una matriz de agujeros pasantes de 7 mm de diámetro, para obtener un material triturado igual o menor a este valor, debido a que las máquinas inyectoras no aceptan pellets (pequeñas porciones de material triturado) de mayores dimensiones. El material que no cumple con las especificaciones continúa en el proceso cíclico de trituración hasta obtener el tamaño deseado y poder pasar a través de la criba.
- El módulo 3 es un recipiente de geometría trapezoidal desarrollado en chapa metálica de 1.9 mm de espesor el cual consta de cuatro ruedas giratorias para una mayor facilidad de transporte de la materia prima y una manija en uno de sus lados para una mayor manipulación.
- Los cálculos analíticos de algunas de las piezas constituyentes de la máquina fueron comprobados por la simulación realizada en solidworks, además se realizaron simulaciones de un conjunto de piezas para verificar su correcto funcionamiento y establecer los espesores de los materiales idóneos para el trabajo al que estarán sometidos, obteniéndose factores de seguridad adecuados.
- La máquina está diseñada para obtener un flujo de materia prima aproximado de 15 kg/h con un recipiente de almacenamiento de 70 Kg, es accionado por un motor eléctrico de 1.5 hp y su torque es transmitido hacia el eje de trituración por medio de dos poleas de diferente diámetro.
- Debido a la poca complejidad de las piezas, estas se las puede realizar en cualquier taller metalmecánico que tenga fresadora, taladro, torno, suelda eléctrica, etc.
- La máquina tiene un peso aproximado de 90 kg.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar las botellas plásticas de PET generadas en el campus como materia prima para la máquina, con eso se evitaría la compra de material (pellets) el cual tiene un costo comercial elevado.
- El mantenimiento de la máquina debe ser regular, este dependerá de uso que se le dé a la máquina, se debe procurar revisar el estado de los rodamientos y el correcto afilado de las cuchillas, en el caso de que una de ellas necesite de afilado se la puede extraer fácilmente y la máquina podrá seguir triturando hasta ser colocada de nuevo en su lugar.
- Se recomienda triturar solamente plásticos sólidos previamente extrayendo materiales como cauchos y plásticos blandos (fundas, etiquetas, etc) para evitar que se acumule en rodamientos o zonas no deseadas.
- El mantenimiento lo puede realizar cualquier persona que tenga un conocimiento básico del mismo ya que la máquina no es compleja.
- Realizar una limpieza dentro de la cámara de trituración después de cada vez que se utilice la máquina para evitar la acumulación en las zonas donde se asienta la criba.
- Procurar cerrar la tapa y nunca ingresar el brazo completo en la alimentación de material por la tolva durante el proceso de trituración para evitar accidentes. Tomar en cuenta todas las precauciones del caso.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AZA Gerdau, (2002) *“Compendio de normas para productos de acero”*, 1ra. Edición, Chile
- [2] BUDYNAS R. NISBETT K.,(2008) *“Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”*, Ed. Mc Graw Hill, 8va. edición, México
- [3] ELIAS Xavier, (2009) *“Reciclaje de Residuos Industriales”*, Ed. Díaz de Santos, 2da Edición, España
- [4] FAG, (2000) *“Catalogo de rodamientos WL 41 520/3 SB”*, Ed. FAG, España
- [5] MANGONON Pat L., (2001) *“Ciencia de Materiales: Selección y Diseño”*, Ed. Prentice Hall, 4ta. Edición, México
- [6] NOGUÉS F. GARCÍA D., (2010) *“Energía de la biomasa”*, Ed. Prensas Universitarias de Zaragoza, 1ra. edición, España
- [7] RIBA Carles, (2002) *“Diseño Concurrente”*, Ed. UPC, 1ra. edición, Barcelona
- [8] RONALD H. Fleck, (1953) *“Plásticos: Su estudio científico y tecnológico”*, Ed. Gustavo Gili, 1ra. edición, Barcelona
- [9] SHIGLEY Joseph, (1989) *“Manual de Diseño Mecánico”*, Ed. Mc Graw Hill, Tomo 1; 4ta. edición, México

- [10] The GoodYear Tire and Rubber Company, (1990) *“Engineering data for multiple V-belts”*, Ed. GoodYear, USA
- [11] VAN DER VEGT A.K, GOVAERT L. E.,(2005) *“Polimeren: van Keten tot kunstof”*, Ed. Centraal Boekhuis, Germany

PÁGINAS WEB

- <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/aago.pdf> (06/07/2012)
- http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_14_MEC01.pdf (07/07/2012)
- <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PET/OPCIONES%20DE%20RECUPERACION.htm> (07/07/2012)
- <http://www.trittonxxi.com/ri-triturador-trituradores-trituradora-trituradoras/molino-triturador-precios/plasticos/carton/18> (21/07/2012)
- http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06_Apunte%20Molienda.pdf (22/07/2012)
- <http://trituradoras-de-roca.com/Trituradora-Fija/Trituradora-de-martillos.html> (22/07/2012)
- http://www.multiplastic.com.mx/productos/detalle_producto/4/292/industrial/botella_pet_anillada_500_ml (02/11/2012)
- <http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema05.pdf> (02/11/2012)
- http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/SWHelp_List.html?id=528bacc70a174f5e90ab9a60fb0e1c05#Pg0 (16/01/2013)
- http://www.bucorp.com/files/aisi_o1.pdf (22/01/2013)

- <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6130> (23/01/2013)
- http://iirsacero.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid (25/01/2013)

ANEXOS

ANEXO 1 - MÁQUINAS DEL MERCADO

Serie SUMO Minor

Para piezas de tamaño pequeño y medio

- 2 modelos disponibles
- Tamaño compacto
- Altura de alimentación baja
- Potencia hasta 1,1 kW (*Minor 1*) y 1,5 kW (*Minor 2*) con motorreductor directamente en el eje
- Tolva de policarbonato

Opción:

Tolva de plancha de metal insonorizada (interior en acero inoxidable)



Tipo SUMO	Cámara de corte mm	Cuchillas	Rodillos	Potencia kW (opción)	Velocidad del rotor rpm (50 Hz)	Caudal medio kg/h*
Minor 1	240 x 160	1	2	0,75 (1,1)	27	7
Minor 2	240 x 249	2	3	1,1 (1,5)	27	12

* Dependiendo de la naturaleza, forma, densidad de las piezas a ser procesadas y el tamaño de triturado de los rodillos dentados.

Minor 2



Serie SUMO Minor con alimentador de rosca sinfín

Para recibir piezas debajo de la máquina de moldeo

Esta serie está equipada con un alimentador de rosca sinfín para ser colocada directamente debajo de la máquina de moldeo por inyección. El diseño está basado en las dimensiones de la cámara de corte del *Minor 1*.

Opciones:

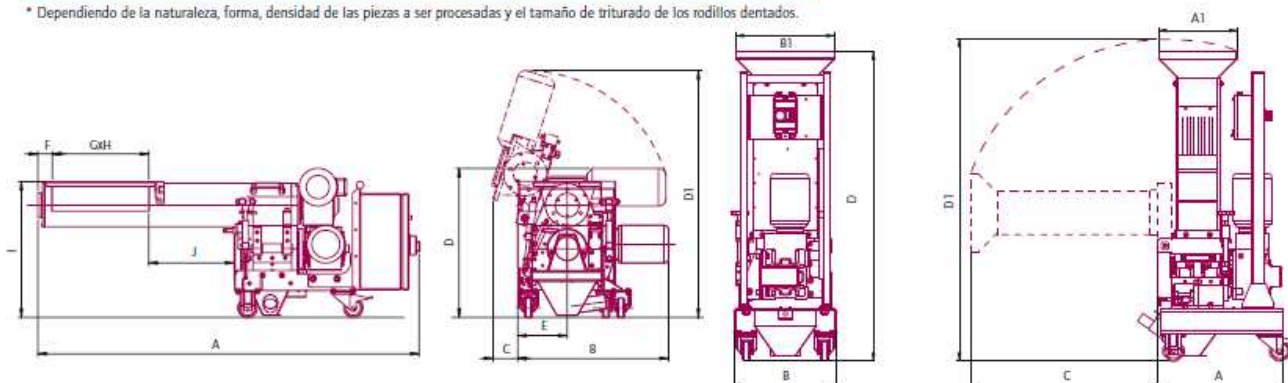
- Diferentes longitudes de apertura del alimentador: 600 x 230 mm (24" x 9")
- Sistema de detección de metal "METALSTOP" (patentado)
- Doble ARS (sistema de reversa automática) en el alimentador y el rotor
- Detector de nivel alto
- Tolva en el alimentador para alimentación por robot
- Ejecución reversible: motorreductores y apertura de tornillo sinfín al otro lado
- Altura del alimentador 543 mm (21") y recipiente con salida giratoria en 360°

Molino Minor con alimentador



SUMO	Cámara de corte mm	Cuchillas	Rodillos	Potencia kW (opción)	Velocidad del rotor rpm (50 Hz)	Caudal medio kg/h*
Minor 1 Auger	240 x 160	1	2	0,75 (1,1)	27	7

* Dependiendo de la naturaleza, forma, densidad de las piezas a ser procesadas y el tamaño de triturado de los rodillos dentados.



SUMO Minor 1	Dimensiones mm											Peso kg
	A	B	C	D	D1	E	F	G	H	I	J	
Alimentador:	1.580	626	103	618	1.023	205	60	400	230	563	356	160

Especificaciones sujetas a cambios sin previa notificación.

SUMO	Dimensiones mm							Peso kg
	A	A1	B	B1	C	D	D1	
Minor 1	510	318	420	400	759	1.256	1.308	160
Minor 2	598	406	420	400	759	1.256	1.343	180

Especificaciones sujetas a cambios sin previa notificación.

Serie SUMO Junior

Para piezas de tamaño medio

- 3 modelos disponibles
- Motorreductor con acoplamiento fácil de desconectar para facilitar el mantenimiento
- Potencia: 1,5 o 2,2 kW mediante motorreductor y acoplamiento
- Tolva de plancha de metal insonorizada (interior en acero inoxidable)

- **Opción:**
Tolva de policarbonato

SUMO	Cámara de corte mm	Cuchillas	Rodillos	Potencia kW (opción)	Velocidad del rotor rpm (50 Hz)	Caudal medio kg/h*
Junior 1	240 x 225	1	2	1,5 (2,2)	27	10
Junior 2	240 x 346	2	3	2,2	27	20
Junior 3	240 x 467	3	4	2,2	27	30

* Dependiendo de la naturaleza, forma, densidad de las piezas a ser procesadas y el tamaño de triturado de los rodillos dentados.

Junior 2 con ARS (sistema de reversa automática)



Serie SUMO Junior Doble

Para piezas de tamaño grande

La **Serie JD** está equipada con un doble rotor que permite el procesamiento de piezas grandes, así como caudales mayores, p.e. grandes piezas de la automoción; parachoques, salpicaderos, etc.

Los tres modelos **JD4**, **JD6** y **JD8** utilizan componentes de corte intercambiables

- Apertura de tolva asistida por válvula de gas
- Recipiente de vacío con adaptador giratorio en 360° montado en ruedas

- **Opción:**
Los tres modelos **JD43**, **JD63** y **JD83** disponen de un tercer eje en la tolva para la alimentación de las piezas a la cámara de corte.

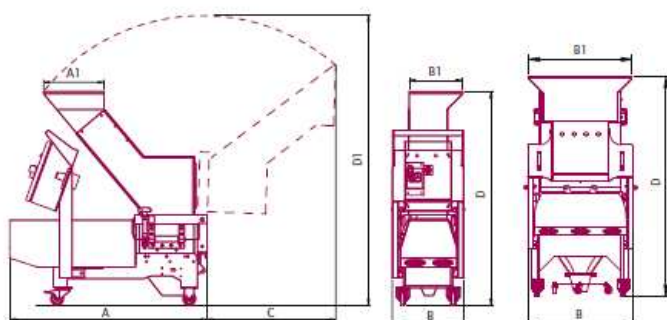
Type SUMO	Cámara de corte mm	Cuchillas	Rodillos	Potencia kW (opción)	Velocidad del rotor rpm (50 Hz)	Caudal medio kg/h*
JD4	530 x 346	4	6	2 x 2,2	27	40
JD6	530 x 467	6	8	2 x 2,2	27	60
JD8	530 x 588	8	10	2 x 2,2	27	70

* Dependiendo de la naturaleza, forma, densidad de las piezas a ser procesadas y el tamaño de triturado de los rodillos dentados.

JD4



JD 83 con eje de alimentación en la tolva



Tipo SUMO	Dimensiones mm						Peso kg	
	A	A1	B	B1	C	D		
Junior 1	1.134	385	456	339	821	1.360	1.844	200
Junior 2	1.255	385	456	339	821	1.360	1.844	250
Junior 3	1.376	435	456	339	821	1.425	1.944	300
JD4	1.256	536	790	730	859	1.551	2.140	600
JD6	1.377	536	790	730	859	1.551	2.140	650
JD8	1.715	770	926	800	1.541	2.389	2.741	800
JD43	1.416	432	790	525	923	1.638	2.033	700
JD63	1.547	550	867	600	1.135	1.837	2.174	750
JD83	1.715	870	926	800	1.541	2.389	2.741	850

Especificaciones sujetas a cambios sin previa notificación.

MAS1 y MAS3 con rotor escalonado

Rotor con 3 x 3 (MAS1) o 8 x 3 (MAS3) cuchillas escalonadas

Ventajas

- Trituración de excelente calidad
- Las cuchillas escalonadas del rotor ofrecen la solución óptima para "empujar" las piezas hacia la cámara de corte.
- La fuerza de corte es distribuida a través de varias cuchillas giratorias de alta aleación y endurecidas, que ofrecen un corte tipo tijera simple para mayor ahorro de energía, junto con una operación silenciosa y alto rendimiento de corte.
- Las cuchillas giratorias se pueden afilar varias veces dependiendo del desgaste. La geometría de corte de las cuchillas permite que sean cambiadas sin necesidad de ajustes adicionales.
- Las dos cuchillas fijas se pueden girar cuatro veces antes de cambiarlas.
- El tiempo de parada al cambiar cuchillas se reduce a un mínimo.
- Limpieza fácil y simple

MAS1



MAS2 y MAS4 con rotor abierto

Rotor abierto con 3 cuchillas móviles y 2 fijas

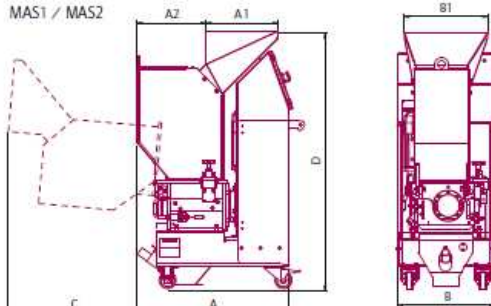
Ventajas

- Los molinos producen un material triturado de alta calidad y un mínimo de polvo.
- Todo molino lleva incorporado un calibre de pre-ajuste que permite el ajuste fácil y rápido de las cuchillas para una distancia de corte óptima.
- Las cuchillas móviles segadas del rotor abierto, combinadas con dos cuchillas fijas inclinadas ofrecen un doble corte tipo tijera que mejora aún más la calidad del triturado y minimiza el polvo.
- La circulación óptima del aire dentro de la cámara de corte previene la degradación térmica de la estructura molecular o la fundición del material.
- Las pinzas de tensión patentadas de las cuchillas del rotor aseguran un fácil procedimiento de limpieza y mantenimiento.
- Limpieza rápida y fácil

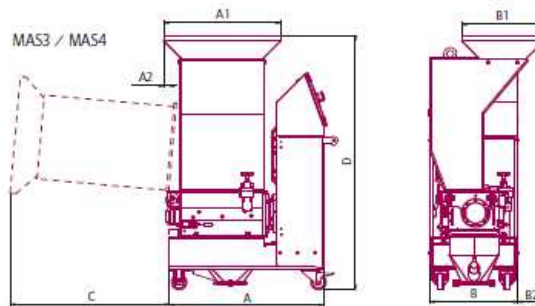
MAS2



MAS1 / MAS2



MAS3 / MAS4



Tipo	Ø Rotor mm	Velocidad del rotor rpm	Cámara de corte mm	Potencia kW	Polea de inercia	Rotor	Cuchillas fijas/giratorias	Taladros de la rejilla ø mm	Caudal kg/h*
MAS1	180	200	130 x 247	2,2	Opción	Cuchillas escal.	2 / 3 x 3	4 - 5 - 6	30
MAS2	180	200	247 x 255	4	Opción	abierto	2 / 3	4 - 5 - 6 - 8	70
MAS3	180	200	325 x 190	4	Estándar	Cuchillas escal.	2 / 8 x 3	4 - 5 - 6 - 8	80
MAS4	180	200	420 x 190	4	Estándar	abierto	2 / 3	4 - 5 - 6 - 8	110

* Dependiendo de la naturaleza, forma y densidad de los productos a ser procesados. Bajo condiciones de alimentación manual, se realizaron pruebas para la determinación del caudal con tapones de PE/PP.

ANEXO 2 - ENCUESTA AL PERSONAL DE ASEO

ENCUESTA PARA EL PERSONAL DE ASEO EPN

FACULTAD: _____

FECHA: _____

Escuche detenidamente la pregunta y conteste con el mayor grado de sinceridad.

La recolección de basura en la Facultad se la realiza:

diaria semanal mensual

¿En cuál de estos lugares se acumula la mayor cantidad de basura?

aulas espacios de recreación

baños oficinas

Existe la clasificación de basura recolectada:

Siempre A veces Nunca

¿Qué tipo de basura se genera en mayor cantidad?

plástico vidrio

cartón papel

desechos orgánicos otros

Dentro de la basura plástica ¿cuál es la que se tiene en mayor cantidad?

plásticos sólidos plásticos blandos

Dentro de los plásticos sólidos se tiene:

botellas de bebidas vasos desechables

otros

ANEXO 3 - CÁLCULO DE BANDAS Y POLEAS

Procedimiento para el cálculo de bandas

SELECTING A HY-T WEDGE V-BELT DRIVE

The data sheet on page 91 contains the essential information needed to determine a Hy-T Wedge V-belt drive. Please note that these belts are not normally recommended on V-Flat drives. After completing the data sheet the charts and tables on Pages 7 to 28 are used. To explain the charts and tables let's assume

we have a 1750 RPM squirrel cage electric motor to drive a 12 HP punch press at 874 RPM. The motor pulley is 5.3" outside diameter (OD) and the driven pulley 10.6" OD. The desired center distance is 16" \pm 1". The drive operates 12 hours per day.

USING THE DRIVE SELECTION TABLES

STEP 1 DETERMINING SERVICE FACTOR

Refer to Table 1 "Typical Service Factors" Page 7. Locate the type of driven equipment and extend to the type of driver equipment. This is the basic service factor. If an idler is used increase the service factor by the indicated value.

STEP 2 FIND DESIGN HORSEPOWER

Multiply load by Service Factor
 $12 \times 1.2 = 14.4$ Design HP

STEP 3 CHOOSE BELT SECTION

Turn to Table 2 "Cross Section Selection Chart" Page 8 and locate 14.4 (Design HP). Read up to intersection with 1750 (RPM of faster shaft) where 3V section is indicated.

STEP 4 DETERMINE BELT SIZE

Turn to Table 8 "Drive Selection Table" Page 11, 3V Section and locate the column 1750 RPM driver speed. Follow down this column to 870 RPM (the

closest driven speed to the desired 874 RPM) then read across to 15.3" center distance and read up to find belt size 3V560. Thus a 3V560 belt has been selected at 15.3" nominal centers.

STEP 5 FIND NUMBER OF BELTS

Still referring to Table 8 and reading to right of 870 RPM we find 5.95 horsepower per belt. We also note that the 15.3" center distance has a combined Arc-Length Horsepower Correction Factor of 0.96.
 $5.95 \times 0.96 = 5.71$ HP

From Step 2 we have 14.4 Design HP

$$\text{Number of belts required} = \frac{\text{Design HP}}{\text{HP per belt}} = \frac{14.4}{5.71} = 2.52 =$$

Use 3 belts.

STEP 6 SUMMARY

1. 3 belts 3V560 (matched one set of 3)
2. 5.3" OD 3 groove 3V pulley
3. 10.6" OD 3 groove 3V pulley
4. Center to center operating distance 15.3 nominal

USING THE COMPLETE HORSEPOWER TABLES

STEPS 1, 2, AND 3

Same as when using the drive selection tables.

STEP 4 DETERMINE BELT SIZE

Using the length formula on Page 88 we find that 56" outside length is required. Referring to the size tables on Page 28, we find a 3V560 to be 56" effective outside length. Thus use 3V560.

STEP 5 FIND NUMBER OF BELTS

- (a) From 3V cross section complete horsepower Table 11, Page 14 we find 1700 and 1800 RPM listings then by interpolation we find that 1750 RPM and 5.3" OD pulley has a 5.59 rated horsepower per belt.
- (b) The speed ratio is determined by dividing the RPM of the faster machine by the RPM of the slower machine or the pitch diameter of the larger pulley by the pitch diameter of the small pulley. From Table 23, Page 26 we determine pitch diameter by subtracting 2a from OD. Thus for 3V pulleys 5.3" OD and 10.6" OD the pitch diameters are 5.25 and 10.55 respectively.

$$\text{Speed Ratio} = \frac{10.55}{5.25} = 2.01$$

Interpolating for 1750 RPM (Table 11) and using the speed ratio of 2.01 we have .36 additional horsepower per belt. (In this example we could have read HP directly under the 1750 RPM motor speed in the upper section of Table 11.)

- (c) Total basic horsepower is 5.59 plus .36 or 5.95.
- (d) From Table 5, Page 8 we find that a 3V560 has a length correction factor of 0.98.
- (e) From Table 4, Page 8 we find the arc correction factor "G" to be .95.

$$\frac{D - d}{C} = \frac{10.6 - 5.3}{15.3} = .35$$

$$\text{"G"} = .95$$

- (f) Number of belts = $\frac{\text{Design Horsepower}}{\text{Total basic HP} \times \text{length factor} \times \text{"G"}}$

$$\text{Number of belts} = \frac{14.4}{5.95 \times .98 \times .95} = 2.6$$

Use 3 belts 3V560

Factor típico de servicio

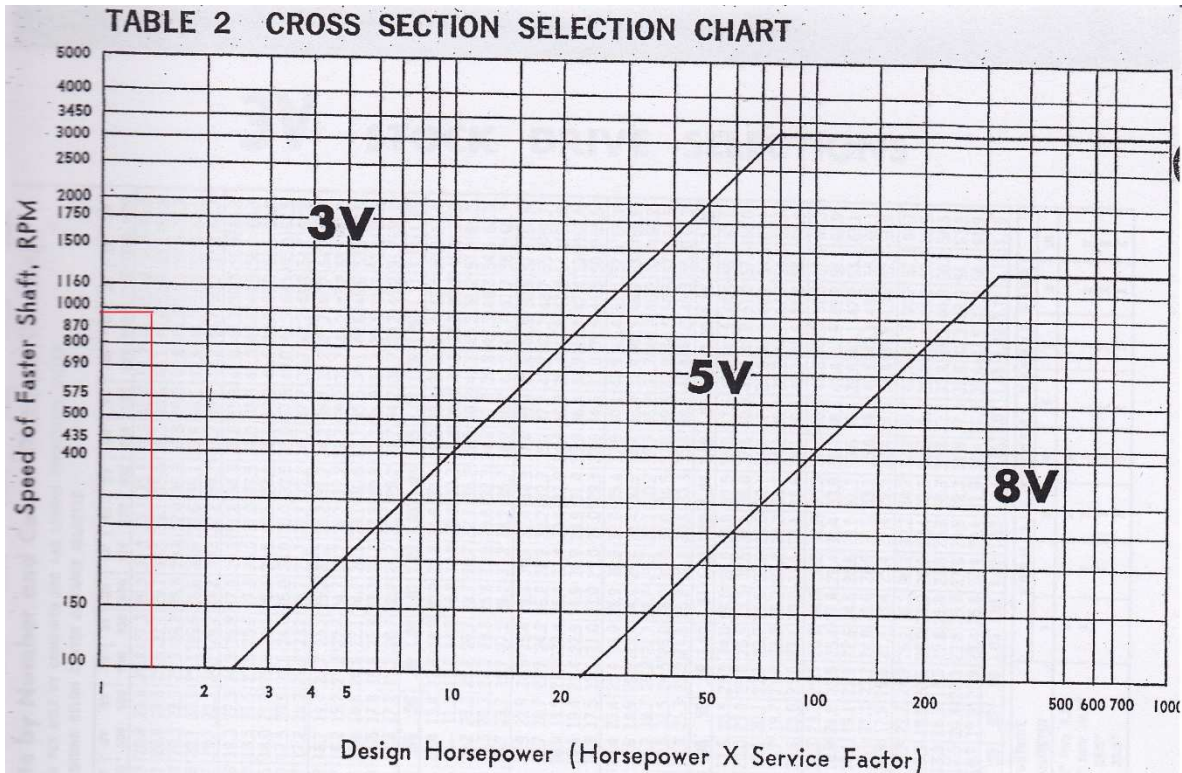
TYPICAL SERVICE FACTORS

TABLE 1 — SERVICE FACTORS

TYPICAL SERVICE FACTORS														
DRIVEN MACHINE TYPES	DRIVER TYPES													
<p>Driven Machine Types noted below are representative samples only. Select a category most closely approximating your application from those listed below.</p> <p>IF IDLERS ARE USED, ADD THE FOLLOWING TO THE SERVICE FACTOR.</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 80%;">Idler on slack side (inside)</td> <td style="width: 20%;">None</td> </tr> <tr> <td>Idler on slack side (outside)</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>Idler on tight side (inside)</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>Idler on tight side (outside)</td> <td>0.2</td> </tr> </table>	Idler on slack side (inside)	None	Idler on slack side (outside)	0.1	Idler on tight side (inside)	0.1	Idler on tight side (outside)	0.2	ELECTRIC MOTORS: AC Normal Torque Squirrel Cage and Synchronous AC Split Phase DC Shunt Wound Internal Combustion Engines			ELECTRIC MOTORS: AC Hi-Torque AC Hi-Slip AC Repulsion-Induction AC Single Phase Series Wound AC Slip Ring DC Compound Wound		
	Idler on slack side (inside)	None												
Idler on slack side (outside)	0.1													
Idler on tight side (inside)	0.1													
Idler on tight side (outside)	0.2													
	INTERMITTENT SERVICE	NORMAL SERVICE	CONTINUOUS SERVICE	INTERMITTENT SERVICE	NORMAL SERVICE	CONTINUOUS SERVICE								
Agitators for Liquids Blowers and Exhausters Centrifugal Pumps and Compressors Fans up to 10 HP Light Duty Conveyors	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3								
Belt Conveyors For Sand, Grain, etc. Dough Mixers Fans Over 10 HP Generators Line Shafts Laundry Machinery Machine Tools Punches-Presses-Shears Printing Machinery Positive Displacement Rotary Pumps Revolving and Vibrating Screens	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4								
Brick Machinery Bucket Elevators Exciters Piston Compressors Conveyors (Drag-Pan-Screw) Hammer Mills Paper Mill Beaters Piston Pumps Positive Displacement Blowers Pulverizers Saw Mill and Woodworking Machinery Textile Machinery	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6								
Crushers (Gyratory-Jaw-Roll) Mills (Ball-Rod-Tube) Hoists Rubber Calenders-Extruders-Mills	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8								
Chokable Equipment	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0								

FOR A GOOD COMMERCIAL DRIVE SELECTION, USE CONTINUOUS SERVICE FACTOR

Sección transversal de la banda y geometría de la banda



STANDARD BELT DIMENSIONS
 Table 3 Nominal Dimensions of Hy-T Wedge V-Belt Cross Sections

Cross Section	b_b Inches	h_b Inches	h_{bb} Inches
3V	0.38	0.31	0.38
5V	0.62	0.53	0.62
8V	1.00	0.91	1.00

TABLE 4

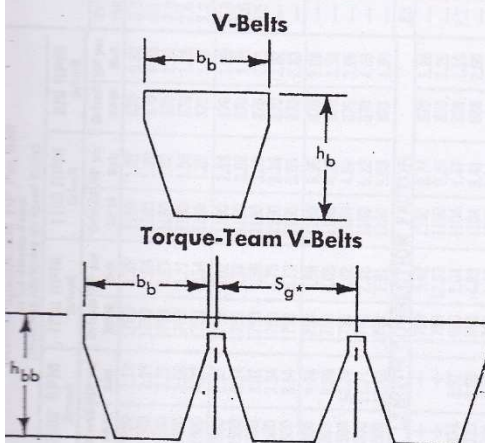
Arc Correction Factor "G"

$\frac{D-d}{C}$	Approximate Arc of Contact on Small Sheave	Factor "G"
.00	180	1.00
.10	174	.99
.20	169	.97
.30	163	.96
.40	157	.94
.50	151	.93
.60	145	.91
.70	139	.89
.80	133	.87
.90	127	.85
1.00	120	.82
1.10	113	.80
1.20	106	.77
1.30	99	.73
1.40	91	.70
1.50	83	.65

TABLE 5

Length Correction Factors

Belt Length	3V	5V	8V
25	0.83		
28	0.85		
31.5	0.87		
35.5	0.89		
40	0.92		
45	0.94		
50	0.96	0.85	
56	0.98	0.87	
63	1.00	0.89	
71	1.02	0.91	
80	1.04	0.93	
90	1.07	0.95	
100	1.09	0.96	0.87
112	1.11	0.98	0.88
125	1.13	1.00	0.90
140	1.15	1.02	0.92
160		1.04	0.94
180		1.06	0.95
200		1.08	0.97
224		1.09	0.98
250		1.11	1.00
280		1.13	1.02
315		1.15	1.03
355		1.17	1.05
400			1.07
450			1.09



* S_g is sheave groove spacing dimension.
 Refer to table 23 — page 26

Figure 1. Hy-T Wedge V-Belt Cross Sections

Longitud de la banda

Length Formula

The precise formula for belt length around two pulleys as in Fig. 19 is as follows:

$$L = 2C \cos \theta + \frac{\pi(D + d)}{2} + \frac{\pi \theta(D - d)}{180} \quad (24)$$

Where L = belt length

C = center to center length

D = large pulley diameter

d = small pulley diameter

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2C} \right) \text{ (in degrees)}$$

L , C , D , and d must all be expressed in the same unit of length.

The following approximate formula is easier to use and is accurate within 0.15% with 7 to 1 pulley ratio and center distance of $6d$, and even more accurate for the average drive.

$$L = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (25)$$

This formula can be solved for center distance instead of belt length as follows:

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 32(D - d)^2}}{16} \quad (26)$$

Where:

$$b = 4L - 6.28(D + d)$$

D = pitch diameter of large sheave in inches.

d = pitch diameter of small sheave in inches.

L = pitch length of belt in inches.

C = center distance in inches.

ANEXO 4 - DISEÑO DEL EJE DE LA TRITURADORA

Arco de contacto

V-Belt Ratings

The assignment of definite horsepower ratings for various kinds and sizes of V-Belts under various operating circumstances reflects what has been learned from experience will provide user satisfaction. Actually there is no distinct limit within which satisfactory results prevail but just beyond which lies certain failure. Results progress through a wide range of conditions, so that decisions are based to some extent on economics.

Calculation of Arc of Contact

For ordinary two-pulley drives, the arc of contact can be determined from the following approximate formulas:

$$\text{Arc of Contact} = 180^\circ - \frac{60(D - d)}{C} \quad (21)$$

Where D = large pulley diameter in inches.
 d = small pulley diameter in inches.
 C = center to center distance in inches.

Esfuerzo permisible

El esfuerzo permisible vale

$$\sigma_p = \frac{M_E}{I/c} = \frac{32M_E}{\pi d^3}$$

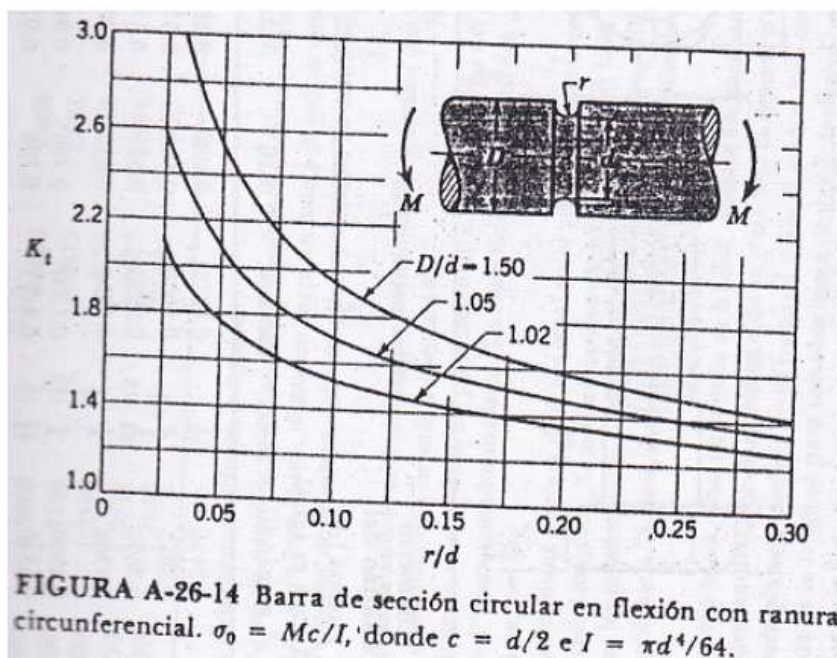
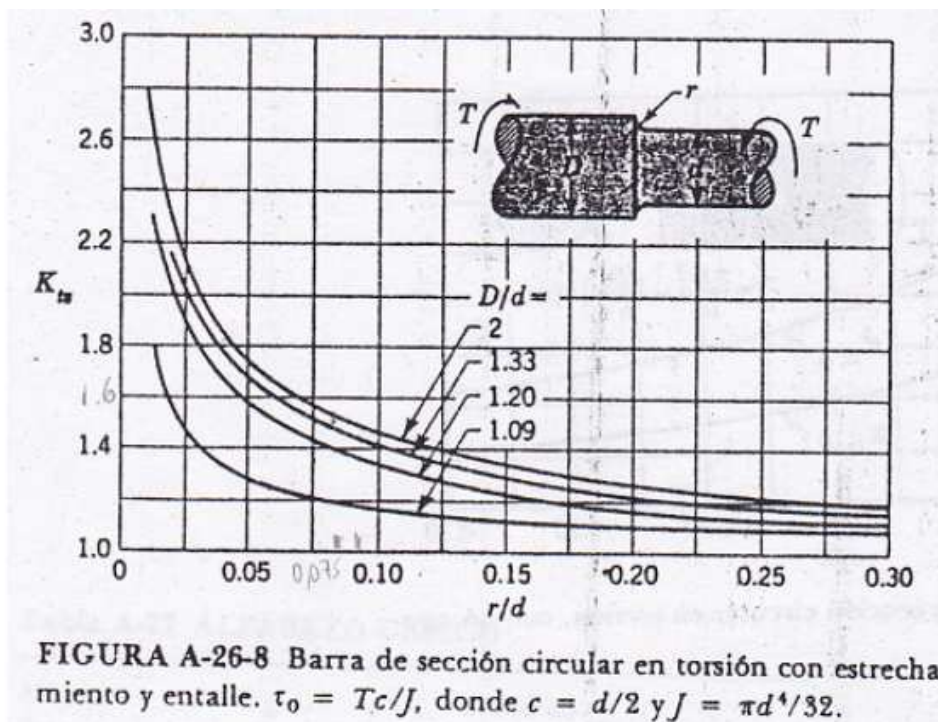
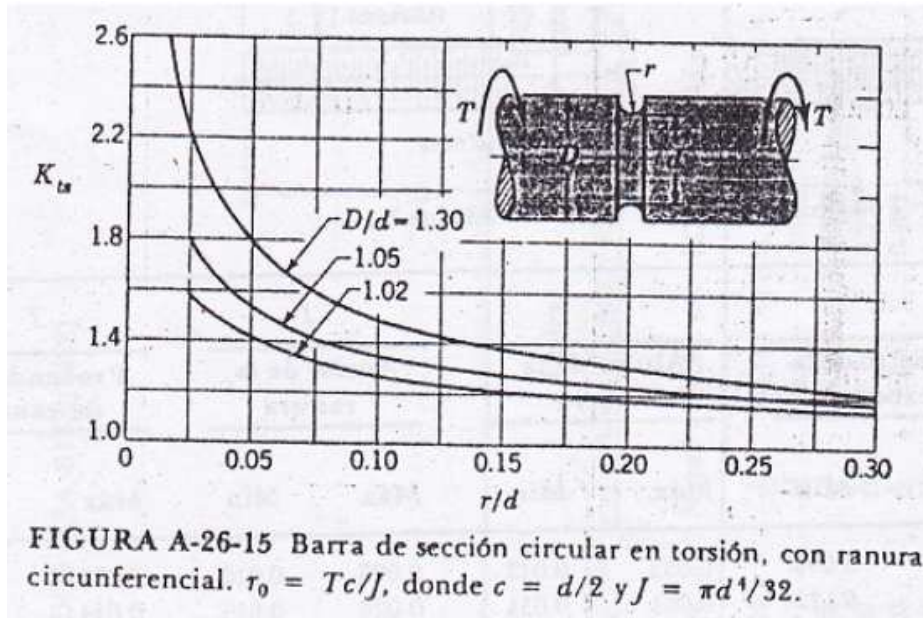


FIGURA A-26-14 Barra de sección circular en flexión con ranura circunferencial. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ e $I = \pi d^4/64$.



Factor de acabado superficial k_a

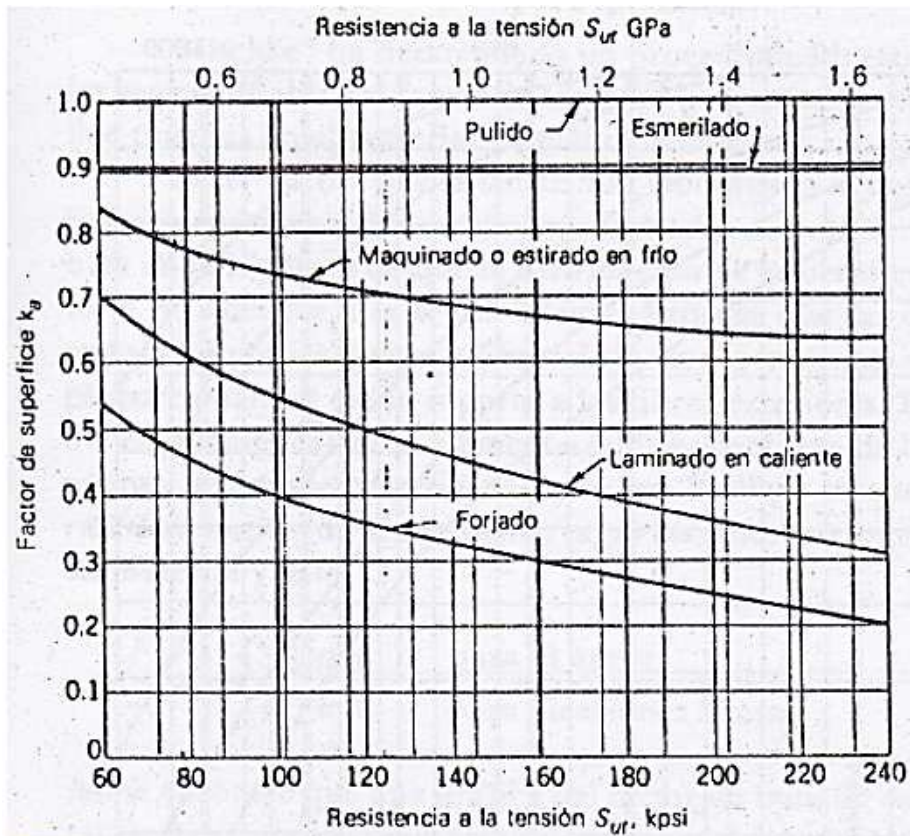


FIGURA 7-10 Factores de modificación de acabado superficial para el acero. Estos son los factores k_a que se usan en la ecuación (7-15).

Factor de tamaño k_b

$$k_b = \begin{cases} 0.869d^{-0.097} & 0.3 \text{ pulg} < d \leq 10 \text{ pulg} \\ 1 & d \leq 0.3 \text{ pulg o bien } d \leq 8 \text{ mm} \\ 1.189d^{-0.097} & 8 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm} \end{cases}$$

Factor de confiabilidad k_c

Tabla 7-7 FACTORES DE CONFIABILIDAD k_c , CORRESPONDIENTES A UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE 8% DEL LÍMITE DE FATIGA

Confiabilidad R	Variable estandarizada z_c	Factor de confiabilidad k_c
0.50	0	1.000
0.90	1.288	0.897
0.95	1.645	0.868
0.99	2.326	0.814
0.999	3.091	0.753
0.999 9	3.719	0.702
0.999 99	4.265	0.659
0.999 999	4.753	0.620
0.999 999 9	5.199	0.584
0.999 999 99	5.612	0.551
0.999 999 999	5.997	0.520

Facto de efectos de temperatura k_d

$$k_d = \begin{cases} 1.0 & T \leq 450^\circ\text{C} \text{ (840}^\circ\text{F)} \\ 1 - 5.8(10)^{-3}(T - 450) & 450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C} \\ 1 - 3.2(10)^{-3}(T - 840) & 840^\circ\text{F} < T \leq 1020^\circ\text{F} \end{cases}$$

Tabla A-26 DIAGRAMAS PARA FACTORES TEÓRICOS DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO K_t (continuación)

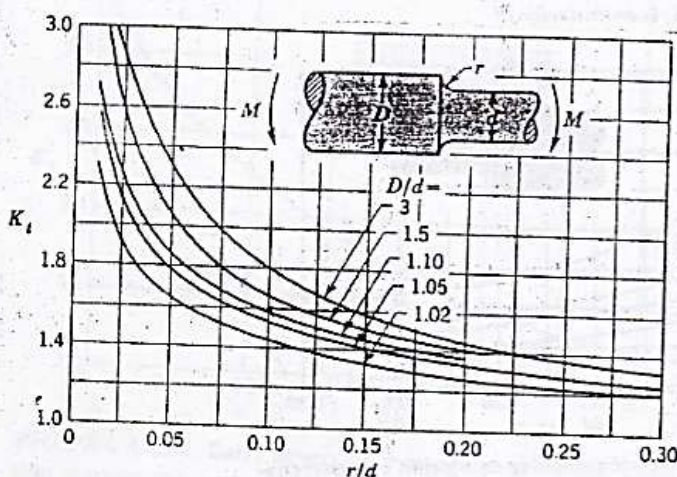


FIGURA A-26-9 Barra de sección circular en flexión con estrechamiento y entalle. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ e $I = \pi d^4/64$.

Factor de concentración de esfuerzos k_e y factor de esfuerzos diversos k_f

La concentración de esfuerzo sí tiene que considerarse cuando las partes han de hacerse de materiales frágiles o cuando estarán sometidas a cargas de fatiga. Sin embargo, aun en estas condiciones se encuentra que algunos materiales no son muy sensibles a la existencia de discontinuidades y, por lo tanto, no se tienen que usar los valores totales de los factores de concentración de esfuerzo teóricos. Para estos materiales es conveniente utilizar un valor reducido de K_f . El factor resultante se define por la ecuación

$$K_f = \frac{\text{límite de fatiga de probetas sin discontinuidades}}{\text{límite de fatiga de probetas con discontinuidades}} \quad (a)$$

Este factor generalmente se denomina *factor de concentración de esfuerzo en el caso de fatiga*, aunque también se utiliza para materiales frágiles bajo cargas estáticas.

Ahora bien, al utilizar K_f no importa, algebraicamente, si se emplea como factor para *incrementar el esfuerzo* o para *reducir la resistencia*. Esto sólo significa que puede colocarse en uno u otro miembro de la ecuación. Sin embargo, podrán evitarse muchas dificultades si se considera a K_f como factor de reducción de la resistencia de un elemento. En consecuencia, se llamará a K_f *factor de reducción de resistencia en el caso de fatiga* y, casi siempre, se empleará en éste sentido. Lo anterior quiere decir que el factor de modificación por concentración del esfuerzo k_e de la ecuación (7-15) y K_f están relacionados como sigue

$$k_e = \frac{1}{K_f} \quad (7-23)$$

La *sensibilidad a las ranuras* (o muescas) q se define por la ecuación

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \quad (7-24)$$

donde el valor de q suele estar entre cero y la unidad. La ecuación (7-24) indica que, si $q = 0$, $K_f = 1$, el material no tendrá sensibilidad a las ranuras. Por otra parte, si $q = 1$ entonces $K_f = K_t$ y el material será completamente sensible. En trabajos de análisis o diseño primero se determina K_t a partir de la configuración geométrica de la pieza. Luego, habiéndose especificado el material, se puede hallar q y despejar K_f de la ecuación.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (7-25)$$

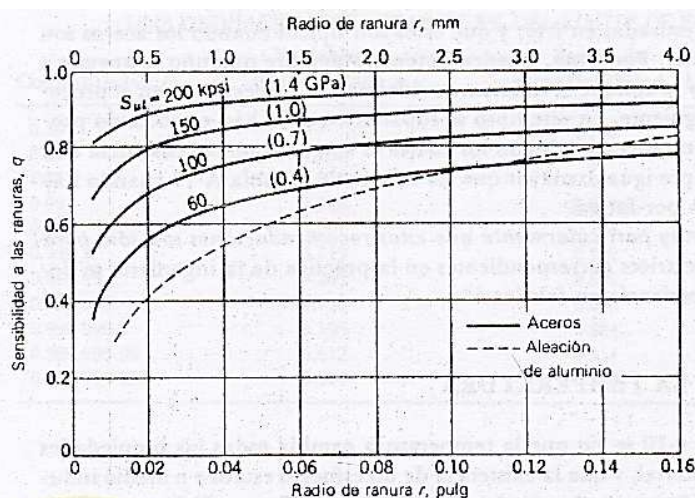


FIGURA 7-18 Diagrama de sensibilidad a las ranuras para aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a cargas flexionantes o axiales invertidas alternativamente. En el caso de radios de ranura grandes se usan los valores de q correspondientes a $r = 0.16$ pulg (4 mm). (Reproducido con permiso de George Sines y J. L. Waisman (dirs. eds.), "Metal Fatigue", McGraw-Hill, Book Company, Nueva York, 1959, pp. 296, 298.)

ANEXO 5 - SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

$$f_L = \frac{C}{P} \cdot f_n$$

siendo

- f_L Factor de esfuerzos dinámicos
- C Capacidad de carga dinámica [kN]
- P Carga dinámica equivalente [kN]
- f_n Factor de velocidad

Tipos de rodamientos

Cuadro sinóptico: Tipos de rodamientos y sus características

<p>Aptitud</p> <p>● muy buena</p> <p>◐ buena</p> <p>◑ normal / aceptable</p>	<p>● limitada</p> <p>○ no adecuada / no aplicable</p>	Características:				
		Carga radial	Carga axial en ambas direcciones	Compensación longitudinal en el rodamiento	Compensación longitudinal con ajuste deslizante	
Tipo de rodamiento						
Rodamientos de rodillos cónicos			●	● ←	○	◑ _a

Rodamientos de precisión	Compensación de desalineaciones	Elevada precisión	Aptitud para elevadas velocidades	Funcionamiento silencioso	Agujero cónico	Obtención a uno o ambos lados	Elevada rigidez	Bajo rozamiento	Rodamientos fijos	Rodamientos libres
●	◐	◑	◑ _c	◐	○	○	● _a	◐	● _a	◐ _a

Dimensionado

Vida L_h y factor de velocidad f_L para rodamientos de bolas

▼ Valores f_L para rodamientos de bolas

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}}$$

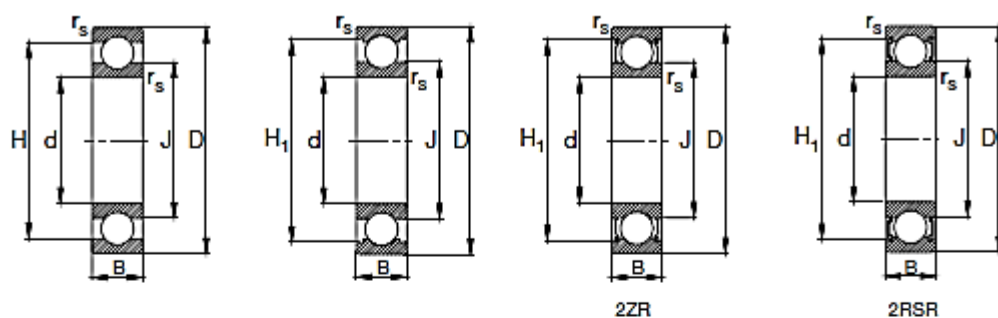
L_h	f_L	L_h	f_L	L_h	f_L	L_h	f_L	L_h	f_L
h		h		h		h		h	
100	0,585	420	0,944	1700	1,5	6500	2,35	28000	3,83
110	0,604	440	0,958	1800	1,53	7000	2,41	30000	3,91
120	0,621	460	0,973	1900	1,56	7500	2,47	32000	4
130	0,638	480	0,986	2000	1,59	8000	2,52	34000	4,08
140	0,654	500	1	2200	1,64	8500	2,57	36000	4,16
150	0,669	550	1,03	2400	1,69	9000	2,62	38000	4,24
160	0,684	600	1,06	2600	1,73	9500	2,67	40000	4,31
170	0,698	650	1,09	2800	1,78	10000	2,71	42000	4,38
180	0,711	700	1,12	3000	1,82	11000	2,8	44000	4,45
190	0,724	750	1,14	3200	1,86	12000	2,88	46000	4,51
200	0,737	800	1,17	3400	1,89	13000	2,96	48000	4,58
220	0,761	850	1,19	3600	1,93	14000	3,04	50000	4,64
240	0,783	900	1,22	3800	1,97	15000	3,11	55000	4,79
260	0,804	950	1,24	4000	2	16000	3,17	60000	4,93
280	0,824	1000	1,26	4200	2,03	17000	3,24	65000	5,07
300	0,843	1100	1,3	4400	2,06	18000	3,3	70000	5,19
320	0,862	1200	1,34	4600	2,1	19000	3,36	75000	5,31
340	0,879	1300	1,38	4800	2,13	20000	3,42	80000	5,43
360	0,896	1400	1,41	5000	2,15	22000	3,53	85000	5,54
380	0,913	1500	1,44	5500	2,22	24000	3,63	90000	5,65
400	0,928	1600	1,47	6000	2,29	26000	3,73	100000	5,85

Dimensionado

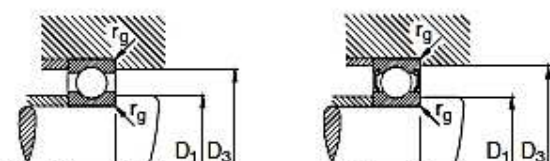
Valores de orientación para f_L y valores usuales de cálculo

Lugar de aplicación	Valor f_L que debe alcanzarse	Valores usuales de cálculo
Machacadoras, molinos, cribas, etc.		
Machacadoras de mandíbulas	3 ... 3,5	Potencia de accionamiento, radio de excéntrica; velocidad nominal
Trituradoras, machacadoras de rodillos	3 ... 3,5	Fuerza de triturado; velocidad nominal
Molinos de mandíbulas, de impacto y de martillos	4 ... 5	Peso del rotor · fz; velocidad nominal; fz = 2 a 2,5
Molinos de tubos	4 ... 5	Peso total · fz; velocidad nominal; fz = 1,5 a 2,5
Molinos vibratorios	2 ... 3	Fuerza centrífuga · fz; velocidad nominal; fz = 1,2 a 1,3
Molinos de pulverizado	4 ... 5	Esfuerzo de compresión · fz; número de revoluciones nominal; fz = 1,5 a 3
Cribas vibratorias	2,5 ... 3	Fuerza centrífuga · fz; número de revoluciones nominal; fz = 1,2
Prensas para briquetas	3,5 ... 4	Esfuerzo de presión; número de revoluciones nominal
Rodillos para hornos giratorios	4 ... 5	Carga de los rodillos · fz; número de revoluciones nominal
		Factor para cargas excéntricas fz = 1,2 a 1,3; Si las cargas son muy elevadas debe comprobarse la capacidad de carga estática

Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Eje	Dimensiones							Peso	
	d	D	B	r_s min	H mm	H ₁ mm	J mm	kg	
20	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,105	
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,105	
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,109	
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,109	
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,108	
	20	47	18	1	38,4	41	28,8	0,139	
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,151	
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,153	
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,155	
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,155	
	20	52	21	1,1	42,1	44,4	30,3	0,209	
	20	72	19	1,1	55		37	0,415	
	25	25	47	8	0,3	39,7	41,1	32,2	0,055
		25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,08
		25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,082
25		47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,083	
25		47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,084	
25		47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,083	
25		52	15	1	43,6	45,4	33,5	0,128	
25		52	15	1	43,6	45,4	33,5	0,128	
25		52	15	1	43,6	45,4	33,5	0,132	
25		52	15	1	43,6	45,4	33,5	0,132	
25		52	15	1	43,6	45,4	33,5	0,132	
25		52	18	1	43,6	45,4	33,5	0,156	



Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si $C_0/P_0 \geq 8$, ver Pág.41.



Capacidad de carga		Velocidad límite min^{-1}	Velocidad de referencia	Denominación abreviada Rodamiento FAQ	Medidas auxiliares		
dyn. C kN	stat. C_0				D_1 min mm	D_3 max	r_g max
12,7	6,55	18000	19000	6204	25,6	41,4	1
12,7	6,55	18000	19000	S6204.W203B	25,6	41,4	1
12,7	6,55	15000	19000	6204.2ZR	25,6	41,4	1
12,7	6,55	10000		6204.2RSR	25,6	41,4	1
12,7	6,55	10000		S6204.2RSR.W203B	25,6	41,4	1
12,7	6,55	10000		62204.2RSR	25,6	41,4	1
16	7,8	34000	18000	6304	27	45	1
16	7,8	34000	18000	S6304.W203B	27	45	1
16	7,8	14000	18000	6304.2ZR	27	45	1
16	7,8	9500		6304.2RSR	27	45	1
16	7,8	9500		62304.2RSR	27	45	1
30,5	15	26000	15000	6404	29	63	1
7,2	4,65	19000	14000	16005	27	45	0,3
10	5,85	36000	17000	6005	28,2	43,8	0,6
10	5,85	36000	17000	S6005.W203B	28,2	43,8	0,6
10	5,85	15000	17000	6005.2ZR	28,2	43,8	0,6
10	5,85	10000		6005.2RSR	28,2	43,8	0,6
10	5,85	10000		S6005.2RSR.W203B	28,2	43,8	0,6
14	7,8	17000	17000	6205	30,6	46,4	1
14	7,8	17000	17000	S6205.W203B	30,6	46,4	1
14	7,8	14000	17000	6205.2ZR	30,6	46,4	1
14	7,8	9000		6205.2RSR	30,6	46,4	1
14	7,8	9000		S6205.2RSR.W203B	30,6	46,4	1
14	7,8	9000		62205.2RSR	30,6	46,4	1

ANEXO 6 - PROFORMAS



LA CASA DEL PERNO

Sotomayor Comejo Brenda Aracely

Tumbaco, Av. Interoceánica y ELoy Alfaro • C.C. La Granja Local No. 1
Telefax: 237 5324



PROFORMA

Nº 0000314

FECHA: 09/01/2013	DIRECCIÓN: TUMBACO	COD. VENDEDOR: ARM
CLIENTE: PAUL VASCONES	TELÉFONO: 2373374	
C.I./RUC:	CIUDAD: QUITO	

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	% DCTO.	TOTAL
SEE25	SEG. EXTERIOR E-25	3	0.490	0.	1.47
SEE36	SEG. EXTERIOR E-36	1	1.210	0.	1.21
PALMCR612	PERNO ALLEN C/REDONDA M6 X 12	1	0.205	0.	0.20
PALMCR610	PERNO ALLEN C/REDONDA M6 X 10	1	0.140	0.	0.14
PAMQ630'	PERNO ORIGINAL UNC 6 X 30 - 1.25 GR 8.8	1	0.410	0.	0.41
PAMQ525'	PERNO ORIGINAL 5 X 25 - 1 GR 8.8	1	0.150	0.	0.15
PAMQ640'	PERNO ORIGINAL UNC 6X40 - 1.25 GR 8.8	1	0.450	0.	0.45
TAMQ6'	TUERCA ORIGINAL UNC 6'	1	0.160	0.	0.16
TAMQ5	TUERCA ACERO MM UNC 5 - 1.0	1	0.040	0.	0.04
RIPR516	RODELA INOX. PRESION 5/16	1	0.060	0.	0.06
RPRQ316	RODELA PRESION PLG GALVANIZ. 3/16	1	0.030	0.	0.03
TMCR425	T/MILIMETRICO C/REDONDA M4 X 25	1	0.030	0.	0.03
TAMQ4	TUERCA ACERO MM UNC 4 - 1.0	1	0.040	0.	0.04
RPRQ316	RODELA PRESION PLG GALVANIZ. 3/16	1	0.030	0.	0.03

SUMAN	
SUBTOTAL	
12% I.V.A.	4.45
TOTAL	9.53
	4.98

FIRMA AUTORIZADA. días.

RECIBI CONFORME

Hugo Gerardo Guerrero Barreno
RUC: 1801252170001
Los Pinos E7-30 e Ines de Medina

PROFORMA

No.: 0003085

Quito, 09 de Enero del 2013

Señor (es):
*****CONSUMIDOR FINAL*****
Dirección: S/D
Telf: 3808610 G C

Tiempo de Entrega: 0 día(s) laborables Forma de pago: Efectivo
Lugar de Entrega: Validez: 0 días Vendedor: WILSON GRUJALVA
Observación:

De mi consideración:

Reciba un cordial saludo de , ACEROS INDUSTRIALES al mismo tiempo pongo a su consideración la siguiente PROFORMA.

Código	Descripción	Cantidad	P.V.P.	Precio Total
4.1.100	AC. 760/1045 RED. 100 X 370	24.00	3.63000	74.05
4.4.8	AC. 760/1045 CHAV. 8 X 8 X 300	0.25	8.74500	1.86
4.1.11/2	AC. 760/1045 RED. 11/2 O 38 X 370	3.45	3.30000	9.68
6.3.10X30	AC. DP-2 H 10X30 X270	0.75	11.68000	7.45
39.10	PLANCHA 1010 H 10 X 800X900	52.00	2.47000	109.17
39.12	PLANCHA 1010 H 12X250	6.00	2.00000	12.00
39.12	PLANCHA 1010 H 12 X 130	1.80	2.00000	3.60
36.F.60052R SR	RODAMIENTO FAG 6005 2R SR	2.00	5.27100	8.96
12.ALUM.1/2X14	POLEA DE ALUMINIO 1/2X14	1.00	20.35000	17.30
12.ALUM.1/2X31/2	POLEA DE ALUMINIO 1/2X31/2	1.00	4.63000	3.43
La Cantidad de: DOSCIENTOS SETENTA Y SIETE DOLARES CON 20 CTVS		Descuento: 40.92		
Atentamente,		Subtot Exento: 0.00		
WILSON GRUJALVA / 2408731		Subtot Gravado: 247.50		
ACEROS INDUSTRIALES		Iva 12 %: 29.70		
		Total: 277.20		

COTIZACION No.	24666	PROVIACEROS CIA. LTDA.
ESTADO:		
RUC: 1792160147001 - TUMBACO, P.O. SALAS E INTEROCEANICA - Tel: (5) 022378863		
CLIENTE: Y CONSUMIDOR FINAL TUMBACO / P	TELF:	OFERTA VALIDA POR: 0 Dias
ATENCION:	RUC: 9999999999999	USUARIO: SOLVAR
DIRECCION: TUMBACO	VENDEDOR: CHANDRO	FECHA: 29/01/2013

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	P.V.P	%	%	PVP UMS	P.V.TOTAL
390140	PLANCHÁ GALVANIZADA 1.40 (24.72)	1.00	44.2335			44.2300	44.23
411000	PLANCHÁ UC 10.00 (259.70)	1.00	259.4070			259.4100	259.41
411200	PLANCHÁ UC 12.00 (290.44)	1.00	311.2890			311.2900	311.29
130040	EJE DE ACERO 1 1/2 (METRO)(48.00KG)	1.00	28.4937			28.4900	28.49
410200	PLANCHÁ UC 5.00 (115.85)	1.00	129.7040			129.7000	129.70
103030	ANGULO 1 1/4" X 1/4" (30 X 3mm) 8.05kg	1.00	9.7680			9.7700	9.77
390090	PLANCHÁ GALVANIZADA 0.90 (21.03)	1.00	28.8045			28.8000	28.80

CONDICIONES DE PAGO:	Sub-Total:	811.63
	10% DESECTO	81.16
	12% IVA	97.66
	TOTAL	990.45

(f.) Elabrado por	(f.) Aprobado por
-------------------	-------------------



Emisión

--	--	--

R.U.C. 1790947432001

Av. 6 de Diciembre N53-237 y Av. de Los Pinos

Telf: 2413410 / 2413178 / 2416602 Fax: 2401781

E-mail: riler@andino.net

Quito-Ecuador

PROFORMA N° 0014825Nombre: Paúl VáscónezDirección: TumbacoTelf: 0984016572Forma de pago: Contado Crédito _____ días ORDEN No _____

Fax: _____

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
	1	Rodamiento 6005 2RS C3 FAG	6.50	6.50
	1	Pieza acero chaveta 10x10x300 mm	3.00	3.00
	1	Angulo de hierro 30 x 3mm x 6mts	20.00	20.00
	1	Polea paso A 1 canal Diam 3 1/2"	25.00	25.00
	1	Garrucha Gir Diam 2" SUPO con freno naranja	4.00	4.00
	1	Banda 3V600 dentada L = 64 in	9.30	9.30

Nota: Precios no incluyen IVA

R.I.C.B.L.COM.FORMA

VENDEDOR

PLANOS